



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS



CARRERA INGENIERÍA EN ALIMENTOS

**DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS REOLÓGICOS EN
BEBIDAS DE FRUTAS CON DIFERENTES CONCENTRACIONES
DE SÓLIDOS SOLUBLES MEDIANTE EL USO DEL EQUIPO
UNIVERSAL TA – XT2i**

Trabajo de Investigación, Graduación. Modalidad: Trabajo Estructurado de Manera Independiente (TEMI), presentado como requisito previo a la Obtención del Título de Ingeniera en Alimentos, otorgado por la Universidad Técnica de Ambato a través de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Trabajo viabilizado a través del Convenio Específico entre la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia y Tecnología e Innovación- SENESCYT y el Instituto Autónomo de Investigaciones Agropecuarias mediante el cofinanciamiento del Programa “Líneas de Financiamiento para investigaciones del INIAP”.

Por: Aracely Nataly Panchi Guanoluisa

Tutor: Ing. Juan de Dios Alvarado

Ambato – Ecuador

2013

APROBACIÓN POR EL TUTOR

Ing. Juan de Dios Alvarado.

Siendo el Tutor de Trabajo de Investigación realizado bajo el tema: "Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2i", por la egresada Aracely Nataly Panchi Guanoluisa; tengo a bien afirmar que el estudio es idóneo y reúne los requisitos de una tesis de grado de Ingeniería en Alimentos; y la graduada posee los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Jurado Examinador que sea designado por el H. Concejo Directivo de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos

Ambato, Abril de 2013

.....

Ing. Juan de Dios Alvarado.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación denominado: “Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2i”, así como también los contenidos, ideas, análisis, conclusiones y recomendaciones, corresponden exclusivamente a Aracely Nataly Panchi Guanoluisa; e Ing. Juan de Dios Alvarado; Tutor del Proyecto de Investigación.

Aracely Nataly Panchi G.

Autor

Ing. Juan de Dios Alvarado

Tutor de la Investigación

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERÍA EN ALIMENTOS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Los miembros del Tribunal de grado aprueban el presente Trabajo de Graduación de acuerdo a las disposiciones emitidas por la Universidad Técnica de Ambato

Ambato, Abril de 2013

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Lenin Garcés

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Dolores Robalino

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, dedico esta tesis a mi madre Martita Guanoluís que con su demostración de una madre ejemplar, ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me ha ayudado a salir adelante en los momentos más difíciles. A mi padre Augusto Panchí por sus ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre. A mi hermano Cristian que con su amor y apoyo me ha ayudado a crecer, gracias por estar conmigo en todo momento.

A mis abuelitos Digna y Miguel, a mis tíos; María, Verónica, Paulina, Fabián y Geovanny Guanoluís Lema por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por ser el ejemplo de lucha y superación y compartir conmigo buenos y malos momentos.

Esta tesis es el resultado de lo que me han enseñado ustedes en la vida, gracias por confiar en mí y darme la oportunidad de culminar esta etapa de mi vida LOS AMO.

Aracely Nataly Panchí Guanoluís

AGRADECIMIENTO

Primero y antes que nada, gracias a Dios, por estar junto a mí en cada paso, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en el camino a aquellas personas que han sido soporte y compañía durante mis estudios.

Agradezco a todas las autoridades de la Universidad Técnica de Ambato, a los Maestros de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.

Al Ing. Lenin Garcés, Ing. Dolores Robalino por su apoyo incondicional en el transcurso de mi carrera universitaria.

De manera especial y sincera al Ing. Juan de Dios Alvarado, por su tiempo compartido y por impulsarme en el desarrollo de mi formación profesional y porque bajo su dirección, en calidad de Director se culminó esta tesis.

Al Departamento de Nutrición y Calidad INIAP - Estación Experimental Santa Catalina en especial a la Dra. Susana Espín, Ing. Beatriz Brito, Dr. Armando Rubio porque cada uno con sus valiosas aportaciones hicieron posible este proyecto y por la gran calidad humana que me han demostrado con su amistad..

Finalmente a mis amigos sinceros que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, siempre los llevaré en mi corazón: Gladys Macas, Jaris del Valle, Cristina Poveda y Wilma Llerena, aquellos que marcaron mi vida apoyándome siempre:

Wilson Ilaquiche, Rocío Suintaxí, Carmen Guanoluísa, y a la persona que llena mis días de felicidad Paúl Moposita gracias por tu amor incondicional.

ÍNDICE

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Tema de investigación.....	21
1.2. Planteamiento del problema	21
1.2.1. Contextualización.....	21
1.2.1.1. Contextualización macro.....	21
1.2.1.2. Contextualización meso	24
1.2.1.3. Contextualización micro.....	26
1.2.2. Análisis crítico del problema	33
1.2.2.1. Relación Causa-Efecto	34
1.2.3. Prognosis	34
1.2.4. Formulación del problema.....	35
1.2.5. Interrogantes.....	35
1.2.6. Delimitación del objeto de investigación	36
1.3. Justificación	36
1.4. Objetivos.....	38
1.4.1. Objetivo General	38
1.4.2. Objetivos Específicos.....	38

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes investigativos	39
2.2 Fundamentación filosófica	43
2.3 Fundamentación sociológica	45
2.4 Fundamentación legal	45
2.5 Categorías fundamentales.....	46
Marco Conceptual De La Variable Independiente	
2.5.1 Durazno (<i>Prunus persica</i>)	46
2.5.2 Mango (<i>Magnifera indica L.</i>)	47
2.5.3 Manzana (<i>Pyrus malus L.</i>)	47
Marco Conceptual De La Variable Dependiente	
2.5.4 Determinación de las propiedades reológicas	48
2.5.4.1 Esfuerzo de corte (τ)	49
2.5.4.2 Velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$)	49
2.5.4.3 Viscosidad.....	50
2.5.4.4 Unidades.....	52
2.5.5 Clasificación de los fluidos según su comportamiento reológico	53
2.5.5.1 Fluidos Newtonianos.....	54
2.5.5.2 Fluidos no Newtonianos.....	55
2.5.6 Parámetros reológicos en fluidos no Newtonianos.	56
2.5.6.1 Punto de Cedencia (τ_y)	56
2.5.6.2 Índice de Comportamiento (n).....	57
2.5.6.3 Índice de Consistencia (k)	57
2.5.7 Modelos de ajuste para comportamientos reológicos de alimentos.....	57
2.5.7.1 Ley de Potencia	58
2.5.7.2 Modelo de Herschel–Bulkley.....	59

2.5.7.3	Modelo de Casson	59
2.5.2	Variables que Influyen en la viscosidad	60
2.5.2.1	Variación de la viscosidad con la concentración	60
2.5.2.2	Variación de la viscosidad con la temperatura	60
2.5.2.3	Variación de la viscosidad con la presión.....	61
2.5.3	Instrumentos de medición de las propiedades reológicas	61
2.5.3.1	Viscosímetro de tubo capilar	61
2.5.3.2	Viscosímetro de Ostwald.....	62
2.5.3.3	Viscosímetro de Ubbelohde	62
2.5.3.4	Viscosímetro Cannon-Fenske	62
2.5.3.5	Viscosímetro Lamb.Lewis	62
2.5.3.6	Equipo universal TA-XT2i.....	63
2.6	Hipótesis.....	67
2.6.1	Hipótesis nulas.....	67
2.6.2	Hipótesis alternativas.....	67
2.7	Señalamiento de variables	68

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1	Enfoque de la investigación.....	69
3.2	Modalidad básica de investigación	70
3.2.1	Bibliográfica documental.....	70
3.2.2	De campo.....	71
3.2.3	Experimental.....	71
3.3	Nivel o tipo de investigacion	71
3.3.1	Sintético	71

3.3.2 Experimental	72
3.3.3 Descriptivo	72
3.3.4 Explicativo.....	72
3.3.5 Estadístico – Matemático.....	72
3.4 Población y muestra	73
3.4.1 Población	73
3.4.2 Muestra.....	73
3.5 Diseño experimental.....	73
3.5.1 Factores en estudio	74
3.5.2 Análisis estadístico	75
3.5.3 Respuestas experimentales.....	75
3.5.4 Medición de la viscosidad: Cannon Fenske: Manejo específico del experimento	76
3.5.4.1 Cálculo de viscosidad relativa.....	77
3.5.5 Mediciones reológicas: TA – XT2i: Manejo específico del experimento .	78
3.5.5.1 Cálculo de viscosidad del agua.....	80
3.5.5.2 Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) de las muestras de néctar de frutas mediante la Ley de Potencia.....	81
3.5.5.3 Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) de las muestras de néctar de frutas mediante el método desarrollado por Toledo	83
3.5.5.4.Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) de las muestras de néctar de frutas mediante el método de Casson.....	85
3.5.5.5.Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) de las muestras de néctar de frutas mediante el método de Herschel-Bulkley	87
3.5.6 Caracterización fisicoquímica de las muestras	88

3.5.6.1 Densidad y gravedad específica	88
3.5.6.2 Sólidos totales.....	88
3.5.6.3 Acidez	89
3.5.6.4 pH	89
3.5.6.5 Conductividad eléctrica.....	89
3.6 Operacionalización de variables.....	90
3.7 Plan de recolección de información.....	92
3.8 Plan de procesamiento de información	92

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Analisis de los resultados.....	94
4.1.1. Propiedades fisicoquímicas de las muestras de néctar de durazno, mango y manzana.	94
4.1.1.1 Densidad.....	95
4.1.1.2 Sólidos totales.....	95
4.1.1.3 Acidez	96
4.1.1.4 pH	96
4.1.1.5 Conductividad eléctrica.....	96
4.1.2 Viscosidad.....	97
4.1.2.1 Viscosidad: Viscosímetro capilar Cannon – Fenske	97
4.1.2.2 Viscosidad: Equipo universal TA-XT2i	98
4.1.3 Correlación de las mediciones Cannon – Fenske versus TA-XT2i	103
4.1.4 Interpretación del comportamiento newtoniano y no newtoniano del agua y del néctar de frutas	106
4.1.5 Interpretación de parámetros reológicos en fluidos no newtonianos mediante modelos matemáticos	107

4.1.5.1 Índice de comportamiento de flujo (n).....	107
4.1.5.1.1 Ley de Potencia	108
4.1.5.1.2 Modelo Toledo	108
4.1.5.1.3 Método Casson.....	108
4.1.5.1.4 Método Herschel-Bulkley	108
4.1.5.2 Índice de consistencia (k).....	109
4.1.5.2.1 Ley de Potencia	109
4.1.5.2.2 Modelo Toledo	110
4.1.5.2.3 Método Casson.....	110
4.1.5.2.4 Método Herschel-Bulkley	111
4.1.5.3 Umbral de fluencia (τ_0)	112
4.1.5.3.1 Método Casson.....	112
4.1.5.3.2 Método Herschel-Bulkley	112
4.1.6 Correlación entre métodos de cálculo: Ley de Potencia y Toledo sobre el índice de comportamiento de flujo(n) e índice de consistencia (k) de las diluciones de néctares de frutas.	116
4.1.7 Correlación entre métodos de cálculo: Casson y Herchel y Bulkley sobre el índice de comportamiento de flujo(n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) de las diluciones de néctares de frutas.	117
4.1.8 Verificación de la hipótesis.....	118
4.1.8.1 Fluidos Newtonianos.....	118
4.1.8.2 Fluidos No Newtonianos	119

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones.....	120
5.2 Recomendaciones.....	122

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 Datos informativos.....	124
6.2 Antecedentes.....	124
6.3 Justificación.....	126
6.4 Objetivos.....	128
6.4.1 Objetivo general.....	128
6.4.2 Objetivos específicos.....	128
6.5 Análisis de factibilidad.....	128
6.6 Fundamentación.....	129
6.7 Metodología.....	131
6.7.1 Modelo operativo.....	132
6.7.2 Preparación de las muestras de néctar de mango.....	134
6.7.3 Creación del proyecto para la ejecución del nuevo ensayo en el equipo universal ta-xt2i.....	134
6.7.4 Selección de condiciones de operación y accesorio.....	135
6.7.5 Calibración del equipo y fijación de los parámetros de trabajo.....	135
6.7.5.1 Componentes de texturómetro.....	136

6.7.5.2 Encendido y apagado del equipo.....	136
6.7.5.3 Cambio de la celda de carga	136
6.7.5.4 Calibración del equipo.....	137
6.7.5.5 Ensayo.....	137
6.7.5.5.1 Fijar parámetros.....	137
6.7.5.5.2 Iniciar ensayo	139
6.7.6 Creación de la macro.....	140
6.7.7 Selección de las unidades para el reporte de datos y resultados de las mediciones.....	142
6.7.8 Calibración de sonda (émbolo) y ejecución del ensayo de medida de las fuerzas aplicadas a las muestras.....	142
6.7.9 Cálculo de parámetros reológicos.....	143
6.8 Administración.....	145
6.9 Previsión de la evaluación.....	146
Bibliografía	147

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Especificaciones de algunos viscosímetros capilares.....	28
Cuadro 2. Modelo operativo (Plan de acción).....	138
Cuadro 3. Administración de la Propuesta.....	139
Cuadro 4. Previsión de la Evaluación.....	140

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Instrumentos para medir las propiedades reológicas divididos en dos categorías: a) tipo rotacional y b) tipo tubo.....	26
Figura 2. Viscosímetros capilares de vidrio (de tubo en u).	27
Figura 3. Viscosímetro capilar de alta presión	27
Figura 4. Diagrama de un viscosímetro de Cannon – Fenske	29
Figura 5. Viscosímetro Cannon – Fenske	29
Figura 6. Equipo universal TA – XT2i.....	32
Figura 7. Árbol de problemas	33
Figura 8. Esfuerzo de corte	49
Figura 9. Velocidad de deformación.....	50
Figura 10. Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente.	52
Figura 11. Curvas de viscosidad para un fluido newtoniano a) (τ vs $-\dot{\gamma}$) (μ vs. $-\dot{\gamma}$)	55
Figura 12. Diferentes tipos de fluidos.....	56
Figura 13. Recorrido del agua a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske	77
Figura 14. Medidas del accesorio empleado en la medición de parámetros reológicos del agua. a) diámetro interior de descarga del fluido, b) longitud del accesorio.	78
Figura 15. Secuencia de medición en el equipo universal TA-XT2i.	79
Figura 16. Representación del modelo de ley de Potencia del tratamiento $a0b1$ (néctar de durazno 3 ^o brix – R1)	82

Figura 17. Representación gráfica de log (Caída de presión [kPa]) vs. log (Velocidad de flujo másico [g/s])	83
Figura 18. Representación de la gráfica log-log de la Gradiente de Velocidad (τ_w) vs. Esfuerzo Cortante (τ_0) del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3ºBrix – R1)	85
Figura 19. Representación de la raíz cuadrada del Esfuerzo Cortante (τ_0) Vs. Raíz Cuadrada Del Gradiente De Velocidad (τ_w) del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3ºBrix – R1).....	86
Figura 20. Representación del log($\tau-\tau_0$) Vs. log(τ_w) del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3ºBrix – R1).....	87
Figura 21. Densidad de néctares de frutas como función del contenido de sólidos solubles.....	95
Figura 22. Conductividad eléctrica de néctar de durazno, mango y manzana a 20°C.....	97
Figura 23. Reporte de resultados con el equipo universal TA-XT2i. a) Forma tabulada; b) Forma gráfica de una medición del tratamiento a1b0 a 20°C.....	93
Figura 24. Reograma del comportamiento newtoniano del tratamiento a0b0 (agua para néctar de durazno) – R1	100
Figura 25. Reograma del comportamiento newtoniano del agua.....	101
Figura 26. Representación del modelo de ley de potencia del tratamiento a0b0 (agua para el néctar de durazno) – R1.....	102
Figura 27. Representación del modelo de Ley de Potencia del agua.....	103

Figura 28. Reograma de los datos experimentales obtenidos en el equipo universal TA-XT2i a) Fluido Newtoniano. b) Fluido No Newtoniano – pseudoplástico tratamiento a0b4 (Néctar de durazno 12ºbrix) R1, R2 Y R3. . 106

Figura 29. Diagrama de flujo del desarrollo de la nueva metodología de medición en el equipo universal TA-XT2i..... 133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de viscosidad de diversas sustancias.....	52
Tabla 2. Tratamientos en estudio	74
Tabla 3. Esquema análisis de varianza (Adeva).....	75
Tabla 4. Especificaciones del viscosímetro de tipo tubo capilar Cannon – Fenske, de acuerdo a la concentración de sólidos solubles presentes en las muestras.	76
Tabla 5. Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de durazno.....	97
Tabla 6. Datos de cinco determinaciones ejecutadas en el equipo universal TA-XT2i para el tratamiento a0b0 (agua para néctar de durazno) – R1	99
Tabla 7. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a0b0 (agua para néctar de durazno) – R1	100
Tabla 8. Correlación de viscosidad (μ) obtenida mediante viscosímetro capilar y equipo universal TA-XT2i.....	104
tabla 9. Comparación entre las metodologías viscosímetro capilar Cannon – Fenske y equipo universal TA-XT2i.	104

Tabla 10. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de durazno mango y manzana a 12ºBrix.	113
Tabla 11. Administración de la propuesta	145
Tabla 12. Previsión de la evaluación	146

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO B. Datos registrados de las propiedades fisicoquímicas de los néctares de frutas

ANEXO C. Datos registrados de viscosidad del agua por medio del viscosímetro capilar Cannon – Fenske y el equipo universal TA-XT2i

ANEXO D. Índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) de las diluciones de los néctares

ANEXO E. Resumen modelos matemáticos aplicados a la determinación de parámetros reológicos

ANEXO F. Figuras de los resultados obtenidos en el equipo universal TA-XT2i para el agua

ANEXO G. Figuras de los resultados obtenidos en el equipo universal TA-XT2i para las diluciones de néctar de frutas mediante modelos matemáticos

ANEXO H. Análisis Estadístico

ANEXO I. Normas INEN y CODEX

RESUMEN EJECUTIVO

La reología permite describir el comportamiento de un alimento, aunque es complejo, puesto que reaccionan de diferente forma requiriendo o no de un nivel de esfuerzo inicial para fluir. Dentro de este contexto, la nueva metodología destinada a la determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles, se llevó a cabo en el equipo universal TA – XT2i, mediante la aplicación de una fuerza mecánica mínima, en lugar de la presión hidrostática sobre una jeringuilla de vidrio de 10ml. Todas las determinaciones y caracterizaciones fueron realizadas a la temperatura de 20°C.

Inicialmente se analizaron las curvas de viscosidad del agua, obtenidas mediante ensayos de tubo capilar Cannon-Fenske y equipo universal TA-XT2i comprobando mediante una prueba t de Student el comportamiento newtoniano en los dos casos, y en consecuencia se concluyó que la nueva metodología con el empleo del equipo universal TA-XT2i permite determinar viscosidad en fluidos newtonianos.

Con el fin de determinar el comportamiento no newtoniano de los néctares de durazno, mango y manzana con concentraciones de 3, 6, 9 y 12°Brix respectivamente, mediante el uso del equipo universal TA – XT2i, se calcularon los parámetros reológicos (índice de consistencia, índice de comportamiento de flujo y esfuerzo de fluencia) mediante la aplicación de varios modelos matemáticos (Ley de Potencia, Método desarrollado por Toledo, Casson y Herschel-Bulkley), de los cuales se ajustaron de mejor manera a la Ley de Potencia y el método desarrollado por Toledo, con valores de correlación cercanos a 1 y mediante análisis de varianza se estableció que existe diferencias significativas específicamente entre niveles de concentración de °Brix.

Los parámetros reológicos determinados en las muestras, establecieron que a medida que la concentración de sólidos solubles incrementa también lo hace el índice de consistencia provocando una viscosidad mayor. En el caso del índice de comportamiento de flujo, resultó para todos los casos menores a 1 mostrando menor pseudoplasticidad, en los tratamientos con concentraciones de 12°Brix, e incrementando en las muestras con concentraciones bajas de 3°Brix.

Palabras Claves: Reología, fluido pseudoplástico, néctar de frutas.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. TEMA DE INVESTIGACIÓN

Determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2i.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Contextualización

1.2.1.1. Contextualización macro

Se atribuye el uso de la palabra Reología al profesor Eugene C. Bingham en 1928, a partir de los trabajos de Heráclito (filósofo pre-Socrático), dándole el significado de “cada cosa fluye”. En este momento, la Reología se ha establecido como la ciencia de la deformación y el flujo de la materia, es decir, la manera en la cual los materiales responden a un esfuerzo o tensión aplicada (Rao, y col., 1992). Por otra parte se señala que en la ciencia de alimentos, la Reología es una herramienta útil para la determinación de la consistencia de

diversos productos; ya que esta propiedad se encuentra definida por la viscosidad y elasticidad (Weipert, y col., 1993).

A pesar de que la Reología pudiera cubrir todo lo que tiene que ver con los comportamientos de flujo en aeronáutica, mecánica de fluidos e inclusive la mecánica de sólidos, el objetivo de la Reología está restringido a la observación del comportamiento de materiales sometidos a deformaciones muy sencillas (Agustín, 2005). Por medio de la observación y del conocimiento del campo de deformación aplicado, el reólogo puede en muchos casos desarrollar una relación constitutiva o modelo matemático que permite obtener, en principio, las funciones materiales o propiedades que caracterizan el material (Quintáns, 2008).

Para el estudio del comportamiento reológico de los diferentes productos, es necesario recurrir a la reometría, lo que permite conocer dicho comportamiento, y ser utilizado en distintos campos de la industria. Así, las medidas reológicas de un producto en la etapa de manufactura pueden servir como control de calidad. También puede llegar a correlacionarse la micro estructura de un producto con su comportamiento reológico, lo que permite el desarrollo de nuevos materiales (Quintáns, 2008). Por otro lado, la reometría permite obtener ecuaciones reológicas, que se aplican en ingeniería de procesos, sobre todo en las operaciones unitarias que implican transferencia de calor y cantidad de movimiento (GRE, 2007).

La Reología se ocupa preferentemente de la deformación de los cuerpos, pero con frecuencia trata también de la fricción entre sólidos, del flujo de líquidos e incluso de la reducción a partículas, o molturación. La Reología alimentaria es la extensión de esta disciplina a los productos alimentarios. De esta manera, White (1970) aportó una definición de la Reología restringida a los alimentos: “la Reología de los Alimentos es el estudio de la deformación y flujo de los materiales frescos, productos intermedios y productos finales de la industria

alimentaria". El proceso de masticación e ingestión de alimentos implica someter al alimento a una serie de deformaciones y flujos con el fin de descomponer su estructura en una forma más adecuada para su ingestión y posterior digestión. Es por esta razón por la que el estudio de la Reología de Alimentos ha sido históricamente importante (Sherman 1970; Müller, 1973; Rha 1975).

La tecnología y el procesamiento de alimentos también han contribuido a la base del conocimiento y, a menudo ha dado lugar al desarrollo de nuevos productos para el consumidor. Al mismo tiempo, el estudio físico de los productos alimenticios ha continuado su desarrollo gracias al mejor entendimiento de las técnicas reológicas.

Por lo tanto, el conocimiento de las propiedades reológicas y el entendimiento del comportamiento reológico de los alimentos son esenciales para el desarrollo de nuevos productos (Garza, 2005), para el control y optimización de las variables del proceso y de su mejora (Brennan y col., 1980; Dail y Steffe, 1990 a, b), para el diseño y evaluación de equipos tales como bombas, tuberías, intercambiadores de calor, evaporadores, esterilizadores, y mezcladores (Ramaswamy, 2004), para el control de calidad de alimentos (Kramer y Twigg, 1970), su evaluación sensorial y la aceptabilidad de un producto por parte del consumidor (Harrison y Cunningham, 1985).

En la ciencia de alimentos, específicamente en flúidos alimenticios, presentan características reológicas que van desde un simple comportamiento newtoniano (Nindo y col., 2005; Zuritz y col., 2005) a uno no newtoniano (Castro y col., 1990; Ibanoglu y Ibanoglu, 1998; Vélez-Ruiz y Barbosa-Cánovas 1998) que puede ser dependiente o no del tiempo (Osorio 2001). Muchos alimentos se comportan como una combinación de materiales viscosos y elásticos (Barnes y col., 1989), y los parámetros reológicos que los caracterizan en el caso de fluidos newtonianos es la viscosidad y en el caso de los no newtonianos son el

coeficiente de consistencia y el índice de comportamiento de flujo (Rao y Anatheswaran, 1982).

En el caso de los zumos obtenidos por expresión, el contenido y tipo de pectinas y de pupa afecta al comportamiento reológico de los jugos en mayor medida que los azúcares solubles. La diferente composición de los frutos considerados explica su comportamiento particular (Costel y Durán, 1982). Por otro lado, las pulpas de frutas, en especial con alto contenido de sólidos, presentan un comportamiento reológico más complejo, pues requieren de un esfuerzo inicial para el flujo.

1.2.1.2. Contextualización meso

Cuando en una disolución verdadera se observa un comportamiento de flujo ideal, sin presentar una tensión mínima de deformación, y un índice de comportamiento de flujo igual a la unidad, las características del flujo del sistema pueden ser representadas por un término, la viscosidad (R_{ha} , 1975). Este comportamiento lo presentan un número limitado de sustancias comestibles, entre ellas los jugos de manzana y uvas clarificados (Saravacos, 1970).

La medida de viscosidad puede ser hecha no solamente para indicar la consistencia de productos terminados, sino también como una herramienta de control de calidad en la materia prima, como también en el producto y durante varias etapas del proceso para predecir la consistencia final. Debido a ello, en las ecuaciones del modelo matemático planteado para las diversas operaciones que forman un determinado proceso, intervienen las constantes reológicas de los fluidos que se procesan y que se deben determinar, generalmente, mediante experimentación en cada caso particular. Es por ello que es de suma importancia la caracterización reológica de las diferentes corrientes fluidas y la deducción de ecuaciones que permitan calcular directamente las constantes

reológicas en función del alimento considerado y de las variables de operación (Ibarz y col, 2005).

Entre los alimentos que se encuentran en fase líquida, bien sea en el proceso industrial de preparación, o bien en la presentación y utilización por el consumidor, puede citarse las pastas, purés, néctar, jugos, lácteos zumos naturales de frutas, salsas entre otros (Ibarz y col, 2005).

Por lo tanto a la hora de llevar a cabo la determinación del parámetro de viscosidad en dichos fluidos alimenticios, se debe tener en cuenta dos aspectos: en primer lugar que la viscosidad depende tanto de la velocidad de deformación como de la duración de la deformación, por ese motivo las determinaciones deben hacerse bajo condiciones especiales (Adamson, 1979).

Sin embargo cabe mencionar que los líquidos fluyen como si estuvieran compuestos de capas individuales; la fricción resultante de la resistencia al flujo entre las capas del líquido o la resistencia que presenta una sustancia a la deformación cuando está sujeta a una fuerza de deformación, es llamada consistencia o viscosidad aparente (Ibarz, Vicente y Graell, 2006).

Esta resistencia es el resultado del movimiento de moléculas en el interior del líquido debido al movimiento Browniano y a la fuerza de cohesión intermolecular. Algunos fluidos que son químicamente puros y físicamente homogéneos (Fluidos Newtonianos), tiene un valor constante de resistencia que es usualmente llamada viscosidad o viscosidad absoluta. Sin embargo, el término consistencia es comúnmente usado para productos alimenticios que no son químicamente puros ni físicamente homogéneos (Fluidos no Newtonianos) (Ibarz, Vicente y Graell, 2006).

1.2.1.3. Contextualización micro

Según Quintáns (2008), las medidas de viscosidad en fluidos alimenticios, se realizan con aparatos denominados viscosímetros o reómetros. Este último término se describe para aparatos más complejos que son capaces de explorar un amplio intervalo de esfuerzos cortantes y velocidades de corte así como de registrar variaciones de los parámetros reológicos con el tiempo. En general, la mayoría de estos aparatos funcionan de forma automatizada y solo requieren saber la selección del programa adecuado para el tipo de fluido y rango que se desea medir.

Los diferentes reómetros se muestran en la Figura 1 que aparece a continuación, clasificados por el fundamento en el que basan la medida que puede ser el originar un flujo mediante una presión conocida (viscosímetros de flujo) u originando un movimiento circular en el interior de un receptáculo (viscosímetros rotacionales).

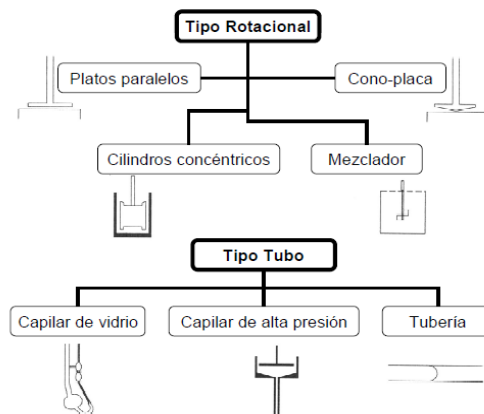


Figura 1. Instrumentos para medir las propiedades reológicas divididos en dos categorías: a) tipo rotacional y b) tipo tubo.

Es evidente que todos los instrumentos cuando operan con líquidos newtonianos rinden resultados empíricos, también los dan con los no newtonianos; así sucede con los viscosímetros de orificio, los penetrómetros y

los instrumentos que trabajan en condiciones de turbulencia.

Existen numerosos tipos de reómetros (Figura 1), con mecanismos de funcionamiento muy diversos y que miden distintas variables en intervalos de deformación o velocidad de cizalla muy diferentes. Según su principio de funcionamiento, los más utilizados son los viscosímetros capilares, se comentan a continuación las características generales de estos viscosímetros.

a) Viscosímetro capilares y de tubo

Los viscosímetros de tubo son muy útiles en la toma de datos reológicos. Estos instrumentos se suelen dividir en dos categorías: (i) los viscosímetros capilares, denominados comúnmente de tubo en U (ver Figura 2) y (ii) los capilares de alta presión (ver Figura 3). En los dos casos, este tipo de viscosímetros implica la existencia de una diferencia de presión para crear el flujo.

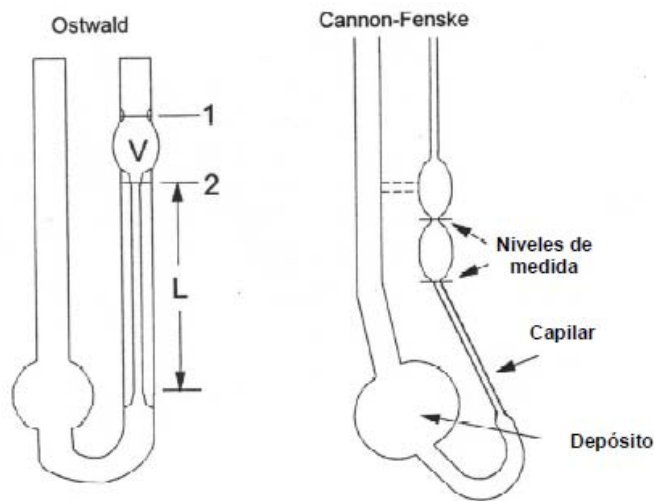


Figura 2. Viscosímetros capilares de vidrio (de tubo en U).

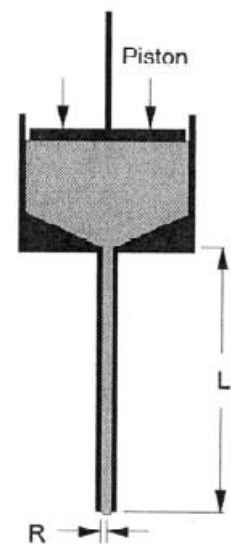


Figura 3. Viscosímetro capilar de alta presión

Viscosímetros capilares: Tipo Cannon-Fenske

Se basa en el tiempo de flujo de una cantidad determinada de un fluido por un tubo capilar. Para determinar su viscosidad se mide el tiempo que tarda en fluir una cantidad determinada. En este caso es un dispositivo experimental sencillo que permite obtener que un fluido circule con régimen laminar por el interior de un tubo largo y recto, manteniendo en condiciones de temperatura constante y se encuentra equipado con un instrumento que permite medir el gradiente de presiones, en puntos del tubo ubicado a cierta distancia de sus extremos (Martínez, 2005).

Un tubo capilar de cristal en el que el fluido cae por gravedad, son muy utilizados debido a que son baratos, fáciles de utilizar y de termostatar. 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. Sólo sirve para fluidos newtonianos. A continuación se observa las especificaciones de algunos viscosímetros capilares (Quintáns, 2008).

Table 4. Glass Capillary Viscometers^a

Approximate constant, C ^b	Viscosity range, mm ² /s	Capillary diameters, mm					
		Cannon-Fenske	Ubbelohde	FitzSimons	SIL ^c	Atlantic	Zeitfuchs
0.003	0.6–3.0	0.31 ± 0.02		0.43 ± 0.01	0.41 ± 0.02	0.41–0.42	0.28
0.005	1.0–5.0	0.42				0.47 ± 0.01	
0.01	2.0–10	0.63	0.58 ± 0.02	0.61	0.61	0.56	0.38
0.03	6–30	0.78	0.77	0.81 ± 0.03	0.73	0.74 ± 0.02	0.50
0.05	10–50		0.87		0.91	0.84	
0.1	20–100	1.02	1.10 ± 0.03	1.05	1.14 ± 0.03	1.00	0.67
0.3	60–300	1.26	1.43	1.32 ± 0.04	1.50	1.31 ± 0.02	0.88
0.5	100–500	1.48	1.64		1.71	1.48	
1	200–1,000	1.88	1.95	1.96	2.03	1.77 ± 0.03	1.20
3	600–3,000	2.20 ± 0.05	2.67 ± 0.04		2.80	2.34	1.42
5	1,000–5,000	3.10	3.06		3.06	2.65 ± 0.04	
10	2,000–10,000	4.0	3.62		3.79 ± 0.04		1.93
30	6,000–30,000						2.52
100	(2–10) × 10 ⁴						3.06

^aRef. 21.

^bConstant for equation $\nu = Ct$, where ν = kinematic viscosity in mm²/s.

^cStandard Inspection Laboratories.

Cuadro 1. Especificaciones de algunos viscosímetros capilares.

Algunos de los viscosímetros más sencillos se basan en el análisis del flujo por un tubo capilar, a través del cual el fluido fluye por gravedad; entre ellos está el viscosímetro Cannon –Fenske (Figura 4 y 5).

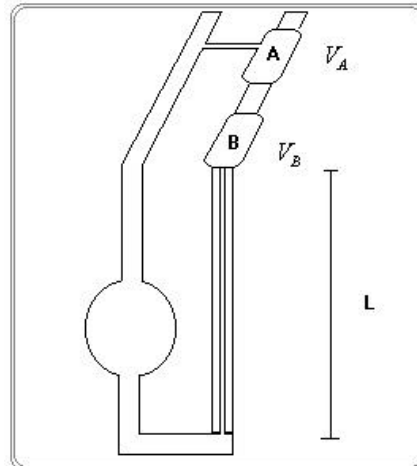


Figura 4. Diagrama de un viscosímetro de Cannon – Fenske



Figura 5. Viscosímetro Cannon – Fenske

Estos viscosímetros se encuentran comercialmente disponibles en vidrio y con varios diámetros del tubo capilar, de manera que se puede minimizar el tiempo de flujo de un fluido viscoso (Martínez, 2005).

El diseño de estos viscosímetros permite realizar experimentos relativamente

sencillos y de interpretación bastante directa. Los datos experimentales son interpretados con base a la ecuación de Hagen – Poiseuille, que resulta de un balance de cantidad de movimiento en un tubo cilíndrico (Martínez, 2005). Ésta ecuación se muestra a continuación.

$$Q = \frac{\pi \Delta P R^2}{8L\mu} \quad (1)$$

Donde:

Q es el flujo volumétrico del fluido.

ΔP es la caída de presión requerida para inducir el flujo.

R y L son respectivamente el radio y la longitud del capilar.

μ es la viscosidad del fluido.

En el caso de un viscosímetro Cannon – Fenske en el que el tubo se mantiene en posición vertical de tiene:

$$\Delta P = \rho gh \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación (2) en la ecuación (1) se puede calcular la viscosidad a partir de la siguiente expresión:

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{ghR^4}{8LQ} \quad (3)$$

Para obtener los datos experimentales necesarios, lo que se hace comúnmente es determinar el tiempo de vaciado, t_e , del bulbo inferior del viscosímetro (Figura 1). Este tiempo está relacionado con el volumen del bulbo V_B y el flujo volumétrico a través del cociente $\frac{V_B}{Q}$. Ahora bien, si ordenamos la ecuación (3) en términos de t_e , obtenemos la siguiente expresión.

$$\frac{\mu}{\rho} = \frac{ghR^4 t_e}{8LV_B} \quad (4)$$

Para un viscosímetro en particular, los parámetros geométricos en la ecuación (4) son específicos y pueden ser agrupados en una constante, k_v . La viscosidad cinemática puede expresarse de la siguiente manera:

$$v = \frac{\mu}{\rho} = k_v t_e \quad (5)$$

La constante del viscosímetro puede determinarse a partir de experimentos con un fluido de densidad y viscosidad conocida.

b) Capilar a alta presión

Mide el caudal de fluido que se crea al establecer una presión en un extremo. Es rápido, sencillo, y requiere un caudal bajo.

Dentro de este tipo de reómetros se encuentra el equipo analizador de textura de la firma Stable Micro Systems (SMS). Su diseño es compacto, ligero y de dimensiones pequeñas. 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 entre otros. El accesorio adaptado a este texturómetro, es una jeringuilla de vidrio de 5 ml de capacidad. 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, 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 transferida al sistema Windows (Stable Micro System, 1997).

Una ventaja interesante, es el sistema de mensajes para aviso en el caso de errores, lo cual permite revisar las condiciones de operaciones fijadas y solucionar el problema. Este método se considera de mayor confiabilidad, si es

correctamente utilizado, sin las desventajas de este es que no se puede termostatar y su costo es muy alto y muy variable ya que depende de varios factores, entre ellos el número de accesorios posibles de ser incorporados (Stable Micro System, 1997).



Figura 6. Equipo universal TA – XT2i.

1.2.2 Análisis crítico del problema

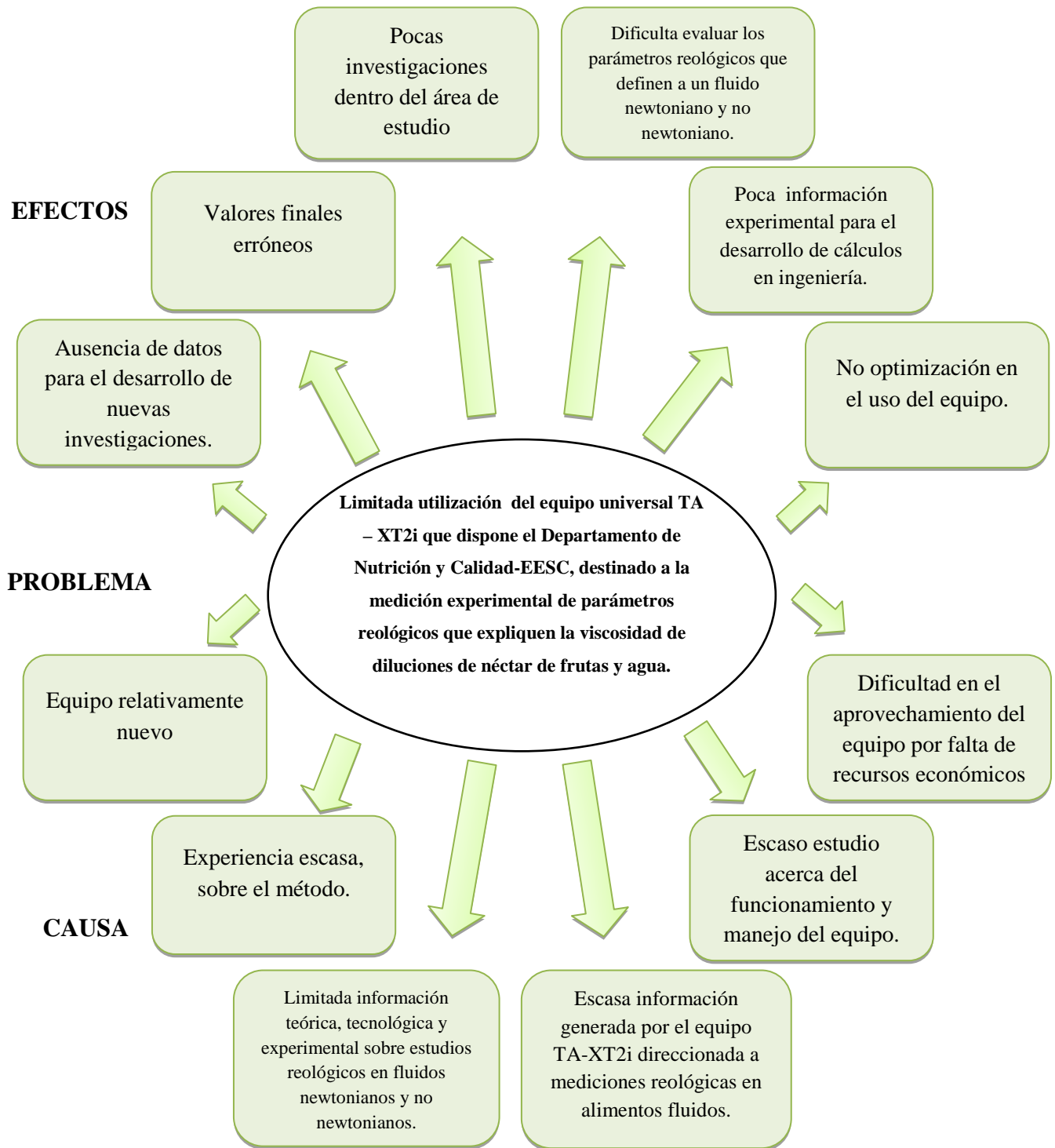


Figura 7. Árbol de problemas

Elaborado por: Nataly Panchi.

1.2.2.1 Relación Causa-Efecto

Causa: Escasa información generada por el equipo TA-XT2i direccionada a mediciones reológicas en alimentos fluidos.

Efecto: Dificulta evaluar los parámetros reológicos que definen a un fluido newtoniano y no newtoniano.

Luego de haber efectuado el análisis crítico del problema, se determinó que la escasa información generada por el equipo TA-XT2i direccionada a mediciones reológicas en alimentos fluidos, dificulta evaluar los parámetros reológicos que definen a un fluido newtoniano y no newtoniano, por lo que el estudio se basa en el empleo del equipo universal TA-XT2i para determinar dichos parámetros en disoluciones de néctar de frutas y agua.

1.2.3 Prognosis

El presente estudio constituye una interesante vía de investigación dentro de la industria alimentaria, mecánica, estadística, por lo que al no disponer de un equipo relativamente nuevo direccionado a mediciones de parámetros reológicos, existirá ausencia de datos para el desarrollo de nuevas investigaciones.

Se deberá buscar información que permitan tener un conocimiento previo sobre la metodología a aplicarse en el equipo universal TA – XT2i, de esta manera se minimizarán valores finales erróneos al realizar las correspondientes mediciones.

Además al no realizar esta investigación de práctica integrada de reología en fluidos alimenticios, generará una limitada información teórica, tecnológica y experimental sobre estudios reológicos en fluidos newtonianos y no newtonianos., por lo cual habrá pocas investigaciones dentro del área de estudio.

Por último, al no incursionar en el uso del equipo universal TA – XT2i, mediante un nuevo ensayo instrumental, provocará ausencia de datos para el desarrollo de nuevas investigaciones, por ende cálculos de ingeniería, por lo cual se pretende generar información que permita incrementar el uso del equipo, ya que últimos estudios explican que por su versatilidad presenta muchas opciones para determinar propiedades reológicas en los alimentos fluidos.

1.2.4 Formulación del problema

¿Cómo varían los parámetros reológicos: índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n) de néctares de durazno, mango y manzana en función al contenido de sólidos solubles?

Variable independiente: Efecto de los néctares de frutas y el contenido de sólidos solubles.

Variable dependiente: Parámetros reológicos: índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n).

1.2.5 Interrogantes

- ¿La experiencia escasa sobre el método de medición de viscosidad mediante el uso del equipo universal TA – XT2i, genera valores finales erróneos?
- ¿Una limitada información teórica, tecnológica y experimental sobre estudios reológicos en fluidos newtonianos y no newtonianos, hace que existan pocas investigaciones dentro del área de estudio?
- ¿La dificultad en el aprovechamiento del equipo por falta de recursos económicos influye en la no optimización del uso del equipo?
- ¿Al ser un equipo relativamente nuevo influye en el aporte de información valiosa para futuras investigaciones?

1.2.6 Delimitación del objeto de investigación

Campo Científico : Ingeniería de Alimentos.

Área : Reología.

Aspecto : Viscosidad y parámetros reológicos.

Delimitación temporal

El tiempo de realización del problema será el mes de Abril del 2012 y la investigación se efectuará entre los meses de Mayo 2012 – Mayo 2013.

Delimitación espacial

El presente trabajo de investigación se realizará en la Estación Experimental Santa Catalina – Departamento de Nutrición y Calidad de INIAP.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Uno de los parámetros a medir dentro de la industria alimentaria es la viscosidad, la cual además de ser una variable de gran influencia en las mediciones de flujo de fluidos, se usa como punto de referencia en la formulación de nuevos productos facilitando la reproducción de la consistencia final.

El mercado de bebidas de frutas naturales tiene importancia a nivel mundial y bajo los estándares de calidad establecidos se muestra como una interesante oportunidad para la investigación dentro de la agroindustria ecuatoriana, especialmente, porque Ecuador se encuentra ya formando parte de las listas de los principales productores de bebidas de frutas para el consumo de su población.

No obstante, dentro de los productos naturales y elaborados, los datos publicados específicamente para néctares son limitados, de tal manera se busca ampliar la información existente de algunos néctares de frutas, en

especial de durazno, mango y manzana para su uso en cálculos de ingeniería y desarrollo de tecnologías.

Por lo anterior, la necesidad de entender nuestro mundo ha llevado al ser humano a desarrollar nuevas técnicas que le permitan interpretar mejor los conocimientos que adquiere mediante la observación, e incluso la tecnología ha permitido analizar la naturaleza sin la intervención del hombre. Esto se debe a que el ser humano no tiene la capacidad de medir ciertos fenómenos por sus propias limitaciones.

Para poder medir este parámetro, viscosidad, se han desarrollado diversos equipos, cuyo mecanismo determina el alcance que tiene para comparar diversos fluidos. Dicho mecanismo puede ser simple o muy complejo, lo que a su vez determina su precio en el mercado. Las principales diferencias entre los viscosímetros existentes son: técnica empleada, exactitud, automatización y precio.

Se trabajarán con néctar de frutas especialmente, pues estudios anteriores sobre viscosidad en jugos filtrados, mencionan que se puede definir una relación matemática con significado estadístico entre los grados Brix y la viscosidad por cada producto en forma individual. De tal manera la adaptación de un nuevo ensayo instrumental de mediciones reológicas en el equipo universal TA-XT2i operado por el software TextureExpert, para medir parámetros reológicos que interpreten la viscosidad de diluciones de néctar de frutas y agua. Además este ensayo operado por una celda de carga de apenas 5 kg, significa un escalamiento en referencia a la propuesta académica de Tripaldi para la medición reológica de alimentos.

En base a estudios anteriores, los néctares de fruta son diferentes en base a su composición (tipos de pectina que son aportados por las frutas constituyentes), por tal razón es de interés conocer su comportamiento reológico en función a la

variación del contenido de sólidos solubles de los néctares de durazno, mango y manzana, para esto, se busca obtener datos que permitan, la determinación de dichos parámetros mediante el uso del equipo universal TA-XT2i al aplicar una nueva metodología de medición.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- Determinar la viscosidad o los parámetros reológicos de bebidas a base de frutas a diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2i.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Comprobar mediante modelos matemáticos, el comportamiento newtoniano de agua y no newtoniano de muestras de diluciones de néctar de frutas.
- Determinar los parámetros reológicos: Índice de consistencia (k) e Índice de comportamiento de flujo (n) en agua y diluciones de néctar de frutas, mediante el uso del equipo universal TA-XT2i, por cuantificación del esfuerzo de deformación (τ) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$).
- Analizar la influencia de la concentración de sólidos solubles en néctar de durazno, mango y manzana en la variación del índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n).
- Establecer los modelos matemáticos que interpreten las mediciones instrumentales del equipo universal TA-XT2i para la viscosidad del agua y los parámetros reológicos de diluciones de néctar de frutas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Se han publicado numerosas investigaciones orientadas al estudio reológico de pulpas y néctares de frutas, entre las publicaciones revisadas destaca Rao (1986) el cual indica que un elevado número de los fluidos alimenticios no-newtonianos presentan un comportamiento pseudoplástico, entre ellos: jugos concentrados de frutas, chocolate fundido, mostaza, crema de leche, huevo entero descongelado, clara de huevo, entre otros. En este grupo también se encuentran incluidos los purés y las pulpas de frutas y vegetales. Así como también Steffe, (1992), para varios productos elaborados con diferentes frutas, reportó los datos de índice de consistencia y del índice de comportamiento de flujo, que los caracterizan como fluidos pseudoplásticos.

Ramos y col., (2006), caracterizaron las propiedades viscoelásticas de pulpa de membrillo a diferentes concentraciones de sólidos solubles. El estudio fue realizado en el intervalo de concentraciones de 12,3 a 28,0 °Brix. Los

resultados demostraron un predominio del carácter viscoso sobre el carácter elástico de la pulpa de 16 a 20 °Brix.

Otros estudios realizados indican que el modelo de ley de potencia ha sido utilizado para describir el comportamiento reológico de la pulpa de mango (*Mangífera indica* L-Keitt) centrifugado de 10°C a 60°C (Vidal y col., 2004), pulpa de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) de 25°C a 60°C (Nindo y col., 2005) y miel de abeja de 10°C a 50°C (Pereira y col., 2003).

Dak y col.,(2006) estudiaron las características del flujo del jugo de mango y evaluaron los parámetros reológicos utilizando un viscosímetro rotacional a temperaturas entre 20 y 70 °C, en el intervalo de 11,69 y 26 % de sólidos totales. A partir de los resultados experimentales se determinó que el mejor ajuste se obtuvo con la ley de la potencia, resultando valores para el índice de comportamiento de flujo (n) menores que la unidad (0,20–0,33) para todas las temperaturas y concentraciones, revelando el comportamiento pseudoplástico del jugo. Una correlación entre el coeficiente de consistencia y el inverso de la temperatura absoluta en el intervalo $0,32 - 80,09 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ fue obtenida a partir de la ecuación de Arrhenius. La ley de potencia indicó que el índice de consistencia decrece de manera no lineal con respecto a la concentración. Se encontró que la energía de activación estuvo en el rango de 3,8 a 13,7 kJ/mol.

Silva y col., (2005) evaluaron el efecto de la temperatura y la concentración sobre el comportamiento reológico del jugo de acerola (*Malpighia marginata*), determinando que este jugo presenta un fuerte comportamiento no newtoniano con características pseudoplásticas.

Investigaciones realizadas por Vidal y col., (2004) y Pelegri y col., (2000), sobre el comportamiento reológico de la pulpa de mango, se concluyó que este producto presenta un comportamiento no newtoniano característico de un fluido pseudoplástico.

Otro estudio publicado en la revista VITAE, de la Facultad de Química Farmacéutica de la Universidad de Antioquía, desarrollado por Andrade y col., (2009), con el tema Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) variedades Híbrido de KlomSali, Puerto Rico, D14 y Red, indican que, las medidas reológicas realizadas con un viscosímetro Brookfield modelo DV-II+ Pro, utilizando la aguja N° 5 para las variedades Klom Salí, Puerto Rico y Red, y N° 6 para la variedad D14 su comportamiento reológico se ajusta adecuadamente al modelo de Oswald de Waele o ley de potencia ($R^2 \geq 0.989$), comportándose como un fluido seudoplástico ($n \leq 0.307$) y presentando tixotropía las variedades Puerto Rico (14.16%), Red (18.54%) y D14 (18.48%).

Sánchez y col. (2002) evaluaron el efecto de la temperatura sobre el comportamiento reológico de la pulpa de guayaba utilizando un intervalo de temperaturas de 10°C a 40°C, concluyeron que este comportamiento puede ser representado por la ley de potencia. Además el índice de comportamiento de flujo (n) de la pulpa de guayaba arrojó un valor menor que la unidad, lo que caracteriza a un comportamiento pseudoplástico.

El trabajo publicado en CIBIA VI, por Andrade y col. (2007), titulado, Comportamiento reológico de la pulpa de zapote (*Calocarpum sapota* Merr), concluyeron que, utilizando un viscosímetro Brookfield modelo Dv-II + Pro, el comportamiento reológico de la pulpa de zapote a 20°C se ajusta adecuadamente a la ley de potencia y se comporta como un fluido seudoplástico, además presenta un comportamiento independiente con el tiempo.

Así también, el trabajo de Alvarado (1996) reporta el uso del viscosímetro Brookfield con sus respectivos adaptadores para evaluar las propiedades reológicas como índices de control de calidad de los siguientes productos lácteos: crema batida de leche, mantequilla, dulce de leche y yogurt. Otras aplicaciones del viscosímetro Brookfield se evidencia en el trabajo sobre

parámetros reológicos para caracterizar pulpas de bananos, mediante el uso de diversos rotores (LV4, LV3) y en el estudio de frutas cítricas, incluido los aceites esenciales, en el cual, las propiedades reológicas se han evaluado con la ayuda de adaptadores UL constituidos por cilindros de abertura estrecha, para comprobar el comportamiento newtoniano.

Alvarado (1996) presenta datos de parámetros reológicos para caracterizar el flujo en pulpas de frutas calculando el índice de consistencia, el comportamiento de flujo y el valor de energía de activación con el modelo tipo Arrhenius. Presenta dichos valores en diez y siete variedades de frutas, existiendo diferencias significativas entre las muestras, anotando como dificultad la heterogeneidad de éstas, que depende de varios factores como madurez, cosecha, tiempo y condiciones de transporte y almacenamiento de las frutas, que finalmente influyen en estas características y se manifiestan en los parámetros presentados.

Saravacos (1970) indica que los zumos clarificados y despectinizados se comportan como fluidos newtonianos, mientras que los clarificados, pero con pectinas, presentan un comportamiento pseudoplástico.

Existen otros métodos convencionales para estudiar el comportamiento reológico en fluidos alimenticios, sin embargo, actualmente se están desarrollando nuevas propuestas tecnológicas que permiten medir viscosidad en alimentos líquidos, tal es el caso de Tripaldi y col. (2007), en su trabajo titulado, Propuesta de una práctica integrada de reología de alimentos, el cual indica el comportamiento reológico de 7 salsas comerciales, utilizando un viscosímetro capilar de presión variable, obtenido por acople de un capilar de vidrio a una jeringuilla de vidrio de 3 ml de capacidad, aplicando sobre la misma, un esfuerzo mecánico, mediante pesas de calibración de valores conocidos. De esta manera el experimento establece que las salsas estudiadas tienen un comportamiento reológico parecido, presentando un comportamiento

lineal bien definido y un esfuerzo límite de cizalla, perteneciendo al grupo de los fluidos plásticos de Bingham.

En el tema de manejo y restitución de propiedades de zumos de frutas, diversos autores han establecido relaciones matemáticas tipo potencial y exponencial entre el contenido de sólidos solubles y la viscosidad (Ibarra, Vicente y Graell, 2006; Rao, Cooley y Vitali, 1984; Vitali y Rao, 1984; Alvarado, 1996). Costell y Durán (1982), mencionan que el contenido y tipo de pectinas y de pulpa afecta al comportamiento reológico de los jugos en mayor medida que los azúcares solubles, pues la diferente composición de los frutos considerados explica su comportamiento particular.

Dentro del área de estudio, el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina – Quito, dispone de un equipo del tipo Instron o TA-XT2i, mismo que opera a través de un software específico, tanto el funcionamiento, como las mediciones son totalmente computarizadas y posee un sistema de mensajes de aviso en el caso de errores de operación; está diseñado para trabajar con celdas de carga desde 5 kg y una amplia diversidad de accesorios de compresión, tensión y cizalla para ejecutar ensayos como dureza en muestras sólidas y semisólidas (Stable Micro System, 1997).

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

Al tratarse de una investigación experimental, donde se busca la explicación, predicción y control de fenómenos físico – químicos; el enfoque del estudio se lo relaciona a una dirección positivista (cuantitativo) y naturalista (cualitativo), donde la generalización científica se basa en leyes naturales inmutables.

El paradigma positivista y naturalista, se caracteriza por el alto interés por la verificación del conocimiento a través de predicciones. Algunos lo llaman “el paradigma prediccionista”, ya que lo importante es plantearse una serie de

hipótesis como predecir que algo va a suceder y luego verificarlo o comprobarlo. En las ciencias exactas y naturales es en donde tiene mayor aplicación.

El positivismo y naturalista acepta como único conocimiento válido al conocimiento verificable y mensurable, visible. El positivismo no acepta la pertinencia de otras perspectivas, de otros procedimientos metodológicos y otros tipos de conocimientos de interpretación de la realidad; lo que importa para el positivista es la cuantificación y medir una serie de repeticiones que llegan a constituirse en tendencias, a plantear nuevas hipótesis y a construir teorías, todo fundamentado en el conocimiento cuantitativo.

Los aspectos cuantitativos están sólidamente mezclados con aspectos cualitativos. Desde que se concibió la estadística como una manera de cuantificarlo todo a través de muestras, se encontró la metodología más idónea y coherente para el paradigma positivista, para poder explicar, controlar y predecir.

El estudio del conocimiento existente en un momento dado, conduce a la formulación de nuevas hipótesis, en la cuales se interrelacionan variables, cuya medición cuantitativa, permitirá comprobarlas o refutarlas en el proceso de investigación. Se busca una correlación causa-efecto, donde los investigadores mantienen una actitud neutral frente a los fenómenos. El experimento y la observación son considerados los métodos fundamentales del conocimiento científico.

Los resultados objetivos y cuantificados obtenidos experimentalmente determinarán o no la validez de la predicción inicial. Para arribar a la fiabilidad de los resultados se necesitará delimitar con criterios estadísticos una muestra representativa de una determinada población. Solo así los resultados alcanzados pueden considerarse con validez universal, aplicables a cualquier contexto y situación.

2.3 FUNDAMENTACIÓN SOCIOLÓGICA

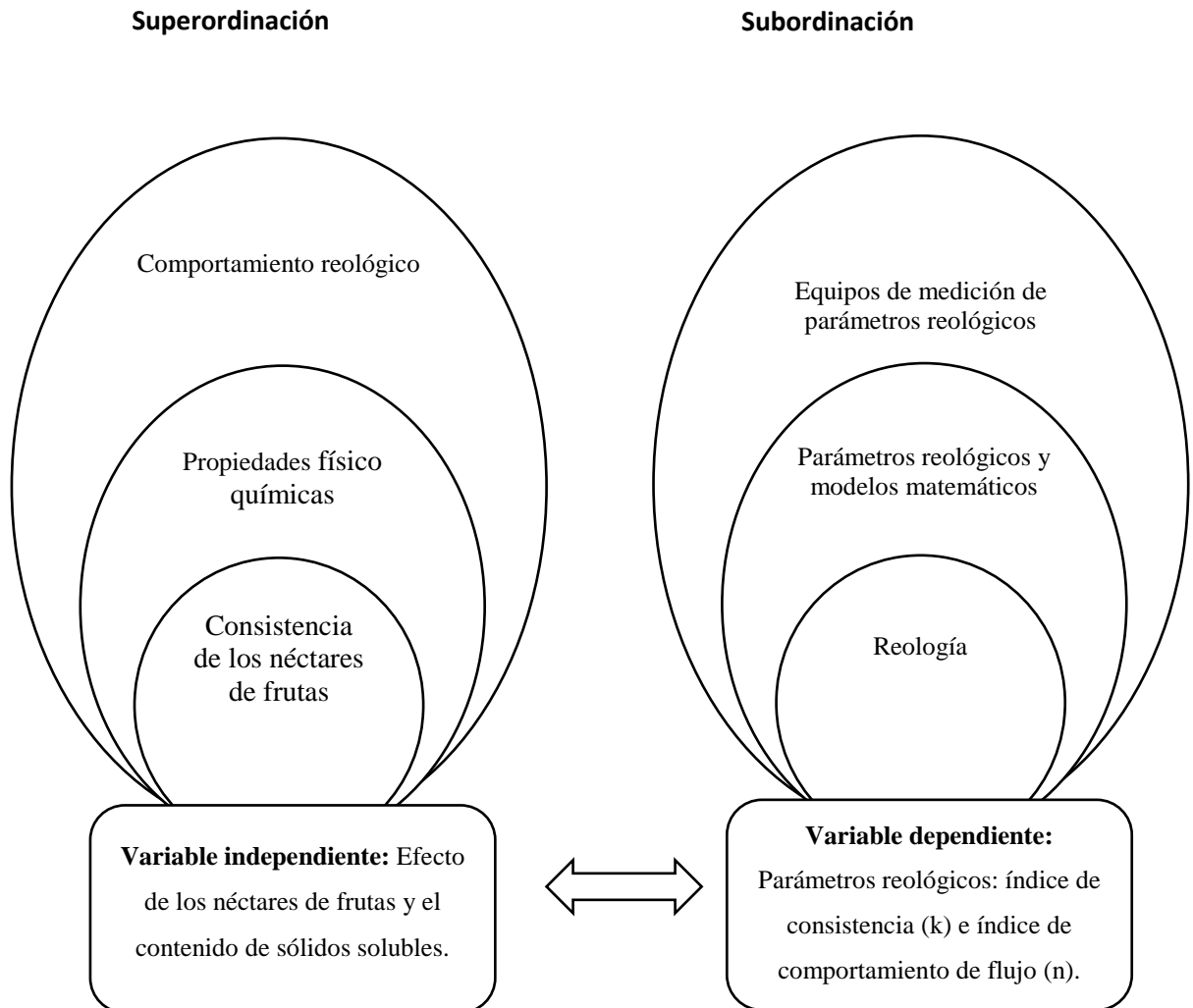
El perfil de investigación científica, está direccionado a la determinación de parámetros reológicos en muestras de néctar de frutas a diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante la adaptación de un nuevo accesorio que permita realizar estos ensayos instrumentales de reología en el equipo universal TA – XT2i, con la finalidad de que expliquen el comportamiento newtoniano y no newtoniano de las muestras, cuyos resultados sean válidos y confiables mediante el desarrollo de ecuaciones matemáticas. De esta manera el trabajo abarcará con información relevante para el Departamento de Nutrición y Calidad de INIAP, empresas privadas que tengan este equipo universal y estén interesados en optimizar su uso en futuras investigaciones.

2.4 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

La base legal de este proyecto es el cumplimiento de las normas INEN pertenecientes a zumos (jugos) y néctares de frutas y a sus análisis respectivos para determinar los diversos parámetros se detallan a continuación.

- ✓ Norma CODEX STAN 247 – 2005 para zumos (jugos) y néctares de frutas.
- ✓ Norma INEN 14: Determinación de sólidos totales.
- ✓ Norma INEN 381: Determinación de acidez titulable.
- ✓ Norma INEN 389: Determinación de pH
- ✓ Método oficial de la AOAC 988.06. Specific Gravity of Beer and Wort. Digital Density Meter Method. First Action 1988.

2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



MARCO CONCEPTUAL DE LA VARIABLE INDEPENDIENTE

2.5.1 Durazno (*Prunus persica*)

Según Herrero y Guardia (1992), el melocotón o durazno (*Prunus persica*) es el nombre tanto del árbol como de la fruta que produce; ésta contiene una única y gran semilla encerrada en una cáscara dura, es de piel aterciopelada (roja o amarilla), posee una carne amarilla o blanquecina, e inviste un sabor dulce con un regusto ácido que despide un delicado aroma; pertenece a la subfamilia

pronoides (drupa), y junto con las ciruelas y albaricoques es de las drupas más representativas.

El durazno también es rico en vitaminas, por ejemplo presenta un destacable contenido de vitamina C desde la piel (parte más rica) hasta la zona próxima al hueso; en menores proporciones se encuentran también la vitamina E, vitamina B2 y B6, así como el ácido pantoténico.

2.5.2 Mango (*Magnifera indica* L.)

El mango (*Magnifera indica* L.) pertenece a la familia Anarcardiaceae, que incluye alrededor de 600 miembros. Es una fruta popular y conocida como el rey de las frutas. Su cree que es una de las frutas más antiguas cultivadas; su origen es encontrado en la región IndoBurma. Su temperatura óptima de crecimiento es aproximadamente 24°C – 27°C, en suelos cuyo pH esté alrededor de 5.5 – 7.5 (Purseglove, 1974).

Es una fruta climatérica que en estado de maduración, ideal para el consumo, dura pocos días (Wu et al., 1996).

El mango se caracteriza por ser una fuente importante de vitamina A, B y contiene cantidades variantes de Vitamina C (Purseglove, 1974). Su composición depende de la variedad, así como en el estado de madurez que se tenga (Stafford, 1983). El contenido de ácido ascórbico y la acidez total disminuye durante el desarrollo del fruto, mientras que los carotenoides y azúcares totales aumentan (Laskshminarayana, 1973).

2.5.3 Manzana (*Pyrus malus* L.)

La manzana (*Pyrus malus* L.), pertenece a la familia rosácea; esta familia incluye más de 2000 especies de plantas arbustivas y herbáceas, distribuidas generalmente en las regiones templadas alrededor del mundo (Sanchez, 2004; INFOAGRO, 2003). Los frutos, generalmente, son ovoides, la pulpa puede ser dura o blanda, esto depende de la variedad y madurez del fruto, con un sabor

agradable y dulce por su contenido de azúcares comunes (fructosa y glucosa) y presenta numerosas semillas de color pardo. Las manzanas para su comercialización deben alcanzar un calibre entre 75 y 85mm o superiores (Sánchez, 2004).

Dentro de los componentes presentes en la manzana están los azúcares comunes, en su mayor parte fructosa, que al ser consumidos constituyen un elemento energético para el organismo. También se encuentran diversos ácidos, entre los principales: el ácido tartárico, el ácido cítrico y el ácido málico, los mismos que estimulan las funciones digestivas, y favorecen así al apetito. Además, a la manzana se le atribuye propiedades dietéticas, pues en su composición están presentes flavonoides, que actúan como antioxidantes (Torres, 1980; Eroski, 2004).

MARCO CONCEPTUAL DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

2.5.4 Determinación de las propiedades reológicas

Según Pierce, (1982), las propiedades reológicas de un fluido forman parte de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, ellas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado y envasado, almacenamiento y estabilidad física, e incluso en el momento del consumo (textura).

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

2.5.4.1 Esfuerzo de corte (τ)

Woyzechowsky, (2002). Se le suele llamar: Tensión tangencial, Tensión de cizalla, Tensión de corte, Fuerza superficial, Shear Stress (en inglés). Se define el esfuerzo de corte (τ) (Figura 8), como la fuerza por unidad de área necesaria para alcanzar una deformación dada (Ecuación 6). La unidad de esta magnitud más comúnmente utilizada es el Pascal (Pa).

$$\tau = \frac{F}{A} [\text{Pa}] \quad (6)$$

Donde:

τ : Esfuerzo de corte (Pa)

F : Fuerza (N)

A:Área (m^2).

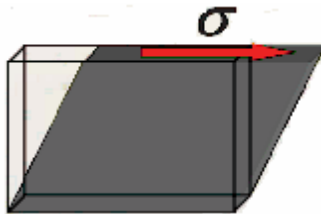


Figura 8. Esfuerzo de corte

2.5.4.2 Velocidad de deformación (γ)

La velocidad de deformación (γ) se define como el gradiente (velocidad espacial de cambio) del perfil de velocidades. La velocidad de corte es igual a, la diferencia de velocidades en un determinado espacio y la ecuación 7 define matemáticamente este parámetro (Woyzechowsky, 2002). Tiene como unidad el inverso del tiempo, donde el más comúnmente usado es el s-1. La velocidad de corte se incrementa a medida que la velocidad de la placa superior aumenta y la distancia entre las placas se hace más pequeña (Figura 8) (Barnes, 1989).

$$\frac{dy}{dt} = \gamma = D \frac{du}{dy} = (s^{-1}) \quad (7)$$

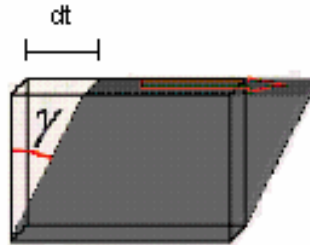


Figura 9. Velocidad de deformación

2.5.4.3 Viscosidad

La viscosidad se utiliza como un indicador cuantitativo de calidad en la industria de los aceites, la petroquímica, de los alimentos, la farmacéutica, la textil, de las pinturas, entre otras (Irving, 1995). Es la propiedad del líquido que define la magnitud de su resistencia debida a las fuerzas de cizalla en su interior, siendo la propiedad del líquido que más influye en las características de flujo. (Ibarz, Barbosa, Garza y Gimeno 2000; Rosenthal, 2001; Sing y Heldman, 1984). La viscosidad se debe principalmente a las interacciones entre las moléculas del fluido (Duarte, y col. 2004).

Otra forma de definir la viscosidad es como la relación entre el esfuerzo de corte (τ) y la tasa de deformación (γ) adoptada por el fluido; tal como se muestra en la ecuación 8.

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \quad (8)$$

Donde:

μ : Viscosidad (Pa.s) o (kg/m.s) en el sistema internacional de unidades.

τ : Esfuerzo de corte (Pa)

γ : Velocidad de deformación (1/s).

2.5.4.3.1 Viscosidad dinámica

La viscosidad dinámica es la propiedad del fluido en virtud de la cual éste ofrece resistencia a las tensiones de cortadura. Es decir la viscosidad absoluta representa la viscosidad dinámica del líquido y es un término muy utilizado para fines prácticos (Ibarz, Vicente y Graell, 2006; Agustín, 2005; Write, 1979).

2.5.4.3.2 Viscosidad aparente

La viscosidad aparente, se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación para fluidos de comportamiento no lineal. Este término que se utiliza al hablar de “viscosidad” para fluidos no Newtonianos, (Write, 1979).

2.5.4.3.3 Viscosidad cinemática

La viscosidad cinemática es la relación entre la viscosidad dinámica y la densidad del fluido (Ibarz, Vicente y Graell, 2006), ecuación 9.

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (9)$$

Donde:

v : Es la viscosidad cinética en centiStokes (cS).

μ : Viscosidad dinámica en Centipoise (cP)

ρ : Densidad (g/cm^3) del fluido.

(González, 2009). Si se representa la curva de fluidez (esfuerzo cortante frente a velocidad de deformación) se define también como la pendiente en cada punto de dicha curva.

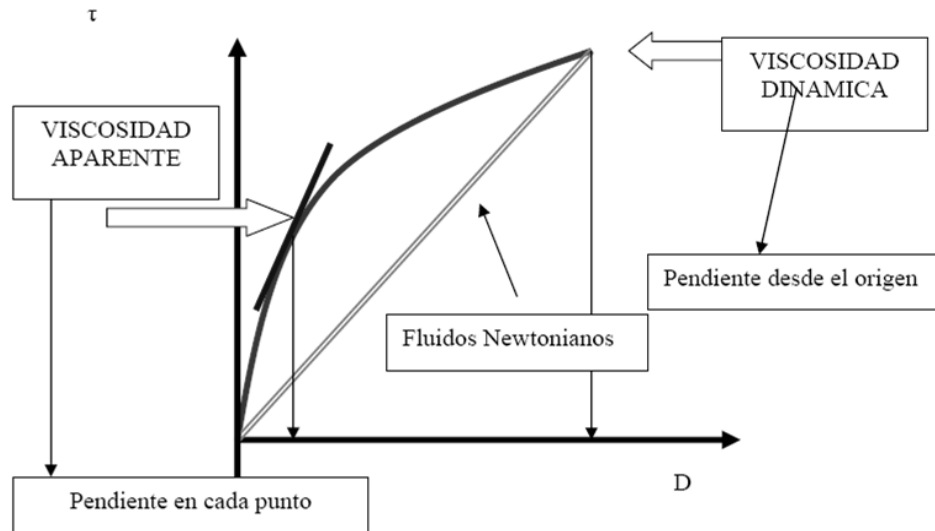


Figura 10. Curva de fluidez para representar la viscosidad dinámica y aparente.

2.5.4.4 Unidades

Las unidades de viscosidad dinámica más utilizadas son los Pascales y miliPascales por segundo (Pa·s) y (mPa·s). Se debe tener en cuenta que $1000 \text{ mPa}\cdot\text{s} = 1 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Además, el sistema cegesimal aún se sigue usando, siendo la unidad de medida el centiPoise (cP). La conversión de unidades entre los dos sistemas es: $1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ y $1 \text{ Poise} = 1 \text{ gr}/\text{cm}\cdot\text{s}$. La Tabla 1 presenta los valores de viscosidad para sustancias típicas a temperatura y presión ambiente.

Tabla 1. Valores de viscosidad de diversas sustancias.

Fluidos	Viscosidad aproximada (mPa·s)
Vidrio Fundido	10^{15}
Betún	10^{11}

Polímeros fundidos	10^6
Miel líquida	10^4
Glicerina	10^3
Aceite de oliva	10^2
Agua	10^0
Aire	10^{-2}

Fuente: Heldman, 2009

Unidades de la viscosidad:

$$\mu = \frac{\tau}{\left(\frac{d\mu}{dy}\right)} = [ML^{-1}T^{-1}] = \frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{m}{s}} = \frac{Ns}{m^2} = \frac{kg \frac{m}{s^2}}{m^2} = \frac{kg}{ms} = Pa \cdot s = cP \quad (10)$$

Viscosidad cinética:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\frac{kg}{ms}}{\frac{kg}{m^3}} = \frac{m^2}{s} \quad (11)$$

$$1m^2/s = 10^4 \text{ stoke (St)} = 10^6 \text{ centistokes (cSt)}$$

2.5.5 Clasificación de los fluidos según su comportamiento reológico

(Tovar, 2010). Para una mayor comprensión de los problemas que se plantean en el estudio de las propiedades reológicas de los alimentos, a continuación se presentan una clasificación de los diversos alimentos fluidos habituales, según su comportamiento reológico.

De modo general, la mayoría de los autores coinciden al hacer una primera clasificación entre fluidos Newtonianos y no-Newtonianos, según su comportamiento reológico siga o no la Ley de Newton de la viscosidad. Además

existen alimentos en los que su comportamiento depende del tiempo de actuación del esfuerzo realizado sobre ellos.

La ecuación de la Ley de Newton de viscosidad de un fluido es (ecuación 13)

$$\tau = -\mu \frac{du}{dy} \quad (12)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante (Pa)

μ : Viscosidad dinámica del fluido (Pa.s)

du/dy : Velocidad de deformación del fluido (s^{-1}) = γ

Así, la clasificación de los fluidos alimentarios según su comportamiento reológico puede establecerse de la siguiente forma:

- ✓ Fluidos Newtonianos.
- ✓ Fluidos no-Newtonianos.
 - Independientes del tiempo.
 - Plásticos de Bingham.
 - Pseudoplásticos.
 - Dilatantes.
 - Dependientes del tiempo.
 - Fluidos tixotrópicos.
 - Fluidos reopéticos.
- ✓ Fluidos viscoelásticos.

2.5.5.1 Fluidos Newtonianos

Los fluidos Newtonianos son aquellos que obedecen la ley de Newton. En estos existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante τ y el gradiente de

velocidad dv_z/dy (velocidad cortante). Esto significa que la viscosidad μ es constante e independiente de la velocidad cortante (Ramírez, 2006).

González, (2009). Para una mejor comprensión de este tipo de fluido se representan dos tipos de gráficas, la “Curva de Fluidez” y la “Curva de Viscosidad”. En la curva de fluidez se muestra (a) el esfuerzo cortante frente a la velocidad de deformación (τ vs $\dot{\gamma}$), mientras que en la curva de viscosidad se representa la viscosidad en función de la velocidad de deformación (μ vs $\dot{\gamma}$).

Para un fluido newtoniano estas curvas tienen la forma típica indicada en la Figura 11.

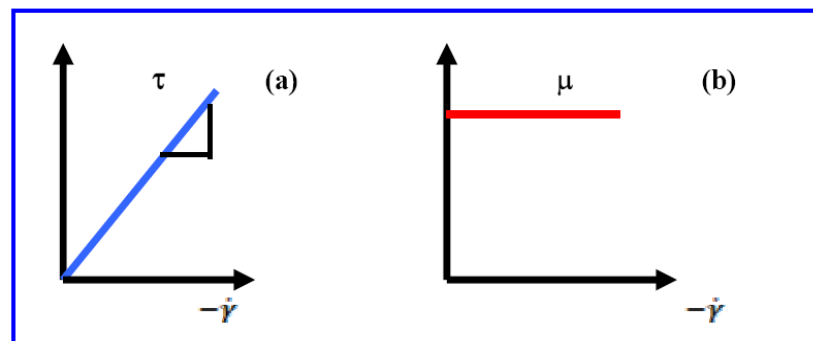


Figura 11. Curvas de viscosidad para un fluido Newtoniano a) (τ vs $-\dot{\gamma}$) (μ vs. $-\dot{\gamma}$) (Steffe, 1992).

Como se puede observar en la curva de fluidez, el valor de la viscosidad μ es la tangente al ángulo que forman el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, que es constante para cualquier valor aplicado. Además se observa en la curva de viscosidad que la viscosidad es constante para cualquier velocidad de deformación aplicada.

2.5.5.2 Fluidos no Newtonianos

Un fluido no-Newtoniano es aquel cuya viscosidad (resistencia a fluir) varía con la velocidad de deformación o cizallamiento que se le aplica; es decir, se deforma en la dirección de la fuerza aplicada (Agustín, 2005). Como resultado,

un fluido no-Newtoniano no tiene un valor de viscosidad definido y constante, a diferencia de un fluido Newtoniano (Ramírez, 2006; Chhabra, 1999).

Un claro ejemplo de comportamiento no newtoniano, ampliamente documentado en bibliografía (Gómez, y col., 2004; Linfberg, y col., 1987; Gómez, y col., 2002), son las dispersiones hidrocoloidales. La característica prácticamente más importante de las gomas (carbohidratos), es la modificación que introducen en las propiedades reológicas de los alimentos a los que se añaden (Alderman, 2004).

Por lo común, los fluidos no-Newtonianos se clasifican con respecto a su comportamiento en el tiempo, es decir, pueden ser dependientes del tiempo o independientes del mismo (Figura 12).

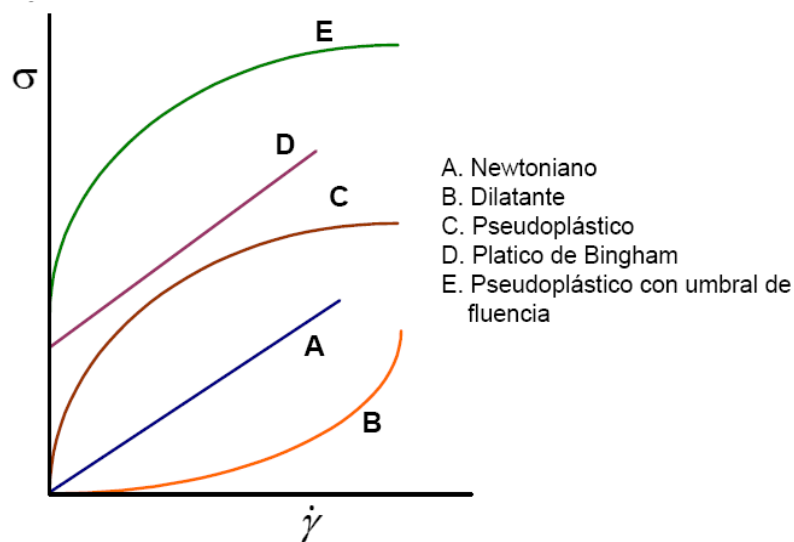


Figura 12.Diferentes tipos de fluidos

2.5.6 Parámetros reológicos en fluidos no Newtonianos.

2.5.6.1 Punto de Cedencia (τ_y)

(Zhongying, y col., 1982), mencionan que el punto de cedencia es el esfuerzo cortante mínimo requerido para que se dé la deformación del fluido. Representa

el valor del esfuerzo de corte para una velocidad de deformación igual a cero. Su valor aumenta con el contenido de sólidos y disminuye con aumentos en el contenido de agua o dispersantes. Experimentalmente se muestra que el punto de cedencia para el modelo de Casson es menor que en el del modelo Plástico de Bingham.

2.5.6.2 Índice de Comportamiento (n)

Indica la desviación del comportamiento reológico del fluido con respecto a los fluidos newtonianos, es decir, mientras más se aleje el valor de n de la unidad más pronunciadas serán las características no newtonianas del fluido.

2.5.6.3 Índice de Consistencia (k)

Caracterización numérica de la consistencia del fluido, es decir, es una medida indirecta de la viscosidad, pero sus unidades dependen de n . A medida que k aumenta el fluido se hace más espeso o viscoso.

2.5.7 Modelos de ajuste para comportamientos reológicos de alimentos

Los modelos reológicos son una relación matemática que nos permite caracterizar la naturaleza reológica de un fluido, estudiando la deformación dada a una tasa de corte específica (Bedoya, y col.2009).

Weir y col., (1996), publican un estudio estadístico donde pretenden demostrar la capacidad de algunos modelos reológicos, diferentes a los modelos Plástico de Bingham y Ley de Potencia, para caracterizar un fluido. En general se considera que el modelo de Ley de Potencia proporciona mejores aproximaciones a bajas tasas de corte, mientras que el modelo Plástico de Bingham lo hace a altas tasas.

Se han propuesto en la bibliografía numerosas ecuaciones empíricas para expresar el comportamiento reológico de fluidos no newtonianos. Sería deseable que tales funciones pudieran ser desarrolladas a partir de modelos matemáticos basados en la estructura molecular, pero en la actualidad las

teorías moleculares no son capaces de describir satisfactoriamente el comportamiento real de materiales complejos, como suele ser habitual. Por ello, las fuentes más útiles de información reológica son habitualmente los modelos empíricos. A continuación se indican algunos de los modelos más utilizados.

2.5.7.1 Ley de Potencia

Es un modelo de dos parámetros para el cual la viscosidad absoluta disminuye a medida que la tasa de corte aumenta (Bedoya, y col.2009). La relación entre la tasa de corte y el esfuerzo de corte está dada por la siguiente ecuación:

$$\tau = k\gamma^n \quad (13)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante (Pa)

k : Coeficiente o índice de consistencia de flujo (Pa.sⁿ)

γ : Velocidad de deformación (1/s)

n : Índice de comportamiento al flujo o índice de flujo.

Es un modelo de dos parámetros: k (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento). Para $n = 1$, el modelo representa el comportamiento newtoniano, con $\eta = k$. Por consiguiente, la desviación del valor de n de la unidad es una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano. Para $n > 1$, el modelo sigue un comportamiento dilatante, mientras que $n < 1$ indica un comportamiento pseudoplástico.

El modelo de la ley de la potencia ha sido usado con éxito por diversos autores para describir el comportamiento al flujo de diversos cremogenados o purés de frutas, como puré de manzana (Rao y col., 2005), en puré de mango (Gunjal y Waghmare, 1987), en puré de ciruela y durazno, en reología del cremogenado industrial del melocotón y sus concentrados (Garza y col, 2001). Varios factores afectan el comportamiento reológico de los purés y concentrados de fruta:

temperatura, sólidos solubles totales/concentración, tamaño de partículas (Ahmed y col., 2004; Manayay e Ibarz, 2010).

2.5.7.2 Modelo de Herschel–Bulkley

Varios modelos son utilizados para cuantificar el esfuerzo mínimo de deformación en fluidos pseudoplásticos. Según Bourne (2002), una ecuación ampliamente utilizada es la de Herschel – Bulkley (H-B):

$$\tau - \tau_0 = k(\dot{\gamma})^n \quad (14)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante (Pa)

k : Coeficiente o índice de consistencia de flujo (Pa.sⁿ)

τ_0 : Umbral de fluencia (Pa)

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

En este modelo los parámetros “ n ” y “ k ” se definen igual que en Ley de Potencia. Como casos especiales se tienen que el modelo se convierte en Plástico de Bingham cuando $n = 1$ y en Ley de Potencia cuando $\tau_y = 0$.

2.5.7.3 Modelo de Casson

La ecuación (H – B) fue modificada por Casson para determinar por extrapolación más exactamente el valor del esfuerzo mínimo de deformación (τ_0) del punto de corte en ordenadas en especial en suspensiones, según lo indicado por Charm (1981):

$$\tau^{1/2} = \tau_0^{1/2} + k (\dot{\gamma})^{1/2} \quad (15)$$

Donde:

τ : Esfuerzo cortante (Pa)

τ_0 : Umbral de fluencia (Pa)

k : Coeficiente o índice de consistencia de flujo ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)

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

2.5.2 Variables que Influyen en la viscosidad

(González, 2009) menciona que las variables más importantes que afectan a la viscosidad son:

- a) Concentración
- b) Temperatura
- c) Presión

2.5.2.1 Variación de la viscosidad con la concentración

La viscosidad de un compuesto depende fuertemente de la concentración. Según Bourne (2002), la relación entre la concentración de sólidos solubles y la viscosidad, pero no lineal a temperatura constante.

Se han descrito dos tipos de correlaciones o modelos matemáticos para considerar el efecto de la concentración en la viscosidad (Harper y El-Sahrighi, 1965; Saravacos, 1970; Rao y col., 1984), una según un modelo potencial:

$$n = K_1 C^1 \quad (16)$$

Y un modelo exponencial:

$$n = K_2 \exp(A_2 C) \quad (17)$$

En estas ecuaciones K_1 , K_2 , A_1 y A_2 son constantes y C es el contenido en sólidos solubles del fluido expresado en °Brix. Estas ecuaciones también son válidas para estudiar el efecto de la concentración en el índice de consistencia.

2.5.2.2 Variación de la viscosidad con la temperatura

La viscosidad disminuye con la temperatura. Existen varias fórmulas que permiten evaluar la variación de la viscosidad de un líquido al cambiar la temperatura. Las más importantes son:

La ecuación de Arrhenius:

$$\mu = A \cdot e^{\frac{B}{T}} \quad (18)$$

Siendo, μ , la viscosidad dinámica (Pa.s), T, es la temperatura absoluta (K) y A y B son constantes dependientes del líquido.

2.5.2.3 Variación de la viscosidad con la presión

La viscosidad en líquidos aumenta exponencialmente con la presión. Excepcionalmente, para el agua a temperaturas menores de 30° C la viscosidad disminuye. Los cambios de viscosidad con la presión son bastante pequeños para presiones distintas de la atmosférica.

Para la mayoría de los casos prácticos, el efecto de la presión se ignora a la hora de hacer mediciones con el viscosímetro o reómetro.

2.5.3 Instrumentos de medición de las propiedades reológicas

A nivel industrial, existe variedad de equipos, con diferentes diseños, que se utilizan para medir viscosidad (Irving, 1995). Por lo tanto, los resultados que se obtienen varían dependiendo de las unidades en que reportan determinados equipos (Sharma, Mulvaney y Rizvi, 2009). Por lo anterior, los equipos de medición de viscosidad van desde los viscosímetros tipo tubo hasta los tipos rotacionales (Steffe, 1992).

2.5.3.1 Viscosímetro de tubo capilar

Los viscosímetros de flujo capilar son tubos de vidrio en forma de U, diseñados para fluidos de baja viscosidad (Sahin y Summu, 2009); además son muy simples y asequibles (Alvarado, 2001). Los tipos de viscosímetros capilares más comunes, y sus modos de operación son: Viscosímetro de Ostwald,

Ubbelohde, Viscosímetro de rutina Cannon-Fenske, Lamb-Lewis que se detallan a continuación (Machuca y col ,2009).

2.5.3.2 Viscosímetro de Ostwald

En esencial, el Viscosímetro Ostwald es un tubo “U” una de sus ramas es un tubo capilar fino conectado a un deposito superior. El tubo se mantiene en posición vertical y se coloca una cantidad conocida del fluido al depósito para que luego fluya por gravedad a través de un capilar (Machuca y col, 2009).

2.5.3.3 Viscosímetro de Ubbelohde

Éste viscosímetro se utiliza para determinar viscosidades cinemáticas de líquidos Newtonianos transparentes y de lubricante hidráulicos (Machuca y col, 2009).

2.5.3.4 Viscosímetro Cannon-Fenske

Este tipo de viscosímetros es, ampliamente, usado en la industria petrolera para determinar la viscosidad cinemática de los hidrocarburos líquidos (Bourne, 2002), pero la viscosidad cinemática se expresa en las unidades del coeficiente de difusión ($m^2 s^{-1}$), (Sharma, Mulvaney y Rizvi, 2009). Sin embargo, el método de la AOAC (2005) utiliza este viscosímetro capilar, pero se toma como líquido de referencia agua de densidad y viscosidad conocidas para transformar la viscosidad cinemática en absoluta o dinámica, expresada en unidades de Pa.s, aplicadas en alimentos, por tanto la viscosidad cinemática no es utilizada en la industria de alimentos (Bourne, 2002). En este caso, el gradiente de presión que empuja al fluido, usualmente, se genera por la fuerza de gravedad que actúa sobre el líquido en el capilar y su paso por las marcas capilares se determina visualmente (Sahin y Summu, 2009).

2.5.3.5 Viscosímetro Lamb.Lewis

Destinado a la industria de jugos y néctares de frutas (National Canners Association) se ha desarrollado el viscosímetro capilar Lamb-Lewis, para el

chequeo de los estándares de calidad de sus productos (Bourne, 2002). El instrumento es una especie de jeringuilla de vidrio, fabricada a precisión, con una cámara de 3,8 cm de diámetro interno por 17,8 cm de largo y una prolongación capilar en la base de 3 mm de diámetro interno por 29 cm de longitud (AOAC, 2005).

2.5.3.6 Equipo universal TA-XT2i

El equipo del tipo Instron o TA-XT2i (Steffe, 1992; De Hombre y Díaz, 2001; Bourne, 2002). Un instrumento multifuncional, como es el caso del texturómetro TA-XT2i. Aparato de alta sensibilidad que genera resultados reproducibles (Ramírez, 2002). El analizador de textura TA-XT2i (Stable Micro Systems, 1997) comprende un brazo vertical movable, en el cual se coloca una celda de carga con un rango de medición de hasta 5 k, y una resolución de ± 0.1 g. La velocidad de prueba se define en un rango de 0.1 a 10 mm s⁻¹. Durante el procedimiento, pueden determinarse la longitud de la trayectoria y la velocidad de compresión (Cordes y col., 1994).

2.5.3.6.1 Manual de funcionamiento del equipo universal TA – XT2i

2.5.3.6.1.1 Componentes de texturómetro

Según (Stable Micro Systems, 1997) indica lo siguiente.

PEDESTAL: Es el componente más 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 celdas de 5 y 25kg. 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 5kg. 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.

2.5.3.6.1.2 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.

2.5.3.6.1.3 Cambio de la celda de carga

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

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

2.5.3.6.1.4 Calibración del equipo

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

TECLADO:

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

- d. 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.

2.5.3.6.1.5 Ensayo

Fijar parámetros

Antes de iniciar el ensayo, se debe 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.

Para ingresar Parámetros:

- a. Ingresar la barra ARCHIVO y seleccionar NUEVO PROYECTO. Aparece un cuadro donde se pone el título.
- b. En la barra superior de la pantalla aparece un cuadro que dice TA. Seleccionar la opción Parámetros de TA.
- c. Ingresar los parámetros correspondientes al ensayo en el cuadro que aparece.
- d. 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.
- e. 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.

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 esté 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:

1. Acercar lo máximo posible las placas o puntas de accesorio a la superficie donde va la muestra.
2. En la barra TA, seleccionar Calibrar Sonda.
3. Escoger la distancia y aceptar.

Se inicia el ensayo:

TA → Ejecutar Ensayo → Llenar la plantilla → OK



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

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.

2.6 HIPÓTESIS

2.6.1 Hipótesis nulas

Fluidos Newtonianos

H₀: Las medidas de viscosidad en agua con el equipo universal TA – XT2i son iguales a los obtenidos mediante el viscosímetro Cannon Fenske.

Fluidos no Newtonianos

H₀: La concentración de sólidos solubles de los néctares de frutas no influye directamente en la variación del Índice de consistencia (k) e Índice de comportamiento de flujo (n).

$$H_0: A = B$$

2.6.2 Hipótesis alternativas

Fluidos Newtonianos

H₁: Las medidas de viscosidad en agua con el equipo universal TA – XT2i no son iguales a los obtenidos mediante el viscosímetro Cannon Fenske.

Fluidos no Newtonianos

H₁: La concentración de sólidos solubles de los néctares de frutas influyen directamente en la variación del Índice de consistencia (k) e Índice de comportamiento de flujo (n).

$$H_1: A \neq B$$

2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES

Variable independiente : Efecto de los néctares de frutas y el contenido de sólidos solubles.

Variable dependiente : Parámetros reológicos: índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación propuesto, tiene un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo, en esta investigación se llevó a cabo la observación y valoración sobre la limitada utilización del equipo universal TA – XT2i que dispone el Departamento de Nutrición y Calidad-EESC, destinado a la medición experimental de parámetros reológicos que expliquen la viscosidad de diluciones de néctar de frutas y agua..

La investigación cualitativa da cuenta de la credibilidad de la comunicación, o de los conceptos, o de los beneficios ofrecidos. Los estudios cualitativos observan el producto, u objeto de la investigación en nuestro caso la utilización del equipo universal TA – XT2i que dispone el Departamento de Nutrición y Calidad-EESC, para la determinación experimental de parámetros reológicos en bebidas de frutas.

Estas observaciones adquirieron un carácter probabilístico, y, por ende, proyectable en una segunda etapa de la investigación que ya será cuantitativa.

Por lo que aquí se utiliza el método discursivo e intenta estudiar de forma global un acontecimiento o unidad. Se dice cualitativa – humanista – discursiva.

Por ende en el enfoque cualitativo se buscó la recolección de datos, sin asociar las mediciones numéricas, es decir a través de revisión bibliográfica, observaciones, esto significa que únicamente se buscaron conocimientos teóricos sobre si existe estudios previos sobre mediciones reológicas en fluidos alimenticios, empleando el equipo universal TA – XT2i.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE INVESTIGACIÓN

El trabajo a realizar presentó una modalidad de investigación de campo, bibliográfica documental y experimental (Leiva, 1999), puesto que se estudió la Determinación de la viscosidad en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2i.

La ejecución del proyecto se basó en las siguientes modalidades investigativas:

3.2.1 Bibliográfica documental

Se basó en el estudio que se realiza a partir de la revisión de diferentes fuentes bibliográficas o documentales (literatura sobre el tema de investigación). En esta modalidad predomina el análisis, la interpretación, las opiniones, las conclusiones y recomendaciones del autor o los autores.

La presente investigación se apoyó en fuentes primarias (documentos) y en fuentes secundarias (libros, revistas, periódicos y otras publicaciones). Como información bibliográfica para desarrollar la presente investigación se tomó de libros, proyectos, tesis, internet acerca de metodologías empíricas, con nuevos dispositivos acoplados a equipos que permitan estudiar el comportamiento reológico de fluidos alimenticios.

3.2.2 De campo

Se basó en la participación real del investigador o los investigadores, desde el mismo lugar donde ocurren los hechos, el problema, la fenomenología en consideración. A través de esta modalidad, se estableció las relaciones entre la causa y el efecto y se predijo la ocurrencia del caso o fenómeno.

Este estudio se realizó porque el investigador toma contacto directo con la realidad para obtener información de acuerdo con los objetivos propuestos, para ello se utilizó la información que proviene de la observación directa.

3.2.3 Experimental

Este estudio se basó en el manejo de variables dentro del trabajo práctico con el fin de establecer los mejores resultados que coadyuven a la comprobación de la hipótesis.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACION

En esta investigación existen indagaciones previas sobre el objeto de estudio, y por lo tanto se exploró estas fuentes para recopilar información, con el fin de alcanzar el objetivo planteado.

Debido a que esta investigación se efectuó sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimiento se aplicó los siguientes tipos de investigación.

3.3.1 Sintético

Este método se aplicó al obtener las conclusiones de la investigación a realizarse.

3.3.2 Experimental

Mediante diferentes ensayos se comprobó la influencia de las variables recibiendo información sobre metodologías reológicas en fluidos alimenticios, misma que se encuentra dirigida a modificar la realidad con el propósito de crear el fenómeno mismo que se indaga, y así poder observarlo.

3.3.3 Descriptivo

Se lo aplicó para buscar y especificar las propiedades importantes que permitan medir y evaluar aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a estudiar, mismo que es la limitada utilización del equipo universal TA – XT2i que dispone el Departamento de Nutrición y Calidad-EESC, destinado a la medición experimental de parámetros reológicos que expliquen la viscosidad de diluciones de néctar de frutas y agua.

3.3.4 Explicativo

Se explicó el comportamiento de una variable en función de otra (s); aquí se planteó una relación de causa-efecto, y cumplió criterios de causalidad; control tanto metodológico como estadístico.

3.3.5 Estadístico – Matemático

Se utilizó para registrar, procesar datos experimentales y empíricos, describir y comprobar correlaciones entre variables, así como también generar ecuaciones que expliquen el comportamiento reológico de fluidos alimenticios, mediante pruebas instrumentales con el uso del equipo universal TA-XT2i que permitan evaluar parámetros reológicos.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La característica fundamental de la población estudiada fue constituida por el área de: Laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina (EESC) INIAP, esto con la finalidad de tener muestras representativas que permitan obtener resultados confiables.

3.4.1 Población

Para la ejecución del presente proyecto de investigación se tomó en consideración como población bebidas a base de frutas.

3.4.2 Muestra

Se trabajó con muestras representativas de néctar de durazno, mango y manzana comerciales.

3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

El propósito del proyecto fue determinar parámetros reológicos en bebidas de frutas con diferentes concentraciones de sólidos solubles mediante el uso del equipo universal TA – XT2i.

Por lo tanto se consideró el estudio de néctares de durazno, mango y manzana en distintas concentraciones de sólidos solubles. Cada tratamiento se lo realizó por triplicado.

Se aplicó un diseño experimental A*B (3*5), siendo los factores los néctares de frutas y los niveles la concentración de °Brix, por lo que tendrá 15 tratamientos, los mismos que al trabajar con tres réplicas da un total de 45 tratamientos.

3.5.1 Factores en estudio

Factor A: Muestras

a_0 : Néctar de durazno

a_1 : Néctar de mango

a_2 : Néctar de manzana

Factor B: Concentraciones de sólidos solubles

b_0 : 0°BRIX (Agua destilada)

b_1 : 3 °BRIX

b_2 : 6°BRIX

b_3 : 9 °BRIX

b_4 : 12°BRIX

Tabla 2: Tratamientos en estudio

N°	Tratamientos	Descripción
1	$a_0 b_0$	Agua (°Brix 0)
2	$a_0 b_1$	Néctar(Durazno) - 3°BRIX
3	$a_0 b_2$	Néctar(Durazno) - 6°BRIX
4	$a_0 b_3$	Néctar(Durazno) - 9°BRIX
5	$a_0 b_4$	Néctar(Durazno) - 12°BRIX
6	$a_1 b_0$	Agua (°Brix 0)
7	$a_1 b_1$	Néctar(Mango) - 3°BRIX
8	$a_1 b_2$	Néctar(Mango) - 6°BRIX
9	$a_1 b_3$	Néctar(Mango) - 9°BRIX
10	$a_1 b_4$	Néctar(Mango) - 12°BRIX
11	$a_2 b_0$	Agua (°Brix 0)
12	$a_2 b_1$	Néctar(Manzana) - 3°BRIX

13	$a_2 b_2$	Néctar(Manzana) - 6°BRIX
14	$a_2 b_3$	Néctar(Manzana) - 9°BRIX
15	$a_2 b_4$	Néctar(Manzana) - 12°BRIX

Elaborado por: Aracely Nataly Panchi Guanoluisa

3.5.2 Análisis estadístico

Tabla 3: Esquema análisis de varianza (ADEVA)

Fuente de variación	Grados de libertad
Réplicas	2
Factor A (Néctar de frutas)	2
Factor B (Concentración de sólidos solubles)	4
Interacción AB (Néctar – Conc. Sólidos sol.)	8
Error experimental	28
Total	44

Elaborado por: Aracely Nataly Panchi Guanoluisa

3.5.3 Respuestas experimentales

Se tuvo como respuestas experimentales los datos calculados partiendo de las mediciones realizadas en el equipo universal TA-XT2i.

- Índice de consistencia (k)
- Índice de comportamiento de flujo (n)

Se realizó además mediciones de densidad, pH, acidez, conductividad eléctrica y sólidos totales de las muestras.

3.5.4 Medición de la viscosidad: Cannon Fenske: Manejo específico del experimento

El viscosímetro capilar permite un cálculo rápido (aunque no de máxima precisión) de la viscosidad relativa de un líquido midiendo los tiempos que un volumen un líquido tarda en pasar entre las marcas.

Las variables respuesta o de medición se obtuvieron mediante el uso del viscosímetro tipo tubo capilar Cannon – Fenske, tamaño ASTM: 200, de acuerdo a lo indicado en la Tabla 4.

Tabla 4. Especificaciones del viscosímetro de tipo tubo capilar Cannon – Fenske, de acuerdo a la concentración de sólidos solubles presentes en las muestras.

Muestras de néctar	Viscosímetro tamaño ASTM	Rango de viscosidad
(°Brix)	(Cannon – Fenske)	cSt*
0 – 12	200	3 – 100

* Unidad de viscosidad cinemática centi Stokes

El viscosímetro del tamaño ASTM requerido fue colocado en un recipiente con agua a 20°C ajustado a un soporte universal por medio de una pinza metálica y seguidamente se dejó temperar el sistema por 10 minutos. Con una pipeta DROPTTEK (1000uL) se trasvasó 7ml de muestra, por el tubo de mayor diámetro del viscosímetro del rango deseado, luego se absorbió con una pera de succión para que el líquido empiece por gravedad a fluir por el capilar (Figura 20). Con un cronómetro marca THOMAS SCIENTIFIC, se tomó el tiempo que se demoró en pasar el néctar desde el engrase superior al engrase inferior del capilar del viscosímetro. A continuación, se siguió el mismo procedimiento con agua destilada y con el resto de muestras.



Figura 13. Recorrido del agua a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske

3.5.4.1 Cálculo de viscosidad relativa

La densidad de la muestra al dividir para el dato de la densidad de agua a la misma temperatura (Singh y Heldman 2009) calcula la gravedad específica de cada muestra.

Los datos obtenidos se reemplazaron en la ecuación propuesta en el método de la AOAC INTERNACIONAL, (2005) para calcular la viscosidad.

$$\mu = \frac{\text{Tiempo de flujo de muestra a } 20^{\circ}\text{C} \cdot \text{Gravedad específica de muestra}^{-1,002}}{\text{Tiempo de flujo del agua a } 20^{\circ}\text{C}} \quad (19)$$

Se calculó inicialmente la gravedad específica (relación entre el peso de una unidad de volumen de una sustancia (agua) y el peso de una unidad de volumen de agua a la temperatura considerada 20°C) de la muestra. Para calcular la gravedad específica del agua se estableció que el peso de una unidad de volumen de agua a (20°C) es igual a 0.9982 (Singh y Heldman, 2009; Segura, 1993).

El valor de 1,002 es constante y corresponde a la viscosidad del agua a 20°C, en centipoise (cP). De esta forma la viscosidad relativa del agua se expresa en cP y mediante los siguientes factores de conversión se puede presentar en milipascales por segundo (mPa.s) o pascales por segundo (Pa.s) respectivamente.

Factores de conversión: 1cP = 1mPa.s (Bourne, 2002)

3.5.5 Mediciones reológicas: TA – XT2i: Manejo específico del experimento

Inicialmente se tomó datos del accesorio a emplearse en las mediciones: Diámetro interior de descarga del fluido $d=2,03$ mm, longitud del accesorio $L=126,070$ mm y densidad del agua a 20°C según (Singh y Heldman, 2009) $\rho = 998,2$ Kg/m³. En la figura 13 se muestra las medidas del accesorio empleado.

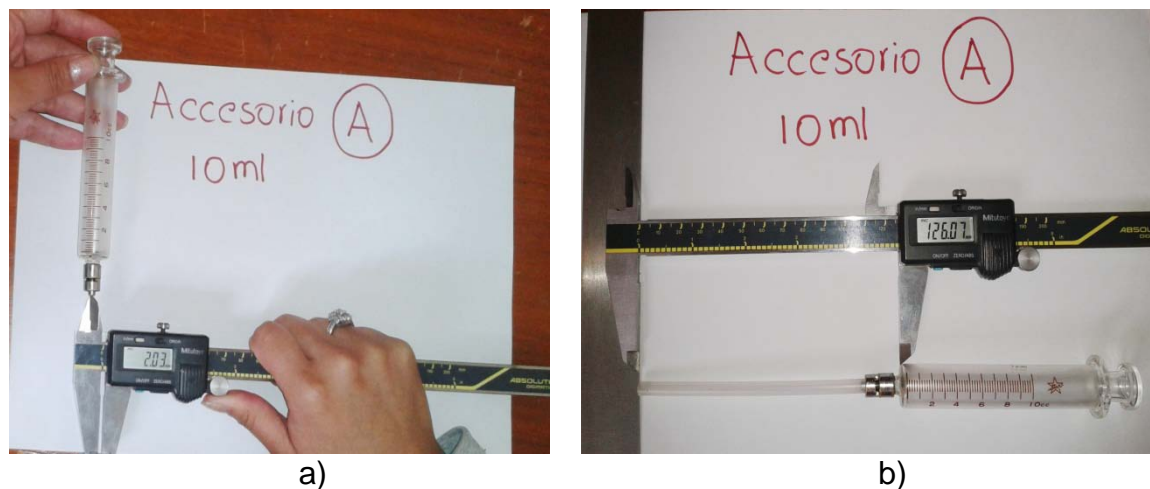


Figura 14. Medidas del accesorio empleado en la medición de parámetros reológicos del agua. a) Diámetro interior de descarga del fluido, b) longitud del accesorio.

Seguido se creó un proyecto para la ejecución del ensayo en el equipo TA-XT2i mediante el programa que muestra el software TextureExpert. A continuación, se calibró la sonda (émbolo) con muestras de agua destilada (0°Brix) y

finalmente se ejecutó el ensayo de medida de las fuerzas de compresión (esfuerzo) sobre la muestra de néctar de frutas. Al entrar en contacto con el émbolo situado en la marca de 5 ml, se tuvo la medida de presión inicial y al llegar el émbolo a la marca de 2ml se obtuvo la medida de presión final. Después de ejecutado el ensayo, el brazo del equipo TA-XT2i regresó a su posición inicial. Se midió el descenso de la muestra al atravesar el límite superior hasta la caída final de la muestra en una probeta, la cual fue utilizada como soporte de la jeringuilla y receptor de la muestra desalojada (Figura 14).



Figura 15. Secuencia de medición en el equipo universal TA-XT2i.

De acuerdo con el software utilizado (Texture Expert), las unidades disponibles para la medición del esfuerzo fueron: Mega Pascales [MPa], Newton sobre milímetro cuadrado [N/mm^2] 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 la determinación de viscosidad en [Pa.s] los resultados obtenidos en el sistema inglés fueron convertidos al sistema internacional de unidades (Steffe, 1996).

$$1[\text{lb}^*] = 4,448 [\text{N}]$$

$$1[\text{pul}] = 0,0254 [\text{m}]$$

$$1[\text{N/m}^2] = 1[\text{Pa}]$$

Las determinaciones se realizaron a 5 presiones diferentes tomando en cuenta que varía la distancia de 12mm a 24mm y el tiempo es de 8 [s], por lo que la velocidad de ensayo resultante también será diferente.

De la forma descrita, se realizó las mediciones para las muestras de los tres néctares de frutas de 3, 6, 9 y 12°Brix, las mismas que fueron medidas a 20°C. El ensayo se ejecutó con tres replicaciones

3.5.5.1 Cálculo de viscosidad del agua

Velocidad de flujo v [g/s]

$$velocidad\ de\ flujo = \frac{distancia\ (cm) * peso(g)}{tiempo\ (s) * diámetro(cm)}$$

$$velocidad\ de\ flujo = \frac{13,915\ (cm) * 2,1824(g)}{7,817\ (s) * 0,203(cm)}$$

$$velocidad\ de\ flujo = 19,137\ \left(\frac{g}{s}\right)$$

Gradiente de Velocidad γ [1/s]

$$\gamma = \frac{v}{Ar\rho}$$

$$\gamma = \frac{19,137\ \left[\frac{g}{s}\right]}{0,0323[cm^2] * 0,1015\ [cm] * 1,000\ [g/cm^3]}$$

$$\gamma = 5836,008\ \left[\frac{1}{s}\right]$$

Esfuerzo Cortante τ [Pa]

$$\tau = \frac{\Delta P * r}{2 L}$$

$$\tau = \frac{1431,2803[Pa] * 0,001015[m]}{2 * 0,12707[m]}$$

$$\tau = 5,762[Pa]$$

Una vez calculados cada uno de los términos obtenidos a cada presión, se realiza un Reograma (γ_w) vs. (τ), del cual la pendiente de la gráfica corresponde a la viscosidad y el antilogaritmo del intercepto, el índice de consistencia de flujo para el agua.

A continuación se describe los cálculos de índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) para las muestras de néctar de frutas mediante la aplicación de 4 modelos matemáticos.

3.5.5.1.1 Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) de las muestras de néctar de frutas mediante la Ley de Potencia

Los siguientes valores corresponden a un ejemplo de cálculo para el tratamiento a₀b₁ (Néctar de durazno 3°Brix – R1 – Presión 1). En cada caso se calculó la velocidad de flujo [g/s], esfuerzo cortante [Pa] y el gradiente de velocidad [1/s] de la cual se realiza un Reograma log (γ_w) vs. log (τ_0), Figura 15.

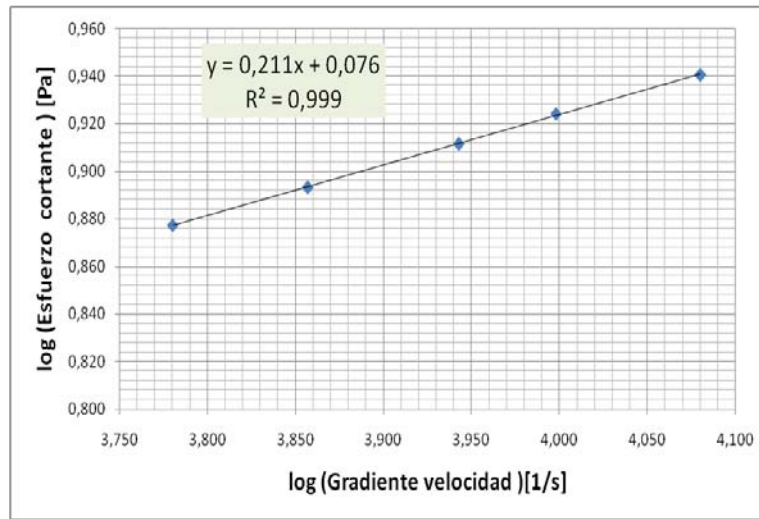


Figura 16. Representación del modelo de Ley de potencia del tratamiento a_0b_1 (Néctar de durazno 3°Brix – R1)

Los valores de índice de comportamiento (n) a 20°C se obtienen de la gráfica tomando en cuenta la ecuación que corresponde a la Ley de Potencia aplicada para fluidos pseudoplásticos.

$$\tau = k \gamma^n$$

$$\log \tau_0 = \log k + n \log \gamma_w$$

Pendiente (n) = 0,211

Para el cálculo del índice de consistencia (k) a 20°C, de acuerdo a la figura 15 el intercepto es igual a 0,076, aplicando la ecuación antes mencionada:

$$\log \tau_0 = \log(0,076) + (0,211) \log \gamma_w$$

$$k = \text{anti log } 0,076$$

$$k = 1,191$$

3.5.5.2 Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) de las muestras de néctar de frutas mediante el método desarrollado por Toledo

De acuerdo a los datos obtenidos de diferencia de caída presión ΔP [kPa] y velocidad de flujo másico (v) [g/s] se obtiene una gráfica lineal figura 16, de donde la pendiente (n) es 0,2118

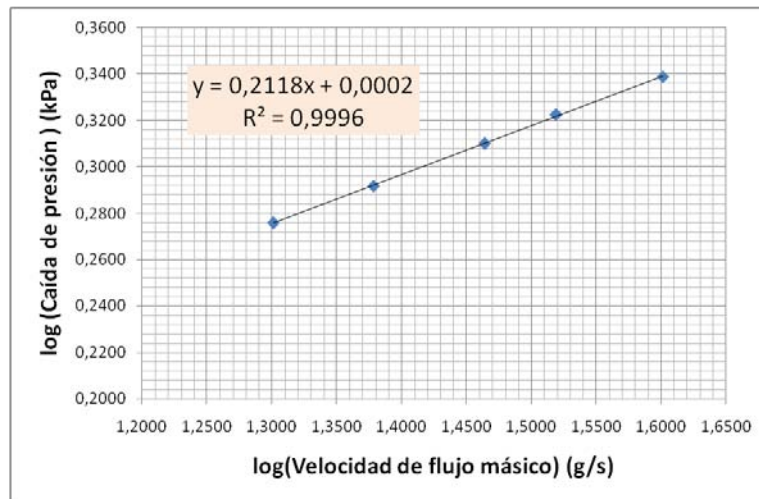


Figura 17. Representación gráfica de log (Caída de presión [kPa]) vs. log (Velocidad de flujo másico [g/s])

Esfuerzo cortante (τ) [Pa]

$$\tau = \frac{\Delta PR}{2L}$$

$$\tau = \frac{0,001015}{2 * 0,12707} \Delta P$$

$$\tau = 0,00399\Delta P$$

Velocidad media (\bar{v}) [m/s]

$$\bar{v} = q \frac{[g][cm]^3[m]^3}{[s][\rho]100^3[cm]^3\pi[R]^2[m]^2}$$

$$\bar{v} = q \frac{[g][cm]^3[m]^3}{1,01[g]100^3[cm]^3 * 3,1416 * 0,001015^2 * [m]^2 * [s]}$$

$$\bar{v} = 0,3059 q \left[\frac{m}{s} \right]$$

Gradiente de Velocidad (γ) [1/s]

$$\gamma = \frac{4\bar{v}}{R} \left(0,75 + \frac{0,25}{n} \right)$$

$$\gamma = \frac{4 * 0,3059q}{0,001015} \left(0,75 + \frac{0,25}{0,212} \right)$$

$$\gamma = 2327,00q$$

Una vez calculados cada uno de los términos obtenidos a cada presión, aplicando ley de Potencia se realiza una Regresión lineal $\log (w)$ vs. $\log (\tau_0)$, donde se obtienen los valores de pendiente e intercepto de la ecuación lineal para el cálculo del índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) respectivamente. La figura se presenta a continuación.

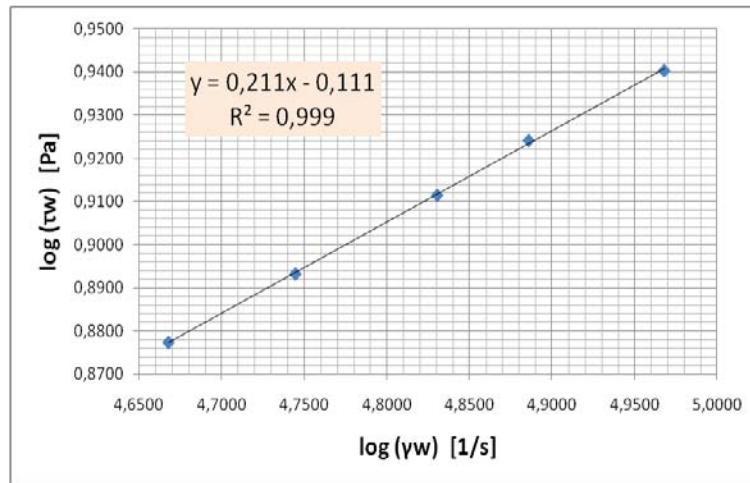


Figura 18. Representación de la gráfica log-log de la Gradiente de Velocidad ($\dot{\gamma}_w$) vs. Esfuerzo cortante (τ_0) del tratamiento a_0b_1 (Néctar de durazno 3°Brix – R1)

El valor de la pendiente corresponde al índice de comportamiento de flujo (n) $n = 0,211$ y el antilogaritmo del intercepto corresponde al índice de consistencia (k), $k = 0,774$ [Pa.sⁿ].

3.5.5.3 Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) de las muestras de néctar de frutas mediante el método de Casson

El cálculo de los parámetros reológicos (n), (k) y (τ_0) para el tratamiento a_0b_1 (Néctar de durazno 3°Brix – R1 – Presión 1) se realizó mediante una regresión lineal de la raíz cuadrada de $\log \dot{\gamma}$ vs. la raíz cuadrada del $\log \tau_0$ (Figura 18) donde se obtienen los valores de pendiente e intercepto de la ecuación lineal para el cálculo del índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) respectivamente, tomando en cuenta que el valor de ($n = 0,5$) es constante en todos los casos.

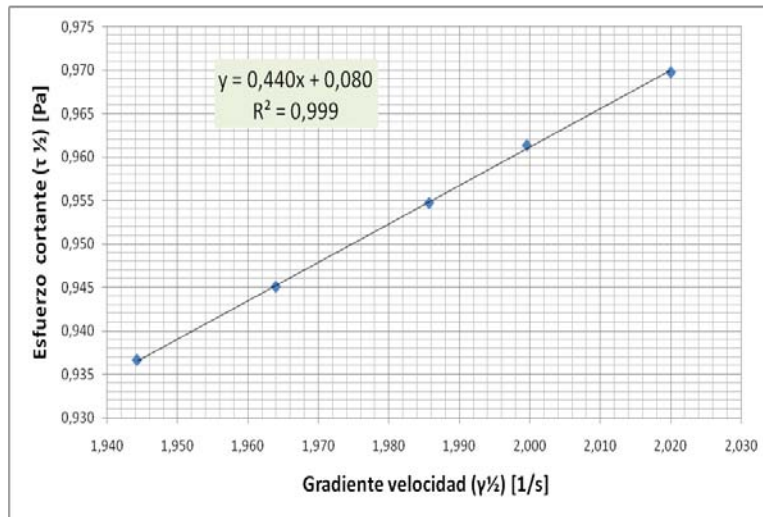


Figura 19. Representación de la raíz cuadrada del Esfuerzo cortante (τ_0) vs. raíz cuadrada del Gradiente de Velocidad ($\dot{\gamma}_w$) del tratamiento a_0b_1 (Néctar de durazno 3^oBrix – R1)

La ecuación que rige el método de Casson es el siguiente:

$$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\dot{\gamma}^{0,5}$$

n = 0,5 (cte)

Pendiente (k) = 0,440

Intercepto ($\tau_0^{0,5}$) = 0,080

Umbral de fluencia ($\tau_0^{0,5}$) = 0,080²

Umbral de fluencia (τ_0) = 0,0064[Pa]^{0,5}

3.5.5.4 Cálculo del índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) de las muestras de néctar de frutas mediante el método de Herschel-Bulkley

El cálculo de los parámetros reológicos (n), (k) y (τ_0) para el tratamiento a₀b₁ (Néctar de durazno 3°Brix – R1 – Presión 1) se realizó mediante una regresión lineal del log (γ) vs. log ($\tau - \tau_0$) donde se obtienen los valores de pendiente e intercepto de la ecuación, mismos que corresponden al índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) respectivamente. La figura 19 muestra el resultado de estos valores.

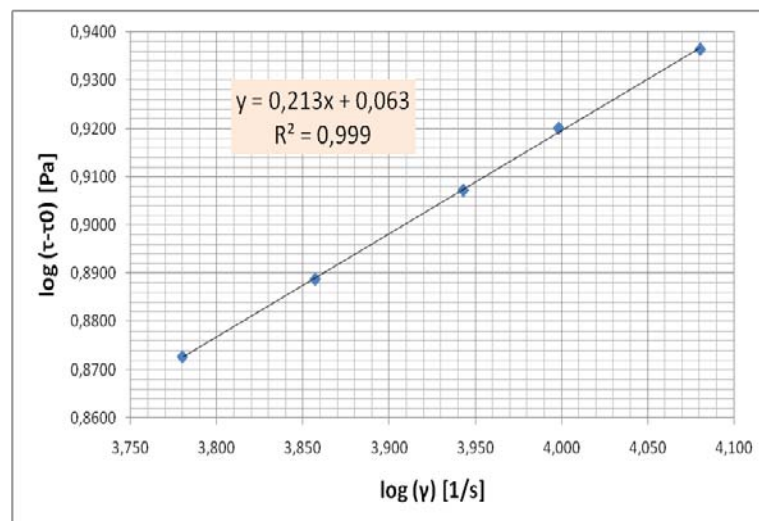


Figura 20. Representación del log($\tau - \tau_0$) vs. log(γ_w) del tratamiento a₀b₁ (Néctar de durazno 3°Brix – R1)

La ecuación que rige el método de Herschel - Bulkley es el siguiente:

$$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$$

$$\log(\tau - \tau_0) = \log(k) + n \log(\gamma)$$

Para el cálculo del índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k), umbral de fluencia (τ_0) se obtiene de los valores resultantes de la gráfica.

Pendiente (n) = 0,213

Intercepto (k) = 0,0633

Intercepto (k) = antilog (0,0633)

Intercepto (k) = 1,1569

$\log \tau_0 = 0,0802$

$\tau_0 = \text{antilog} (0,0802)$

$\tau_0 = 1,203$

3.5.6 Caracterización fisicoquímica de las muestras

El comportamiento reológico de zumos de frutas y vegetales está influenciado por su composición, y en consecuencia, dependerá tanto de la naturaleza de la fruta con que se elaboran, como de los tratamientos que se hayan realizado en sus procesos de elaboración. Lo expuesto, pone de manifiesto la importancia de conocer inicialmente sus características fisicoquímicas de las muestras de néctar de frutas, por lo que a continuación se detalla.

3.5.6.1 Densidad

Se determinó mediante un juego de 8 densímetros CI — USA, con un rango de 0,7 a 1,8 (g/ml).

3.5.6.2 Sólidos totales

El método empleado para la determinación de humedad fue mediante la diferencia de pesos después de desecar. Según Norma INEN 14.

3.5.6.3 Acidez

Por el método oficial de la A.O.A.C. 942.15/90 Adaptado (Bernal, 1993), y referente a INEN 381, se determinó la acidez de las muestras mediante una valoración ácido-base.

3.5.6.4 pH

Se utilizó un pH – metro de precisión Modelo 3510 de sobremesa para obtener por lectura directa, el valor pH de la muestra. INEN 389

3.5.6.5 Conductividad eléctrica

Se utilizó el medidor Accumet Basic (Fisher Scientific AB300), marca HACH, provisto de un electrodo para determinación directa de conductividad eléctrica.

3.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.6.1 Operacionalización de la variable independiente: Efecto de los néctares de frutas y el contenido de sólidos solubles.

CONTEXTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS O INSTRUMENTOS
<p>El estudio de los néctares y el contenido de sólidos solubles se conceptualiza como:</p> <p>Encontrar el efecto que tienen los néctares de diferentes frutas y el contenido de sólidos solubles sobre la viscosidad obtenida a través del uso del equipo universal TA-XT2i.</p>	<p>Néctar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durazno • Mango • Manzana <p>Porcentaje de sólidos solubles (°Brix)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 0 (agua destilada) • 3 • 6 • 9 • 12 	<p>El contenido de pulpa, tipo de pectinas y composición de la fruta, influye sobre las medidas de los parámetros reológicos.</p> <p>El aumento de la concentración de sólidos solubles, comporta un incremento de la viscosidad.</p> <p>La concentración de sólidos solubles permite que haya una variación en el índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k).</p>	<p>¿El equipo universal TA-XT2i permite determinar parámetros reológicos en diluciones de néctar de frutas?</p> <p>¿Las respuestas experimentales son las adecuadas para determinar el comportamiento reológico de los néctares de frutas?</p>	<p>Análisis Físicoquímicos</p> <p>Análisis Físicos</p> <p>Análisis Físicos</p>

3.6.2 Operacionalización de la variable dependiente: Parámetros reológicos: índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n).

CONTEXTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ITEMS BÁSICOS	TÉCNICAS O INSTRUMENTOS
<p>Los parámetros reológicos se conceptualizan como:</p> <p>Valores de medida que interpretan el comportamiento reológico en diluciones de néctar de frutas y agua.</p> <p>Estos valores pueden ser determinados mediante la aplicación de modelos matemáticos específicos de acuerdo al producto a analizarse para interpretar su comportamiento.</p>	<p>Parámetros reológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Índice de comportamiento de flujo (n) • Índice de consistencia (k) <p>Modelos matemáticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ley de Potencia • Casson • Herchel-Buckley 	<p>Las propiedades reológicas son influenciadas por el tipo de muestra.</p> <p>Mediante la pendiente e intersección de las gráficas lineales se puede determinar los parámetros reológicos de las muestras.</p> <p>El modelo de ley de potencia se aplica generalmente a los néctares, pulpas, zumos de diversas frutas, mismo que interpreta un comportamiento newtoniano.</p>	<p>¿Los procedimientos estadísticos permiten interpretar las propiedades reológicas?</p> <p>¿El nuevo método, permite desarrollar información numérica valiosa para calcular viscosidad en diluciones de néctar de frutas y agua?</p>	<p>Análisis Estadísticos y Matemáticos</p> <p>Análisis Estadísticos y Matemáticos</p>

3.7 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Las técnicas de recolección de información que se utilizaron en esta investigación son los registros de análisis físicos, químicos y mediciones reológicas obtenidas del equipo universal TA-XT2i.

Los instrumentos de recolección de información que se utilizan son cuadernos de notas.

3.8 PLAN DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.8.1 Procesamiento

El procesamiento de los datos conllevó las siguientes actividades:

- Revisión crítica de la información recogida; es decir limpieza de información defectuosa: contradictoria, incompleta, no pertinente, etc.
- Repetición de la recolección, en ciertos casos especiales.
- Tabulación de datos o cuadros según variables de cada hipótesis: Manejo de información, estudio estadístico de datos para presentación de resultados.
- Representaciones gráficas.
- Una vez obtenidos los datos en tablas de Control, se utilizó el paquete informático Microsoft Excel® e InfoStat®.

Se empleó la prueba de Tukey generada en el paquete informático InfoStat con el fin de obtener los mejores resultados y comparar estadísticamente la existencia de diferencias entre los tratamientos. El texto del informe se realizó en el paquete informático Microsoft Word 2010.

3.8.2 Análisis e interpretación de resultados

El análisis e interpretación de los datos se desarrolló de la siguiente manera:

- Análisis de los resultados estadísticos, destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.
- Interpretación de los resultados, con apoyo del marco teórico, en el aspecto pertinente.
- Comprobación de la hipótesis.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Inicialmente se caracterizaron las muestras a ser estudiadas, a continuación se calcularon mediante los datos obtenidos en los diferentes tratamientos las siguientes respuestas experimentales: gravedad específica, viscosidad mediante el uso del viscosímetro Cannon-Fenske, índice de consistencia (k) e índice de comportamiento de flujo (n) mediante el uso del equipo universal TA-XT2i. Se trabajó con muestras de agua destilada y diluciones de néctar de mango, durazno y manzana. Los datos obtenidos permitieron calcular los valores de las respuestas experimentales para el respectivo Análisis de Varianza y la elaboración de los gráficos que permitan determinar el comportamiento del flujo tanto del agua como de las muestras de las diluciones de los néctares de frutas.

4.1.1 Propiedades fisicoquímicas de las muestras de néctar de durazno, mango y manzana.

4.1.1.1 Densidad

En el Anexo B, Tablas B1-B4 se resumen los valores obtenidos de densidad en diluciones de néctares de tres frutas, el valor promedio máximo de densidad presentó el tratamiento a0b4 (néctar de durazno a 12% de sólidos solubles), a1b4 (néctar de mango a 12% de sólidos solubles) y a2b4 (néctar de manzana a 12% de sólidos solubles) con un valor de 1040kg/m³.

En la figura 21 se observa que a medida que incrementa los °Brix, de igual manera lo hace la densidad, además se observa que los datos orientan a una correlación de tipo lineal con un coeficiente de correlación de 0,993 a una temperatura de 20°C.

La variación de la densidad entre las muestras analizadas fue igual, por ello las curvas de densidad versus (°Brix) son las mismas.

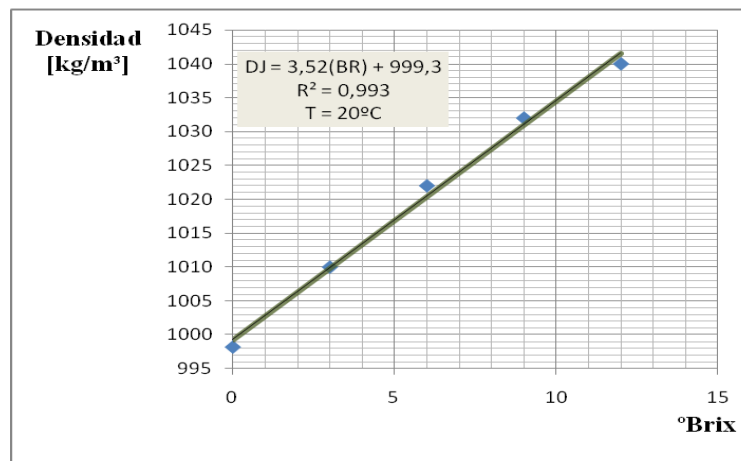


Figura 21. Densidad de néctares de frutas como función del contenido de sólidos solubles.

4.1.1.2 Sólidos totales

Los valores en porcentaje de sólidos totales obtenidos por diferencia de peso durante el secado en estufa, presentados en el Anexo B, Tablas B1-B4, evidencian la fracción decimal atribuida a la presencia de sólidos insolubles como indicativo del contenido mineral de las muestras. Por lo tanto la

fracción decimal del contenido de sólidos totales es mayor para el néctar de manzana 12°Brix con 13,26%.

4.1.1.3 Acidez

Los datos obtenidos para acidez expresados en porcentaje de ácido cítrico/100ml se reportan en el Anexo B, Tablas B1-B4, donde el resultado corresponde al promedio de tres ensayos para cada tratamiento. A 12°Brix para las diluciones del néctar de durazno, mango y manzana, alcanzan un valor de 0,366, 0,320 y 0,291 respectivamente. Estos valores comparados con reportados en bibliografía se encuentran dentro del rango, puesto que se acepta hasta valores máximos de 0,50 en néctares de frutas INEN (2008).

4.1.1.4 pH

Los datos obtenidos para pH se reportan en el Anexo B, Tablas B1-B4. Todas las muestras analizadas presentan valores de pH muy semejantes entre sí; néctar de durazno, mango y manzana (3,8; 3,6 y 3,6) respectivamente, estos toman valores entorno a 4, lo cual coincide con la mayoría de estudios realizados para jugos de frutas. Nótese que el pH de las muestras tiende a disminuir en base al pH referente del agua que es 7, haciéndose cada vez más ácidas dado que el ácido orgánico mayoritario en las tres muestras prevalece es el ácido cítrico anhidro.

4.1.1.5 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de sales minerales, por lo tanto, estos resultados evidenciaron que el contenido mineral fue mayor en el néctar de manzana seguido por el néctar de durazno y finalmente por el néctar de mango con un valor de 1676,13 microsiemens por centímetro [$\mu\text{s}/\text{cm}$], 1523,47 [$\mu\text{s}/\text{cm}$] y 12,5033 [$\mu\text{s}/\text{cm}$] respectivamente, como se muestra en el Anexo B, Tablas B1-B4.

En la figura 22 se observa el comportamiento de conductividad eléctrica en función a los grados Brix a 20°C de los néctares de frutas. La pequeña diferencia marcada entre las curvas presentadas en ésta gráfica se debe al

contenido de minerales presentes en las tres muestras por lo tanto el mayor contenido de minerales corresponde al néctar de manzana.

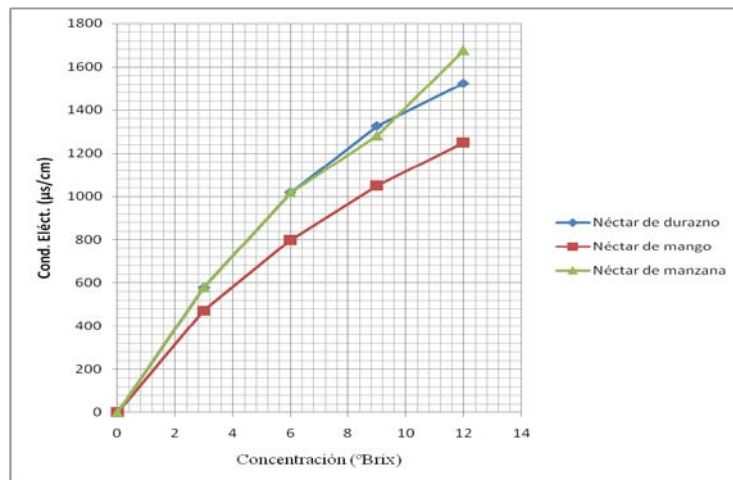


Figura 22. Conductividad eléctrica de néctar de durazno, mango y manzana a 20°C.

4.1.2 Viscosidad

4.1.2.1 Viscosidad: Viscosímetro capilar Cannon – Fenske

La tabla 5 muestra los valores promedio de recorrido del agua desde el enrase superior hasta el enrase inferior mismo que es 12,70 segundos y la gravedad específica es 1 por réplicas. Estos valores corresponden al agua para el néctar de durazno. Los demás valores se reportan en el Anexo C, las tablas C1.1 – C1.3

Tabla 5. Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de durazno

Tratamiento	Réplica	Tiempo recorrido agua	Tiempo recorrido muestra*	Gravedad específica muestra*	Viscosidad absoluta
		(s)	(s)		(Pa.s)
Agua para el néctar de durazno	1	12,71	12,71	1,004	1,006E-03
	2	12,68	12,68	0,999	1,001E-03
	3	12,73	12,73	0,997	9,990E-04
	Promedio	12,70	12,70	1,000	1,002E-03

*Muestra = agua

Finalmente según (Heldman y Sing, 1981) el valor de viscosidad del agua expresada en [Pa.s] a 20°C es $993,414 \cdot 10^{-6}$ valor que, en comparación con nuestros resultados (Tabla 8) es similar ya que nos da en promedio $999,90 \cdot 10^{-6}$ [Pa.s]. Mediante esta metodología se comprobó el valor de viscosidad relativa del agua reportado en bibliografía y en valores experimentales es aproximadamente 0,001 [Pa.s].

4.1.2.2 Viscosidad: Equipo universal TA-XT2i

El programa reportó los resultados en forma gráfica y tabulada de los valores de presión inicial y final en [lb^*/pul^2] y el tiempo de ejecución del ensayo en [s] como se observa en la figura 23.

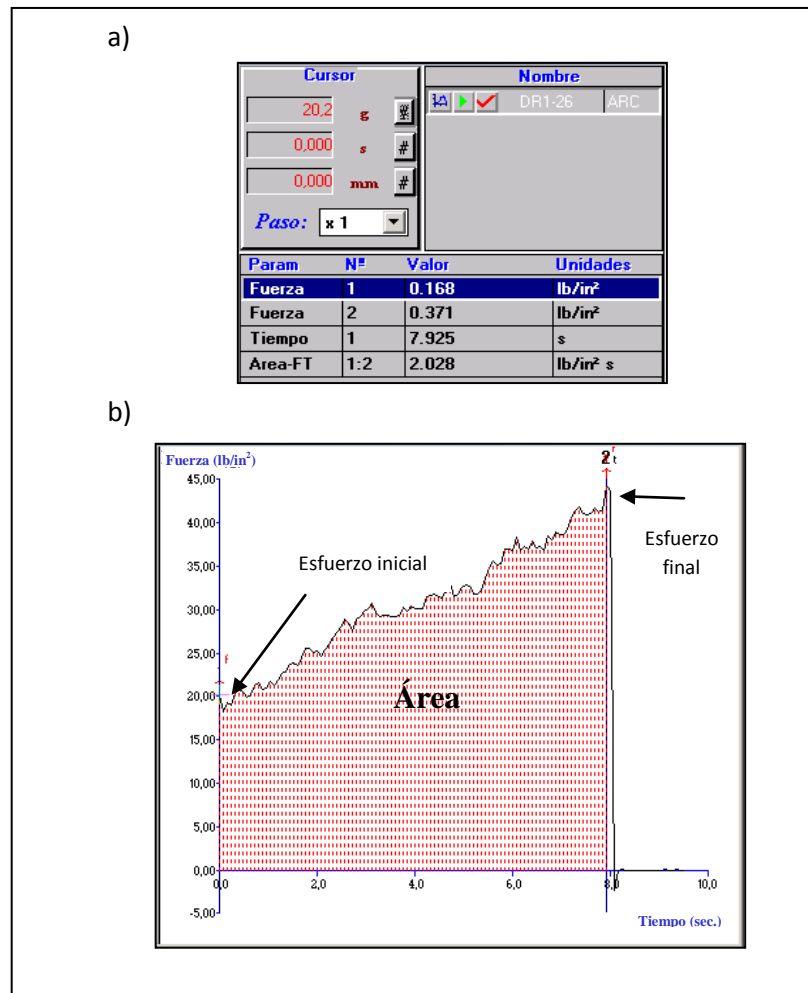


Figura 23. Reporte de resultados con el equipo universal TA-XT2i. a) Forma tabulada; b) Forma gráfica de una medición del tratamiento a1b0 a 20°C

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

El resultado del esfuerzo final que reporta el programa, es la fuerza máxima que necesita ejercer el brazo del texturómetro, transmitida a través del émbolo de la jeringuilla sobre la superficie del líquido para que empiece a fluir.

El tiempo, es la duración del ensayo, es decir, el tiempo que lleva 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.

En la tabla 6, se muestra los resultados obtenidos en todas las determinaciones a 5 presiones que corresponde al agua para néctar de durazno. Los demás resultados que corresponden al agua para néctar de mango y manzana se muestran en el Anexo C las tablas C2.1 – C2.9.

Tabla 6. Datos de cinco determinaciones ejecutadas en el equipo universal TA-XT2i para el tratamiento a₀b₀ (Agua para néctar de durazno) – R1

a ₀ b ₀ (Agua para néctar de durazno) R1								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,167	1152,746	0,375	2584,026	0,208	1431,280	7,817	2,107
P2	0,169	1163,777	0,425	2928,747	0,256	1764,970	7,832	2,397
P3	0,166	1141,715	0,472	3252,784	0,306	2111,070	7,866	2,500
P4	0,171	1178,945	0,526	3623,704	0,355	2444,759	7,667	2,666
P5	0,168	1156,883	0,591	4073,220	0,423	2916,337	7,929	2,743

Con la relación entre el Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) versus el Gradiente de Velocidad [1/s] ($\dot{\gamma}$) reportada en la tabla 7 se obtiene el Reograma del comportamiento newtoniano del agua (figura 24), donde se observa linealidad (Blomer, 2000), lo cual manifiesta un coeficiente de correlación

alto de 0,99. La pendiente indica una viscosidad (μ) constante a diferentes velocidades de corte, de tal modo es característico de un fluido newtoniano, al ser un fluido newtoniano la viscosidad del agua es $993,414 \cdot 10^{-6} [\text{Pa}\cdot\text{s}]$ (Singh y Heldman, 1984), el valor experimental que corresponde al agua para néctar de durazno es $996,51 \cdot 10^{-6} [\text{Pa}\cdot\text{s}]$, mientras que el antilogaritmo del intercepto de la gráfica corresponde al índice de consistencia del flujo (k), que en todos los casos son cercanos a 1. Nótese que la viscosidad experimental con la bibliográfica son valores similares comprobando de esta manera que el equipo universal TA-XT2i permite medir la viscosidad del agua a 20°C . Las tablas y figuras restantes para las demás réplicas se muestran en el Anexo C, las tablas C3.1 – C3.9 y Anexo E Figuras 1 - 18.

Tabla 7. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R1

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,182	7,817	19,137	1431,280	5836,008	5,762	3,766	0,761
14,144	2,588	7,832	23,024	1764,970	7021,324	7,105	3,846	0,852
14,422	3,101	7,866	28,005	2111,070	8540,233	8,498	3,931	0,929
14,701	3,477	7,667	32,838	2444,759	10014,160	9,841	4,001	0,993
15,045	4,109	7,929	38,405	2916,337	11711,610	11,740	4,069	1,070

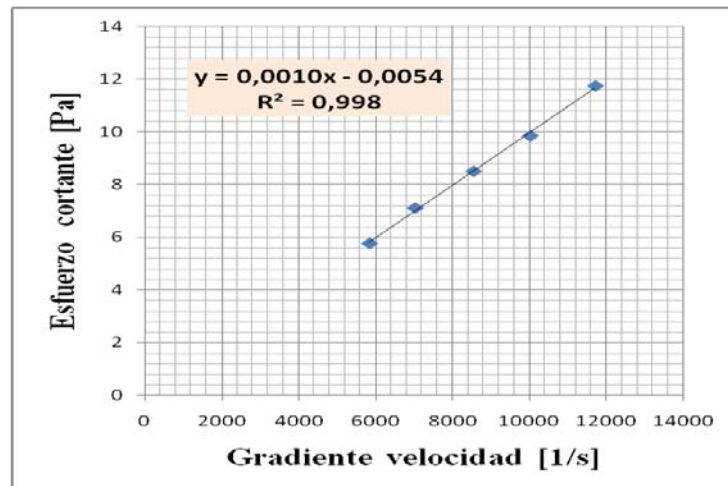


Figura 24. Reograma del comportamiento newtoniano del tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R1

Del mismo modo se realizó una tabla resumen (Tabla C4.1) donde se observan todos los valores calculados del Esfuerzo Cortante [Pa] y el Gradiente de Velocidad [1/s]. La gráfica de estos puntos se reportan en la figura 25.

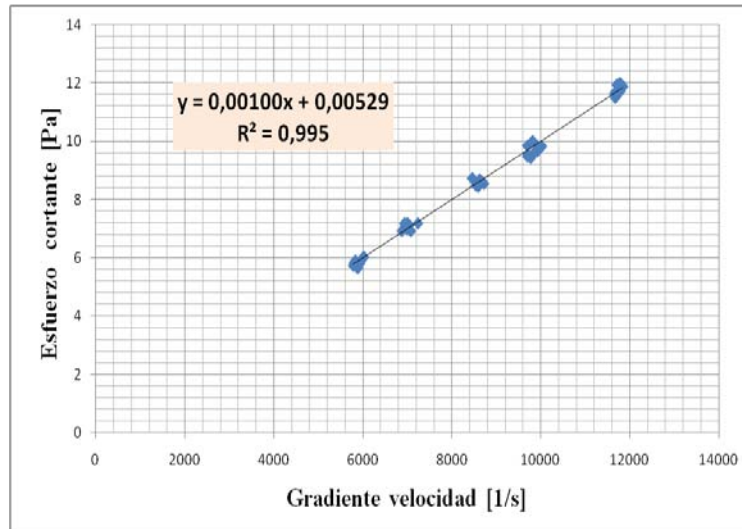


Figura 25. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua

A modo de correlacionar los valores obtenidos anteriormente se aplicó la Ley de potencia donde se graficó el logaritmo del Esfuerzo Cortante [Pa] vs el logaritmo del Gradiente de Velocidad [1/s]. Los datos se observan en la 7.

A continuación presentamos la gráfica, log (Esfuerzo Cortante [Pa]) versus log (Gradiente de Velocidad [1/s]). En el Anexo E se muestran las demás figuras.

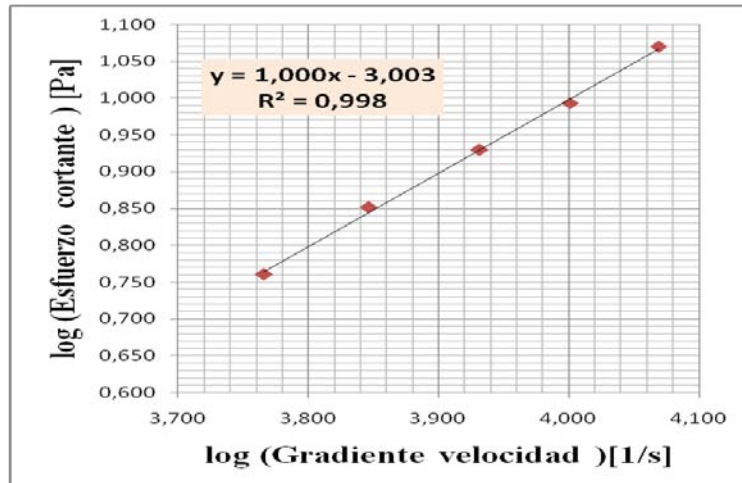


Figura 26. Representación del modelo de Ley de potencia del tratamiento a0b0 (Agua para el néctar de durazno) – R1

De la relación entre el log (Esfuerzo Cortante [Pa]) versus el log (Gradiente de Velocidad [1/s]) reportada en la figura 26 se obtiene la ecuación lineal, donde el antilogaritmo del intercepto corresponde a la viscosidad $993,116 \cdot 10^{-6}$ [Pa.s], que sería el equivalente al índice de consistencia en el modelo de la ley de la potencia (k), la pendiente corresponde al índice de comportamiento de flujo (n), al ser un fluido newtoniano es la unidad o próximo a 1.

Del mismo modo se realizó una tabla resumen (Tabla C4.1) donde se observan todos los valores calculados del logaritmo de Esfuerzo Cortante [Pa] y el logaritmo del Gradiente de Velocidad [1/s]. La gráfica de estos puntos se reportan en la figura 27.

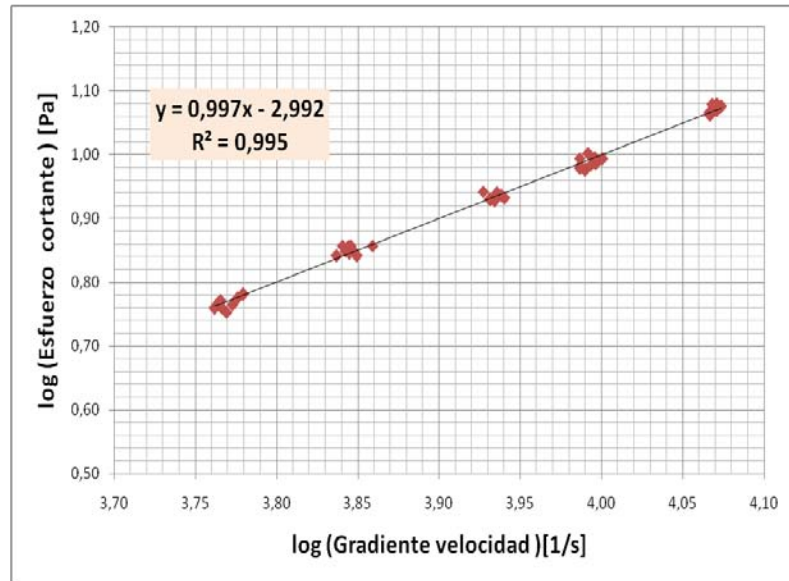


Figura 27. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua

4.1.3 Correlación de las mediciones Cannon – Fenske versus TA-XT2i

Como parte de los análisis de resultados de las viscosidades relativas del agua se efectuaron correlaciones entre los valores de viscosidades resultantes medidas en el viscosímetro capilar Cannon – Fenske y el equipo universal TA-XT2i. Ello fue motivado por la necesidad de saber si el equipo universal TA-XT2i permite realizar estas determinaciones en agua y en diluciones de néctares de frutas.

En la tabla 8 se muestra los valores finales de viscosidad (μ) en [Pa.s] obtenidas por las dos metodologías.

Tabla 8. Correlación de viscosidad (μ) obtenida mediante viscosímetro capilar y equipo universal TA-XT2i.

Determinación	Viscosidad absoluta [Pa.s]		
	Cannon - Fenske	TA-XT2i	Bibliográfica Sing y Heldman, 1984
1	1,006E-03	9,85E-04	9,934E-04
2	1,001E-03	9,94E-04	
3	9,990E-04	9,85E-04	
4	1,006E-03	9,97E-04	
5	1,005E-03	9,98E-04	
6	9,800E-04	9,94E-04	
7	9,800E-04	1,02E-03	
8	1,005E-03	1,00E-03	
9	1,004E-03	1,02E-03	
Promedio	9,984E-04	9,996E-04	

Según Sing y Heldman, (1984) el valor de viscosidad para el agua a 20°C es $993,414 \cdot 10^{-6}$ [Pa.s]. Nótese en la Tabla 8 que los valores de viscosidad calculados mediante las dos metodologías; viscosímetro capilar y el equipo universal TA-XT2i datan valores aproximados al valor bibliográfico. Concluyendo de esta manera que existen correlación entre las dos metodologías y que es posible determinar este factor en el equipo universal TA-XT2i.

Adicionalmente, de acuerdo a las metodologías empleadas mencionamos algunos criterios de comparación que se asumieron en los ensayos realizados, estos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Comparación entre las metodologías Viscosímetro Capilar Cannon – Fenske y Equipo universal TA-XT2i.

Criterios de comparación	Viscosímetro Capilar Cannon – Fenske	Equipo universal TA-XT2i
Naturaleza del fluido	Recomendable solo para fluidos Newtonianos.	Se puede determinar la viscosidad en fluidos Newtoniano y/o no-Newtonianos.

Tipo de viscosidad medida	Se obtienen valores de viscosidad relativa.	Se obtienen valores de viscosidad relativa.
Participación del operador	El operador tiene una participación directa en las mediciones, ya que el mismo tiene que medir el tiempo de flujo o recorrido del agua por el capilar.	El operador tiene una participación indirecta en los resultados, pues el equipo suministra el valor de presiones que permiten aplicar a la fórmula de ley de potencia para calcular la viscosidad.
Independencia de uso	Se mide el tiempo de recorrido del fluido, pero también se debe determinar la gravedad específica y densidad de éste para el cálculo de viscosidad	Se trabaja a diferentes presiones y por ende diferentes velocidades de corte y mediante lecturas se obtienen las gráficas correspondientes al tipo de fluido.
Grado de dificultad	En general son sencillos y fáciles de manejar.	Son un poco más complicados a la hora de manejarlos y se necesita de mayor tiempo ya que el equipo es muy sensible y los resultados datan en ocasiones errados.
Nivel de precisión	Depende del operador, ya que éste es quien activa el cronómetro.	La precisión varía conforme se manipule la jeringuilla con la muestra.

Elaborado por: Panchi Nataly

4.1.4 Interpretación del comportamiento newtoniano y no newtoniano del agua y del néctar de frutas

La figura 28 ejemplifica las curvas de flujo típicas que permiten mostrar diferencias entre los fluidos newtonianos y los no newtonianos, para lo cual se han representado los puntos experimentales del esfuerzo cortante (τ) versus la velocidad de deformación resultante ($\dot{\gamma}$).

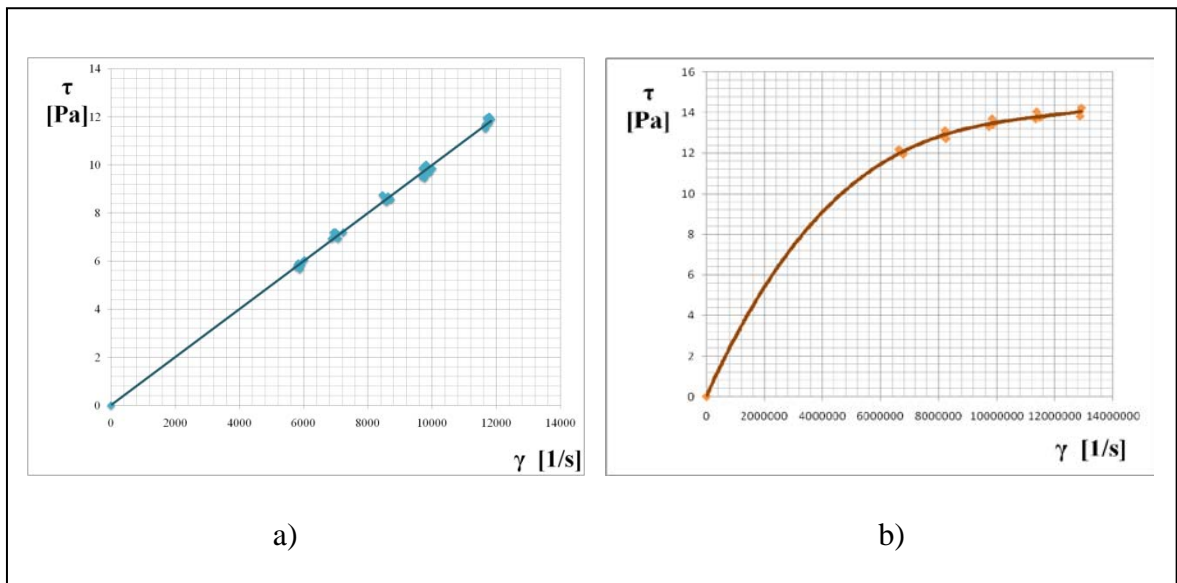


Figura 28. Reograma de los datos experimentales obtenidos en el equipo universal TA-XT2i a) Fluido Newtoniano. b) Fluido no newtoniano – pseudoplástico tratamiento a0b4 (Néctar de durazno 12°Brix) R1, R2 y R3.

Es de mencionar, que la pendiente de estas curvas representa el comportamiento viscoso en función de la velocidad de deformación.

En la figura 28 – a) es evidente que la viscosidad es constante e independiente de la rapidez de deformación, pues se observa una gráfica lineal que deduce un comportamiento acentuadamente newtoniano debido a que en la ley de la viscosidad, Newton establece que cuando se mueve un fluido, en forma “laminar”, existe una relación directamente proporcional entre los esfuerzos o tensiones aplicadas y los gradientes de la velocidad del

flujo, siendo la constante de proporcionalidad una propiedad física del fluido llamada viscosidad.

En b) se observa que el comportamiento más evidente es el pseudoplástico, en el que la curva de Esfuerzo Cortante (τ) contra la Gradiente de Velocidad ($\dot{\gamma}$) es convexa con respecto al eje de Esfuerzo Cortante (τ). Esta gráfica muestra claramente tres regiones distintas. Una región inicial corta de comportamiento newtoniano, donde la viscosidad es constante con los cambios de gradiente de deformación, una región intermedia donde la viscosidad es dependiente del gradiente de deformación y el modelo de ley de potencia es aplicable para este fenómeno y finalmente una región newtoniana donde la pendiente de la curva es constante. La viscosidad (la pendiente de la curva) en fluidos no newtonianos disminuye al incrementarse la rapidez de deformación.

Por lo anterior, a modo de buscar un modelo matemático que describa una ley de variación de los puntos experimentales, en la figura b) se observa una curva pronunciada donde se aplicó un modelo que define el comportamiento pseudoplástico del fluido. Este es el caso del modelo de Ley de Potencia Ec. (13) para los néctares en donde los parámetros k (índice de consistencia) y n (índice de comportamiento de flujo) definen las formas de la curva.

4.1.5 Interpretación de parámetros reológicos en fluidos no newtonianos mediante modelos matemáticos

Las figuras que representan cada modelo empleado para las diluciones de los néctares de frutas se reportan en el Anexo F.

4.1.5.1 Índice de comportamiento de flujo (n)

El parámetro nos indica el grado de desviación con relación al comportamiento newtoniano que presentan los fluidos, cuando es menor que la unidad, 1, el fluido es no newtoniano, y cuando este valor es menor que 0,7 es pseudoplástico.

4.1.5.1.1 Ley de Potencia

Los valores del índice de comportamiento de flujo son reportados en las tablas D1 – D3, se observa que para el néctar de durazno, mango y manzana a un intervalo de 3 – 12°Brix presentan valores de (0,211 – 0,233), (0,232 – 0,250) y (0,207 – 0,224) respectivamente, notándose en cada caso que existe mayor pseudoplasticidad a concentraciones bajas.

En el análisis de varianza (Cuadro G.1) se determina la existencia de diferencia estadística significativa a un nivel $\alpha = 0.05$ con referencia a los factores y su interacción, para ello se realizó una prueba de diferenciación Tukey (Cuadro G.1.1), donde se establece que el porcentaje de sólidos solubles presenta influencia para el valor de índice de comportamiento de flujo, el mayor valor promedio de (n) es para el factor néctar de mango al 12% de sólidos solubles (tratamiento a_1b_4) con un $n = 0,25$ a 20°C. Este valor obtenido mediante esta metodología es menor que el reportado para pulpa de mango a 25°C que es de 0,35 (Alvarado, 1996), esto puede ser porque la pulpa tiene un mayor contenido de sólidos en suspensión.

4.1.5.1.2 Modelo Toledo

Como se observa en las tablas D1 – D3, muestra igualdad de datos con la metodología anterior debido a que se aplica la Ley de Potencia.

4.1.5.1.3 Método Casson

Bajo el método de Casson, el valor para índice de comportamiento de flujo (n) parte como constante 0,5, este se toma en cuenta en todas las concentraciones de sólidos estudiados.

4.1.5.1.4 Método Herschel-Bulkley

Según los valores del índice de comportamiento de flujo reportados en las tablas D1 – D3, se observa que los resultados para el néctar de durazno, mango y manzana a un intervalo de 3 – 12°Brix presentan valores que van de (0,214– 0,237), (0,232 – 0,252) y (0,210 – 0,228) respectivamente. Se

observa que existe un ligero incremento en estos valores a medida que incrementa el porcentaje de sólidos solubles.

En el análisis de varianza (Cuadro G.2), se determina la existencia de diferencia estadística significativa a un nivel $\alpha = 0.05$ con referencia a los factores y su interacción, para ello se realizó una prueba de diferenciación Tukey (Cuadro G.2.1), donde se establece que el porcentaje de sólidos solubles presenta mayor influencia para el valor de índice de comportamiento de flujo, el mayor valor promedio de (n) es para el factor néctar de mango al 12% y 9% de sólidos solubles (tratamiento a_1b_4 y a_1b_3) con un $n = 0,25$ a 20°C .

4.1.5.2 Índice de consistencia (k)

Los valores de índice de consistencia expresado en $[\text{Pa}\cdot\text{s}^n]$, indican cómo se interrelacionan los compuestos en el producto.

4.1.5.2.1 Ley de Potencia

En las tablas D1 – D3, se reportan los valores de índice de consistencia, se observa que el néctar de durazno, mango y manzana a un intervalo de 3 – 12°Brix presentan valores que van de $(1,193 - 1,552 [\text{Pa}\cdot\text{s}^n])$, $(1,011 - 1,363 [\text{Pa}\cdot\text{s}^n])$ y $(1,229 - 1,529 [\text{Pa}\cdot\text{s}^n])$ respectivamente. Indicando que la concentración de $^\circ\text{Brix}$ incrementa el índice de consistencia, de tal modo la viscosidad de la muestra es mayor.

Aplicando el análisis estadístico para $\alpha=0.05$ (Cuadro G.3.) se establece que los factores A y B y la interacción AB influyen en el índice de consistencia; realizando pruebas de Tukey (Cuadro G.3.1) se tiene:

El mayor valor promedio del índice de consistencia es mayor a una concentración de 12°Brix , $k = 1,55 [\text{Pa}\cdot\text{s}^n]$ correspondiente al tratamiento a_0b_4 (Néctar de durazno al 12% de Sólidos solubles) seguido por el tratamiento a_2b_4 (Néctar de manzana al 12% de Sólidos solubles) con un $k = 1,53 [\text{Pa}\cdot\text{s}^n]$. Los valores de índice de consistencia obtenidos por esta metodología para el néctar de durazno y manzana son menores que el

reportado para pulpa de durazno y manzana a 25°C que son de 20,3 y 24,7 [Pa.sⁿ] respectivamente (Alvarado, 1996).

4.1.5.2.2 Modelo Toledo

En las tablas D1 – D3, se reportan los valores de índice de consistencia, se observa los resultados para el néctar de durazno, mango y manzana a un intervalo de 3 – 12°Brix presentan valores que va de (0,774 – 0,978 [Pa.sⁿ]), (0,637 – 0,838 [Pa.sⁿ]) y (0,802 – 0,974 [Pa.sⁿ]) respectivamente.

Aplicando el análisis estadístico para $\alpha=0.05$ (Cuadro G.4) se establece que los factores A y B y la interacción AB influyen en el índice de consistencia; realizando pruebas de Tukey (Cuadro G.4.1) se tiene:

Un efecto notable de la concentración de sólidos solubles 12% ,sobre el índice de consistencia, puesto que el mayor valor promedio del índice de consistencia $k = 0,98$ [Pa.sⁿ] corresponde al tratamiento a0b4 (Néctar de durazno al 12% de Sólidos solubles) seguido por el tratamiento a2b4 (Néctar de manzana al 12% de Sólidos solubles) con un $k = 0,97$ [Pa.sⁿ] respectivamente. Nótese que a medida incrementa la concentración de sólidos el valor de k también incrementa, dando de esta manera un efecto directamente proporcional. Estos valores los podemos comparar con valores reportados bibliográficamente, donde estos son menores a los reportados para pulpas de frutas (Alvarado, 1996).

4.1.5.2.3 Método Casson

En las tablas D1 – D3, se reportan los valores de índice de consistencia, se observa los resultados para el néctar de durazno, mango y manzana a un intervalo de 3 – 12°Brix presentan valores que va de (0,440 – 0,436 [Pa.sⁿ]), (0,481 – 0,471 [Pa.sⁿ]) y (0,434 – 0,432 [Pa.sⁿ]) respectivamente. Nótese que estos valores van disminuyendo a medida que incrementa el porcentaje de sólidos solubles. Este factor tiene un efecto contrario, esto se debe al método de cálculo que aparentemente no es el adecuado para determinar este parámetro en fluidos alimenticios.

Aplicando el análisis estadístico para $\alpha=0.05$ (Cuadro G.5) se establece que los factores A y B y la interacción AB influyen en el índice de consistencia; realizando pruebas de Tukey (Cuadro G.5.1) se tiene:

El mayor valor promedio del índice de consistencia está influenciado principalmente por la concentración de sólidos solubles, así son $k = 0,48$ [Pa.sⁿ] correspondiente al tratamiento a1b1 (Néctar de mango a 3% de Sólidos solubles) seguido por el tratamiento a0b1 (Néctar de durazno al 3% de Sólidos solubles) y el tratamiento a0b0 (Néctar de manzana al 3% de Sólidos solubles) con un $k = 0,44$ [Pa.sⁿ] y $0,43$ [Pa.sⁿ] respectivamente, nótese que a medida que se incrementa la concentración de sólidos solubles este valor disminuye, lo que nos indica que no es factible emplear este método de cálculo ya que estudios reportan un efecto contrario.

4.1.5.2.4 Método Herschel-Bulkley

En las tablas D1 – D3, se reportan los valores de índice de consistencia, se observa los resultados para el néctar de durazno, mango y manzana a un intervalo de 3 – 12°Brix presentan valores que va de $(1,159 – 1,488$ [Pa.sⁿ]), $(1,010 – 1,321$ [Pa.sⁿ]) y $(1,187 – 1,460$ [Pa.sⁿ]) respectivamente. Nótese que estos valores van incrementando a medida que incrementa el porcentaje de sólidos solubles.

Aplicando el análisis estadístico para $\alpha=0.05$ (Cuadro G.6) se establece que los factores A y B y la interacción AB influyen en el índice de consistencia; realizando pruebas de Tukey (Cuadro G.6.1) se tiene:

Al ser significativa la interacción se realizó una prueba de diferenciación Tukey reportada en el Cuadro G.6.1 donde se establece el mayor valor promedio del índice de consistencia $k = 1,49$ [Pa.sⁿ] correspondiente al tratamiento a0b4 (Néctar de durazno al 12% de Sólidos solubles) seguido por el tratamiento a2b4 (Néctar de manzana al 12% de Sólidos solubles) con un $k = 1,46$ [Pa.sⁿ]. Nótese que a medida incrementa la concentración de sólidos el valor de k también incrementa, dando de esta manera un efecto directamente proporcional.

4.1.5.3 Umbral de fluencia (τ_0)

Este indica el esfuerzo requerido para iniciar el flujo o esfuerzo de fluencia, dependiendo precisamente de la composición, distribución y características de las partículas suspendidas en la muestra.

4.1.5.3.1 Método Casson

En en las tablas D1 – D3, se reportan los valores de esfuerzo de fluencia. Los resultados presentados son directamente proporcionales a los datos de τ_0 en el modelo de la potencia de Casson.

Este valor para los néctares de durazno, mango y manzana son muy pequeños pues está en el orden de (0,007 – 0,032) [$\text{Pa}^{0,5}$], (0,000028 – 0,0150) [$\text{Pa}^{0,5}$] y (0,0088 – 0,0303) [$\text{Pa}^{0,5}$] respectivamente. Nótese que a una mayor concentración, el esfuerzo de fluencia incrementa así se concluye que a concentraciones mayores dan viscosidades más altas provocando un mayor esfuerzo para su movimiento.

Aplicando el análisis estadístico para $\alpha=0.05$ (Cuadro G.7) se establece que el factor B influyen en el índice de consistencia, por lo que para este se desarrolló la prueba de Tukey (Cuadro G.7.1); sin embargo el factor A y la interacción A*B no hay significancia.

Con la prueba de diferenciación Tukey (Cuadro G.7.1) se establece el mayor valor promedio del umbral de fluencia a concentraciones de 12%, $\tau_0 = 0,03$ [$\text{Pa}^{0,5}$] correspondiente al tratamiento a0b4 (Néctar de durazno a 12% de Sólidos solubles) seguido por el tratamiento a2b4 (Néctar de manzana a 12% de Sólidos solubles) con un $\tau_0 = 0,03$ [$\text{Pa}^{0,5}$], se observa que para las diluciones los valores de umbral de fluencia van disminuyendo.

4.1.5.3.2 Método Herschel-Bulkley

En las tablas D1 – D3, se reportan los valores de esfuerzo de fluencia, donde resultados para el néctar de durazno, mango y manzana a un intervalo de 3 – 12°Brix presentan valores que van de (1,205 – 1,508) [$\text{Pa}^{0,5}$],

(1,012 – 1,326) [Pa^{0,5}] y (1,242 – 1,493 [Pa^{0,5}]) respectivamente. Nótese que estos valores son mayores a una concentración de °Brix altos.

Aplicando el análisis estadístico para $\alpha=0.05$ (Cuadro G.8) se establece que los factores A y B y la interacción AB influyen en el índice de consistencia; realizando pruebas de Tukey (Cuadro G.8.1) se tiene:

El mayor valor promedio del umbral de fluencia $\tau_0 = 1,51$ [Pa^{0,5}] correspondiente al tratamiento a0b4 (Néctar de durazno a 12% de Sólidos solubles) seguido por el tratamiento a2b4 (Néctar de manzana a 12% de Sólidos solubles) con un $\tau_0 = 1,49$ [Pa^{0,5}]. Considerando los valores de esfuerzo de fluencia presentados por Alvarado, 1996 para pulpas de banano en rangos de 14.923 a 23.858 a 30°C, se observa que los datos estimados para este parámetro en néctares de frutas son muy pequeñas a relación de los publicados, lo cual indica la aplicación de una menor fuerza requerida para que el producto inicie su flujo, ya que nuestras muestras son diluciones y tienen viscosidades pequeñas.

A continuación presentamos en una tabla resumen los modelos matemáticos con sus respectivos valores experimentales del índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) [Pa.sⁿ] y umbral de fluencia (τ_0) [Pa^{0,5}] correspondientes al néctar de durazno al 12% de sólidos solubles, las demás tablas se reportan en el Anexo E.

Tabla 10. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de durazno mango y manzana a 12°Brix.

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^n$	0,233	1,552	-	0,250	1,363	-	0,224	1,529	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^n$	0,233	0,978	-	0,250	0,838	-	0,224	0,974	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,5	0,436	0,032	0,5	0,471	0,015	0,5	0,432	0,030
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,237	1,488	1,508	0,252	1,321	1,326	0,228	1,460	1,493

Los néctares de durazno, mango y manzana, se comportan como fluidos no newtonianos, Vidal y col., (2004) y Pelegrine y col., (2000) puesto que lo comprobamos con los parámetros reológicos estudiados; índice de comportamiento de flujo (n) que en todos los casos son menores que la unidad, lo que nos indica que se trata de un fluido pseudoplástico. Esto refuerza lo mencionado por (Steffe, 1992; García y Burón, 1980) de forma que cuanto más alejado se encuentra de la unidad (fluidos newtonianos) mayor pseudoplasticidad presenta el producto.

Obsérvese los resultados de la Tabla 13, por cada modelo matemático aplicado, es posible comprobar que existen ciertas variaciones en los valores de k y n , aunque es preciso matizar que esas variaciones han sido pequeñas y para el índice de comportamiento al flujo, no han resultado nunca superiores a 1.

En todos los casos los valores estimados de los parámetros k , índice de consistencia, y n , índice de comportamiento al flujo, resultaron significativos en un nivel de confianza del 95%.

Según se desprende del análisis de los resultados obtenidos para el coeficiente de determinación para todos los casos de estudio, r^2 (todos han resultado superiores a 0,990 y muchos de ellos del orden de 0,999) el modelo de Ostwald o ley de la potencia describe adecuadamente el comportamiento al flujo de las diluciones de néctares de frutas, especialmente a 12°Brix, por lo que, desde el punto de vista práctico, el flujo de este producto puede considerarse como pseudoplástico.

Ordenando de forma decreciente según sus índices de consistencia se puede decir que el néctar de durazno mediante el cálculo de Ley de Potencia, exhibió el mayor valor de este índice (1,552 [Pa.s ^{n}]) entre los demás néctares, seguida del néctar de manzana (1,529 [Pa.s ^{n}]) y finalmente el néctar de mango (1,363 [Pa.s ^{n}]). Estos valores muestran la viscosidad de los néctares a 12°Brix, si se relacionan con los valores bibliográficos encontrados en la pulpa de mango a 16,6°Brix de 3,41 [Pa*s ^{n}] a 4,57 [Pa*s ^{n}],

en el intervalo de 10°C a 60°C (Vidal et al., 2004), en la pulpa de papaya de 12 a 51°Brix de 0,7 [Pa*sⁿ] a 15,3 [Pa*sⁿ] en el intervalo de 25°C a 55°C (Telis et al., 2003). Se puede apreciar que se encuentran en un rango similar ya que nuestros resultados corresponden a néctares que son soluciones menos densas a diferencia de las pulpas, Nótese que hay una similitud entre resultados, los datos reportados con los nuestros son analizados a una temperatura en común 20°C, este valor se encuentra dentro del rango.

En el caso de los modelos de Casson y Herschel – Bulkley, también puede afectar los parámetros como el umbral de fluencia, que si bien tiende a aumentar con la concentración a veces se ha descrito el efecto contrario (Ibarz et al., 1991). Mientras que por lo que respecta al índice de comportamiento al flujo (n), un aumento de la concentración hace que afecte a este parámetro (Sáenz y Costell, 1986) como en nuestro caso en todos los modelos aplicados incrementó a medida que se incrementó la concentración de sólidos solubles.

Particularmente es notorio que los fluidos no newtonianos se deben a que sus índices de consistencia son relativamente altos, pues tienen influencia con la presencia de compuestos orgánicos constituidos de estructuras más complejas en tamaños y masas moleculares según la fruta del néctar. Éstas usualmente forman una trama intrincada que impide su fluidez así como el diámetro de descarga del accesorio que es pequeño, y por lo tanto requieren de la aplicación de fuerzas o esfuerzos, para iniciar su desplazamiento y comenzar a fluir a niveles diferentes, lo que permitió determinar los parámetros reológicos. Así también Costell y Durán, (1982) indican en el sentido de que el contenido y tipo de pectinas y de pulpa afecta al comportamiento reológico de los jugos en mayor medida que los azúcares solubles.

Chhabra, (1999) explicó las causas de la desviación del comportamiento newtoniano, observando que en productos derivados de frutas el sustrato que es una solución acuosa de sales minerales, azúcares naturales y pectinas afecta este parámetro. Es decir la diferente composición de los

frutos considerados explica su comportamiento particular. De la misma manera nuestros resultados se robustecen con estudios realizados por García y Burón Arias, (1980) quienes señalaron que la presencia de pectinas inciden en la aparición del comportamiento no – newtoniano de jugos. Además que la presencia de partículas suspendidas de pulpa ocasiona la aparición de una tensión mínima para deformación o esfuerzo de fluencia. Además los valores pequeños de esfuerzo de fluencia nos indica que se necesita un esfuerzo aplicable mínimo, esto debido a que son muestra diluidas con viscosidades y densidades pequeñas.

Finalmente, los métodos de cálculo Ley de Potencia y Toledo son los más apropiados para determinación de parámetros reológicos en diluciones de néctar de frutas, así como lo menciona (Rao et al., 1981; Vitali y Rao, 1982), quienes indican que este modelo potencial da resultados satisfactorios en purés, jugos de frutas y hortalizas viscosos, así como también ha sido confirmado por otros autores que han estudiado la reología de zumos y jugos de diversas frutas (Ibarz et al., 1989; Ibarz y Ortiz, 1993; Schwartz y Costell, 1989), puesto que existe correlación de resultados entre ellos. Además podemos mencionar que estos modelos matemáticos son los más adecuados para describir el efecto del porcentaje de sólidos solubles de los néctares de frutas sobre el índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k).

4.1.6 Correlación entre métodos de cálculo: Ley de Potencia y Toledo sobre el índice de comportamiento de flujo(n) e índice de consistencia (k) de las diluciones de néctares de frutas.

Se realizó un análisis estadístico para determinar si existe correlación en la determinación de las respuestas experimentales: índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k), mediante la aplicación de 2 métodos matemáticos: Método Ley de Potencia y método Toledo. En consecuencia se aplicó una prueba bilateral donde puede contrastarse mediante un estadístico una distribución t de Student con $(n - 1)$ grados de libertad si presentan igualdad o similitud entre metodologías.

Se tomó en cuenta una hipótesis nula donde nos indica: los datos experimentales presentan correlación entre método de cálculo. Con el propósito de discutir dicha hipótesis de igualdad de medias entre los valores de índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) de las diluciones de néctares de frutas, al realizar el análisis de comparación t de student (Cuadro H.9), no se establecieron diferencias de significado estadístico ya que $t = -3,7775E-06$ es menor que el valor crítico $t = 1,987$. En consecuencia se acepta la hipótesis nula concluyendo así que los valores de índice de comportamiento de flujo (n) obtenidos por las dos metodologías, presentan correlación entre método de cálculo.

Para el índice de consistencia (k), se rechaza la hipótesis nula al 5% de significancia. Nótese en la Cuadro H.10 que el estadístico entre las metodologías Ley de Potencia y Toledo, $t = 11,5774$ es mayor que el valor crítico $t = 1,993$. En consecuencia al rechazar la hipótesis nula se concluye que los valores de índice de consistencia (k) obtenidos por las dos metodologías, no presentan correlación entre método de cálculo.

4.1.7 Correlación entre métodos de cálculo: Casson y Herchel y Bulkley sobre el índice de comportamiento de flujo(n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) de las diluciones de néctares de frutas.

De la misma manera se realizó un análisis estadístico para determinar si existe correlación en la determinación de las respuestas experimentales: índice de comportamiento de flujo (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0), mediante la aplicación de 2 métodos matemáticos: método Casson y método Herschel – Bulkley, en este caso los dos modelos matemáticos presentan un valor adicional el cual es el umbral de fluencia, por esta razón también se aplicó una prueba bilateral donde puede contrastarse mediante un estadístico una distribución t de Student con $(n - 1)$ grados de libertad si presentan igualdad o similitud entre metodologías.

Para el índice de comportamiento de flujo (n), se rechaza la hipótesis nula al 5% de significancia. Nótese en el Cuadro H.11 que el estadístico entre las metodologías Casson y Herschel-Bulkley, $t = 5,74$ es mayor que el valor crítico $t = 12,01$. En consecuencia al rechazar la hipótesis nula se concluye que los valores de índice de comportamiento de flujo (n) obtenidos por las dos metodologías, no presentan correlación entre método de cálculo.

Para el índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0), se acepta la hipótesis nula al 5% de significancia. Nótese en los Cuadros H.12 – H.13 que el estadístico entre las metodologías Casson y Herschel-Bulkley, para (k) y (τ_0), $t = -1,940$ y $t = 1,551$ es menor que el valor crítico $t = 1,988$ y $t = 2,014$ respectivamente. En consecuencia al aceptar la hipótesis nula se concluye que los valores de índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) obtenidos por las dos metodologías, presentan correlación entre método de cálculo.

4.1.8 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

4.1.8.1 Fluidos Newtonianos

Para el análisis asumimos que se trata de dos muestras suponiendo varianzas diferentes porque cada método permitió determinar la viscosidad del agua por metodología diferente. En consecuencia esta prueba bilateral puede contrastarse mediante un estadístico que posee una distribución t de student con $(n-1)$ grados de libertad. En la Tabla 8 se presenta el output obtenido en Excel con los datos experimentales.

Aplicamos la regla de decisión siguiente: Aceptar H_0 al 5% de significación si el estadístico de prueba calculado con los valores experimentales es menor que el valor crítico teórico para $\alpha = 0,05$. Nótese en el Cuadro H.14 que el estadístico $t = 0,0735$ es menor que el valor crítico $t = 2,160$.

En consecuencia, se acepta la hipótesis nula al 5% de significancia y se concluye que las medidas de viscosidad en agua con el equipo universal TA-XT2i son iguales a los obtenidos mediante el viscosímetro Cannon – Fenske.

4.1.8.2 Fluidos No Newtonianos

El análisis de varianza en todos los casos presenta valores de $< 0,0001$ a un nivel de significancia de 5% lo cual nos muestra que existe efecto significativo de las variables independientes: Tipo de muestra (muestra) y concentración de sólidos solubles (%) así como también de sus interacciones sobre los parámetros reológicos obtenidos mediante la aplicación de 4 modelos matemáticos como son: Ley de Potencia, Toledo, Casson y Herschel – Bulkley. Sin embargo donde no existió significancia fue en la variable independiente del tipo de muestra y la interacción sobre el umbral de fluencia (τ_0) determinado por el método de Casson.

Al existir significancia de las variables independientes sobre los parámetros reológicos se rechaza la hipótesis nula al 5% de significancia y acepta la alternativa, por lo que se determina que la concentración de sólidos solubles de los néctares de frutas influye directamente en la variación del índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los objetivos planteados en este estudio se cumplieron, ya que mediante ensayos aplicados en el equipo universal TA-XT2i se determinó la viscosidad del agua y los parámetros reológicos como son el índice de comportamiento de flujo (n) y el índice de consistencia (k) de bebidas a base de frutas con énfasis a la variación de la concentración ($^{\circ}$ Brix).
- Como sabemos en la industria alimenticia específicamente en procesos de alimentos fluidos, se considera de mucha importancia la aplicación de parámetros reológicos, por lo que en esta investigación el análisis central fue determinar dichos parámetros mediante el desarrollo de una serie de ensayos en el equipo universal TA-XT2i con la finalidad de obtener valores que permitan calcular por razón de métodos de Ley de Potencia, Toledo, Casson y Herschel – Bulkley la viscosidad.
- Con el fin de comprobar el comportamiento newtoniano del agua se empleó la ecuación propuesta por la AOAC, (2005) donde por este método el valor de viscosidad promedio es de 0,0009999 [Pa.s] y

mediante el modelo de Ostwald o también ley de potencia, al graficar el Esfuerzo Cortante [Pa] versus el Gradiente de Velocidad [1/s] se obtiene una ecuación lineal, en el que la pendiente en promedio 0,0009995 [Pa.s] corresponde a la viscosidad a las condiciones planteadas. El valor de viscosidad en los dos casos corresponden aproximadamente a 0.001 [Pa.s]. En base a esto se corroboró que, tanto la viscosidad obtenida por el método del viscosímetro capilar como el obtenido mediante el equipo universal TA-XT2i presentan un comportamiento newtoniano. Además podemos acotar que la propiedad reológica; de comportamiento de flujo (n), define el tipo de fluido en este estudio, pues reflejan valores de (n) inferiores a 1 ($n = 0,25$), lo cual indica que el comportamiento de las diluciones de néctar es de carácter no newtoniano específicamente pseudoplástico. Frente a este análisis también se realizó gráficas para estos dos tipos de fluidos, se observa que tienen curvas que representan al tipo de fluido, en el caso de los newtonianos posee una gráfica lineal lo que es característico de un fluido newtoniano, mientras que en la gráfica de los fluidos no newtonianos el comportamiento pseudoplástico es más evidente al tener una curva pronunciada.

- Mediante el uso del equipo universal TA-XT2i se determinó los parámetros reológicos del agua y de las diluciones de los néctares de: durazno, mango y manzana por cuantificación del esfuerzo de deformación (τ) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$), por lo que la variación del esfuerzo con el gradiente de velocidad, se ajusta con precisión al modelo de Ostwald de Waele o Ley de Potencia y el método desarrollado por Toledo ($\tau = k \dot{\gamma}^n$), pues los datos se ajustan adecuadamente ($R^2 = 0,99$) comportándose como un fluido newtoniano ($n = 0.001$ y $k = 1$ k [Pa.sⁿ]) y no newtoniano – pseudoplástico ($n = 0,233$ y $k = 1,552$ [Pa.sⁿ]).
- El comportamiento reológico de las diluciones de los néctares de frutas fueron similares en todas las metodologías de cálculo empleadas para determinar viscosidad, todos estos valores aumentaron a medida que se

incrementó la concentración de sólidos solubles en las muestras desde 0 a 12°Brix, existiendo así una relación directamente proporcional.

- En cuanto al efecto de la concentración de sólidos solubles sobre las propiedades reológicas de los néctares de frutas, se estableció mediante análisis de varianzas a un nivel de significancia del 5% que existe dependencia de este factor en todos los casos estudiados. De esta manera podemos indicar que los alimentos en general son heterogéneos y constituyen sistemas de varias fases entre ellos podemos indicar fibras, células, cristales, minerales, etc dispersas en una fase continua que en muchos casos es acuosa, afectando así en los parámetros reológicos de las muestras analizadas.
- Los índices de correlación cuando se emplean los cuatro modelos matemáticos en la determinación del índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k) para cada uno de los tratamientos, en todos sobrepasa el 0,9, lo que indica que los modelos son aplicables a estos.
- Las propiedades reológicas de las diluciones de néctares de frutas se han ajustado significativamente a los modelos matemáticos elegidos en este estudio, lo cual se ha cuantificado el carácter pseudoplástico a 20°C, ajustando los parámetros experimentales a la ecuación de Ostwald o Ley de Potencia y al método desarrollado por Toledo. Por lo que la viscosidad estudiada entre 0 y 12°Brix de néctares de durazno, mango y manzana, confirma un predominio de este tipo.

5.2 Recomendaciones

- El texturómetro por ser un equipo nuevo e innovador en la determinación de parámetros reológicos se recomienda primero leer bien el manual de

manejo del texturómetro y su programa, para poder crear las condiciones de operación sin complicaciones.

- El nuevo accesorio propuesto en este trabajo por ser de material de vidrio se debe manipular con mucho cuidado, lavarlo y secarlo bien entre determinación y determinación para evitar valores que alteren el resultado final.
- Antes de realizar cualquier medición con un equipo o instrumento, verificar si éste está calibrado y nivelado, omitir esta situación es causa de generación de valores incorrectos, a veces imperceptibles y como consecuencia se obtienen un informe con resultados erróneos, los mismos que a veces son la referencia bibliográfica de una nueva investigación.
- En la caracterización fisicoquímica de las muestras específicamente en la medición del pH y conductividad eléctrica, calibrar estos con la ayuda de soluciones aptas para cada equipo ya que podrían dañarse. Del mismo modo realizar las mediciones con cuidado ya que sus electrodos son muy sensibles a golpes y suciedad por lo que por cada medición hay que lavarlos con agua destilada y secarlos con cuidado.
- De la misma manera el viscosímetro capilar al ser material fungible hay que lavarlo y secarlo con cuidado, algo que ayuda a secarlo con cuidado es utilizando acetona para recoger completamente el agua contenido en el viscosímetro.
- Será interesante probar esta metodología con otros fluidos alimenticios para determinar si el equipo universal TA-XT2i reporta los valores que permitan calcular términos de cálculo de esfuerzo cortante (τ) y gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$).

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 DATOS INFORMATIVOS

- **Título:** “Desarrollo de un método para utilizar el equipo universal TA-XT2i en la determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas a diferentes concentraciones de sólidos solubles”
- **Institución Ejecutora:** Departamento de Nutrición y Calidad. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato.
- **Beneficiarios** Comunidad FCIAL. Departamento de Nutrición y Calidad. Estación Experimental Santa Catalina. INIAP
- **Ubicación:** Quito – Ecuador
- **Tiempo estimado para la ejecución:** 5 meses

6.2 ANTECEDENTES

La didáctica de la investigación experimental, a menudo, se limita a la realización práctica de un experimento determinado en forma asilada. Sin embargo la investigación científica necesita la integración de diferentes

disciplinas en forma creativa por lo que resulta necesario desarrollar nuevas metodologías que permitan determinar ciertas propiedades.

Tal es el caso de Tripaldi y col. (2007), en su trabajo titulado, Propuesta de una práctica integrada de reología de alimentos, el cual indica el comportamiento reológico de 7 salsas comerciales, utilizando un viscosímetro capilar de presión variable, obtenido por acople de un capilar de vidrio a una jeringuilla de vidrio de 3 ml de capacidad, aplicando sobre la misma, un esfuerzo mecánico, mediante pesas de calibración de valores conocidos. De esta manera el experimento establece que las salsas estudiadas tienen un comportamiento reológico parecido, presentando un comportamiento lineal bien definido y un esfuerzo límite de cizalla, perteneciendo al grupo de los fluidos plásticos de Bingham.

De esta manera se han implementado metodologías que permitan la determinación de ciertos parámetros mediante el uso de equipos relativamente nuevos.

Algunos de estos parámetros se conocen a las propiedades reológicas de los alimentos fluidos o semisólidos mismos que son importantes para muchas actividades industriales como el control de calidad, evaluación de la aceptación por el consumidor o textura, diseño y control de procesos, caracterización de estructura de alimentos y composición.

Se han realizado diversos estudios para determinar las propiedades reológicas de pulpas de fruta utilizando viscosímetros rotacionales, como el efectuado por Muñoz (2004) para caracterizar las propiedades de flujo de pulpas de durazno. Sin embargo, para materiales que tienen consistencia gomosa o partículas en suspensión, un viscosímetro rotacional no puede utilizarse porque puede exhibir lecturas de torque oscilatorias.

Otros como Dak y colaboradores (2006), estudiaron las características del flujo del jugo de mango y evaluaron los parámetros reológicos utilizando un viscosímetro rotacional a temperaturas entre 20 y 70 °C, en el intervalo de 11,69 y 26 % de sólidos totales. A partir de los resultados experimentales se

determinó que el mejor ajuste se obtuvo con la ley de la potencia, resultando valores para el índice de comportamiento de flujo (n) menores que la unidad (0,20–0,33) para todas las temperaturas y concentraciones, revelando el comportamiento pseudoplástico del jugo.

Muñoz y col, (2008), presentan una alternativa como es la retroextrusión (se emplea para describir el proceso donde una sonda o pistón desciende a velocidad constante en el interior de un contenedor cilíndrico, cerrado en su base, que contiene la muestra a analizar), por el corto tiempo relativo de los ensayos y el bajo costo del equipamiento, para la determinación de los valores de índice de consistencia K y de comportamiento al flujo n para las pulpas de durazno, pera y ciruela a las concentraciones y temperaturas propuestas.

Steffe y Osorio, (1987) aplicaron retroextrusión para estudiar el comportamiento de fluidos no Newtonianos con una geometría de cilindro anular/sonda y una máquina Universal Instron (Se realizó un balance de fuerzas actuantes y resultantes. La fuerza máxima FT se determinó con un analizador de textura TA-XT2i, utilizando el programa Texture Expert 1.22.)

Por lo anterior, el equipo universal TA-XT2i ha sido empleado para una serie de investigaciones en alimentos líquidos y sólidos. Tal es el caso de Cardona, M. y col (2010), quienes emplearon el equipo TA-XT2i provisto de una celda de carga de 25kg, un plato para comprimir de 20mm de diámetro, un recipiente en forma cilíndrica de 40 mm de profundidad y 24 mm de diámetro, en el cual se vertió la salsa hasta una altura de 25 mm. Las condiciones de operación del equipo fueron: velocidad de pre-ensayo, 5mm/s, velocidad de ensayo, 5mm/s, velocidad pos-ensayo, 5mm/s. Estas condiciones fueron específicamente adaptadas para obtener información precisa sobre las variaciones de textura en la salsa de borjón.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Las diferentes metodologías para el análisis reológico de fluidos incluyen el uso de equipos costosos conocidos como reómetros. Sin embargo otra

alternativa viable de fácil aplicación y disponibilidad son los viscosímetros de tubo capilar, utilizados para evaluar específicamente fluidos newtonianos como el agua.

Para la determinación de parámetros reológicos en fluidos no newtonianos, en nuestro caso bebidas de frutas a diferentes concentraciones de sólidos solubles, este tipo de equipo no es muy recomendable debido a que la composición de estos néctares presenta sólidos en suspensión, fibras, células y demás, que hace que la muestra no fluya con homogeneidad.

Dentro de la industria alimenticia es de suma importancia medir estos parámetros reológicos que permitan interpretar el comportamiento de flujo de un fluido, por lo que, conforme a esta necesidad se ha planificado el desarrollo teórico – práctico de la Reología de fluidos, para la determinación de índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k), mediante el uso del equipo universal de tipo Instron TA-XT2i que dispone el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina INIAP, mismo que consta por acople, de un capilar de vidrio una jeringuilla de 10ml de capacidad.

Además el estudio anterior refleja que es posible determinar estos parámetros, obteniendo resultados válidos y confiables. De esta manera este trabajo permite el uso óptimo del equipo universal TA-XT2i.

Hay que tomar en cuenta que, esta ciencia, aún muy joven, todavía es bastante experimental y estudiada por unos pocos. La falta de soporte teórico en el manejo y procesamiento de datos generados por el equipo, hace difícil la interpretación de resultados, a pesar de esto, el impacto de esta nueva metodología es bien visible para la determinación de parámetros reológicos, probando así la versatilidad para obtener datos reológicos en fluidos no newtonianos – bebidas de frutas a diferentes concentraciones de sólidos solubles.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 Objetivo general

- Desarrollar un método que permita utilizar el equipo universal TA-XT2i en la determinación de parámetros reológicos en bebidas de frutas a diferentes concentraciones de sólidos solubles.

6.4.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros reológicos del néctar de mango a diferentes concentraciones de sólidos solubles, mediante la nueva metodología aplicada al uso del equipo universal TA-XT2i.
- Establecer las condiciones de operación del equipo universal TA-XT2i destinados a la medición de parámetros reológicos.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

De los resultados de la investigación realizada, podemos deducir que la propuesta es factible de realizarla, puesto que los recursos humanos, materiales y financieros están al alcance de quienes llevaran adelante las acciones del indicado trabajo, sin embargo hay que tomar en cuenta aspectos como:

- Político: Predisposición de las autoridades para otorgar permisos necesarios.
- Sociocultural: El desarrollo de esta nueva metodología fortalecería el área de Reología de Alimentos para el desarrollo de nuevas investigaciones.
- Tecnológicos: Esta propuesta consta con el equipo necesario para el desarrollo de datos, puesto que el Departamento de Nutrición y Calidad lo posee.
- Organizacional: Las personas encargadas cuentan con el apoyo necesario.

- Económico y Financiero: Los recursos necesarios serán autofinanciados por la persona interesada en este producto.

La puesta en marcha de la presente propuesta resulta muy factible ya que el costo de la materia prima no es muy elevado.

Además de acuerdo al anterior estudio, los parámetros condicionados en el equipo universal TA-XT2i, para la obtención de datos, ya están adaptados específicamente para el análisis de néctar de frutas, lo cual se evitará realizar más ensayos que permitan obtener resultados confiables.

Además los ensayos que en un futuro se realicen se podrán realizar en el Departamento de Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina, quienes apoyan a la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías a los estudiantes que se encuentran realizando sus trabajos para la obtención del título de tercer nivel.

6.6 FUNDAMENTACIÓN

Alvarado, (1996) define a los fluidos como las sustancias que fluyen sin desintegrarse cuando se aplica una presión, lo cual influye a gases, líquidos y ciertos sólidos. En especial, para el caso de los líquidos se requiere diferentes esfuerzos de cizalla, para permitir que las moléculas de una capa pasen a otra a cierta velocidad. La relación entre el esfuerzo de cizalla requerido para inducir una determinada velocidad de deformación en cizalla, caracteriza el comportamiento reológico de un fluido.

En los fluidos llamados newtonianos, el esfuerzo de cizalla es directamente proporcional a la velocidad en cizalla o, abreviadamente, velocidad de cizalla y la constante de proporcionalidad corresponde a la viscosidad. Muchos fluidos alimentarios se desvían de este comportamiento; pertenecen al grupo de los fluidos no – newtonianos, en los cuales el término índice de consistencia equivale a una viscosidad no newtoniana. Pero para definir el flujo se requiere de otros términos: el índice de comportamiento al flujo y, en

ciertos casos, el esfuerzo de fluencia (tensión mínima de deformación o umbral de fluencia).

Para que los derivados de fruta se constituyan un insumo apto para la industria, debe procesarse y cumplir algunas características de calidad, en especial la viscosidad o consistencia (parámetros reológicos), característica física fundamental en pulpas de frutas (Torrallés et al., 2006). Por lo que, en el caso de las propiedades reológicas, ha sido de interés considerar como una herramienta analítica para proveer información fundamental de la estructura de los alimentos y por ende su procesamiento. Estas propiedades de los alimentos están fuertemente influenciadas por la temperatura, concentración y estado físico de dispersión (Ahmed y col., 2007).

Las propiedades reológicas de los alimentos fluidos es crucial en el desarrollo, diseño y evaluación de equipos para sistemas de procesado entre ellos calculo de bombas, tamaño y longitud de tubería, cambiadores de calor, evaporadores, esterilizadores y mezcladores entre otros (Tiu y col., 1974). Adicionalmente se han considerado como una herramienta analítica tendiente a la valoración de la estructura integral de los componentes de una matriz (Barbosa-Canovas, et. al 1996). Las pulpas, zumos y purés concentrados exhiben propiedades dependientes del tiempo son flujos que dependen del esfuerzo y tensión de cizalla aplicados. Dependiendo de la concentración de sólidos totales se puede presentar o no comportamiento newtoniano.

Diversos modelos reológicos has sido usados para representar el comportamiento de flujo de los alimentos líquidos purés zumos y concentrados de frutas (Pelegriane, et al 2000; Vidal, et al 2004).

Por lo anterior, desde el punto de vista reológico los zumos concentrados, clarificados y despectinizados presentan un comportamiento newtoniano. Sin embargo los derivados de frutas pertenecientes a los otros grupos no cumplen con la ley de Newton de la viscosidad, por lo que se dice que se comportan como fluido no newtonianos. El comportamiento de estos últimos,

puede describirse mediante la ley de la potencia (Saravacos, 1970; Holdsworth, 1971; Crandall y Nelson; 1975; Rao, 1986; Toledo, 1981), donde se relaciona la fuerza de cizallamiento (τ) con la variación del gradiente de cizalla (dv/dx) (Torrallés et al., 2006) o mediante el modelo de Herschel–Bulkley aplicable a muchos alimentos según Osorio y Steffe (1984), en el caso que presenten una tensión de fluencia diferente de cero (Crandall y col., 1982).

Según Alvarado, (1996), los fluidos newtonianos, en los cuales el esfuerzo de cizalla (τ) es directamente proporcional a la velocidad de cizalla (dv/dx) o simplemente (γ).

$$\tau = \mu(\gamma) \quad (1)$$

En cuyo caso es correcto llamar a la constante μ , viscosidad.

Los fluidos que se desvían de este comportamiento son llamados no newtonianos, en los cuales el término “viscosidad aparente” se utiliza como un índice de la consistencia del fluido; entre estos se encuentra:

$$\text{Ley de Potencia} \quad \tau = k(\gamma)^n \quad (2)$$

Fluidos pseudoplásticos, en los cuales la viscosidad aparente disminuye a medida que aumenta la velocidad de cizalla, en consecuencia el índice de comportamiento al flujo será menor que la unidad.

6.7 METODOLOGÍA

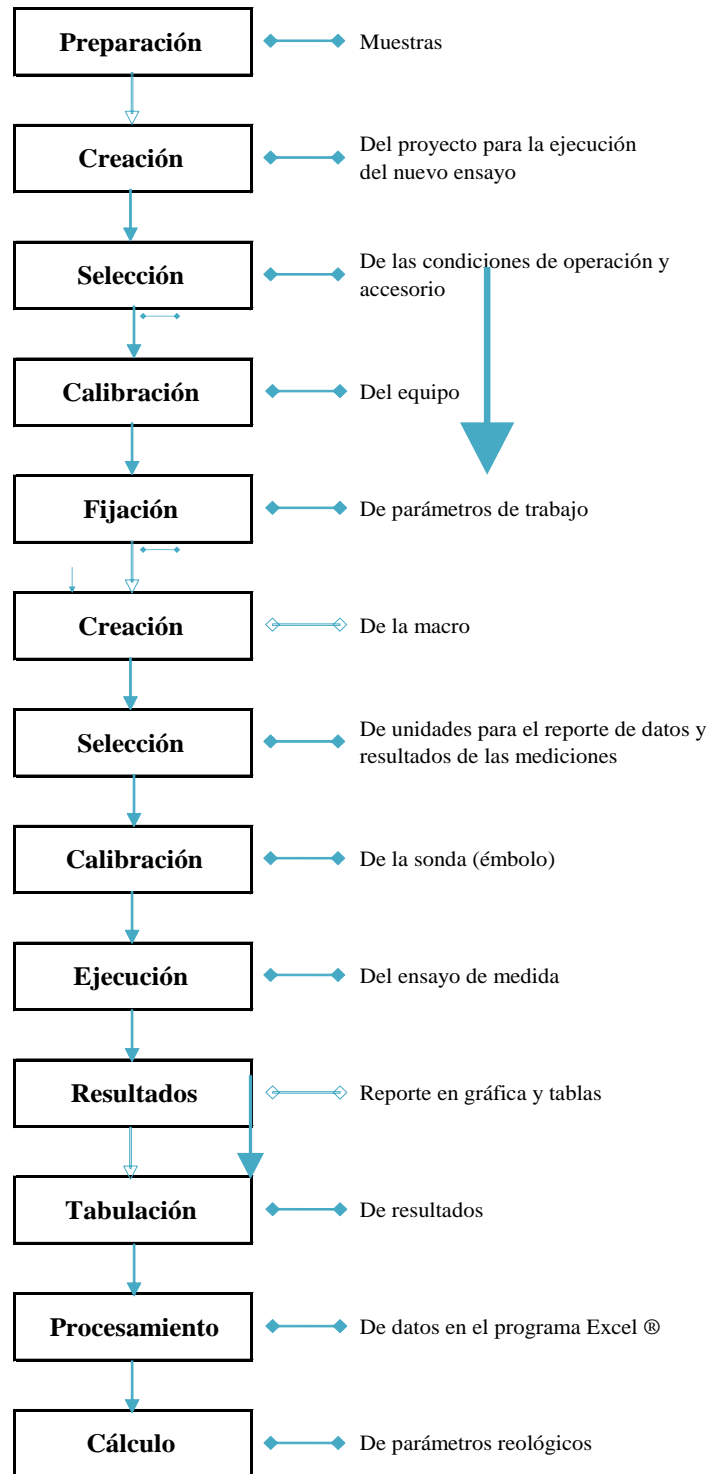
Dentro del modelo operativo se encuentra el desarrollo de los tres objetivos planteados en la presente propuesta:

- Diagrama de Flujo del desarrollo de la nueva metodología de medición de parámetros reológicos en bebidas de frutas mediante el uso del equipo universal TA-XT2i.
- Creación del proyecto para la ejecución de la nueva metodología de medición en el equipo universal TA-XT2i.

- Selección de condiciones de operación y fijación de parámetros de trabajo en el equipo universal TA-XT2i.

6.7.1 MODELO OPERATIVO

Figura 29. Diagrama de flujo del desarrollo de la nueva metodología de medición en el equipo universal TA-XT2i



Elaborado por: Panchi Nataly, 2013.

Explicación del diagrama de flujo propuesto para el desarrollo de la nueva metodología de medición en el equipo universal TA-XT2i.

6.7.2 Preparación de las muestras de néctar de mango

Para llevar a cabo las diferentes mediciones, se prepara muestras de 500ml (unidad experimental) de néctar de mango de a 0, 3, 6, 9 y 12 % de sólidos solubles, la referencia 0% de sólidos solubles es agua destilada. Para ajustar los °Brix se realiza un balance de materiales tomando en cuenta su porcentaje de sólidos solubles inicial. La verificación y ajuste se realiza mediante un juego de brixómetros marca ATAGO del rango de 0 a 52°Brix. Las muestras preparadas son trasvasadas a frascos de vidrio (erlenmeyers) de 500ml tapadas con una lámina de aluminio para evitar contaminaciones y sometidas a refrigeración.

6.7.3 Creación del proyecto para la ejecución del nuevo ensayo en el equipo universal TA-Xt2i

Siguiendo el procedimiento de operación del software TextureExpert (Stable Micro System, 1997) y con la guía de uso del equipo, se creó un nuevo proyecto para la ejecución del ensayo de reología. El proyecto nuevo en sí, consta de una carpeta operativa en la cual deben ser archivadas las subcarpetas: parámetros, macro (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), gráficos y resultados. En tal sentido, la ejecución de todos los ensayos de mediciones instrumentales del equipo TA-XT2i se fundamenta en los siguientes aspectos:

- 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 equipo TA-XT2i.
- 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 de ensayo, el cual incluye la selección y calibración del accesorio o sonda.

6.7.4 Selección de condiciones de operación y accesorio

Las condiciones de operación del texturómetro y la celda de carga de 5kg son seleccionadas en base a los ejemplos disponibles de mediciones instrumentales en mieles, jarabes y cremas de la sección Ayudas del software Texture Expert (Stable Micro System, 1997). 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 utiliza la medida de compresión ejercida por el émbolo de una jeringuilla sobre las muestras de agua y diluciones de néctar de frutas. El accesorio utilizado está compuesto por: una jeringuilla de vidrio de 10ml marca Super Eva Glass, un tubo de plástico de 10,97cm de largo y una probeta de plástico de 100ml y 20cm de alto utilizado como soporte de la jeringuilla.

La selección de la jeringuilla se fundamenta en la práctica de reología propuesta por Tripaldi et al., (2007) y en los principios para la determinación de viscosidad mediante la Ley de Potencia y el método de cálculo desarrollado por Toledo.

6.7.5 Calibración del equipo y fijación de los parámetros de trabajo

Como parte de la fijación de parámetros se verifica la calibración del equipo con la celda de carga de 5kg. Este paso es necesario únicamente por cambio de lugar del equipo o cada vez que se requiera cambiar la celda de carga.

El procedimiento de calibración se detalla a continuación.

6.7.5.1 Componentes de texturómetro

PEDESTAL:

(Stable Micro Systems, 1997a). Es el componente más 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 celdas de 5 y 25kg. 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 5kg. 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.

6.7.5.2 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.

6.7.5.3 Cambio de la celda de carga

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

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

6.7.5.4 Calibración del equipo

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

TECLADO:

- a) Girar la llave que se encuentra con dirección a la palabra RUN, hacia MACHINE CONFIGURE.
- b) Para girar la llave se debe presionar un poco y luego se gira.
- c) Presionar ENT hasta que en la pantalla del medio del teclado aparezca la palabra CELL, con las teclas + ó – llevar la celda correspondiente.
- d) 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 (Stable Micro Systems, 1997a).

6.7.5.5 Ensayo

6.7.5.5.1 Fijar parámetros

Antes de iniciar el ensayo, se debe 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 (Stable Micro Systems, 1997a).

Para ingresar Parámetros:

- a) Ingresar la barra ARCHIVO y seleccionar NUEVO PROYECTO. Aparece un cuadro donde se pone el título.
- b) En la barra superior de la pantalla aparece un cuadro que dice TA. Seleccionar la opción Parámetros de TA.
- c) Ingresar los parámetros correspondientes al ensayo en el cuadro que aparece.
- d) 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.
- e) 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 unto a parámetros aparece un cuadro punteado (...), dar un clic y escoger los parámetros.

Pasos para crear una macro:

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

Finalmente guardar el proyecto:

ARCHIVO → GUARDAR → c:/te_span/proyecto/nombre.prj.

Para iniciar el ensayo presionar REINICIO y aparece la pantalla de trabajo.

6.7.5.5.2 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 esté 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:

1. Acercar lo máximo posible las placas o puntas de accesorio a la superficie donde va la muestra.
2. En la barra TA, seleccionar Calibrar Sonda.
3. Escoger la distancia y aceptar.

Se inicia el ensayo:

TA → Ejecutar Ensayo → Llenar la plantilla → OK



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

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.

6.7.6 Creación de la macro

La macro es un conjunto de comandos obtenidos 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 equipo TA-XT2i (Stable Micro System, 1997)

La macro fijada para el ensayo fue:

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

a. Definición de los comandos utilizados en la macro

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 equipo TA-XT2i, 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 Equipo TA-XT2i 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.

% Fuerza máxima: Esta función ordena al programa reportar la máxima fuerza positiva realizada por el brazo del equipo TA-XT2i en cada determinación.

Marcar fuerza: Mediante esta función el programa almacena el resultado de

la fuerza máxima positiva ejercida por el brazo del equipo TA-XT2i, 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 se tardó en ejecutar una determinación.

Área: Comprende el área que da como resultado al momento de fijar los anclajes.

Seleccionar anclaje 1: Activar el anclaje

% Fuerza máxima: Almacena y reporta la fuerza máxima positiva en forma de tabla en cada determinación.

Fijar anclaje 2: Activar el anclaje.

6.7.7 Selección de las unidades para el reporte de datos y resultados de las mediciones

La obtención de datos y resultados del nuevo ensayo experimental se realiza a través de los gráficos de la medida de la fuerza de compresión versus el tiempo. Las unidades seleccionadas son libras fuerza sobre pulgada cuadrada (lb^*/plg^2) para expresar esfuerzo. De este modo, se obtiene el área bajo la curva en unidades de viscosidad $[(\text{lb}^*.\text{plg}^2).\text{s}]$, resultante de multiplicar la diferencia de las medidas de compresión inicial y final (lb^*/plg^2) por el valor del tiempo (s).

6.7.8 Calibración de sonda (émbolo) y ejecución del ensayo de medida de las fuerzas aplicadas a las muestras

Para iniciar la rutina de las mediciones, se procede a calibrar la sonda o en este caso la distancia que debe bajar el émbolo de la jeringuilla y la distancia para que retorne a su posición inicial el brazo del equipo TA-XT2i. En esta parte se toma en cuenta que el émbolo debe descender desde 5ml hasta

2ml para desalojar 3ml de muestra.

6.7.9 Cálculo de parámetros reológicos

De acuerdo al estudio realizado anteriormente, podemos mencionar que los resultados obtenidos a diferentes concentraciones de sólidos solubles, demuestran un comportamiento pseudoplástico ajustándose adecuadamente al modelo de Ostwald o Ley de potencia. Por tal razón aplicamos los resultados al modelo matemático siguiente:

$$\text{Ley de Potencia} \quad \tau = k(\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

Cuadro 2. Modelo operativo (Plan de acción)

Fases	Metas	Actividades	Responsables	Recursos	Tiempo
1. Formular la propuesta	Justificar el uso del equipo universal TA-XT2i destinado a la determinación de parámetros reológicos.	Revisión bibliográfica	Investigador	Humano Técnico Económico	30 días
2. Desarrollo preliminar de la propuesta	Caracterización de las muestras a analizar. Determinación de viscosidad relativa del agua mediante el viscosímetro capilar Cannon-Fenske.	Análisis físicos – químicos. Tabulación de datos experimentales.	Investigador	Humano Técnico Económico	30 días
3. Implementación de la propuesta	Ejecutar las condiciones de medición en el software Texture Expert para medición de esfuerzo inicial y final de las muestras diluidas del néctar de frutas.	Cálculo de parámetros reológicos. Redacción de artículos técnicos	Investigador	Humano Técnico Económico	60 días
4. Evaluación de la propuesta	Comprobar los resultados obtenidos de parámetros reológicos en néctar de frutas	Ensayos bibliográficos	Investigador	Humano Técnico Económico	30 días

Elaborado por: Panchi Nataly, 2013

6.8 ADMINISTRACIÓN

Cuadro 3. Administración de la Propuesta

Indicadores a mejorar	Situación Actual	Resultados esperados	Actividades	Responsables
Manejo y funcionamiento del equipo TA-XT2i	<p>Poca información teórica – experimental, desarrollada por el equipo.</p> <p>Dificultad en la fijación de parámetros de medición.</p>	<p>Optimización del equipo universal TA-XT2i y desarrollo de información relevante para futuras investigaciones.</p> <p>Establecer los parámetros adecuados para ingresar en la programación del software.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar las variables definidas del programa en esta nueva metodología, para medición de parámetro reológicos con otros fluidos alimenticios como pulpas de frutas. • Comprobar los resultados obtenidos con valores bibliográficos. 	Egda. Aracely Nataly Panchi Guanoluisa.

Elaborado por: Panchi Nataly, 2013

6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

Cuadro 4. Previsión de la Evaluación

Preguntas Básicas	Explicación
¿Quién solicita evaluar?	Personal técnico Departamento de Nutrición y Calidad – INIAP, Investigadores.
¿Por qué evaluar?	Metodología nueva y verificación de calidad de los alimentos fluidos.
¿Para qué evaluar?	Para determinar parámetros reológicos en fluidos newtonianos y no newtonianos.
¿Qué evaluar?	<ul style="list-style-type: none">• Metodología implementada.• Esfuerzo cortante (τ), gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$), índice de comportamiento de flujo (n) e índice de consistencia (k).
¿Quién evalúa?	El investigador
¿Cuándo evaluar?	Constantemente desde el primer día de implementación.
¿Con qué evaluar?	Tablas de control, normas, paquete informático Microsoft Excel ® e Infostat ®.

Elaborado por: Panchi Nataly, 2013.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adamson, A., 1979. Química Física. Editorial Reverté S.A. Encarnación, 86 Barcelona (24). Impreso en España. pp. 70 -75.
2. Agustín, J. 2005. Apuntes de Física General, Universidad Nacional Autónoma de México – Facultad de estudios Superiores Acatlán. Proyecto PAPIME No. EN9803. pp. 235 – 237.
3. Ahmed, J.; Shivare, U.S.; Singh, P. 2004. Colour kinetics and rheology of coriander leaf puree and storage characteristics of the paste. Food Chemistry 84: 605-611. En Muñoz, E., 2012, Comportamiento de flujo y caracterización fisicoquímica de pulpas de durazno. Scientia Agropecuaria 2 (2012) 107 – 116. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael Mendoza, Argentina.
4. Ahmed, J., H. Ramaswamy y K. Sashidhar. 2007. Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. Food Sci. Technol – LEB. 40 (2):225-231.
5. Alderman, N., Chen C. 2004, "Non-Newtonian fluids: Guide to classification and characteristics". London. ESDU. 36p.
6. Alvarado, J. de D. 1996. Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos. OEA-PRDCT. Quito, Ecuador. Radio Comunicaciones. División de Artes Gráficas. pp. 14-96.
7. Alvarado, J. de D. 2001. Viscosidad, En: Métodos para medir propiedades físicas en Industrias de alimentos. (eds) Juan de Dios Alvarado y José Miguel Aguilera. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp. 93.
8. Andradre, R., Bustamante, C., Mora, B., Torres, R., 2007. Comportamiento reológico de la pulpa de zapote (*CalocarpumsapotaMerr*). Memorias Alimentos Ciencia e Ingeniería, VI Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. Conferencias – Procesos. pp. 142 – 143.

9. Andradre, R., Ortega, F., Montes, E., Torres, R., Pérez, O., Castron, M., Gutierrez, L., 2009. Caracterización fisicoquímica y reológica de la pulpa de guayaba (*psidiumguajava* l.) variedades híbrido de klomsali, puerto rico, d14 y red. VITAE, revista de la Facultad de Química Farmacéutica. ISSN 0121-4004 volumen 16 número 1. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. pp. 13-18.
10. Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 2005a. Methods of analysis of AOAC International. 18 th edition, AOAC International. Maryland, United States. Chapter 27. pp. 3.
11. Barbosa-Canovas, G.V.; Kokini, J.L.; Ma, L.; Ibarz, A. 1996. The rheology of semiliquid foods. *Adv. Food. Nutr. Res.* (39): 1-69.
12. Barnes J., Hutton F., Walters K. 1989. An introduction to rheology. Ellis Horwood Ltd, Chinchester. En Corzo O. y Sánchez M. 2008. Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz. Ciencias Básicas y Tecnología Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20 N° 3: 329-333.
13. Bedoya, M., Cardona, N., 2009. Estudio comparativo de modelos reológicos para lodos de perforación. Trabajo dirigido de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero de Petróleos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Faculta de Minas. Escuela de Procesos y Energía Medellín. pp. 17 – 24.
14. Bourne M. 2002. Food texture and viscosity: Concept and measurement. *Food Science and Technology, International Series*. 2da. Edición, Academic Press. New York, U.S.A. pp. 73-93, 77, 229-242
15. Brennan, J.G.; Butters, J.R.; Cowell, N.D. y Lilly, A.E.V. 1990. *Food Engineering Operations*". 3ª ed. Ed. por: Elsevier Applied Science. Londres.
16. Cardona, M., Salazar, C., Leonidas, J., y Herrera, M. 2010. Análisis sensorial e instrumental (textura) a una salsa agridulce de borjón. *Revista Lasallista de Investigación*, vol. 7, núm. 1, 2010, pp. 36 – 41. Corporación Universitaria Ñasallista Colombiana. Redalyc, *Revistas Científicas de América latina, el Caribe, España y Potugal*.
17. Castro, E., Rojo, O., Miranda, M., Salazar, J. 1990. Parámetros reológicos del néctar de manzana. *Revista Agroquímica Tecnología de Alimentos*.

- 15(4): 9-12. En Corzo O. y Sánchez M. Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz. Ciencias Básicas y Tecnología Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20 N° 3: 329-333. (2008)
18. Charm, S. E. 1981. Fundamentals of Food Engineering. 3rd Westport; Connecticut. AVI Pub, Co. Inc. p: 54 – 69. Encontrado en Núñez, J., 1996. Determinación de las características reológicas de pulpa de frutas Ecuatorianas. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos.
19. Chhabra R., Richardson J. (1999), Non-Newtonian flow in the process Industries: Fundamentals and Engineering Applications, Gran Bretaña. Laser Words. 436 p.
20. Cordes, D., Kleinebudde, P. y Muller, B.W., 1994. Determination of the consistency of semisolid preparations using the texture analyzer. Pharmazie 49(23):1-11.
21. Costell, E. y Durán, L. 1982. Reología Físico – química de los zumos y purés de fruta. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 22, 80 – 94. Tomado de Alvarado, J. 1993. Viscosidad y energía de activación de jugos filtrados. Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 1993, 33(1) pp. 87 – 93. Universidad Técnica de Ambato, Casilla 18 – 01 – 0334. Ambato – Ecuador.
22. Crandall, P.G., Chen, C.S. y Carter, R.D. 1982. Models for predicting viscosity of orange juice concentrate, Food Technology, Vol. 36 (5), 245-252. Encontrado en Muñoz., P y col. 2009. Modelo predictivo del comportamiento reológico de pulpas de fruta (pera). Facultad de Ciencias aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo, San Martín 352, San Rafael (Mza.) Argentina.
23. Crandall, P.G. y Nelson, P.E. 1975. Effects of preparation and milling on consistency of tomato juice and puree. J. Food Sci, Vol. 40, 710-713. Encontrado en Muñoz., P y col. 2009. Modelo predictivo del comportamiento reológico de pulpas de fruta (pera). Facultad de Ciencias

- aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo, San Martín 352, San Rafael (Mza.) Argentina.
24. Dail, R.V. y Steffe, J.F. 1990a. "Rheological characterization of crosslinked waxy maize starch solutions under low acid aseptic processing conditions using tube viscometry techniques". *Journal of Food Science*, 55 (6): 1660-1665.
 25. Dail, R.V. y Steffe, J.F. 1990b. Dilatancy in starch solutions under low acid aseptic processing conditions. *Journal of Food Science*, 55 (6):1764-1765.
 26. Dak M., Verma R. y Jaaffrey S. 2006. "Effect of Temperature and Concentration on Rheological Properties of "Kesar" mango juice". *Science direct*, Vol 80, p. 1011-1015.
 27. De Hombre R; Díaz A. 2001. Textura de sólidos y semisólidos, En: *Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos*. (eds) Juan de Dios Alvarado y José Miguel Aguilera. Editorial Acribia, SA. Zaragoza, España. pp. 119-130.
 28. Duarte, C., Niño, J., 2004, *Introducción a la mecánica de Fluidos*. Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ingeniería. Colección 145 años. pp. 1-7.
 29. Eroski Consumer, 2004, "La manzana", <http://www.consumer.es/web/es/alimentación/guíaalimentos/frutasyderivados/2044/09/02/108242.php> (Diciembre, 2012).
 30. García, r. y Burón, I. 1980. Relación entre la estructura y las propiedades reológicas de los zumos y purés de frutas y hortalizas. *Rev. Agroquím. Technol. Aliment.* 20, 70-78.
 31. Garza, S.; Ibarz, A.; Pagán, J.; Carabasa, M. 2001. Reología del cremogenado industrial de melocotón y sus concentrados. Comunicación personal. En Muñoz, E., 2012, "Comportamiento de flujo y caracterización fisicoquímica de pulpas de durazno". *Scientia Agropecuaria* 2 (2012) 107 – 116. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael Mendoza, Argentina.
 32. Garza S. 2005. Caracterización reológica y microbiológica, y cinética de deterioro en cremogenado de melocotón. [Documento en línea] en:

- Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. Consultado: 26 de Marzo del 2012. Disponible en: <http://CervantesVirtualCom/servlet/sirveobras/poo.pdf>
33. Gómez-Díaz, D.; Navaza, J. M. 2002. Caracterización reológica de dispersiones agua-alginato sódico con aplicación en la industria alimentaria. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. pp. 3, 302.
 34. Gómez-Díaz, D.; Navaza, J. M. 2004. Rheology of food stabilizers blends. *Journal of Food Engineering*. pp. 64, 143.
 35. González, S. 2009. Diseño mecánico de un equipo para medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos. Universidad politécnica de Cartagena. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. Especialidad Mecánica. Proyecto Fin de Carrera.
 36. GRE (Grupo de Reología y Electrocínética), 2007. Reología. Fundamentos de Reología aplicada. Curso de especialización. Universidad de Málaga. [Documento en línea]. Consultado: 20 de Marzo del 2012, Disponible en: http://www.gre.uma.es/Triptico_Curso_2007.pdf
 37. Gunjal, B.B.; Waghmare, N.J. 1987. Flow characteristics of pulp. Juice and nectar of “Baneshan” and “Neelum” mangoes. *Journal of Food Science Technology* 24: 20-23. En Muñoz, E., 2012, “Comportamiento de flujo y caracterización fisicoquímica de pulpas de durazno”. *Scientia Agropecuaria* 2 (2012). pp. 107 – 116. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael Mendoza, Argentina.
 38. Harper, J. C. y El-Sahrigi, A. F. 1965. Viscosimetric behaviour of tomato concentrates. *J. Food Sci.* 30, 470 – 476.
 39. Harrison, L. y Cunningham, F. 1985. “Factors influencing the quality of mayonnaise: a review”. *Journal of Food Quality*. pp. 8: 1–20.
 40. Heldman, D. R. and Singh, P. 1981. *Food Process Engineering*. Wesport, Connecticut. AVI Pub. Co. Inc. p: 393 – 394. Encontrado en Alvarado, J. de D. 1996. *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. OEA-PRDCT. Quito, Ecuador. Radio Comunicaciones. División de Artes Gráficas. pp. 14-96.
 41. Herrero, A., Guardia, J., 1992. “Conservación de frutos. Manual Técnico” Ediciones Mundi – Prensa. Madrid. España.

42. Holdsworth, S.D. 1971. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. J. Text. Studies, Vol. 2, 393-418.
43. Ibanoglu S, Ibanoglu E. 1998. Rheological characterization of some traditional Turkish soups. J. FoodEng. 35: 251-256. En Corzo O. y Sánchez M. 2008. Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz. Ciencias Básicas y Tecnología Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela.Vol. 20 N° 3: 329-333.
44. Ibarz, A; Vicente, M; Graell, J. 2006. Rheological behavior of apple juice and pear juice and their concentrates. Journal of Food Engineering, 6: 257 – 267
45. Ibarz, A., Casero, T., Miguelsanz, R. y Pagan, J. 1989. Cinéticas de formación de hidroximetilfurfural en concentrado de zumo de pera almacenado a distintas temperaturas. Alimentaria 199, 81-84.
46. Ibarz, A. y Bermejo, M. L. 1991. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre zumos concentrados de pera. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 31, 195-204
47. Ibarz, A. Barbosa-Cánovas, G., 2005. Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos. Tecnología de Alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Impreso España. pp. 129 – 140.
48. Ibarz, A; Miguelsanz, R y Pagán, J. 1993. The effect of high temperatures on 160 nonenzymatic browning and formation of HMF in clarified peach juices. Fruit processing. July, 262-265.
49. Ibarz, A; Barbosa, G; Garza, S; Gimeno, V. 2000. Métodos experimentales en la ingeniería de alimentos. Editorial Acribia SA. Zaragoza, España. pp. 45-46.
50. INFOAGRO, 2003, “El cultivo de la manzana”, https://www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/manzana.htm, (Diciembre, 2012).
51. Irving, Shames H. 1995. Mecánica de Fluidos. 3ra.ed. Colombia: Mc Graw-Hill Interamericana, S.A.

52. Kramer, A. y Twigg, B.A. 1970. En: Quality control for the food industry, vol. 1. Ed. por: AVI Publishing Co., Westport, Conn.
53. Laskshminarayana, S. 1973. Respiration and Ripening Patterns in the Life Cycle of the Mango Fruit. J. Hort. Sci. 48:227. Citado en Stafford, A. E. 1983. Mango. En Handbook of Tropical Foods. Editor H. T. Chan Jr. Editorial Marcel Dekker. EUA.
54. Leiva, Francisco. 1999. Nociones de Metodología de Investigación Científica, 222 Preguntas y respuestas. Editorial Tipoffset. Quito- Ecuador. Págs: 26-30
55. Lindberg, J. J., Sirviö, H.; Martinmaa, J. 1987. Rheological studies on CMC. Cellulose Chemistry and Technology, 21, 379.
56. Machuca, A. y Yépez, J., 2009. Diseño, construcción y experimentación de un viscosímetro saybolt y desarrollo de un sistema de control temperatura en cascada para el laboratorio de fluidos de la facultad de mecánica. Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Mecánica. Escuela de Ingeniería Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador. pp. 32 – 45
57. Manayay, D.; Ibarz, A. 2010. Modelamiento de la cinética de reacciones del pardeamiento no enzimático y el comportamiento reológico, en el proceso térmico de jugos y pulpas de fruta. Scientia Agropecuaria 1(2):155 - 168. En Muñoz, E., 2012, “Comportamiento de flujo y caracterización fisicoquímica de pulpas de durazno”. Scientia Agropecuaria 2 (2012) 107 – 116. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael Mendoza, Argentina.
58. Martínez, R., 2005. Medición de la viscosidad de fluidos Newtonianos. Casa abierta al tiempo. Ingeniería Química. Laboratorio de Mecánica de Fluidos. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. División de Ciencias Básicas e Ingeniería.
59. Método oficial de la AOAC 988.06. Specific Gravity of Beer and Wort. Digital Density Meter Method. First Action 1988.
60. Müller, H.G., 1973. An introduction to food rheology. Ed. por: William Heinemann Ltd. London, UK. Pp: 1-8. En Fernandez C. Caracterización Reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y

- congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid.
61. Muñoz, E. 2004. Propiedades de flujo de pulpas de durazno de la región de Mendoza. Tesis Doctoral. Series de Ciencias e Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. 125-146; 161-167.
 62. Muñoz, P., Rubio, L., Chernikoba, R. 2008. Uso de retroextrusión en alimentos: Desarrollo y calibración de dispositivos de temperatura variable. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Universidad Nacional de Cuyo, Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael (Mendoza.) Argentina.
 63. Nindo C., Tang J., Powers, R. y Singh P. 2005. Viscosity of blueberry and raspberry juice for processing applications. *J. FoodEng.* 69(3): 343-350. En Corzo O. y Sánchez M. 2008. Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz. Ciencias Básicas y Tecnología Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20 N° 3: 329-333.
 64. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 14. Leche. Determinación de sólidos totales y cenizas.
 65. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 381. Conservas Vegetales. Determinación de acidez titulable método potenciométrico de referencia.
 66. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 389. Conservas Vegetales. Determinación de la concentración del Ion Hidrógeno (pH)
 67. Osorio., F. 2001. Propiedades reológicas de alimentos fluidos. En Alvarado J. Aguilera J. editores. Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza – España. En Corzo O. y Sánchez M. 2008. Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz. Ciencias Básicas y Tecnología Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20 N° 3: 329-333.
 68. Osorio, F. A. y Steffe, J. F. 1984. Kinetic energy calculations for non-Newtonian fluids in circular tubes. *J. Food Sci.*, 49: 1295 – 1296, 1315.
 69. Pelegrine, D., Vidal, J. y Gasparetto, C., 2000. Study of aparent viscosity of mango (Keitt) and pineapple (Pérola) pulps. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 20 (1): 128 – 131.

70. Pereira, E., A. Queiroz y R. Feitosa. 2003. Comportamiento reológico de mel da abelha urucu (*Melíponascutellaris*, L.). *Rev. ciênc. Exatas nat.* 5(2):179-186.
71. Pierce, P. 1982. *Rheological Measurements*, New York. Ed. John Wiley & Sons.
72. Purseglove, J. W., 1974. *Tropical Crops. Dicotyledons*. Longman Group. EUA.
73. Quintáns, L., 2008. *Reología de Productos alimentarios*. Memoria presentada para optar al Grado de Doctora en Ciencias Químicas. Universidad de Santiago de Compostela. Departamento de Ingeniería Química. pp. 12 – 40.
74. Ramaswamy, H.S. y Basak, S. 2004. "Pectin and raspberry concentrate effects on the rheology of stirred commercial yogurt". *Journal of Food Science*, 57 (2): 357-360.
75. Ramírez, J., 2006. *Introducción a la Reología de los alimentos*. Universidad del Valle, Cali – Colombia. Edición RECÍTELA. Pp. 30 – 40.
76. Ramos AY, Ibarz A. 2006. Comportamiento viscoelástico de pulpa de membrillo en función de la concentración de sólidos solubles. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, V. 26, N°1. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612006000100034&lng=es&nrm=iso. [Consulta: 25 Febrero 2012].
77. Rao, M. A. 1986. Rheological properties of fluid foods. In: "Engineering Properties of Foods". Rao, M.A. and Rizvi. S. S. H. (Eds.). New York. Marcel Dekker, Inc. p: 1- 48. Tomado de Alvarado, J. de D. 1996. *Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos*. OEA-PRDCT. Quito, Ecuador. Radio Comunicaciones. División de Artes Gráficas. pp. 14-96.
78. Rao, M. A., Bourne, M. C. y Cooley, H. J. 1981. Flow properties of tomato concentrates. *J. Texture Stud.* 12, 521-528.
79. Rao M, Anatheswaran R. 1982. Rheology of fluids in food processing. *Food Technol.* 36, 116-126. En Corzo O. y Sánchez M. 2008. *Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz*. Ciencias Básicas y Tecnología Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20 N° 3: 329-333

80. Rao, M A; Cooley, H J; Vitali, AA. 1984. Flow properties of concentrated juices at low temperaturas. *Food Technology*, 38(3): pp. 113 – 119.
81. Rao, M.A.; Rizvi, S.H.; Datta, A.K. 2005. *Engineering properties of foods*. Third Edition. Editorial CRC Press Taylor & Francis. Boca Raton. Florida. EEUU. En Muñoz, E., 2012, “Comportamiento de flujo y caracterización fisicoquímica de pulpas de durazno”. *Scientia Agropecuaria* 2 (2012) 107 – 116. Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria. Universidad Nacional de Cuyo. Bernardo de Irigoyen 375, San Rafael Mendoza, Argentina.
82. Rao, M. A.; Steffe, J. F. 1992. *Viscoelastic properties of foods*. Elsevier Applied Science. New York.
83. Rha, C., 1975. Rheology of foods. *Food Technol.* 22, 77 – 82. En Alvarado, J. Viscosidad y energía de activación de jugos filtrados. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos* 1993, 33 (1) pp. 87 – 93.
84. Rosenthal, A. 2001. Relación entre mediciones instrumentales y sensoriales de la textura de alimentos. En: *Textura de los alimentos. Medida y Percepción*, (ed) Andrew J. Rosenthal. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. pp. 7 – 13.
85. Sáenz, C. y Costell, E. 1986. Comportamiento reológico de productos de limón. Influencia de la temperatura y de la concentración. *Rev. Agroquím. Tcnol. Aliment.* 26, 581-588.
86. Sahin, S; Sumnu, S G. 2009. *Propiedades físicas de los alimentos*. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. pp. 45-83.
87. Sánchez, C.; Oria, R. y Sánchez-Gimeno, A., 2002., Efecto de la temperatura en las propiedades reológicas de purés de guayaba (*Spidiumguajava* L). Grupo de investigación en alimentos de origen vegetal. Universidad Zaragoza, España.
88. Sánchez, P., 2004, “Procesos de Conservación Poscosecha de Productos vegetales”, AMV Ediciones, Madrid, España, pp. 65 – 67.
89. Saravacos, G- D. 1970. Effect of temperatura on viscosity of fruit juices and purees. *J. FoodSci.* 35, 122 – 125. En Alvarado, J. 1993, Viscosidad y energía de activación de jugos filtrados. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 33 (1) pp. 87 – 93.

90. Schwartz, M. y Costell, E. 1989. Influencia de la temperatura y de la concentración en la viscosidad de los zumos de manzana y de uva. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment. 2, 239-245.
91. Segura, J., 1993, "Termodinámica Técnica", Editorial Reverté, Barcelona, España, p. 646.
92. Sharma S; Mulvaney S; Rizvi S. 2009. Ingeniería de alimentos; Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio, Editorial Limusa, S.A. Grupo Noriega Editores, Balderas, México. pp. 56-59.
93. Sherman, P. 1970. "Rheological properties of foodstuffs". En: Industrial rheology with particular reference to foods, pharmaceuticals, and cosmetics. Ed. por: Academic Press Inc. London and New York. pp: 185-316. En Fernandez C. Caracterización Reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid.
94. Silva, F.: Guimarães, D. y Gasparetto, C. 2005. Rheology of acerola juice: effects of concentration and temperatura. Ciência e Tecnologia em Alimentos, Campinas, 25 (1): 121-126.
95. Singh, R. P. y Heldman, D. R. 1984. "Introducción a la Ingeniería de los Alimentos". Segunda Edición, Orlando, Florida. Academic Press Inc. P: 54 – 56.
96. Stable Micro Systems Ltd. 1997. User Manual Texture Analyser, version 1, Editorial Godalming, YL, United Kingdon.
97. Stable Micro Systems Ltd. 1997. User Manual Texture Analyser, version 1, Editorial Godalming, YL, United Kingdon.
98. Stafford, A. E. 1983. Mango. En Handbook of Tropical Foods. Editores H. T. Chan Jr. Editorial Marcel Dekker. EUA.
99. Steffe, J.F. y Osorio, F.A. 1987. Back Extrusion of power law fluids. J. Texture Studies, Vol. 18, 43-63.
100. Steffe, J. 1992. Rheological Methods in Food Process Engineering. Freeman Press editorial. Michigan, USA. p. 21 – 95; 207 – 209. Tomado de Alvarado, J. de D. 1996. Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos.

OEA-PRDCT. Quito, Ecuador. Radio Comunicaciones. División de Artes Gráficas. pp. 14-96.

101. Tiu, C. and D.V. Boger. 1974. "Complete rheological characterization of time dependent food products". *J. Texture Stud.* 5: 329-338.
102. Torralles, R., J. Vendruscolo y C. Vendruscolo. 2006. Reología de purê homogeneizado de Pêssego: Efeito da temperatura e concentração. *Braz. J. Food Technol.* 9 (1):-8. Obtenido de Andrade., R. y col. 2009. Efecto de la temperatura en el comportamiento reológico de la pulpa de níspero (*Achras sapota* L.). Departamento de Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba, Monteiro Kra 6 N1 76 – 103. Colombia. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 2009, 26: 599 – 612.
103. Torres, M., 1980, "Procesamiento de frutas cítricas: Almacenamiento y obtención de jugo de manzana", Quito, Ecuador, pp. 1 – 16.
104. Telis, J., L. Guizzo y V. Telis. 2003. Rheological Properties of Rehydrated Papaya. *Braz. J. Food Technol.* 6 (2):221-227.
105. Tovar. E., 2010. "Evaluación de las propiedades reológicas de pulpas de frutas y productos derivados en una planta procesadora de jugos". Trabajo de grado presentado ante la Universidad del Oriente como requisito parcial para optar al Título de Ingeniero Químico. Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Departamento de Ingeniería Química.
106. Toledo, R. T. 1981. *Fundamentals of Food Process Engineering*. Westport, Conn. AVI Pub. Co. Inc. p: 152 – 196.
107. Tripaldi, P; Velín, T; Chialvo, L; Rojas, C. 2007. Propuesta de una práctica de Reología de alimentos. *Memorias Alimentos Ciencia e Ingeniería, VI Congreso Iberoamericano de Ingeniería en Alimentos. Mesas Redondas – Ciencias.* Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos, Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador. pp. 347 – 349.
108. Vélez-Ruiz, JF. and Barbosa-Cánovas, GV. 1998. Rheological properties of concentrated milk as a function of concentration temperature and storage time. *J. FoodEng.* 35: 177-190. En Corzo O. y Sánchez M. Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz. *Ciencias Básicas y Tecnología* Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva

Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20 N° 3: 329-333. (2008)

109. Vidal, J., D. Pelegrine y C. Gasparetto. 2004. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* L. Keitt) Ciênc. Tecnol. Aliment. 24 (1):39-42.
110. Vitali, A. A. y Rao, M. A. 1982. Flow behaviour of guava puree as a function of temperature and concentration. J. Texture Stud. 13, 275-289.
111. Vitali, A.; Rao, M. 1984. Flow properties of low – pulp concentrated orange juice: serum viscosity and effect of pulp content. Journal of Food Science. 49: 876 – 881.
112. Weipert, D.; Tscheuschner, H. D.; Windhab, E. 1993. Rheologie del Lebensmittel. B. Berh's Verlag GmbH & Co. Hamberg. Germany.
113. Weir, I., and Bailey, W. 1996. A Statistical Study of Rheological Models for Drilling Fluids. Paper SPE 36359 submitted to SPEJ, Texas, Marzo 13. pp. 15 -17.
114. White, G.V. 1970. "Rheology in food research". Journal of Food Technology, 5 (1): 1-32. En Fernández C. Caracterización Reológica y optimización de la textura de purés de patata frescos y congelados. Efectos del proceso y adición de crioprotectores. Memoria para optar al grado de Doctor. Universidad Complutense de Madrid.
115. Woyzechowsky, L., 2002. "Estudio de reología y transformación del almidón de maíz en un reómetro capilar". Trabajo de Grado presentado a la Universidad Simón Bolívar. pp. 99.
116. Write F., 1979. "Mecánica de fluidos", México. McGraw-Hill. 753 p. Tomada de Tovar. E., 2010. "Evaluación de las propiedades reológicas de pulpas de frutas y productos derivados en una planta procesadora de jugos". Trabajo de grado presentado ante la Universidad del Oriente como requisito parcial para optar al Título de Ingeniero Químico. Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Departamento de Ingeniería Química.
117. Wu, J. S. y Sheu M. J. 1996. Tropical Fruits. En Processing fruits: Science and Technology. Vol. 2: major Processed Products. Editores L. P. Somogyi, D. M. Barret y Y. H. Hui. Technomic Publishing Company. USA.

118. Zhongying, Wang and Songran, Tang. 1982. Casson Rheological Model in Drilling Fluid Mechanics. Paper SPE 10564 presented at the International Petroleum Exhibition and Technical Symposium, Beijing, Marzo. pp.17-24.
119. Zuritz CA, Muñoz P., Mathey, H., Pérez, H., Gascon, A., Rubio, L., Carullo, C., Chernikoff, R. and Cabeza, M. 2005. Density, viscosity and coefficients of thermal expansion of clear grape juice at different solid concentrations and temperatures. J. FoodEng. 71(2): 143-149. En Corzo O. y Sánchez M. Estudio reológico del proceso de elaboración de aceite de maíz. Ciencias Básicas y Tecnología Departamento de Tecnología de Alimentos. Núcleo de Nueva Esparta. Saber, Universidad de Oriente, Venezuela. Vol. 20 N° 3: 329-333. (2008)

ANEXO A

Normas y Determinaciones de propiedades fisicoquímicas de las muestras de néctar de durazno, mango y manzana

A-1. Especificaciones para el néctar de frutas

FRUTA	Nombre Botánico	% Aporte de jugo de fruta	Sólidos Solubles ^{a)} Mínimo NTE INEN 380
Durazno	<i>Prunus pérsica</i> L.	40	3,6
Mango	<i>Mangifera índica</i> L.	25	2,75
Manzana	<i>Malus doméstica</i> Borkh	50	3,0
En grados Brix a 20°C (con exclusión de azúcar)			

Elaborado por: Panchi Nataly

Fuente: Norma NTE INEN 2 337:2008.

A-2. Determinación de Densidad

Descripción

La densidad se define como la masa por unidad de volumen, siendo sus dimensiones (masa) / (longitud)³.

Materiales y Equipos

- Densímetro CI – USA con un rango de 0,7 a 1,8 (g/ml).
- Probeta de 250ml
- Agua destilada

Procedimiento

1. Llenar una probeta de 250ml con la muestra a ser medida (agua, néctar de frutas y/o sus diluciones) a una temperatura de 20°C.
2. Introducir el densímetro apropiado en la probeta con la muestra
3. Leer en la escala numérica, la densidad de las diluciones de las muestras.

A-3. Determinación de Sólidos Totales

Descripción

La determinación del contenido de sólidos totales se basa en la evaporación total de una muestra de agua. Separando el material suspendido, se puede conocer por diferencia, el contenido de este último y del material disuelto.

Materiales y Equipos

- Vasos de precipitación Pyrex de 50ml
- Agitador magnético
- Estufa Precision Scientific controlada con un termómetro digital SIMPSON modelo 383.
- Desecador
- Balanza de precisión 0.1gr BOECO

Procedimiento

1. Llevar la muestra a una temperatura aproximada de 20°C y homogeneizarla con la ayuda de un agitador magnético.
2. La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.
3. Con la ayuda de una balanza analítica pesar el vaso de precipitación secado en la estufa, inmediatamente transferir al vaso y pesar aproximadamente p/v 5ml de muestra.
4. Incorporar en la estufa a una temperatura de 110°C por 24 horas.
5. Transferir los vasos de precipitación al desecador por 15 minutos y pesar con aproximación de 0.1mg. El porcentaje de sólidos totales se calcula con la siguiente ecuación.

$$\% ST = 1 - \left(\frac{m_1 - m}{m_2 - m} \right) * 100$$

Donde:

% ST = Porcentaje de sólidos totales

m = Peso (gr) vaso de precipitación

m_1 = Peso (gr) vaso de precipitación con los sólidos totales (después de la desecación)

m_2 = Peso (gr) vaso de precipitación (antes de la desecación)



a)

b)

Figura 1. Secuencia para la determinación de sólidos totales. a) Peso de muestras en la balanza analítica. b) Vista interna de la estufa con las muestras.

Elaborado por: Nataly Panchi

Fuente: Norma INEN 14

A-4. Determinación de Acidez titulable

Descripción

La presente Norma establece el método para determinar la acidez titulable en los productos elaborados a partir de frutas y hortalizas.

Materiales y Equipos

- Bureta Graduada de 50 ml.
- Soporte universal
- Vasos de precipitación de 50ml
- Soluciones tampón de pH conocido.
- Solución 0.1N de hidróxido de sodio.
- Agua destilada
- Material de laboratorio.

Procedimiento

1. Colocar 10ml de muestra (néctar de durazno, mango y manzana) en un vaso de precipitación de 50ml
2. Añadir 2 gotas de fenolftaleína (indicador)
3. Titular con NaOH 0.1N hasta conseguir un color rosado persistente que desaparece lentamente. Continuar agregando hasta que el color rosado persiste durante 30 segundos. Realizar por duplicado
4. Leer en la bureta el volumen de solución consumida
5. Calcular la acidez titulable mediante la ecuación siguiente: La acidez fue reportada como porcentaje de ácido cítrico de acuerdo al método A.O.A.C. 942.15/90 Adaptado (Bernal, 1993) y la norma INEN381.

$$A = \frac{F(V_{NaOH})(N_{NaOH})}{V_{muestra}} * 100$$

Donde:

A = Acidez titulable en porcentaje de ácido específico

V_{NaOH} = Volumen de la solución de NaOH utilizados (ml)

N_{NaOH} = Normalidad de la solución de NaOH

$V_{muestra}$ = Volumen de la muestra (ml)

F = Factor (ácido cítrico) = 0,064



Figura 2. Determinación de acidez

Elaborado por: Nataly Panchi

Fuente: A.O.A.C. 942.15/90 Adaptado (Bernal, 1993), INEN 381.

A-5. Determinación de pH

Descripción

Desde una aproximación simplificada, el pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14.

Materiales y Equipos

- Vasos de precipitación
- Agitador magnético
- pH-metro OAKTON pH/mV/°C meter – pH Serie 510
- Agua destilada

Procedimiento

1. Homogeneizar la muestra con ayuda de un agitador magnético
2. Calibrar el pH metro con la solución buffer
3. Colocar en un vaso de precipitación aproximadamente de 10 gr o 10 ml de la muestra preparada y agitar suavemente.
4. Si existen partículas en suspensión dejar en reposo el recipiente para que las partículas sólidas decanten. Realizarlo por duplicado.
5. Introducir el electrodo del pH-metro en la muestra contenida en el vaso de precipitación.
6. Mediante lectura directa, anotar los valores obtenidos.



Figura 3. Determinación de pH

Elaborado por: Panchi Nataly

Fuente: Norma INEN 389

A-6. Determinación de Conductividad eléctrica

Descripción

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de sales minerales contenidas en una muestra determinada.

Materiales y Equipos

- Medidor ORION 3 STAR
- Agitador magnético
- Vasos de precipitación
- Soluciones tampón de conductividad
- Agua destilada

Procedimiento

1. Homogeneizar la muestra con ayuda de un agitador magnético
2. Calibrar el conductímetro con la solución tampón.
3. Colocar en un vaso de precipitación aproximadamente 80 ml de la muestra preparada mantenida a 20°C y agitar suavemente.
4. Introducir el electrodo del conductímetro en la muestra contenida en el vaso de precipitación y mediante lectura directa, anotar los valores obtenidos.
5. Lavar el electrodo con agua destilada y secar cuidadosamente con un papel absorbente para no dañar el electrodo después de cada determinación.



Figura 4. Determinación de conductividad eléctrica

Elaborado por: Panchi Nataly
Fuente: Conductivity Benchtop, Thermo Scientific,

ANEXO B

**Datos registrados de las propiedades
fisicoquímicas de los néctares de frutas**

Tabla B1. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 3ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	3,1	1010	3,68	0,103	3,3	578
	R2	3	1010	3,65	0,107	3,18	581,5
	R3	3	1010	3,71	0,098	3,25	575,5
	Promedio	3,0	1010	3,7	0,103	3,243	578,33
Mango	R1	3,1	1010	3,56	0,080	3,31	474
	R2	3	1010	3,57	0,076	3,59	479
	R3	3,1	1010	3,66	0,076	3,24	464,7
	Promedio	3,1	1010	3,6	0,077	3,380	472,57
Manzana	R1	3	1010	3,43	0,089	3,57	588,3
	R2	3	1010	3,48	0,080	3,63	583
	R3	3,1	1010	3,56	0,076	3,62	568,2
	Promedio	3,0	1010	3,5	0,082	3,607	579,83

Tabla B2. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 6ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	6	1022	3,65	0,227	5,1	1018
	R2	6	1022	3,72	0,227	5,4	1021,6
	R3	6,1	1022	3,76	0,232	5,18	1016,5
	Promedio	6,0	1022	3,7	0,229	5,227	1018,70
Mango	R1	6,2	1022	3,69	0,161	6,8	797
	R2	6	1022	3,69	0,156	6,76	803,3
	R3	6	1022	3,69	0,156	6,32	801
	Promedio	6,1	1022	3,7	0,158	6,627	800,43
Manzana	R1	6	1022	3,54	0,1739	6,53	1019
	R2	6	1022	3,56	0,165	6,77	1013,3
	R3	6,1	1022	3,54	0,165	6,65	1023
	Promedio	6,0	1022	3,5	0,168	6,650	1018,43

Tabla B3. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 9ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	9	1032	3,73	0,299	8,23	1327,2
	R2	9	1032	3,69	0,303	8,94	1324,6
	R3	9,2	1032	3,78	0,317	8,48	1326,2
	Promedio	9,1	1032	3,7	0,306	8,550	1326,00
Mango	R1	9,1	1032	3,58	0,236	9,35	1055,6
	R2	9	1032	3,68	0,241	9,33	1047,7
	R3	9	1032	3,57	0,223	9,25	1044,7
	Promedio	9,0	1032	3,6	0,233	9,310	1049,33
Manzana	R1	9,2	1032	3,58	0,245	8,78	1281,3
	R2	1	1032	3,53	0,236	9,67	1276
	R3	9	1032	3,57	0,254	9,57	1287,2
	Promedio	6,4	1032	3,6	0,245	9,340	1281,50

Tabla B4. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 12ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	12,5	1038	3,75	0,375	11,58	1551,7
	R2	12,3	1040	3,8	0,352	12,12	1479,3
	R3	12,2	1040	3,77	0,37	12,02	1539,4
	Promedio	12,3	1039	3,8	0,366	11,907	1523,47
Mango	R1	12,3	1040	3,68	0,317	12,8	1245,3
	R2	12,6	1038	3,59	0,308	12,81	1257,7
	R3	12,7	1040	3,67	0,334	12,54	1248
	Promedio	12,5	1039	3,6	0,320	12,717	1250,33
Manzana	R1	11,6	1040	3,65	0,299	13,12	1680,7
	R2	11,8	1038	3,66	0,29	13,29	1674,5
	R3	12	1038	3,52	0,285	13,36	1673,2
	Promedio	11,8	1039	3,6	0,291	13,257	1676,13

ANEXO C

**Datos registrados de viscosidad del agua
por medio del viscosímetro capilar Cannon
– Fenske y el equipo universal TA-XT2i**

Tabla C1.1 Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de durazno

Tratamiento	Réplica	Tiempo recorrido agua	Tiempo recorrido muestra*	Gravedad específica muestra*	Viscosidad relativa
		(s)	(s)		(Pa.s)
Agua para el néctar de durazno	1	12,71	12,71	1,004	1,006E-03
	2	12,68	12,68	0,999	1,001E-03
	3	12,73	12,73	0,997	9,990E-04
	Promedio	12,70	12,70	1,000	1,002E-03

*Muestra = Agua

Tabla C1.2 Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de mango

Tratamiento	Réplica	Tiempo recorrido agua	Tiempo recorrido muestra*	Gravedad específica muestra*	Viscosidad relativa
		(s)	(s)		(Pa.s)
Agua para el néctar de mango	1	12,67	12,67	0,991	9,934E-04
	2	12,65	12,65	1,004	1,006E-03
	3	12,68	12,68	1,003	1,005E-03
	Promedio	12,67	12,67	0,999	1,001E-03

*Muestra = Agua

Tabla C1.3. Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de manzana

Tratamiento	Réplica	Tiempo recorrido agua	Tiempo recorrido muestra*	Gravedad específica muestra*	Viscosidad absoluta
		(s)	(s)		(Pa.s)
Agua para el néctar de manzana	1	12,65	12,65	0,978	9,802E-04
	2	12,62	12,62	1,003	1,005E-03
	3	12,73	12,73	1,002	1,004E-03
	Promedio	12,66	12,66	0,994	9,965E-04

*Muestra = Agua

Tabla C2.1. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R1

a0b0 (Agua para néctar de durazno) R1								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,167	1152,746	0,375	2584,026	0,208	1431,280	7,817	2,107
P2	0,169	1163,777	0,425	2928,747	0,256	1764,970	7,832	2,397
P3	0,166	1141,715	0,472	3252,784	0,306	2111,070	7,866	2,500
P4	0,171	1178,945	0,526	3623,704	0,355	2444,759	7,667	2,666
P5	0,168	1156,883	0,591	4073,220	0,423	2916,337	7,929	2,743

Tabla C2.2. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R2

a0b0 (Agua para néctar de durazno) R2								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,169	1163,777	0,378	2608,846	0,210	1445,069	7,738	2,100
P2	0,168	1156,883	0,427	2942,536	0,259	1785,653	7,803	2,347
P3	0,171	1180,324	0,478	3295,530	0,307	2115,206	7,874	2,537
P4	0,168	1156,883	0,512	3532,698	0,345	2375,815	7,908	2,671
P5	0,169	1166,535	0,591	4073,220	0,422	2906,685	7,912	2,745

Tabla C2.3. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R3

a0b0 (Agua para néctar de durazno) R3								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,169	1162,398	0,379	2612,983	0,210	1450,585	7,922	2,113
P2	0,166	1147,230	0,423	2913,579	0,256	1766,349	7,837	2,438
P3	0,169	1163,777	0,485	3341,033	0,316	2177,256	7,787	2,500
P4	0,169	1165,156	0,517	3563,033	0,348	2397,877	7,932	2,614
P5	0,168	1161,019	0,595	4102,176	0,427	2941,157	7,954	2,727

Tabla C2.4. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a1b0 (Agua para néctar de mango) – R1

a1b0 (Agua para néctar de mango) R1								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,168	1158,262	0,377	2601,952	0,209	1443,690	7,875	2,156
P2	0,168	1159,640	0,418	2883,244	0,250	1723,603	7,744	2,273
P3	0,168	1158,262	0,473	3261,058	0,305	2102,796	7,836	2,481
P4	0,168	1155,504	0,508	3502,362	0,340	2346,858	7,888	2,622
P5	0,168	1155,504	0,590	4069,083	0,423	2913,579	7,859	2,843

Tabla C2.5. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a1b0 (Agua para néctar de mango) – R2

a1b0 (Agua para néctar de mango) R2								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,170	1169,293	0,387	2670,896	0,218	1501,603	7,615	2,104
P2	0,168	1159,640	0,428	2948,051	0,259	1788,411	7,609	2,293
P3	0,168	1158,262	0,475	3277,604	0,307	2119,343	7,822	2,427
P4	0,170	1169,293	0,518	3572,685	0,349	2403,393	7,795	2,640
P5	0,169	1162,398	0,597	4118,723	0,429	2956,325	7,836	2,810

Tabla C2.6. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a1b0 (Agua para néctar de mango) – R3

a1b0 (Agua para néctar de mango) R3								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,169	1165,156	0,354	2440,622	0,185	1275,467	7,985	2,003
P2	0,168	1158,262	0,437	3012,859	0,269	1854,597	8,010	2,404
P3	0,169	1165,156	0,444	3061,120	0,275	1895,964	8,005	2,541
P4	0,169	1165,156	0,539	3716,089	0,370	2550,933	7,995	2,502
P5	0,169	1165,156	0,567	3909,133	0,398	2743,977	7,910	2,791

Tabla C2.7. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a2b0 (Agua para néctar de manzana) – R1

a2b0 (Agua para néctar de manzana) R1								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,168	1161,019	0,382	2630,908	0,213	1469,889	7,829	2,017
P2	0,168	1156,883	0,427	2945,294	0,259	1788,411	7,830	2,397
P3	0,168	1161,019	0,482	3321,729	0,313	2160,709	7,796	2,454
P4	0,169	1162,398	0,524	3612,673	0,355	2450,275	7,929	2,641
P5	0,167	1154,125	0,600	4139,406	0,433	2985,281	7,871	2,718

Tabla C2.8. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a2b0 (Agua para néctar de manzana) – R2

a2b0 (Agua para néctar de manzana) R2								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,167	1154,125	0,395	2721,915	0,227	1567,790	7,654	2,030
P2	0,169	1162,398	0,430	2965,977	0,262	1803,579	7,922	2,337
P3	0,169	1162,398	0,481	3318,971	0,313	2156,573	7,863	2,532
P4	0,169	1162,398	0,528	3643,008	0,360	2480,610	7,768	2,618
P5	0,166	1144,473	0,572	3943,605	0,406	2799,132	7,887	2,674

Tabla C2.9. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a2b0 (Agua para néctar de manzana) – R3

a2b0 (Agua para néctar de manzana) R3								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,168	1161,019	0,392	2699,852	0,223	1538,833	7,878	2,111
P2	0,164	1132,063	0,439	3029,405	0,275	1897,343	7,885	2,332
P3	0,169	1163,777	0,490	3375,505	0,321	2211,728	7,951	2,489
P4	0,168	1156,883	0,528	3638,872	0,360	2481,989	7,870	2,661
P5	0,168	1161,019	0,585	4035,990	0,417	2874,971	7,926	2,795

Tabla C3.1. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₀b₀ (Agua para néctar de durazno) – R1.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,182	7,817	19,137	1431,280	5836,008	5,762	3,766	0,761
14,144	2,588	7,832	23,024	1764,970	7021,324	7,105	3,846	0,852
14,422	3,101	7,866	28,005	2111,070	8540,233	8,498	3,931	0,929
14,701	3,477	7,667	32,838	2444,759	10014,160	9,841	4,001	0,993
15,045	4,109	7,929	38,405	2916,337	11711,610	11,740	4,069	1,070

Tabla C3.2. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₀b₀ (Agua para néctar de durazno) – R2.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,182	7,817	19,137	1431,280	5836,008	5,762	3,766	0,761
14,144	2,588	7,832	23,024	1764,970	7021,324	7,105	3,846	0,852
14,422	3,101	7,866	28,005	2111,070	8540,233	8,498	3,931	0,929
14,701	3,477	7,667	32,838	2444,759	10014,160	9,841	4,001	0,993
15,045	4,109	7,929	38,405	2916,337	11711,610	11,740	4,069	1,070

Tabla C3.3. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₀b₀ (Agua para néctar de durazno) – R3.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,191	7,922	18,958	1450,585	5781,348	5,748	3,762	0,760
14,144	2,579	7,837	22,928	1766,349	6991,901	6,999	3,845	0,845
14,422	3,119	7,787	28,451	2177,256	8676,398	8,628	3,938	0,936
14,701	3,481	7,932	31,782	2397,877	9692,126	9,502	3,986	0,978
15,045	4,101	7,954	38,209	2941,157	11652,068	11,655	4,066	1,067

Tabla C3.4. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₁b₀ (Agua para néctar de mango) – R1.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,194	7,875	19,098	1443,690	5813,598	5,812	3,764	0,764
14,144	2,582	7,744	23,232	1723,603	7071,897	6,938	3,850	0,841
14,422	3,113	7,836	28,220	2102,796	8590,340	8,465	3,934	0,928
14,701	3,496	7,888	32,093	2346,858	9769,170	9,447	3,990	0,975
15,045	4,103	7,859	38,690	2913,579	11777,433	11,729	4,071	1,069

Tabla C3.5. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_1b_0 (Agua para néctar de mango) – R2.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,197	7,615	19,772	1501,603	6018,669	6,045	3,780	0,781
14,144	2,595	7,609	23,764	1788,411	7233,883	7,199	3,859	0,857
14,422	3,108	7,822	28,232	2119,343	8593,826	8,532	3,934	0,931
14,701	3,506	7,795	32,576	2403,393	9916,266	9,675	3,996	0,986
15,045	4,114	7,836	38,907	2956,325	11843,383	11,901	4,073	1,076

Tabla C3.6. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_1b_0 (Agua para néctar de mango) – R3.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,198	7,800	19,317	1406,460	5880,199	5,662	3,769	0,753
14,144	2,582	7,870	22,860	1753,939	6958,675	7,061	3,843	0,849
14,422	3,099	7,687	28,637	2126,237	8717,181	8,559	3,940	0,932
14,701	3,497	7,826	32,364	2396,498	9851,635	9,647	3,994	0,984
15,045	4,108	7,945	38,324	2859,803	11666,134	11,512	4,067	1,061

Tabla C3.7. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_2b_0 (Agua para néctar de manzana) – R1.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,1839	7,829	19,121	1469,88902	5831,067	5,917	3,766	0,772
14,144	2,5742	7,83	22,906	1788,41094	6985,398	7,199	3,844	0,857
14,422	3,1021	7,796	28,269	2160,70928	8620,806	8,698	3,936	0,939
14,701	3,4799	7,929	31,783	2450,27466	9692,451	9,864	3,986	0,994
15,045	4,0997	7,871	38,603	2985,28117	11772,068	12,017	4,071	1,08

Tabla C3.8. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_2b_0 (Agua para néctar de manzana) – R2.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,1883	7,654	19,598	1483,7897	5976,405	5,973	3,776	0,776
14,144	2,5624	7,922	22,537	1723,5786	6872,626	6,938	3,837	0,841
14,422	3,1145	7,863	28,14	2119,5726	8581,515	8,532	3,934	0,931
14,701	3,4852	7,768	32,491	2452,6101	9908,405	9,873	3,996	0,994
15,045	4,1013	7,887	38,539	2931,132	11752,771	11,799	4,07	1,072

Tabla C3.9. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_2b_0 (Agua para néctar de manzana) – R3.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,1863	7,878	19,023	1450,833	5801,167	5,84	3,764	0,766
14,144	2,5718	7,885	22,725	1787,343	6930,206	7,195	3,841	0,857
14,422	3,1026	7,951	27,723	2172,728	8454,111	8,746	3,927	0,942
14,701	3,4957	7,87	32,167	2489,989	9809,451	10,024	3,992	1,001
15,045	4,1034	7,926	38,369	2969,971	11700,93	11,956	4,068	1,078

MATRIZ DE DATOS DEL ESFUERZO CORTANTE [Pa] y GRADIENTE DE VELOCIDAD [1/s] PARA EL AGUA

Tabla C4.1. **Matriz de datos del Esfuerzo Cortante [Pa] y Gradiente de Velocidad [1/s] y sus logaritmos a 5 presiones diferentes.**

Presión	Gradiente de velocidad	Esfuerzo cortante	Gradiente de velocidad	Esfuerzo cortante
	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
P1	5813,598	5,812	3,764	0,764
	6018,669	6,045	3,780	0,781
	5880,199	5,662	3,769	0,753
	5836,008	5,762	3,766	0,761
	5930,819	5,817	3,773	0,765
	5781,348	5,748	3,762	0,760
	5831,067	5,917	3,766	0,772
	5976,405	5,973	3,776	0,776
	5801,167	5,840	3,764	0,766
P2	7071,897	6,938	3,850	0,841
	7233,883	7,199	3,859	0,857
	6958,675	7,061	3,843	0,849
	7021,324	7,105	3,846	0,852
	7010,542	7,188	3,846	0,857
	6991,901	6,999	3,845	0,845
	6985,398	7,199	3,844	0,857
	6872,626	6,938	3,837	0,841
	6930,206	7,195	3,841	0,857
P3	8590,340	8,465	3,934	0,928
	8593,826	8,532	3,934	0,931
	8717,181	8,559	3,940	0,932
	8540,233	8,498	3,931	0,929
	8543,664	8,515	3,932	0,930
	8676,398	8,628	3,938	0,936
	8620,806	8,698	3,936	0,939
	8581,515	8,532	3,934	0,931
	8454,111	8,746	3,927	0,942
P4	9769,170	9,447	3,990	0,975
	9916,266	9,675	3,996	0,986
	9851,635	9,647	3,994	0,984
	10014,160	9,841	4,001	0,993
	9704,321	9,564	3,987	0,981
	9692,126	9,502	3,986	0,978
	9692,451	9,864	3,986	0,994
	9908,405	9,873	3,996	0,994
	9809,451	10,024	3,992	1,001
P5	11777,433	11,729	4,071	1,069
	11843,383	11,901	4,073	1,076
	11666,134	11,512	4,067	1,061
	11711,610	11,740	4,069	1,070
	11668,314	11,701	4,067	1,068
	11652,068	11,655	4,066	1,067
	11772,068	12,017	4,071	1,080
	11752,771	11,799	4,070	1,072
	11700,930	11,956	4,068	1,078

ANEXO D

**Índice de comportamiento de flujo (n),
índice de consistencia (n) y umbral de
fluencia (τ_0) de las diluciones de los
néctares**

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO (n), ÍNDICE DE CONSISTENCIA (k) Y UMBRAL DE FLUENCIA (τ_0) DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA, TOLEDO, CASSON Y HERSCHEL-BULKLEY ASOCIADOS A LAS DILUCIONES DE NÉCTAR DE DURAZNO

Tabla D1. Valores de parámetros reológicos asociados a las diluciones de néctar de durazno

°Brix	Réplicas	Ley de Potencia		Método Toledo		Método Casson			Método H-B		
		n	k	n	k	n	k	τ_0	n	k	τ_0
3	R1	0,211	1,191	0,211	0,773	0,5	0,44	0,0064	0,214	1,158	1,203
	R2	0,212	1,189	0,212	0,771	0,5	0,441	0,0064	0,215	1,156	1,202
	R3	0,211	1,199	0,211	0,778	0,5	0,44	0,0069	0,214	1,164	1,21
	Promedio	0,211	1,193	0,211	0,774	0,500	0,440	0,007	0,214	1,159	1,205
6	R1	0,217	1,297	0,217	0,836	0,5	0,439	0,013	0,22	1,251	1,3
	R2	0,221	1,318	0,221	0,845	0,5	0,438	0,014	0,224	1,271	1,319
	R3	0,218	1,309	0,218	0,841	0,5	0,439	0,014	0,221	1,262	1,31
	Promedio	0,219	1,308	0,219	0,841	0,500	0,439	0,014	0,222	1,261	1,310
9	R1	0,225	1,396	0,225	0,889	0,5	0,437	0,019	0,228	1,342	1,385
	R2	0,223	1,426	0,223	0,912	0,5	0,436	0,023	0,226	1,368	1,413
	R3	0,225	1,422	0,225	0,908	0,5	0,438	0,022	0,228	1,366	1,403
	Promedio	0,224	1,415	0,224	0,903	0,500	0,437	0,021	0,227	1,359	1,400
12	R1	0,233	1,559	0,233	0,982	0,5	0,436	0,033	0,236	1,492	1,514
	R2	0,233	1,531	0,233	0,966	0,5	0,436	0,03	0,237	1,469	1,489
	R3	0,234	1,567	0,234	0,986	0,5	0,435	0,033	0,238	1,503	1,521
	Promedio	0,233	1,552	0,233	0,978	0,500	0,436	0,032	0,237	1,488	1,508

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO (n), ÍNDICE DE CONSISTENCIA (k) Y UMBRAL DE FLUENCIA (τ_0) DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA, TOLEDO, CASSON Y HERSHEY-BULKLEY ASOCIADOS A LAS DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANGO

Tabla D2. Valores de parámetros reológicos asociados a las diluciones de néctar de mango

°Brix	Réplicas	Ley de Potencia		Método Toledo		Método Casson			Método H-B		
		n	k	n	k	n	k	τ_0	n	k	τ_0
3	R1	0,232	1,0086	0,232	0,635	0,5	0,481	0,0000108	0,233	1,0071	1,0076
	R2	0,233	1,016	0,233	0,639	0,5	0,481	0,00005	0,233	1,014	1,016
	R3	0,231	1,009	0,231	0,638	0,5	0,48	0,000023	0,231	1,009	1,011
	Promedio	0,232	1,011	0,232	0,637	0,500	0,481	0,000028	0,232	1,010	1,012
6	R1	0,239	1,094	0,239	0,682	0,5	0,479	0,00152	0,24	1,079	1,094
	R2	0,236	1,106	0,236	0,693	0,5	0,475	0,00195	0,237	1,089	1,107
	R3	0,238	1,1	0,238	0,688	0,5	0,477	0,00177	0,239	1,085	1,102
	Promedio	0,238	1,100	0,238	0,688	0,500	0,477	0,00175	0,239	1,084	1,101
9	R1	0,244	1,222	0,244	0,759	0,5	0,475	0,0066	0,246	1,193	1,205
	R2	0,244	1,229	0,244	0,762	0,5	0,476	0,0066	0,246	1,201	1,206
	R3	0,248	1,227	0,248	0,757	0,5	0,48	0,0065	0,25	1,199	1,203
	Promedio	0,245	1,226	0,245	0,759	0,500	0,477	0,0066	0,247	1,198	1,205
12	R1	0,25	1,352	0,25	0,832	0,5	0,472	0,0144	0,252	1,312	1,318
	R2	0,249	1,379	0,249	0,847	0,5	0,469	0,0161	0,251	1,334	1,34
	R3	0,25	1,358	0,25	0,836	0,5	0,472	0,0144	0,253	1,318	1,319
	Promedio	0,250	1,363	0,250	0,838	0,500	0,471	0,0150	0,252	1,321	1,326

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO (n), ÍNDICE DE CONSISTENCIA (k) Y UMBRAL DE FLUENCIA (τ_0) DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA, TOLEDO, CASSON Y HERSCHEL-BULKLEY ASOCIADOS A LAS DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANZANA

Tabla D3. Valores de parámetros reológicos asociados a las diluciones de néctar de manzana

°Brix	Réplicas	Ley de Potencia		Método Toledo		Método Casson			Método H-B		
		n	k	n	k	n	k	τ_0	n	k	τ_0
3	R1	0,206	1,229	0,206	0,804	0,5	0,436	0,0088	0,209	1,187	1,242
	R2	0,208	1,218	0,208	0,794	0,5	0,434	0,0082	0,21	1,179	1,231
	R3	0,208	1,239	0,208	0,809	0,5	0,432	0,0095	0,21	1,196	1,253
	Promedio	0,207	1,229	0,207	0,802	0,500	0,434	0,0088	0,210	1,187	1,242
6	R1	0,214	1,342	0,214	0,869	0,5	0,43	0,0168	0,217	1,287	1,348
	R2	0,215	1,335	0,215	0,863	0,5	0,433	0,0159	0,218	1,282	1,338
	R3	0,213	1,335	0,213	0,865	0,5	0,436	0,0161	0,216	1,281	1,34
	Promedio	0,214	1,337	0,214	0,866	0,500	0,433	0,0163	0,217	1,283	1,342
9	R1	0,22	1,429	0,22	0,916	0,5	0,434	0,0222	0,224	1,365	1,409
	R2	0,22	1,431	0,22	0,916	0,5	0,433	0,0229	0,223	1,369	1,416
	R3	0,219	1,434	0,219	0,92	0,5	0,432	0,0231	0,222	1,372	1,419
	Promedio	0,220	1,431	0,220	0,917	0,500	0,433	0,0227	0,223	1,369	1,415
12	R1	0,224	1,531	0,224	0,977	0,5	0,432	0,0306	0,228	1,462	1,496
	R2	0,225	1,524	0,225	0,971	0,5	0,431	0,0298	0,229	1,456	1,488
	R3	0,224	1,531	0,224	0,975	0,5	0,433	0,0304	0,228	1,462	1,494
	Promedio	0,224	1,529	0,224	0,974	0,500	0,432	0,0303	0,228	1,460	1,493

ANEXO E

**Resumen modelos matemáticos aplicados a
la determinación de parámetros reológicos**

Tabla E1. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 3^oBrix.

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,211	1,193	-	0,232	1,011	-	0,207	1,229	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,211	0,774	-	0,232	0,637	-	0,207	0,802	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,500	0,440	0,007	0,500	0,481	2,80E-05	0,500	0,434	0,009
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,241	1,159	1,205	0,232	1,010	1,012	0,210	1,187	1,242

Tabla E2. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 6^oBrix.

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,219	1,308	-	0,238	1,100	-	0,214	1,337	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,219	0,841	-	0,238	0,688	-	0,214	0,866	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,500	0,439	0,014	0,500	0,477	1,75E-03	0,500	0,433	0,016
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,222	1,261	1,310	0,239	1,084	1,101	0,217	1,283	1,342

Tabla E3. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 9ºBrix

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,224	1,415	-	0,245	1,226	-	0,220	1,431	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,224	0,903	-	0,245	0,759	-	0,220	0,917	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,500	0,437	0,021	0,500	0,477	0,007	0,500	0,433	0,023
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,227	1,359	1,400	0,247	1,198	1,205	0,223	1,369	1,415

Tabla E4. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 12ºBrix

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,233	1,552	-	0,250	1,363	-	0,224	1,529	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,233	0,978	-	0,250	0,838	-	0,224	0,974	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,5	0,436	0,032	0,5	0,471	0,015	0,5	0,432	0,030
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,237	1,488	1,508	0,252	1,321	1,326	0,228	1,460	1,493

ANEXO A

**Normas y Determinaciones de propiedades
fisicoquímicas de las muestras de néctar de
durazno, mango y manzana**

A-1. Especificaciones para el néctar de frutas

FRUTA	Nombre Botánico	% Aporte de jugo de fruta	Sólidos Solubles ^{a)} Mínimo NTE INEN 380
Durazno	<i>Prunus pérsica</i> L.	40	3,6
Mango	<i>Mangifera índica</i> L.	25	2,75
Manzana	<i>Malus doméstica</i> Borkh	50	3,0
En grados Brix a 20°C (con exclusión de azúcar)			

Elaborado por: Panchi Nataly

Fuente: Norma NTE INEN 2 337:2008.

A-2. Determinación de Densidad

Descripción

La densidad se define como la masa por unidad de volumen, siendo sus dimensiones (masa) / (longitud)³.

Materiales y Equipos

- Densímetro CI – USA con un rango de 0,7 a 1,8 (g/ml).
- Probeta de 250ml
- Agua destilada

Procedimiento

4. Llenar una probeta de 250ml con la muestra a ser medida (agua, néctar de frutas y/o sus diluciones) a una temperatura de 20°C.
5. Introducir el densímetro apropiado en la probeta con la muestra
6. Leer en la escala numérica, la densidad de las diluciones de las muestras.

A-3. Determinación de Sólidos Totales

Descripción

La determinación del contenido de sólidos totales se basa en la evaporación total de una muestra de agua. Separando el material suspendido, se puede conocer por diferencia, el contenido de este último y del material disuelto.

Materiales y Equipos

- Vasos de precipitación Pyrex de 50ml
- Agitador magnético
- Estufa Precision Scientific controlada con un termómetro digital SIMPSON modelo 383.
- Desecador
- Balanza de precisión 0.1gr BOECO

Procedimiento

6. Llevar la muestra a una temperatura aproximada de 20°C y homogeneizarla con la ayuda de un agitador magnético.
7. La determinación debe efectuarse por duplicado sobre la misma muestra preparada.
8. Con la ayuda de una balanza analítica pesar el vaso de precipitación secado en la estufa, inmediatamente transferir al vaso y pesar aproximadamente p/v 5ml de muestra.
9. Incorporar en la estufa a una temperatura de 110°C por 24 horas.
10. Transferir los vasos de precipitación al desecador por 15 minutos y pesar con aproximación de 0.1mg. El porcentaje de sólidos totales se calcula con la siguiente ecuación.

$$\% ST = 1 - \left(\frac{m_1 - m}{m_2 - m} \right) * 100$$

Donde:

% ST = Porcentaje de sólidos totales

m = Peso (gr) vaso de precipitación

m_1 = Peso (gr) vaso de precipitación con los sólidos totales (después de la desecación)

m_2 = Peso (gr) vaso de precipitación (antes de la desecación)



b)

b)

Figura 1. Secuencia para la determinación de sólidos totales. a) Peso de muestras en la balanza analítica. b) Vista interna de la estufa con las muestras.

Elaborado por: Nataly Panchi

Fuente: Norma INEN 14

A-4. Determinación de Acidez titulable

Descripción

La presente Norma establece el método para determinar la acidez titulable en los productos elaborados a partir de frutas y hortalizas.

Materiales y Equipos

- Bureta Graduada de 50 ml.
- Soporte universal
- Vasos de precipitación de 50ml
- Soluciones tampón de pH conocido.
- Solución 0.1N de hidróxido de sodio.
- Agua destilada
- Material de laboratorio.

Procedimiento

6. Colocar 10ml de muestra (néctar de durazno, mango y manzana) en un vaso de precipitación de 50ml
7. Añadir 2 gotas de fenolftaleína (indicador)
8. Titular con NaOH 0.1N hasta conseguir un color rosado persistente que desaparece lentamente. Continuar agregando hasta que el color rosado persiste durante 30 segundos. Realizar por duplicado
9. Leer en la bureta el volumen de solución consumida
10. Calcular la acidez titulable mediante la ecuación siguiente: La acidez fue reportada como porcentaje de ácido cítrico de acuerdo al método A.O.A.C. 942.15/90 Adaptado (Bernal, 1993) y la norma INEN381.

$$A = \frac{F(V_{NaOH})(N_{NaOH})}{V_{muestra}} * 100$$

Donde:

A = Acidez titulable en porcentaje de ácido específico

V_{NaOH} = Volumen de la solución de NaOH utilizados (ml)

N_{NaOH} = Normalidad de la solución de NaOH

$V_{muestra}$ = Volumen de la muestra (ml)

F = Factor (ácido cítrico) = 0,064



Figura 2. Determinación de acidez

Elaborado por: Nataly Panchi

Fuente: A.O.A.C. 942.15/90 Adaptado (Bernal, 1993), INEN 381.

A-5. Determinación de pH

Descripción

Desde una aproximación simplificada, el pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14.

Materiales y Equipos

- Vasos de precipitación
- Agitador magnético
- pH-metro OAKTON pH/mV/°C meter – pH Serie 510
- Agua destilada

Procedimiento

7. Homogeneizar la muestra con ayuda de un agitador magnético
8. Calibrar el pH metro con la solución buffer
9. Colocar en un vaso de precipitación aproximadamente de 10 gr o 10 ml de la muestra preparada y agitar suavemente.
10. Si existen partículas en suspensión dejar en reposo el recipiente para que las partículas sólidas decanten. Realizarlo por duplicado.
11. Introducir el electrodo del pH-metro en la muestra contenida en el vaso de precipitación.
12. Mediante lectura directa, anotar los valores obtenidos.



Figura 3. Determinación de pH

Elaborado por: Panchi Nataly

Fuente: Norma INEN 389

A-6. Determinación de Conductividad eléctrica

Descripción

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de sales minerales contenidas en una muestra determinada.

Materiales y Equipos

- Medidor ORION 3 STAR
- Agitador magnético
- Vasos de precipitación
- Soluciones tampón de conductividad
- Agua destilada

Procedimiento

6. Homogeneizar la muestra con ayuda de un agitador magnético
7. Calibrar el conductímetro con la solución tampón.
8. Colocar en un vaso de precipitación aproximadamente 80 ml de la muestra preparada mantenida a 20°C y agitar suavemente.
9. Introducir el electrodo del conductímetro en la muestra contenida en el vaso de precipitación y mediante lectura directa, anotar los valores obtenidos.
10. Lavar el electrodo con agua destilada y secar cuidadosamente con un papel absorbente para no dañar el electrodo después de cada determinación.



Figura 4. Determinación de conductividad eléctrica

Elaborado por: Panchi Nataly
Fuente: Conductivity Benchtop, Thermo Scientific,

ANEXO B

**Datos registrados de las propiedades
fisicoquímicas de los néctares de frutas**

Tabla B1. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 3ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	3,1	1010	3,68	0,103	3,3	578
	R2	3	1010	3,65	0,107	3,18	581,5
	R3	3	1010	3,71	0,098	3,25	575,5
	Promedio	3,0	1010	3,7	0,103	3,243	578,33
Mango	R1	3,1	1010	3,56	0,080	3,31	474
	R2	3	1010	3,57	0,076	3,59	479
	R3	3,1	1010	3,66	0,076	3,24	464,7
	Promedio	3,1	1010	3,6	0,077	3,380	472,57
Manzana	R1	3	1010	3,43	0,089	3,57	588,3
	R2	3	1010	3,48	0,080	3,63	583
	R3	3,1	1010	3,56	0,076	3,62	568,2
	Promedio	3,0	1010	3,5	0,082	3,607	579,83

Tabla B2. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 6ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	6	1022	3,65	0,227	5,1	1018
	R2	6	1022	3,72	0,227	5,4	1021,6
	R3	6,1	1022	3,76	0,232	5,18	1016,5
	Promedio	6,0	1022	3,7	0,229	5,227	1018,70
Mango	R1	6,2	1022	3,69	0,161	6,8	797
	R2	6	1022	3,69	0,156	6,76	803,3
	R3	6	1022	3,69	0,156	6,32	801
	Promedio	6,1	1022	3,7	0,158	6,627	800,43
Manzana	R1	6	1022	3,54	0,1739	6,53	1019
	R2	6	1022	3,56	0,165	6,77	1013,3
	R3	6,1	1022	3,54	0,165	6,65	1023
	Promedio	6,0	1022	3,5	0,168	6,650	1018,43

Tabla B3. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 9ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	9	1032	3,73	0,299	8,23	1327,2
	R2	9	1032	3,69	0,303	8,94	1324,6
	R3	9,2	1032	3,78	0,317	8,48	1326,2
	Promedio	9,1	1032	3,7	0,306	8,550	1326,00
Mango	R1	9,1	1032	3,58	0,236	9,35	1055,6
	R2	9	1032	3,68	0,241	9,33	1047,7
	R3	9	1032	3,57	0,223	9,25	1044,7
	Promedio	9,0	1032	3,6	0,233	9,310	1049,33
Manzana	R1	9,2	1032	3,58	0,245	8,78	1281,3
	R2	1	1032	3,53	0,236	9,67	1276
	R3	9	1032	3,57	0,254	9,57	1287,2
	Promedio	6,4	1032	3,6	0,245	9,340	1281,50

Tabla B4. Propiedades fisicoquímicas para la dilución 12ºBrix

Néctar	Réplicas	Sólidos solubles [°Brix]	Densidad [kg/m³]	pH	Acidez	Sólidos Totales	Conductividad eléctrica
					[ác. cítrico/100ml]	[%]	[µs/cm]
Durazno	R1	12,5	1038	3,75	0,375	11,58	1551,7
	R2	12,3	1040	3,8	0,352	12,12	1479,3
	R3	12,2	1040	3,77	0,37	12,02	1539,4
	Promedio	12,3	1039	3,8	0,366	11,907	1523,47
Mango	R1	12,3	1040	3,68	0,317	12,8	1245,3
	R2	12,6	1038	3,59	0,308	12,81	1257,7
	R3	12,7	1040	3,67	0,334	12,54	1248
	Promedio	12,5	1039	3,6	0,320	12,717	1250,33
Manzana	R1	11,6	1040	3,65	0,299	13,12	1680,7
	R2	11,8	1038	3,66	0,29	13,29	1674,5
	R3	12	1038	3,52	0,285	13,36	1673,2
	Promedio	11,8	1039	3,6	0,291	13,257	1676,13

ANEXO C

**Datos registrados de viscosidad del agua
por medio del viscosímetro capilar Cannon
– Fenske y el equipo universal TA-XT2i**

Tabla C1.1 Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de durazno

Tratamiento	Réplica	Tiempo recorrido agua	Tiempo recorrido muestra*	Gravedad específica muestra*	Viscosidad relativa
		(s)	(s)		(Pa.s)
Agua para el néctar de durazno	1	12,71	12,71	1,004	1,006E-03
	2	12,68	12,68	0,999	1,001E-03
	3	12,73	12,73	0,997	9,990E-04
	Promedio	12,70	12,70	1,000	1,002E-03

*Muestra = Agua

Tabla C1.2 Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de mango

Tratamiento	Réplica	Tiempo recorrido agua	Tiempo recorrido muestra*	Gravedad específica muestra*	Viscosidad relativa
		(s)	(s)		(Pa.s)
Agua para el néctar de mango	1	12,67	12,67	0,991	9,934E-04
	2	12,65	12,65	1,004	1,006E-03
	3	12,68	12,68	1,003	1,005E-03
	Promedio	12,67	12,67	0,999	1,001E-03

*Muestra = Agua

Tabla C1.3. Tiempo de flujo a través del viscosímetro del tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad relativa a 20°C, por réplicas del agua para néctar de manzana

Tratamiento	Réplica	Tiempo recorrido agua	Tiempo recorrido muestra*	Gravedad específica muestra*	Viscosidad absoluta
		(s)	(s)		(Pa.s)
Agua para el néctar de manzana	1	12,65	12,65	0,978	9,802E-04
	2	12,62	12,62	1,003	1,005E-03
	3	12,73	12,73	1,002	1,004E-03
	Promedio	12,66	12,66	0,994	9,965E-04

*Muestra = Agua

Tabla C2.1. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R1

a0b0 (Agua para néctar de durazno) R1								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,167	1152,746	0,375	2584,026	0,208	1431,280	7,817	2,107
P2	0,169	1163,777	0,425	2928,747	0,256	1764,970	7,832	2,397
P3	0,166	1141,715	0,472	3252,784	0,306	2111,070	7,866	2,500
P4	0,171	1178,945	0,526	3623,704	0,355	2444,759	7,667	2,666
P5	0,168	1156,883	0,591	4073,220	0,423	2916,337	7,929	2,743

Tabla C2.2. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R2

a0b0 (Agua para néctar de durazno) R2								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,169	1163,777	0,378	2608,846	0,210	1445,069	7,738	2,100
P2	0,168	1156,883	0,427	2942,536	0,259	1785,653	7,803	2,347
P3	0,171	1180,324	0,478	3295,530	0,307	2115,206	7,874	2,537
P4	0,168	1156,883	0,512	3532,698	0,345	2375,815	7,908	2,671
P5	0,169	1166,535	0,591	4073,220	0,422	2906,685	7,912	2,745

Tabla C2.3. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a0b0 (Agua para néctar de durazno) – R3

a0b0 (Agua para néctar de durazno) R3								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,169	1162,398	0,379	2612,983	0,210	1450,585	7,922	2,113
P2	0,166	1147,230	0,423	2913,579	0,256	1766,349	7,837	2,438
P3	0,169	1163,777	0,485	3341,033	0,316	2177,256	7,787	2,500
P4	0,169	1165,156	0,517	3563,033	0,348	2397,877	7,932	2,614
P5	0,168	1161,019	0,595	4102,176	0,427	2941,157	7,954	2,727

Tabla C2.4. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a1b0 (Agua para néctar de mango) – R1

a1b0 (Agua para néctar de mango) R1								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,168	1158,262	0,377	2601,952	0,209	1443,690	7,875	2,156
P2	0,168	1159,640	0,418	2883,244	0,250	1723,603	7,744	2,273
P3	0,168	1158,262	0,473	3261,058	0,305	2102,796	7,836	2,481
P4	0,168	1155,504	0,508	3502,362	0,340	2346,858	7,888	2,622
P5	0,168	1155,504	0,590	4069,083	0,423	2913,579	7,859	2,843

Tabla C2.5. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a1b0 (Agua para néctar de mango) – R2

a1b0 (Agua para néctar de mango) R2								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,170	1169,293	0,387	2670,896	0,218	1501,603	7,615	2,104
P2	0,168	1159,640	0,428	2948,051	0,259	1788,411	7,609	2,293
P3	0,168	1158,262	0,475	3277,604	0,307	2119,343	7,822	2,427
P4	0,170	1169,293	0,518	3572,685	0,349	2403,393	7,795	2,640
P5	0,169	1162,398	0,597	4118,723	0,429	2956,325	7,836	2,810

Tabla C2.6. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a1b0 (Agua para néctar de mango) – R3

a1b0 (Agua para néctar de mango) R3								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,169	1165,156	0,354	2440,622	0,185	1275,467	7,985	2,003
P2	0,168	1158,262	0,437	3012,859	0,269	1854,597	8,010	2,404
P3	0,169	1165,156	0,444	3061,120	0,275	1895,964	8,005	2,541
P4	0,169	1165,156	0,539	3716,089	0,370	2550,933	7,995	2,502
P5	0,169	1165,156	0,567	3909,133	0,398	2743,977	7,910	2,791

Tabla C2.7. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a2b0 (Agua para néctar de manzana) – R1

a2b0 (Agua para néctar de manzana) R1								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,168	1161,019	0,382	2630,908	0,213	1469,889	7,829	2,017
P2	0,168	1156,883	0,427	2945,294	0,259	1788,411	7,830	2,397
P3	0,168	1161,019	0,482	3321,729	0,313	2160,709	7,796	2,454
P4	0,169	1162,398	0,524	3612,673	0,355	2450,275	7,929	2,641
P5	0,167	1154,125	0,600	4139,406	0,433	2985,281	7,871	2,718

Tabla C2.8. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a2b0 (Agua para néctar de manzana) – R2

a2b0 (Agua para néctar de manzana) R2								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,167	1154,125	0,395	2721,915	0,227	1567,790	7,654	2,030
P2	0,169	1162,398	0,430	2965,977	0,262	1803,579	7,922	2,337
P3	0,169	1162,398	0,481	3318,971	0,313	2156,573	7,863	2,532
P4	0,169	1162,398	0,528	3643,008	0,360	2480,610	7,768	2,618
P5	0,166	1144,473	0,572	3943,605	0,406	2799,132	7,887	2,674

Tabla C2.9. Fuerza inicial, fuerza final y tiempo, determinadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a2b0 (Agua para néctar de manzana) – R3

a2b0 (Agua para néctar de manzana) R3								
Presión	Fuerza Inicial	Fuerza Inicial	Fuerza Final	Fuerza Final	Diferencia de Esfuerzos	Diferencia de Esfuerzos	Tiempo	(lbf/plg ²).s
	(lbf/plg ²)	(Pa)	(lbf/plg ²)	(Pa)	ΔP (lbf/plg ²)	ΔP (Pa)	s	
P1	0,168	1161,019	0,392	2699,852	0,223	1538,833	7,878	2,111
P2	0,164	1132,063	0,439	3029,405	0,275	1897,343	7,885	2,332
P3	0,169	1163,777	0,490	3375,505	0,321	2211,728	7,951	2,489
P4	0,168	1156,883	0,528	3638,872	0,360	2481,989	7,870	2,661
P5	0,168	1161,019	0,585	4035,990	0,417	2874,971	7,926	2,795

Tabla C3.1. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₀b₀ (Agua para néctar de durazno) – R1.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,182	7,817	19,137	1431,280	5836,008	5,762	3,766	0,761
14,144	2,588	7,832	23,024	1764,970	7021,324	7,105	3,846	0,852
14,422	3,101	7,866	28,005	2111,070	8540,233	8,498	3,931	0,929
14,701	3,477	7,667	32,838	2444,759	10014,160	9,841	4,001	0,993
15,045	4,109	7,929	38,405	2916,337	11711,610	11,740	4,069	1,070

Tabla C3.2. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₀b₀ (Agua para néctar de durazno) – R2.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,182	7,817	19,137	1431,280	5836,008	5,762	3,766	0,761
14,144	2,588	7,832	23,024	1764,970	7021,324	7,105	3,846	0,852
14,422	3,101	7,866	28,005	2111,070	8540,233	8,498	3,931	0,929
14,701	3,477	7,667	32,838	2444,759	10014,160	9,841	4,001	0,993
15,045	4,109	7,929	38,405	2916,337	11711,610	11,740	4,069	1,070

Tabla C3.3. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₀b₀ (Agua para néctar de durazno) – R3.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,191	7,922	18,958	1450,585	5781,348	5,748	3,762	0,760
14,144	2,579	7,837	22,928	1766,349	6991,901	6,999	3,845	0,845
14,422	3,119	7,787	28,451	2177,256	8676,398	8,628	3,938	0,936
14,701	3,481	7,932	31,782	2397,877	9692,126	9,502	3,986	0,978
15,045	4,101	7,954	38,209	2941,157	11652,068	11,655	4,066	1,067

Tabla C3.4. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a₁b₀ (Agua para néctar de mango) – R1.

Distancia	Peso	Tiempo	v	ΔP	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
(cm)	(g)	(s)	(g/s)	(Pa)	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
13,915	2,194	7,875	19,098	1443,690	5813,598	5,812	3,764	0,764
14,144	2,582	7,744	23,232	1723,603	7071,897	6,938	3,850	0,841
14,422	3,113	7,836	28,220	2102,796	8590,340	8,465	3,934	0,928
14,701	3,496	7,888	32,093	2346,858	9769,170	9,447	3,990	0,975
15,045	4,103	7,859	38,690	2913,579	11777,433	11,729	4,071	1,069

Tabla C3.5. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_1b_0 (Agua para néctar de mango) – R2.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,197	7,615	19,772	1501,603	6018,669	6,045	3,780	0,781
14,144	2,595	7,609	23,764	1788,411	7233,883	7,199	3,859	0,857
14,422	3,108	7,822	28,232	2119,343	8593,826	8,532	3,934	0,931
14,701	3,506	7,795	32,576	2403,393	9916,266	9,675	3,996	0,986
15,045	4,114	7,836	38,907	2956,325	11843,383	11,901	4,073	1,076

Tabla C3.6. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_1b_0 (Agua para néctar de mango) – R3.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,198	7,800	19,317	1406,460	5880,199	5,662	3,769	0,753
14,144	2,582	7,870	22,860	1753,939	6958,675	7,061	3,843	0,849
14,422	3,099	7,687	28,637	2126,237	8717,181	8,559	3,940	0,932
14,701	3,497	7,826	32,364	2396,498	9851,635	9,647	3,994	0,984
15,045	4,108	7,945	38,324	2859,803	11666,134	11,512	4,067	1,061

Tabla C3.7. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_2b_0 (Agua para néctar de manzana) – R1.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,1839	7,829	19,121	1469,88902	5831,067	5,917	3,766	0,772
14,144	2,5742	7,83	22,906	1788,41094	6985,398	7,199	3,844	0,857
14,422	3,1021	7,796	28,269	2160,70928	8620,806	8,698	3,936	0,939
14,701	3,4799	7,929	31,783	2450,27466	9692,451	9,864	3,986	0,994
15,045	4,0997	7,871	38,603	2985,28117	11772,068	12,017	4,071	1,08

Tabla C3.8. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_2b_0 (Agua para néctar de manzana) – R2.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,1883	7,654	19,598	1483,7897	5976,405	5,973	3,776	0,776
14,144	2,5624	7,922	22,537	1723,5786	6872,626	6,938	3,837	0,841
14,422	3,1145	7,863	28,14	2119,5726	8581,515	8,532	3,934	0,931
14,701	3,4852	7,768	32,491	2452,6101	9908,405	9,873	3,996	0,994
15,045	4,1013	7,887	38,539	2931,132	11752,771	11,799	4,07	1,072

Tabla C3.9. Esfuerzo Cortante [Pa] (τ) y el Gradiente de Velocidad [1/s] (γ) y sus logaritmos para el tratamiento a_2b_0 (Agua para néctar de manzana) – R3.

Distancia (cm)	Peso (g)	Tiempo (s)	v (g/s)	ΔP (Pa)	$\gamma = v/Arp$ [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ [Pa]	$\gamma = v/Arp$ log [1/s]	$\tau = (\Delta P)r/2L$ log [Pa]
13,915	2,1863	7,878	19,023	1450,833	5801,167	5,84	3,764	0,766
14,144	2,5718	7,885	22,725	1787,343	6930,206	7,195	3,841	0,857
14,422	3,1026	7,951	27,723	2172,728	8454,111	8,746	3,927	0,942
14,701	3,4957	7,87	32,167	2489,989	9809,451	10,024	3,992	1,001
15,045	4,1034	7,926	38,369	2969,971	11700,93	11,956	4,068	1,078

MATRIZ DE DATOS DEL ESFUERZO CORTANTE [Pa] y GRADIENTE DE VELOCIDAD [1/s] PARA EL AGUA

Tabla C4.1. **Matriz de datos del Esfuerzo Cortante [Pa] y Gradiente de Velocidad [1/s] y sus logaritmos a 5 presiones diferentes.**

Presión	Gradiente de velocidad	Esfuerzo cortante	Gradiente de velocidad	Esfuerzo cortante
	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$	$\gamma = v/Arp$	$\tau = (\Delta P)r/2L$
	[1/s]	[Pa]	log [1/s]	log [Pa]
P1	5813,598	5,812	3,764	0,764
	6018,669	6,045	3,780	0,781
	5880,199	5,662	3,769	0,753
	5836,008	5,762	3,766	0,761
	5930,819	5,817	3,773	0,765
	5781,348	5,748	3,762	0,760
	5831,067	5,917	3,766	0,772
	5976,405	5,973	3,776	0,776
	5801,167	5,840	3,764	0,766
P2	7071,897	6,938	3,850	0,841
	7233,883	7,199	3,859	0,857
	6958,675	7,061	3,843	0,849
	7021,324	7,105	3,846	0,852
	7010,542	7,188	3,846	0,857
	6991,901	6,999	3,845	0,845
	6985,398	7,199	3,844	0,857
	6872,626	6,938	3,837	0,841
	6930,206	7,195	3,841	0,857
P3	8590,340	8,465	3,934	0,928
	8593,826	8,532	3,934	0,931
	8717,181	8,559	3,940	0,932
	8540,233	8,498	3,931	0,929
	8543,664	8,515	3,932	0,930
	8676,398	8,628	3,938	0,936
	8620,806	8,698	3,936	0,939
	8581,515	8,532	3,934	0,931
	8454,111	8,746	3,927	0,942
P4	9769,170	9,447	3,990	0,975
	9916,266	9,675	3,996	0,986
	9851,635	9,647	3,994	0,984
	10014,160	9,841	4,001	0,993
	9704,321	9,564	3,987	0,981
	9692,126	9,502	3,986	0,978
	9692,451	9,864	3,986	0,994
	9908,405	9,873	3,996	0,994
	9809,451	10,024	3,992	1,001
P5	11777,433	11,729	4,071	1,069
	11843,383	11,901	4,073	1,076
	11666,134	11,512	4,067	1,061
	11711,610	11,740	4,069	1,070
	11668,314	11,701	4,067	1,068
	11652,068	11,655	4,066	1,067
	11772,068	12,017	4,071	1,080
	11752,771	11,799	4,070	1,072
	11700,930	11,956	4,068	1,078

ANEXO D

**Índice de comportamiento de flujo (n),
índice de consistencia (n) y umbral de
fluencia (τ_0) de las diluciones de los
néctares**

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO (n), ÍNDICE DE CONSISTENCIA (k) Y UMBRAL DE FLUENCIA (τ_0) DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA, TOLEDO, CASSON Y HERSCHEL-BULKLEY ASOCIADOS A LAS DILUCIONES DE NÉCTAR DE DURAZNO

Tabla D1. Valores de parámetros reológicos asociados a las diluciones de néctar de durazno

°Brix	Réplicas	Ley de Potencia		Método Toledo		Método Casson			Método H-B		
		n	k	n	k	n	k	τ_0	n	k	τ_0
3	R1	0,211	1,191	0,211	0,773	0,5	0,44	0,0064	0,214	1,158	1,203
	R2	0,212	1,189	0,212	0,771	0,5	0,441	0,0064	0,215	1,156	1,202
	R3	0,211	1,199	0,211	0,778	0,5	0,44	0,0069	0,214	1,164	1,21
	Promedio	0,211	1,193	0,211	0,774	0,500	0,440	0,007	0,214	1,159	1,205
6	R1	0,217	1,297	0,217	0,836	0,5	0,439	0,013	0,22	1,251	1,3
	R2	0,221	1,318	0,221	0,845	0,5	0,438	0,014	0,224	1,271	1,319
	R3	0,218	1,309	0,218	0,841	0,5	0,439	0,014	0,221	1,262	1,31
	Promedio	0,219	1,308	0,219	0,841	0,500	0,439	0,014	0,222	1,261	1,310
9	R1	0,225	1,396	0,225	0,889	0,5	0,437	0,019	0,228	1,342	1,385
	R2	0,223	1,426	0,223	0,912	0,5	0,436	0,023	0,226	1,368	1,413
	R3	0,225	1,422	0,225	0,908	0,5	0,438	0,022	0,228	1,366	1,403
	Promedio	0,224	1,415	0,224	0,903	0,500	0,437	0,021	0,227	1,359	1,400
12	R1	0,233	1,559	0,233	0,982	0,5	0,436	0,033	0,236	1,492	1,514
	R2	0,233	1,531	0,233	0,966	0,5	0,436	0,03	0,237	1,469	1,489
	R3	0,234	1,567	0,234	0,986	0,5	0,435	0,033	0,238	1,503	1,521
	Promedio	0,233	1,552	0,233	0,978	0,500	0,436	0,032	0,237	1,488	1,508

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO (n), ÍNDICE DE CONSISTENCIA (k) Y UMBRAL DE FLUENCIA (τ_0) DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA, TOLEDO, CASSON Y HERSHEY-BULKLEY ASOCIADOS A LAS DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANGO

Tabla D2. Valores de parámetros reológicos asociados a las diluciones de néctar de mango

°Brix	Réplicas	Ley de Potencia		Método Toledo		Método Casson			Método H-B		
		n	k	n	k	n	k	τ_0	n	k	τ_0
3	R1	0,232	1,0086	0,232	0,635	0,5	0,481	0,0000108	0,233	1,0071	1,0076
	R2	0,233	1,016	0,233	0,639	0,5	0,481	0,00005	0,233	1,014	1,016
	R3	0,231	1,009	0,231	0,638	0,5	0,48	0,000023	0,231	1,009	1,011
	Promedio	0,232	1,011	0,232	0,637	0,500	0,481	0,000028	0,232	1,010	1,012
6	R1	0,239	1,094	0,239	0,682	0,5	0,479	0,00152	0,24	1,079	1,094
	R2	0,236	1,106	0,236	0,693	0,5	0,475	0,00195	0,237	1,089	1,107
	R3	0,238	1,1	0,238	0,688	0,5	0,477	0,00177	0,239	1,085	1,102
	Promedio	0,238	1,100	0,238	0,688	0,500	0,477	0,00175	0,239	1,084	1,101
9	R1	0,244	1,222	0,244	0,759	0,5	0,475	0,0066	0,246	1,193	1,205
	R2	0,244	1,229	0,244	0,762	0,5	0,476	0,0066	0,246	1,201	1,206
	R3	0,248	1,227	0,248	0,757	0,5	0,48	0,0065	0,25	1,199	1,203
	Promedio	0,245	1,226	0,245	0,759	0,500	0,477	0,0066	0,247	1,198	1,205
12	R1	0,25	1,352	0,25	0,832	0,5	0,472	0,0144	0,252	1,312	1,318
	R2	0,249	1,379	0,249	0,847	0,5	0,469	0,0161	0,251	1,334	1,34
	R3	0,25	1,358	0,25	0,836	0,5	0,472	0,0144	0,253	1,318	1,319
	Promedio	0,250	1,363	0,250	0,838	0,500	0,471	0,0150	0,252	1,321	1,326

ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO (n), ÍNDICE DE CONSISTENCIA (k) Y UMBRAL DE FLUENCIA (τ_0) DEL MODELO DE LEY DE POTENCIA, TOLEDO, CASSON Y HERSCHEL-BULKLEY ASOCIADOS A LAS DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANZANA

Tabla D3. Valores de parámetros reológicos asociados a las diluciones de néctar de manzana

°Brix	Réplicas	Ley de Potencia		Método Toledo		Método Casson			Método H-B		
		n	k	n	k	n	k	τ_0	n	k	τ_0
3	R1	0,206	1,229	0,206	0,804	0,5	0,436	0,0088	0,209	1,187	1,242
	R2	0,208	1,218	0,208	0,794	0,5	0,434	0,0082	0,21	1,179	1,231
	R3	0,208	1,239	0,208	0,809	0,5	0,432	0,0095	0,21	1,196	1,253
	Promedio	0,207	1,229	0,207	0,802	0,500	0,434	0,0088	0,210	1,187	1,242
6	R1	0,214	1,342	0,214	0,869	0,5	0,43	0,0168	0,217	1,287	1,348
	R2	0,215	1,335	0,215	0,863	0,5	0,433	0,0159	0,218	1,282	1,338
	R3	0,213	1,335	0,213	0,865	0,5	0,436	0,0161	0,216	1,281	1,34
	Promedio	0,214	1,337	0,214	0,866	0,500	0,433	0,0163	0,217	1,283	1,342
9	R1	0,22	1,429	0,22	0,916	0,5	0,434	0,0222	0,224	1,365	1,409
	R2	0,22	1,431	0,22	0,916	0,5	0,433	0,0229	0,223	1,369	1,416
	R3	0,219	1,434	0,219	0,92	0,5	0,432	0,0231	0,222	1,372	1,419
	Promedio	0,220	1,431	0,220	0,917	0,500	0,433	0,0227	0,223	1,369	1,415
12	R1	0,224	1,531	0,224	0,977	0,5	0,432	0,0306	0,228	1,462	1,496
	R2	0,225	1,524	0,225	0,971	0,5	0,431	0,0298	0,229	1,456	1,488
	R3	0,224	1,531	0,224	0,975	0,5	0,433	0,0304	0,228	1,462	1,494
	Promedio	0,224	1,529	0,224	0,974	0,500	0,432	0,0303	0,228	1,460	1,493

ANEXO E

**Resumen modelos matemáticos aplicados a
la determinación de parámetros reológicos**

Tabla E1. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 3^oBrix.

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,211	1,193	-	0,232	1,011	-	0,207	1,229	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,211	0,774	-	0,232	0,637	-	0,207	0,802	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,500	0,440	0,007	0,500	0,481	2,80E-05	0,500	0,434	0,009
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,241	1,159	1,205	0,232	1,010	1,012	0,210	1,187	1,242

Tabla E2. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 6^oBrix.

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]	n	k [Pa.s ⁿ]	τ_0 [Pa ^{0,5}]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,219	1,308	-	0,238	1,100	-	0,214	1,337	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,219	0,841	-	0,238	0,688	-	0,214	0,866	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,500	0,439	0,014	0,500	0,477	1,75E-03	0,500	0,433	0,016
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,222	1,261	1,310	0,239	1,084	1,101	0,217	1,283	1,342

Tabla E3. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 9ºBrix

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s^n]	τ_0 [Pa^0,5]	n	k [Pa.s^n]	τ_0 [Pa^0,5]	n	k [Pa.s^n]	τ_0 [Pa^0,5]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,224	1,415	-	0,245	1,226	-	0,220	1,431	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,224	0,903	-	0,245	0,759	-	0,220	0,917	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,500	0,437	0,021	0,500	0,477	0,007	0,500	0,433	0,023
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,227	1,359	1,400	0,247	1,198	1,205	0,223	1,369	1,415

Tabla E4. Modelos matemáticos aplicados a la determinación del índice de comportamiento (n), índice de consistencia (k) y umbral de fluencia (τ_0) en néctar de frutas a 12ºBrix

Modelo	Ecuación	Néctar de durazno			Néctar de mango			Néctar de manzana		
		n	k [Pa.s^n]	τ_0 [Pa^0,5]	n	k [Pa.s^n]	τ_0 [Pa^0,5]	n	k [Pa.s^n]	τ_0 [Pa^0,5]
Ley de Potencia	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,233	1,552	-	0,250	1,363	-	0,224	1,529	-
Toledo	$\tau_w = k \gamma_w^\eta$	0,233	0,978	-	0,250	0,838	-	0,224	0,974	-
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k\gamma^{0,5}$	0,5	0,436	0,032	0,5	0,471	0,015	0,5	0,432	0,030
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_0 = k \gamma^n$	0,237	1,488	1,508	0,252	1,321	1,326	0,228	1,460	1,493

ANEXO F

**Figuras de los resultados obtenidos en el
equipo universal TA-XT2i para el agua**

F.1 AGUA PARA DURAZNO

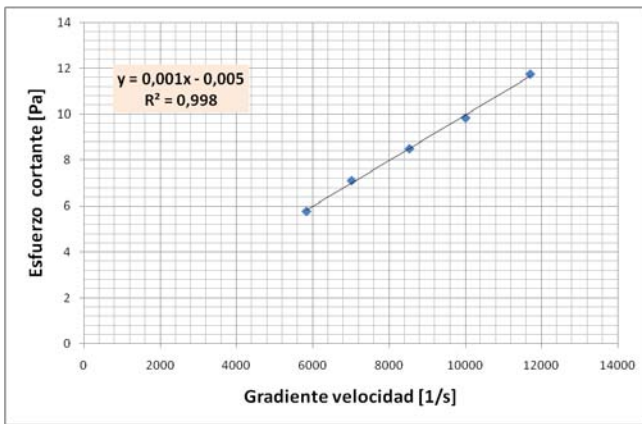


Figura 1. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R1

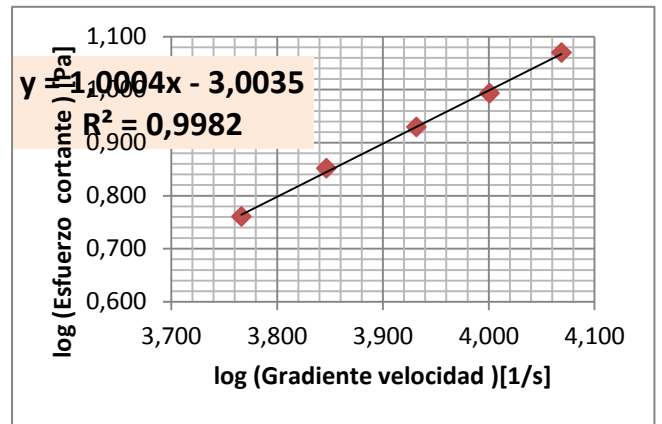


Figura 2. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R1

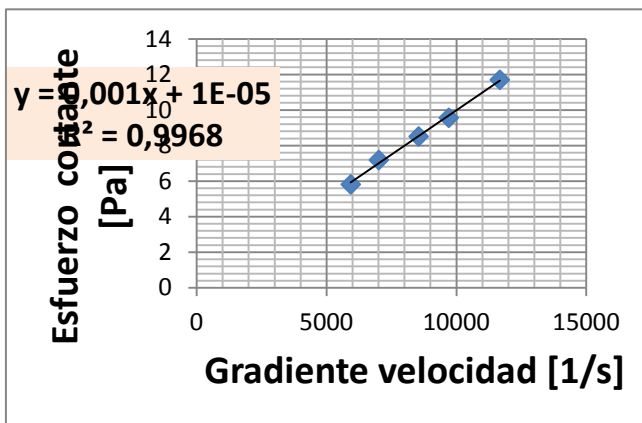


Figura 3. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R2

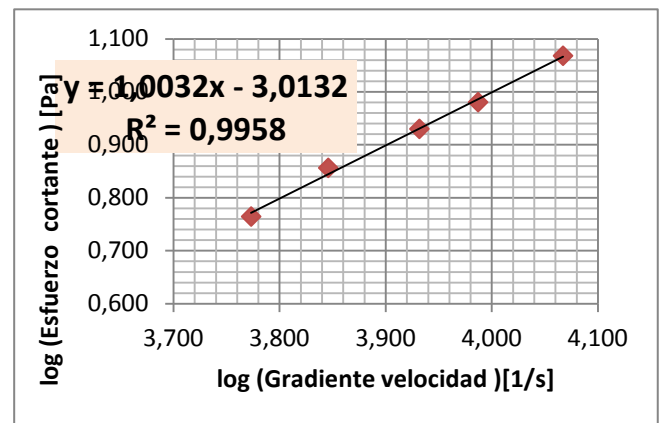


Figura 4. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R2

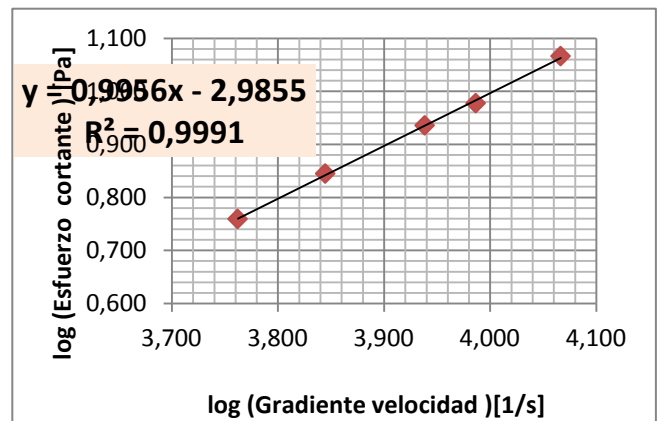
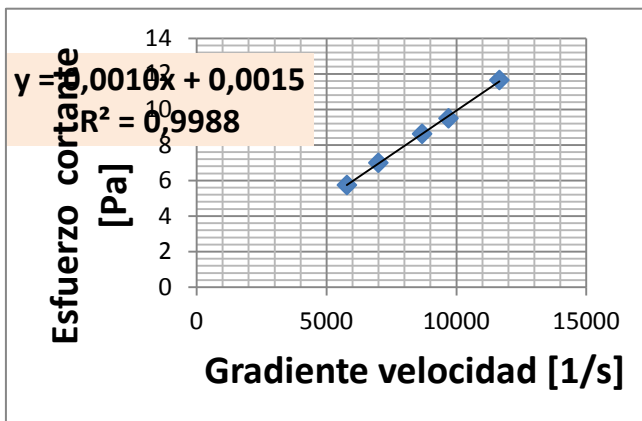
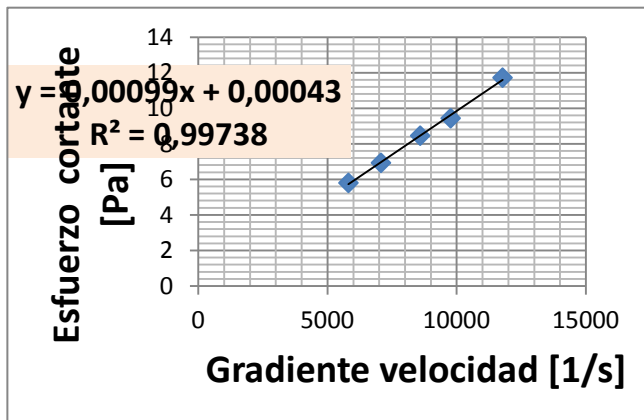


Figura 5. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R3



PARA Figura 6. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R3

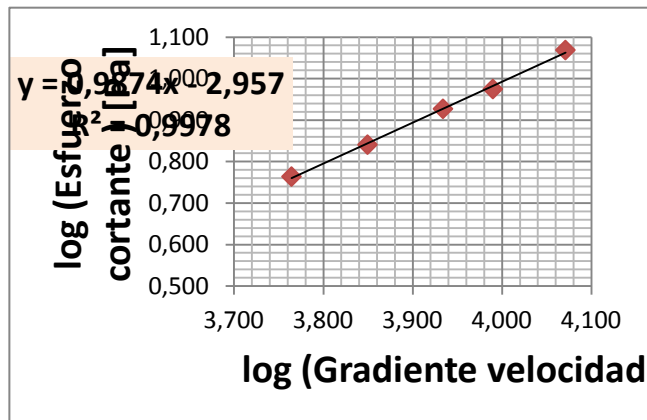


Figura 7. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R1

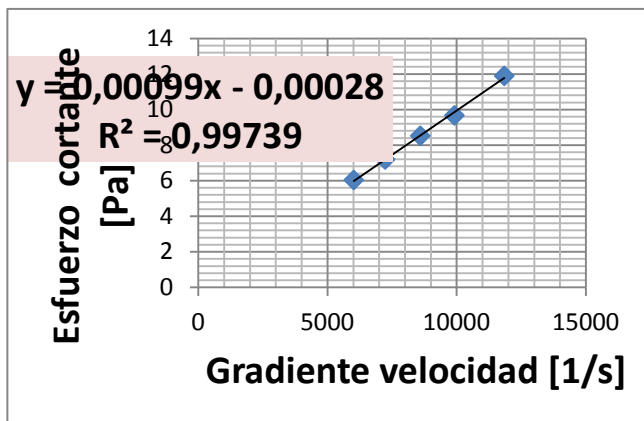


Figura 8. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R1

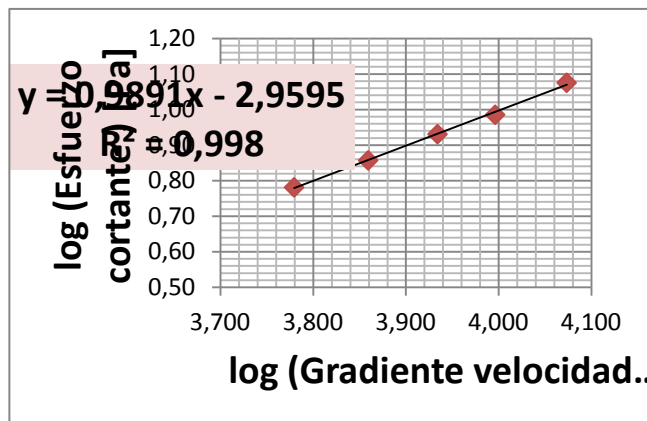


Figura 9. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R2

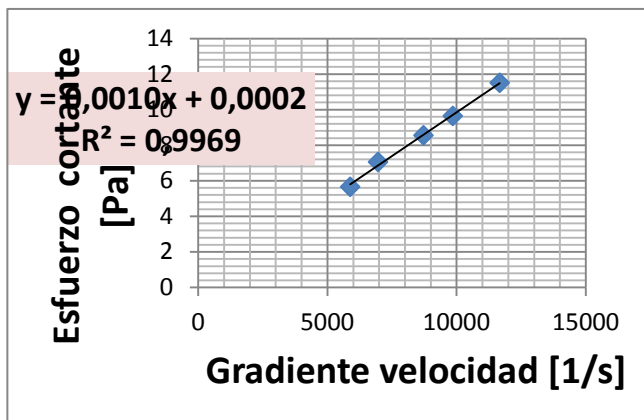


Figura 10. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R2

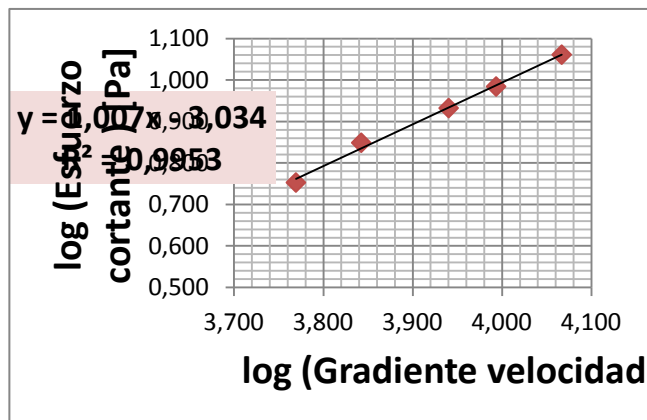


Figura 11. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R3

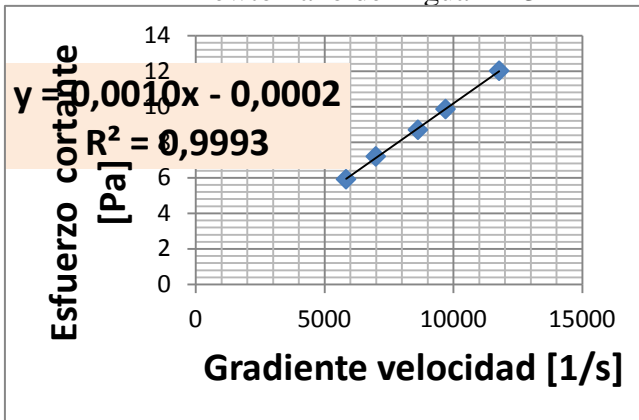


Figura 12. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R3

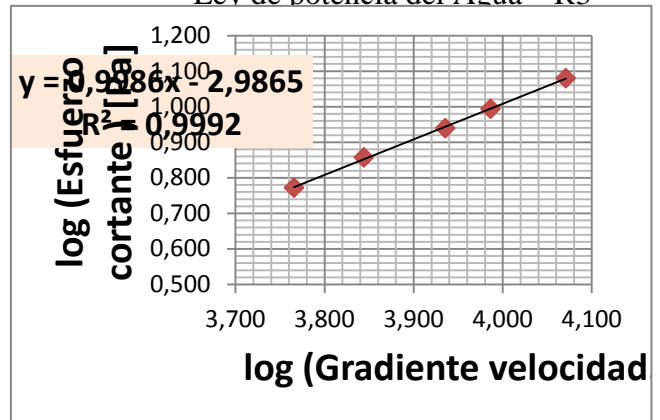


Figura 13. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R1

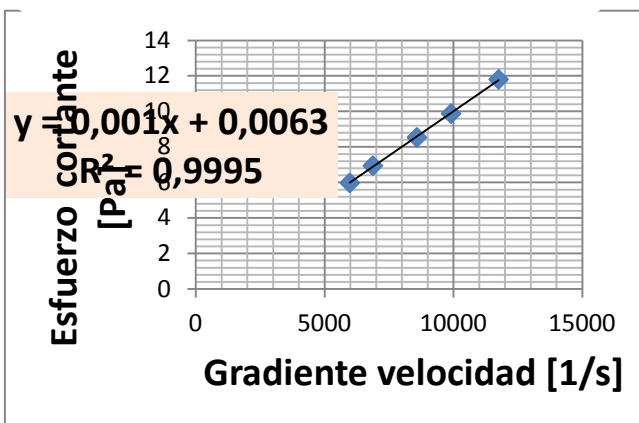


Figura 14. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R1

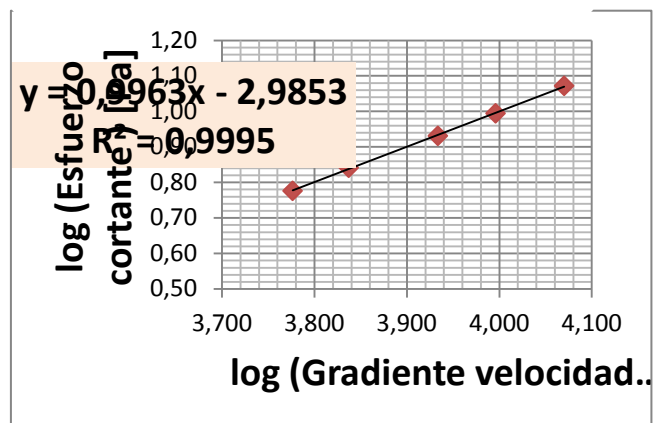


Figura 15. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R2

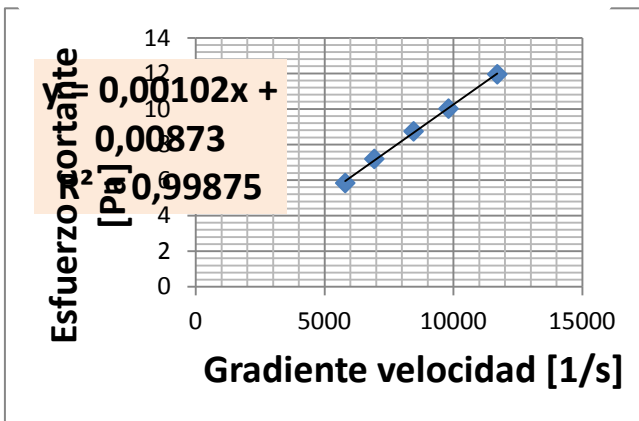


Figura 16. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R2

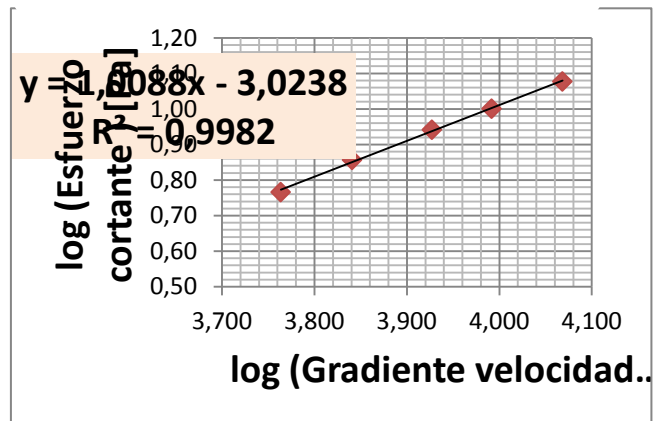


Figura 17. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua – R3

Figura 18. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua – R3

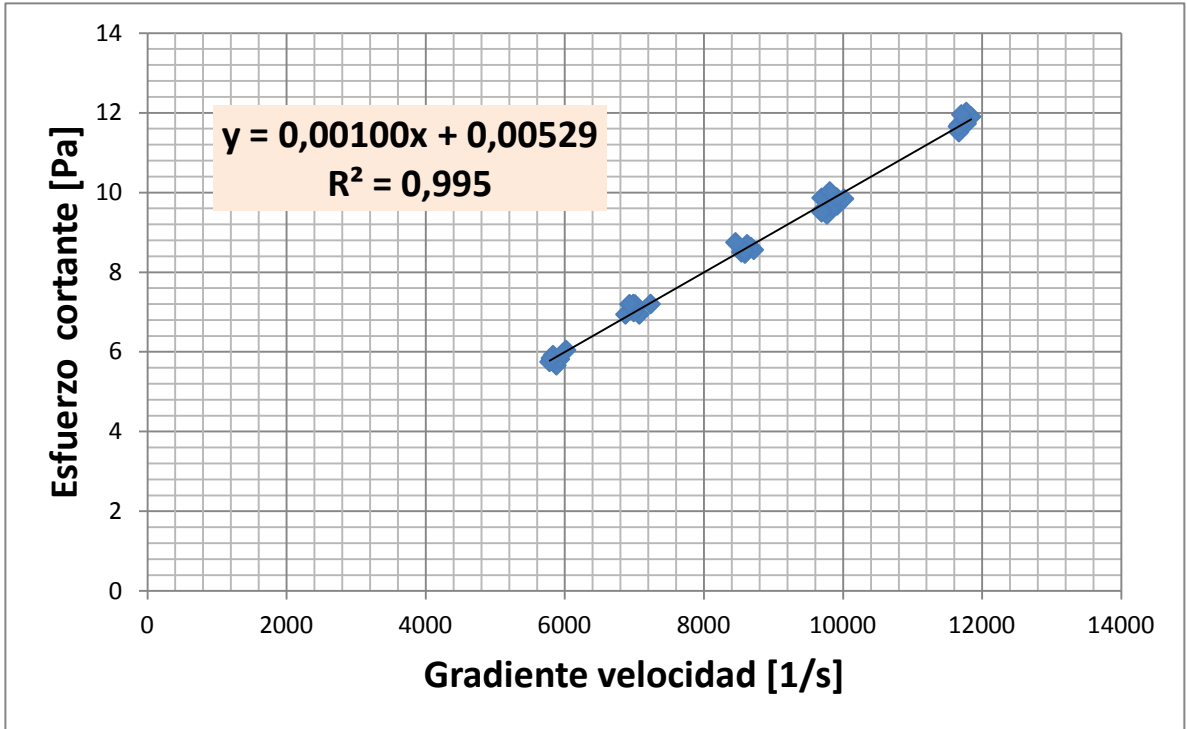


Figura 19. Reograma del comportamiento newtoniano del Agua

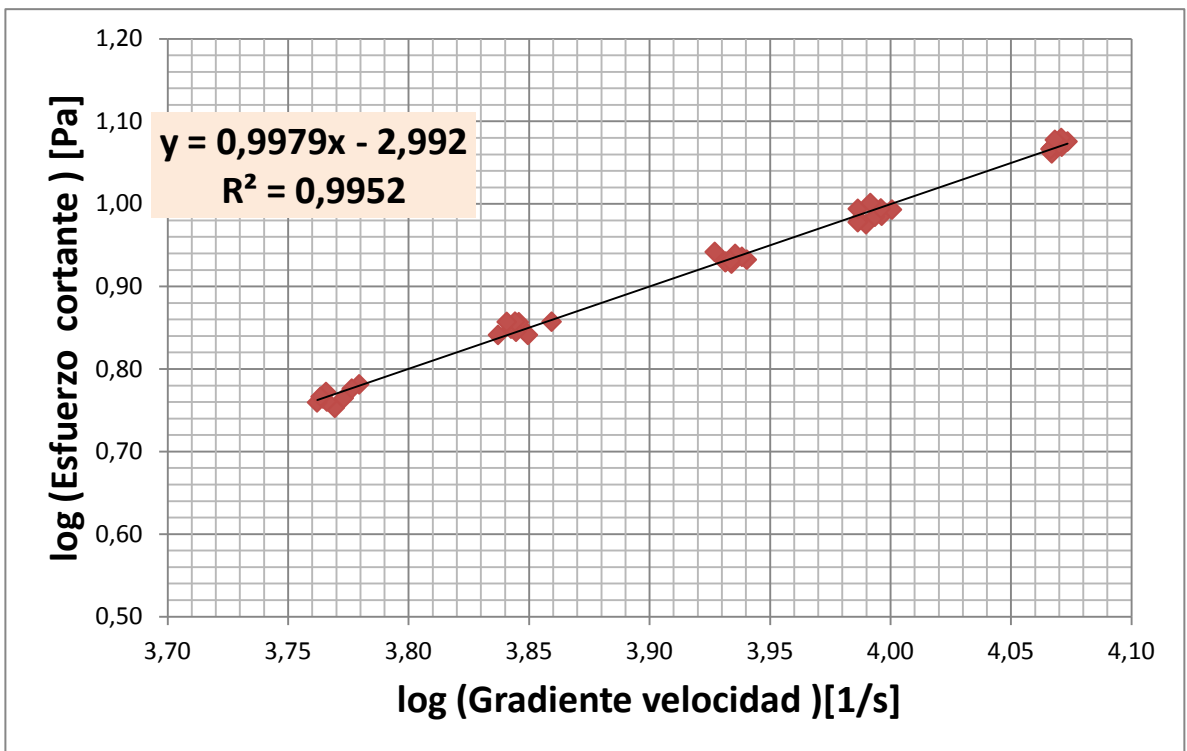


Figura 20. Representación del modelo de Ley de potencia del Agua

ANEXO G

**Figuras de los resultados obtenidos en el
equipo universal TA-XT2i para las
diluciones de néctar de frutas mediante
modelos matemáticos**

MODELO LEY DE POTENCIA PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE DURAZNO

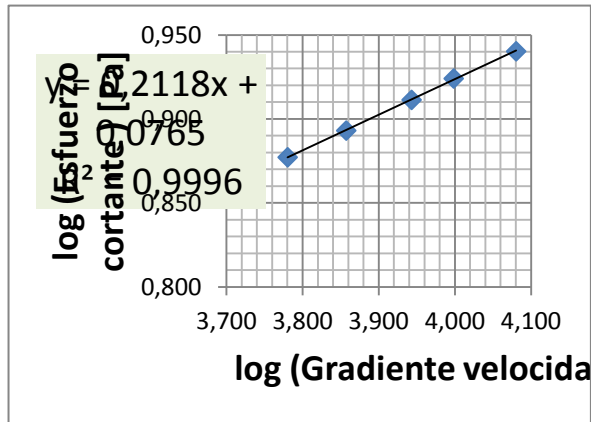


Figura 21. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R1

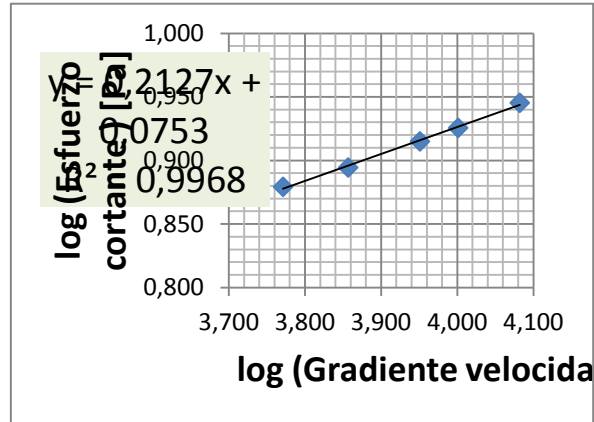


Figura 22. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R2

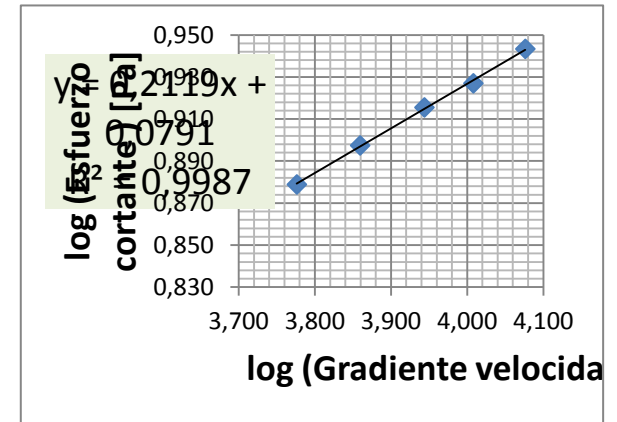


Figura 23. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R3

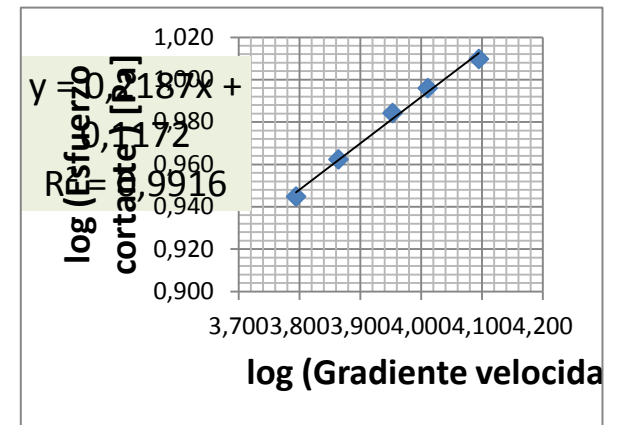
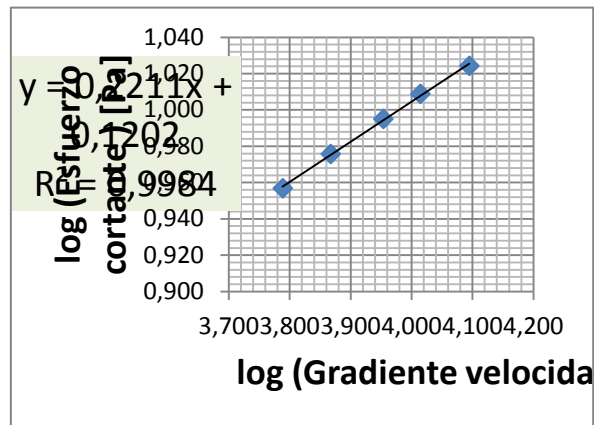
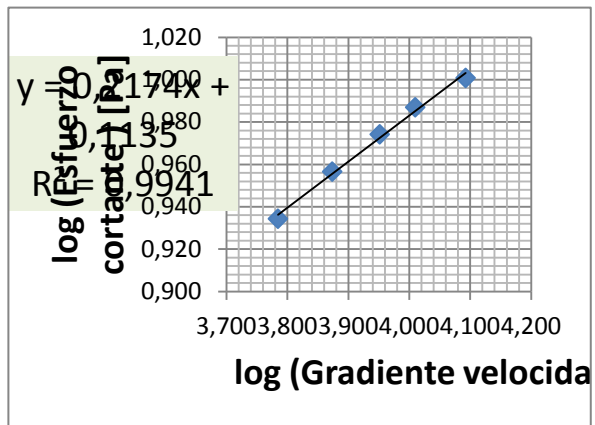


Figura 24. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b2 (néctar

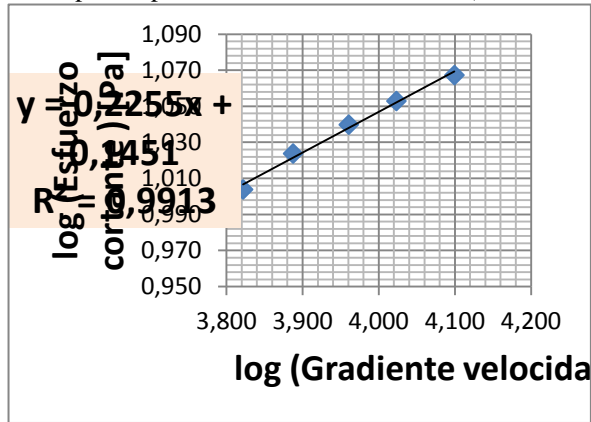


Figura 27.. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R1

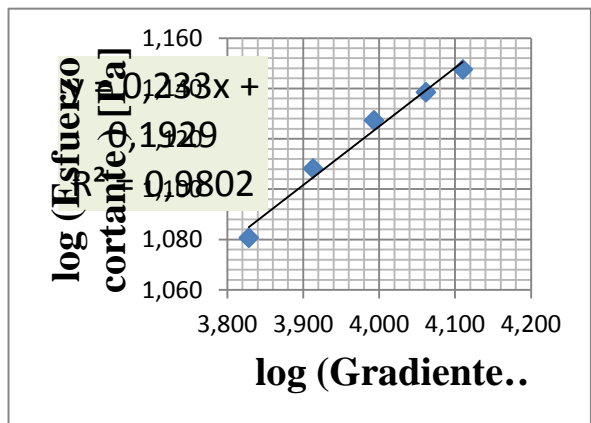


Figura 30. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R1

Figura 25. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b2 (néctar

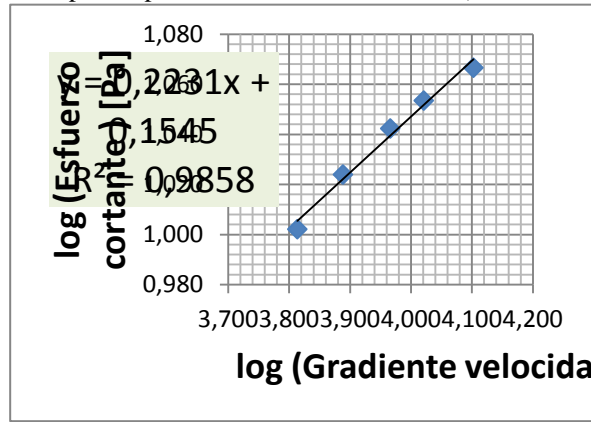


Figura 28. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R2

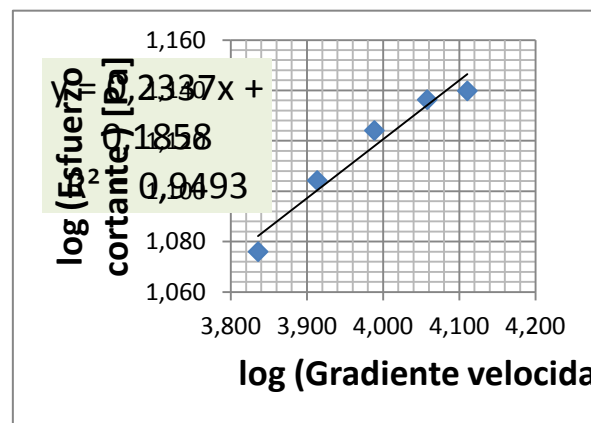


Figura 31. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R2

Figura 26. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b2 (néctar

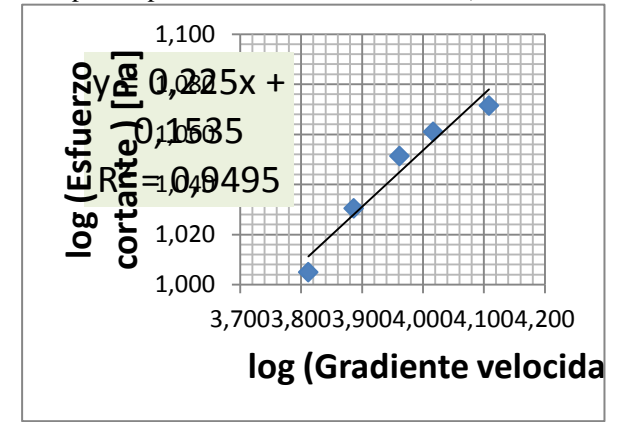


Figura 29. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R3

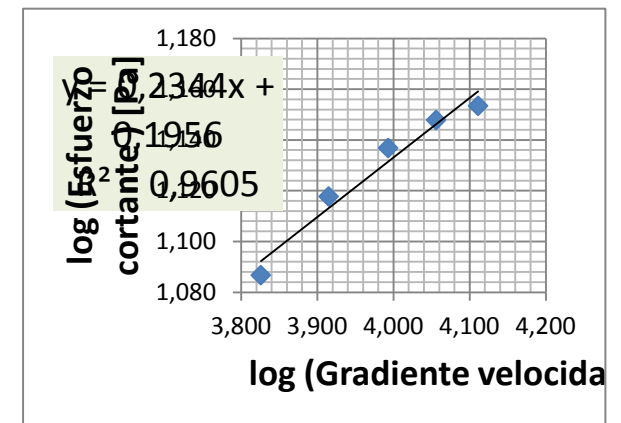


Figura 32. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R3

MODELO LEY DE POTENCIA PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANGO

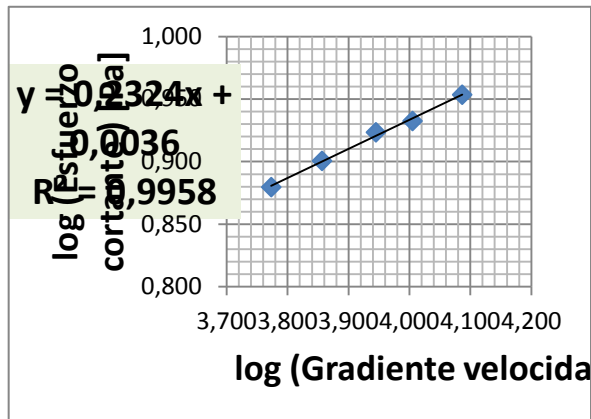


Figura 33. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R1

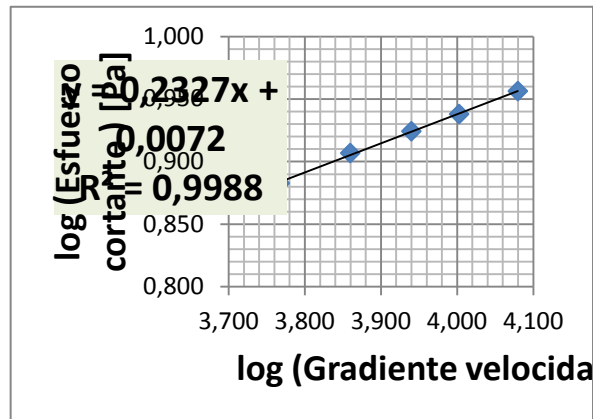


Figura 34. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R2

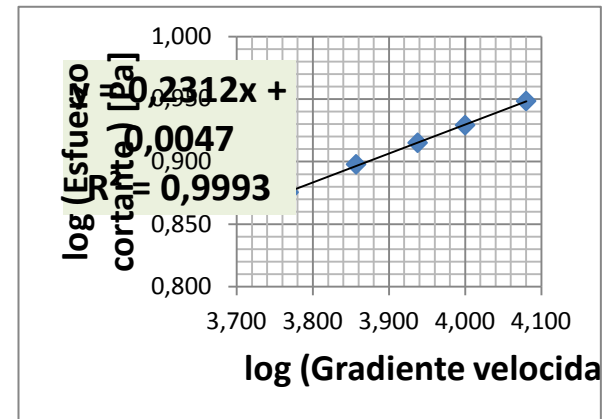


Figura 35. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R3

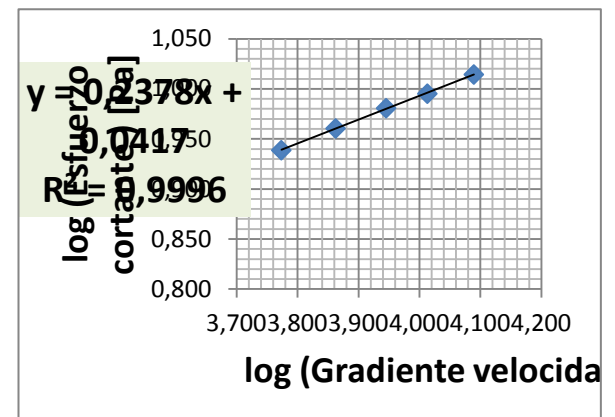
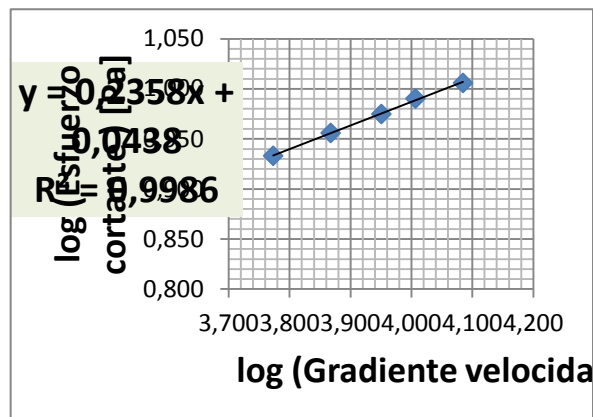
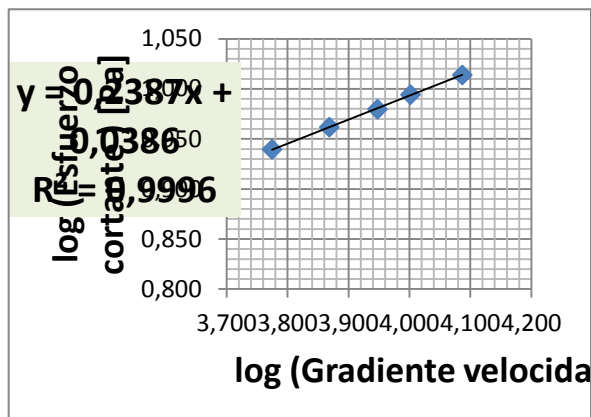


Figura 36. Reograma del comportamiento



Figura 37. Reograma del comportamiento

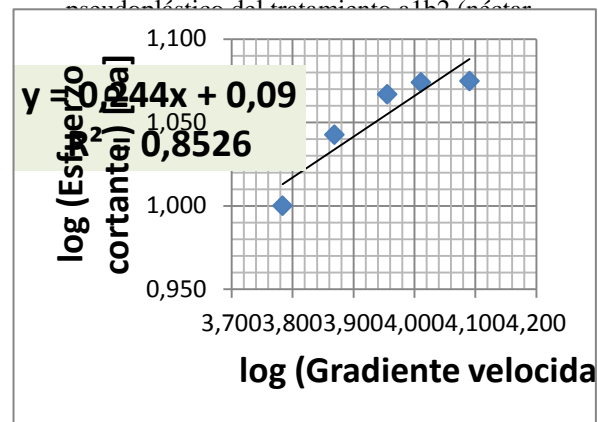


Figura 38. Reograma del comportamiento

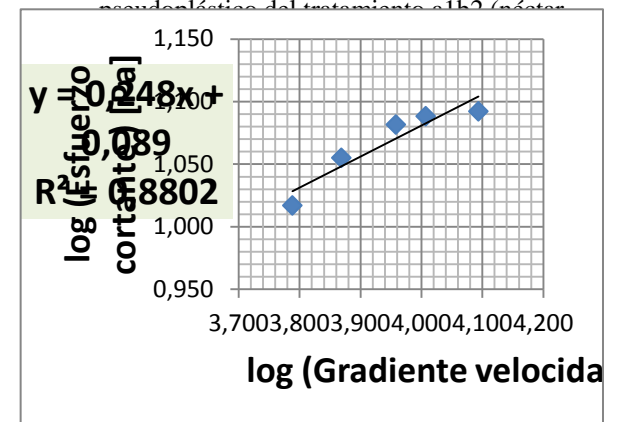


Figura 39. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) – R1

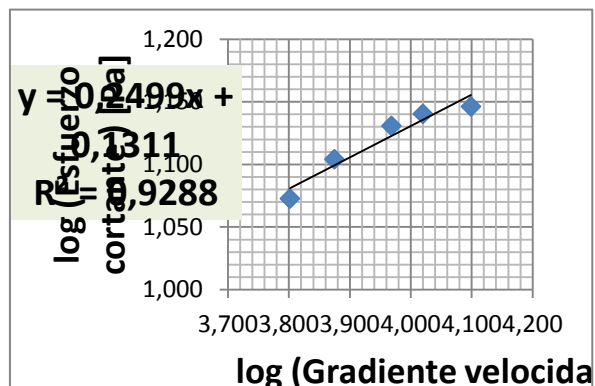


Figura 40. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) – R2

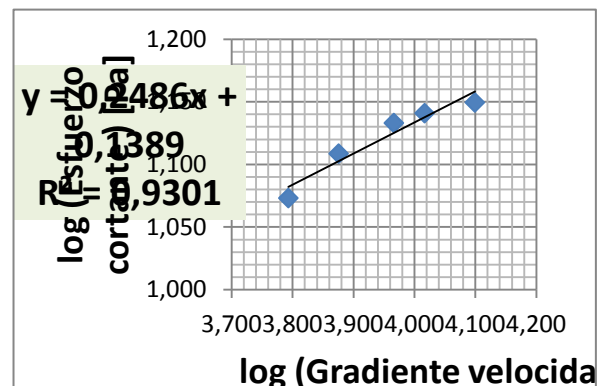
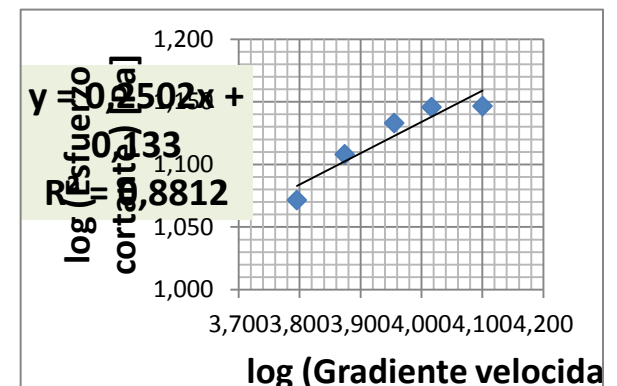


Figura 41. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) – R3



MODELO LEY DE POTENCIA PARA DILUCIONES DE NÉCTAR

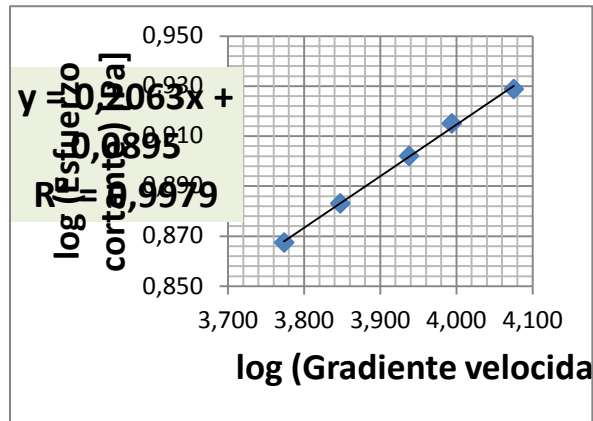


Figura 45. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R1

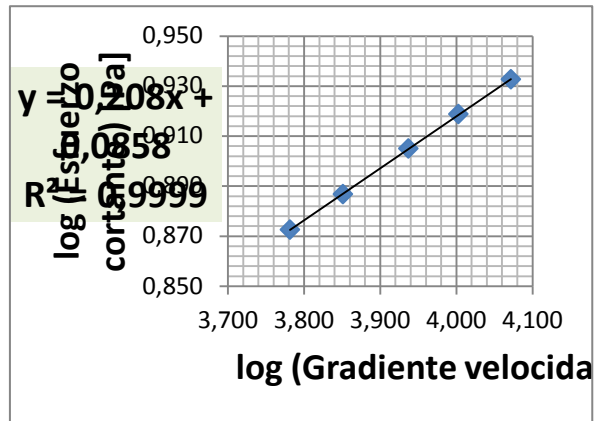


Figura 46. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R2

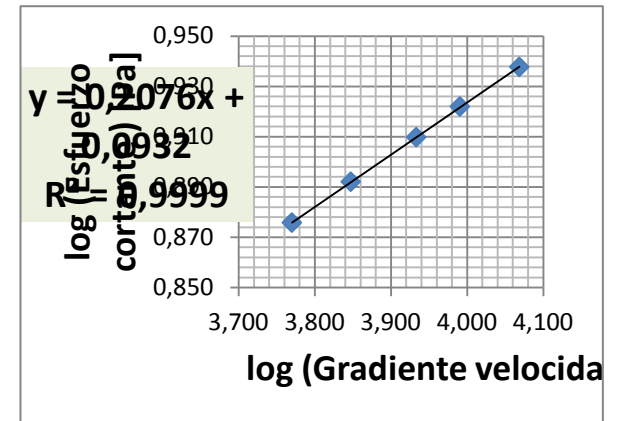


Figura 47. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R3

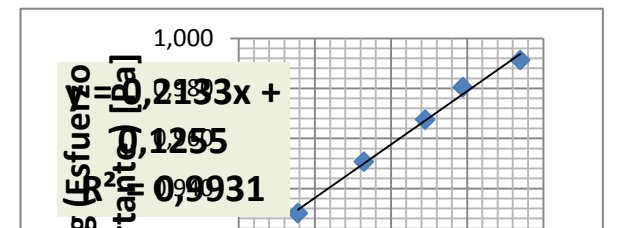
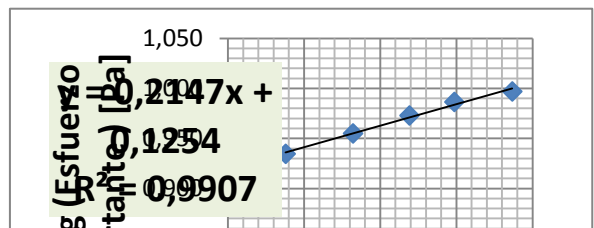
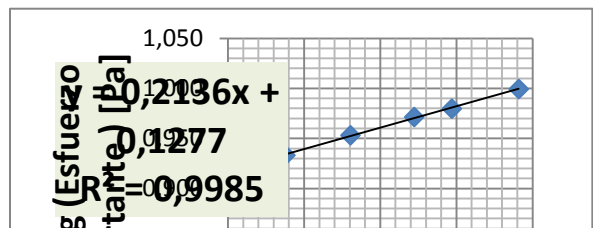


Figura 44. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b4 (néctar de mango 12°Brix) – R3

Figura 48. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar de manzana 6°Brix) – R1

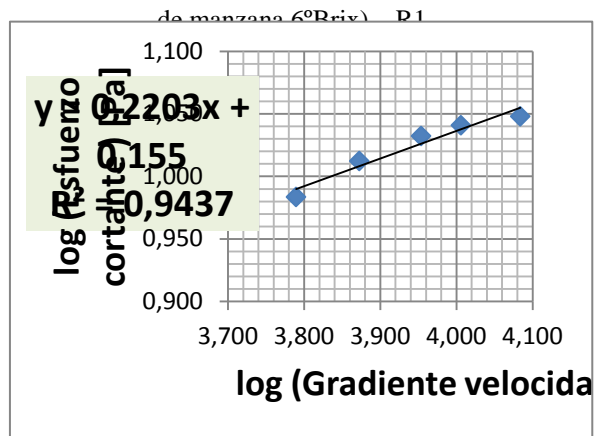


Figura 51. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R1

Figura 49. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar de manzana 6°Brix) – R2

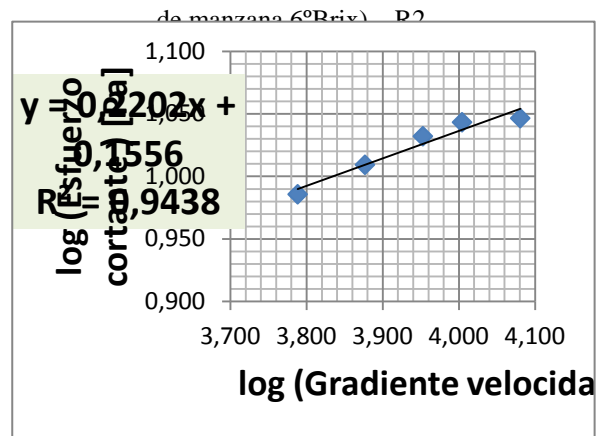


Figura 52. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R2

Figura 50. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar de manzana 6°Brix) – R3

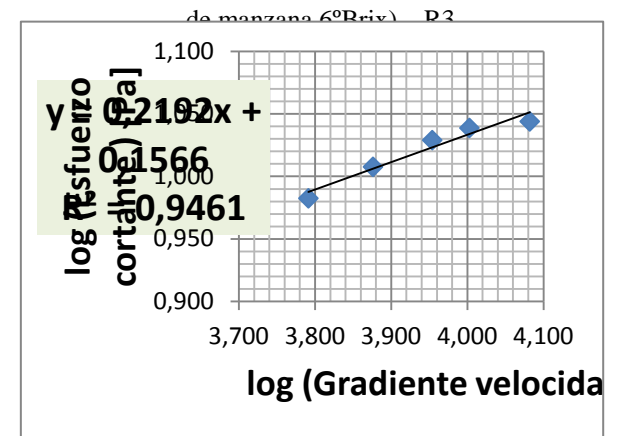
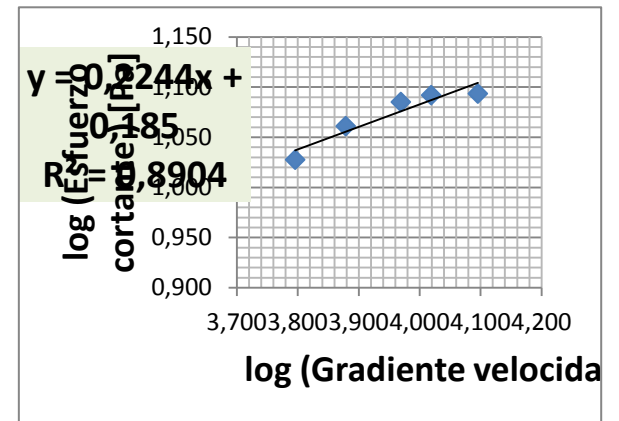
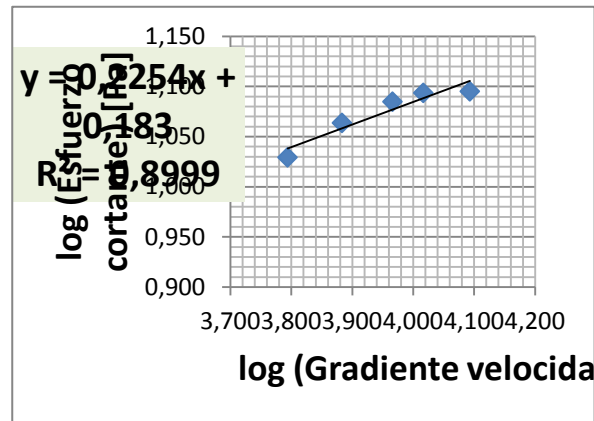
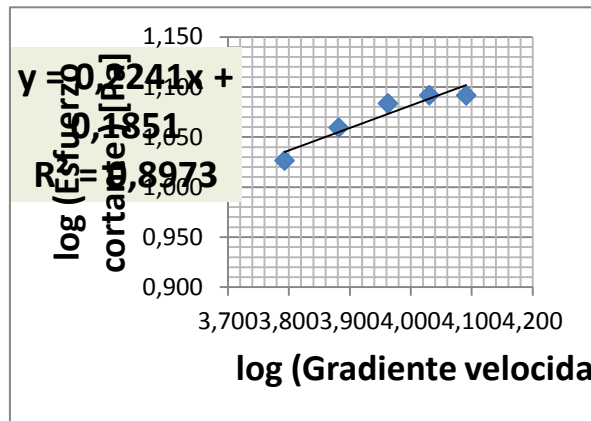


Figura 53. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R3



MODELO TOLEDO PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE DURAZNO

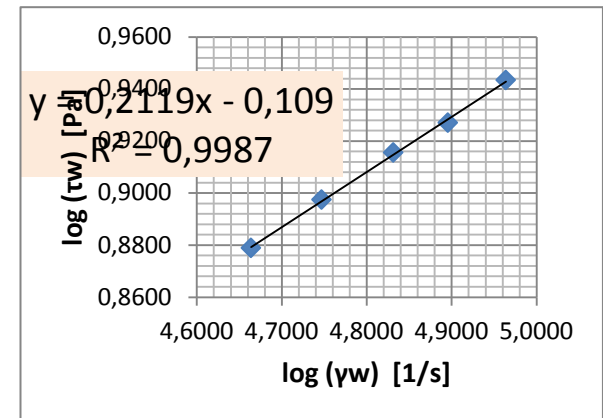
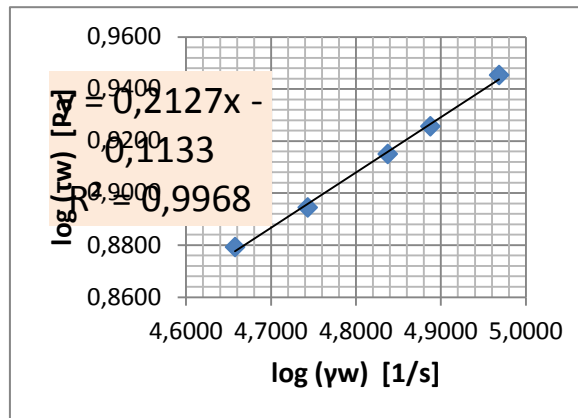
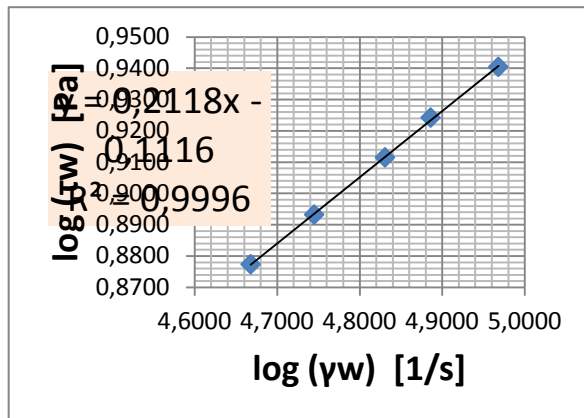


Figura 57. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R1

Figura 58. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R2

Figura 59. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R3

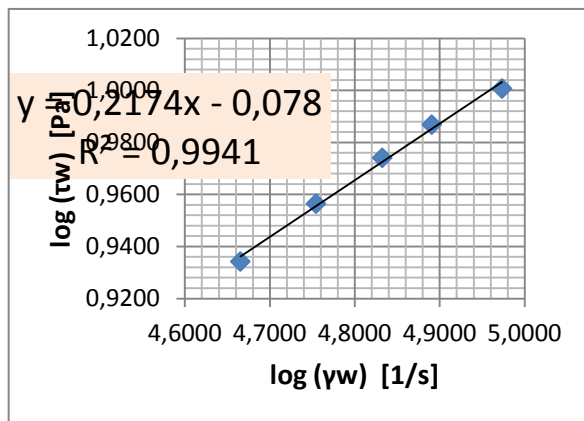


Figura 60. Reograma del comportamiento

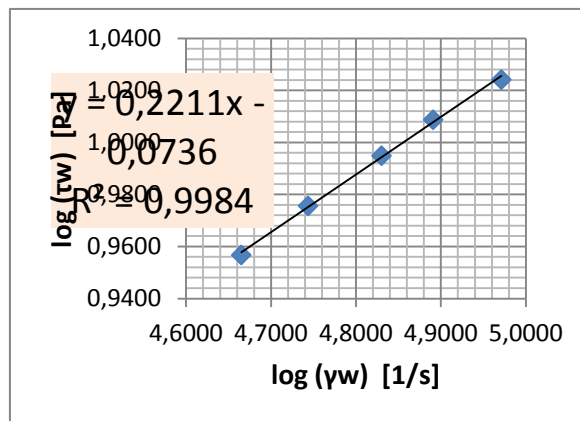


Figura 61. Reograma del comportamiento

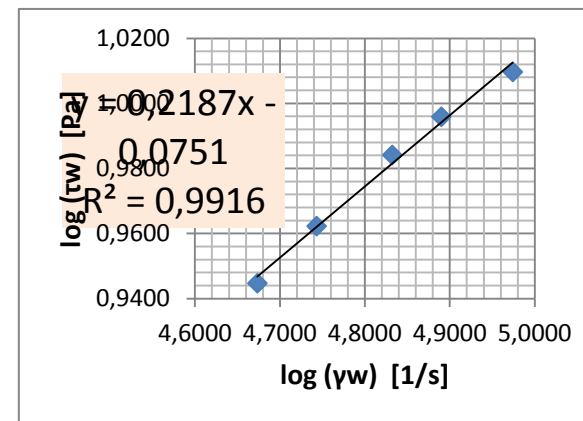


Figura 62. Reograma del comportamiento

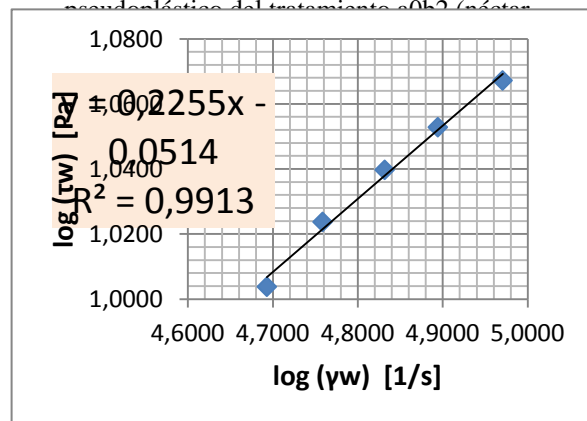


Figura 63. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R1

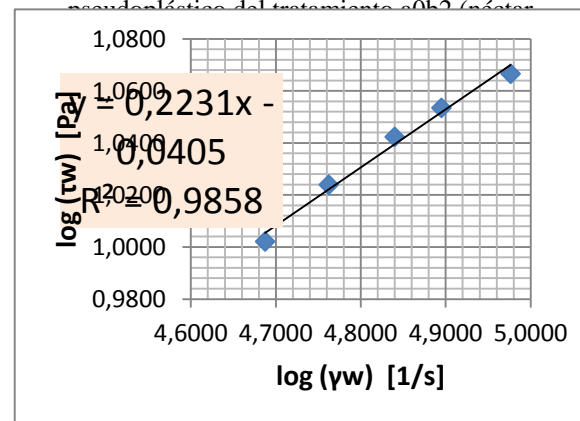


Figura 64. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R2

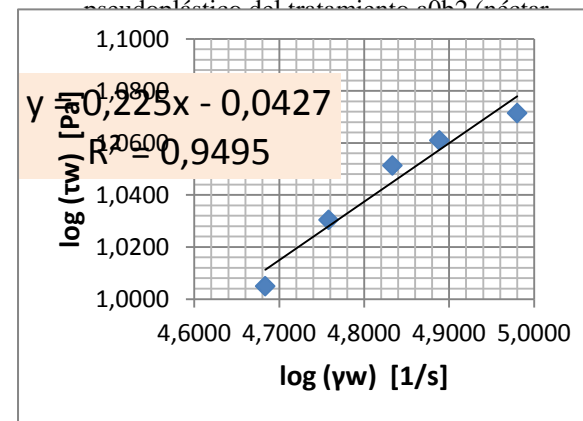


Figura 65. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R3

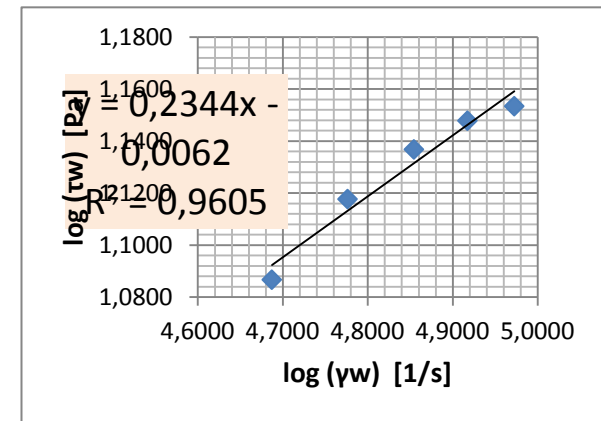
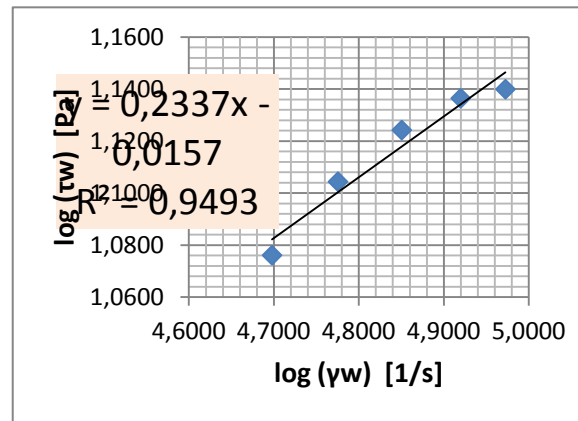
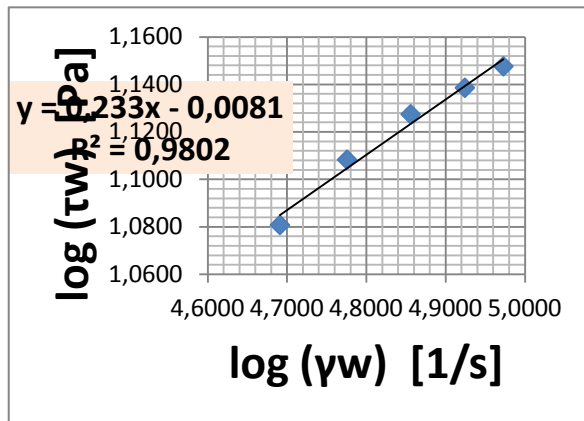


Figura 68. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R3

MODELO TOLEDO PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE

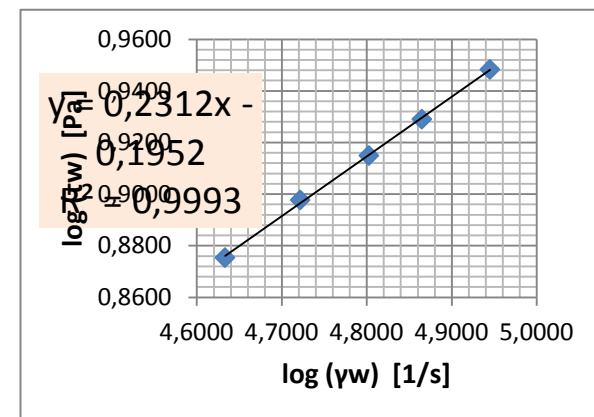
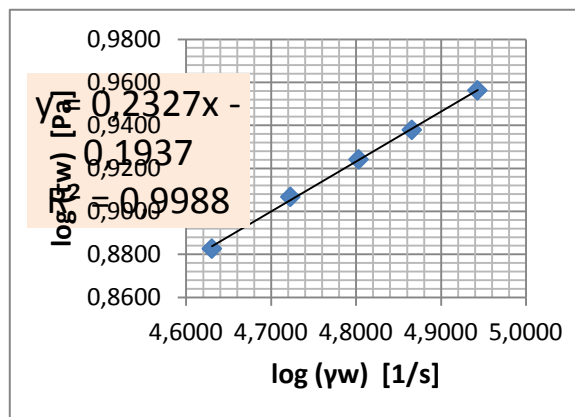
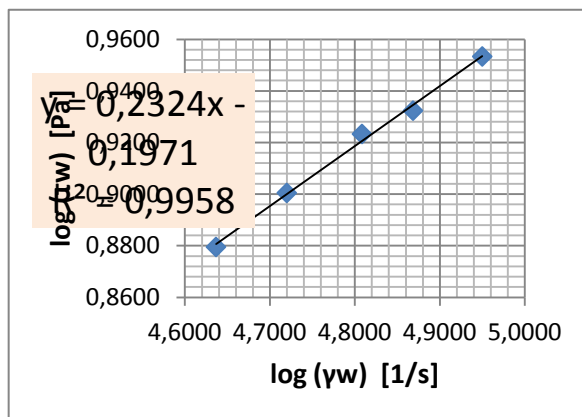


Figura 69. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R1

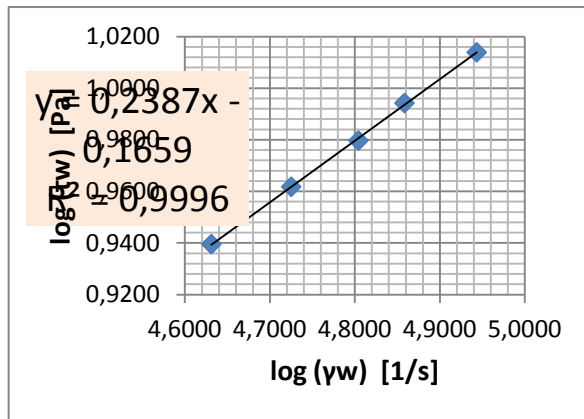


Figura 70. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R2

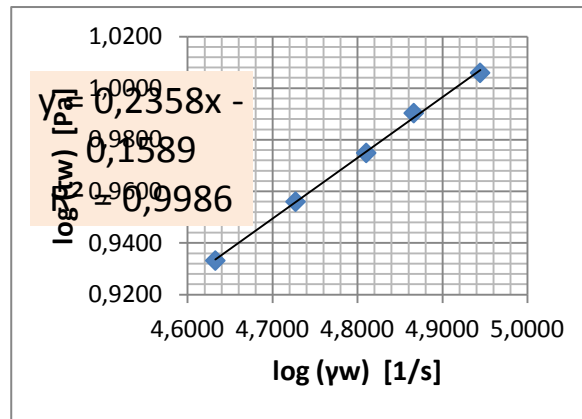


Figura 71. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R3

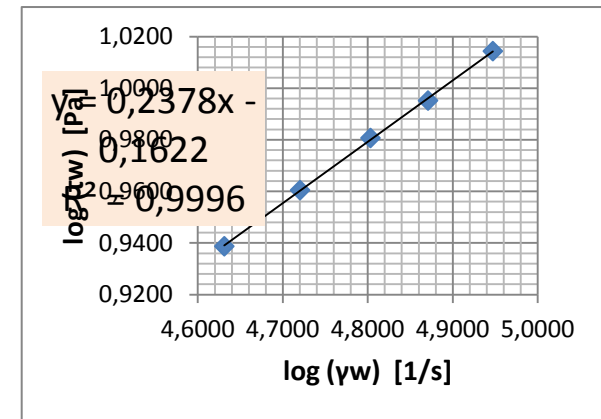


Figura 72. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 3°Brix) – R1

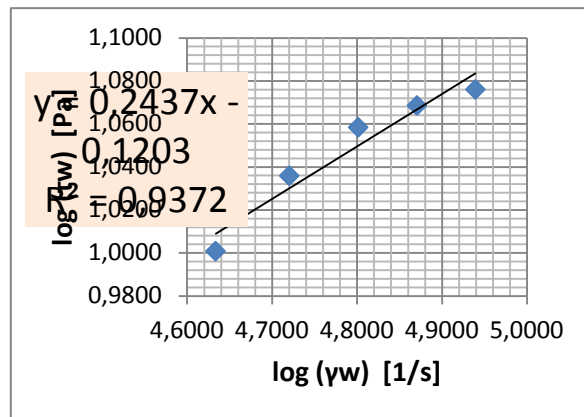


Figura 73. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 3°Brix) – R2

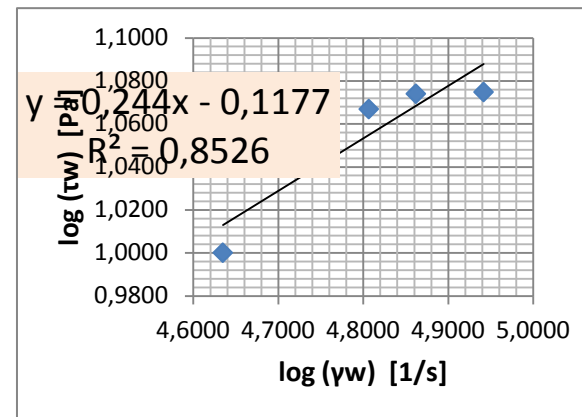


Figura 74. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 3°Brix) – R3

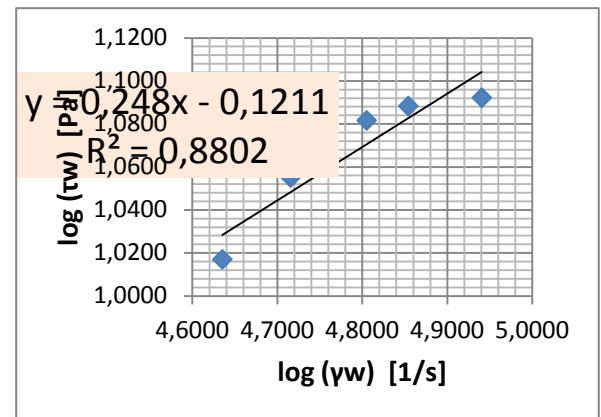
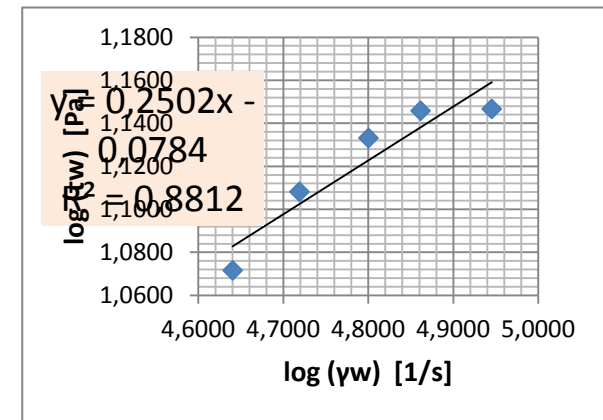
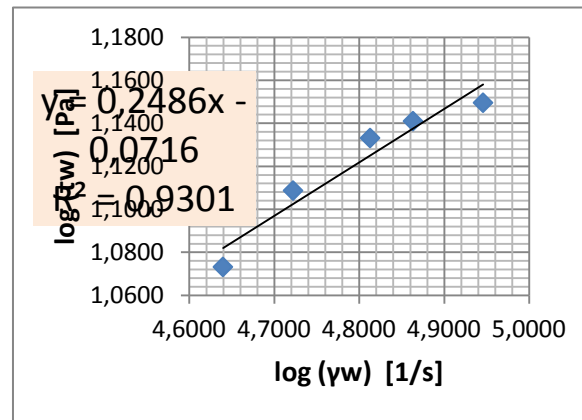
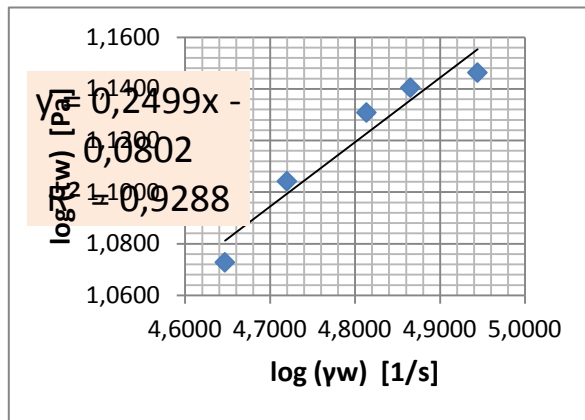


Figura 75. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 3°Brix) – R4

Figura 76. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 3°Brix) – R5

Figura 77. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 3°Brix) – R6



MODELO TOLEDO PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANZANA

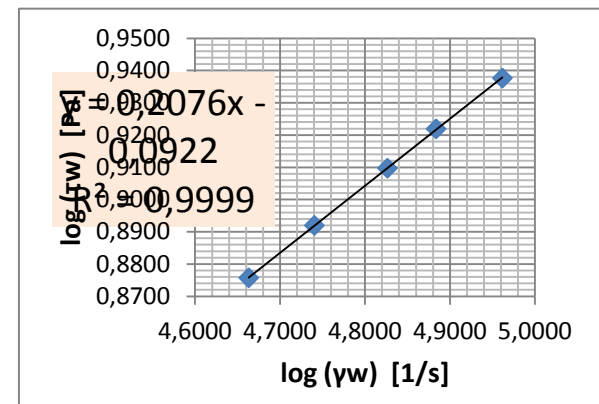
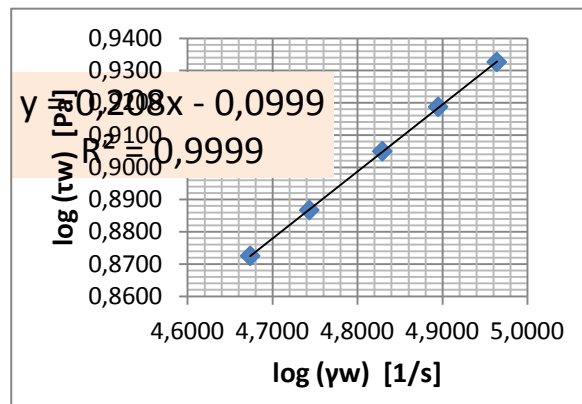
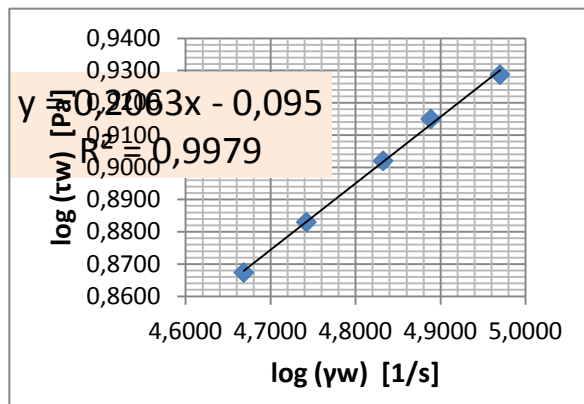


Figura 81. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R1

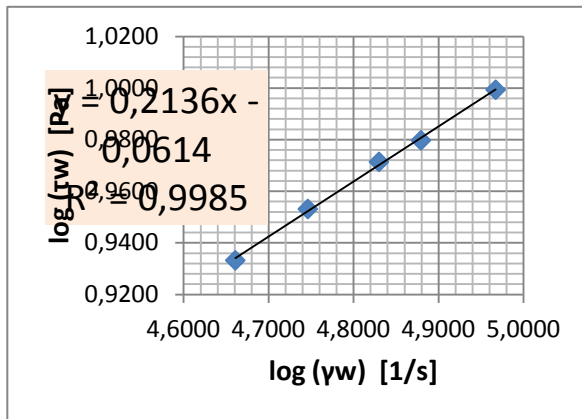


Figura 82. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R2

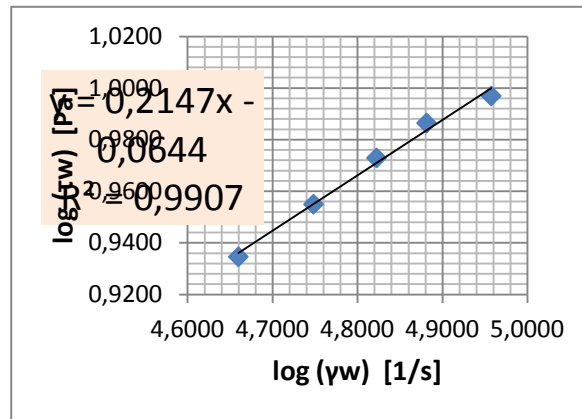


Figura 83. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R3

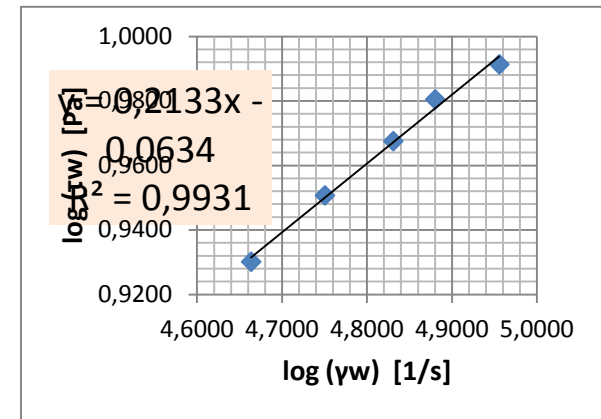


Figura 84. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar de manzana 3°Brix) – R1

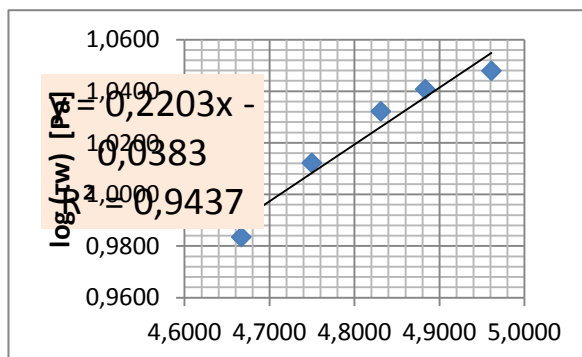


Figura 85. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar de manzana 3°Brix) – R2

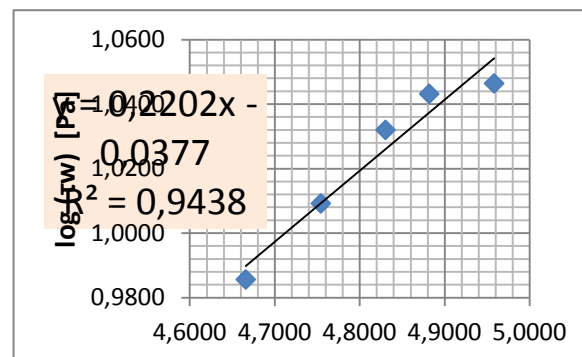


Figura 86. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar de manzana 3°Brix) – R3

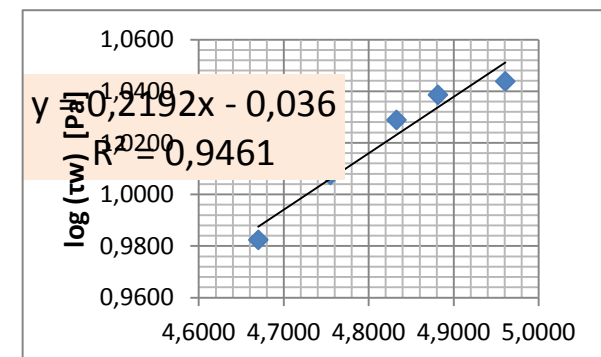


Figura 87. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R1

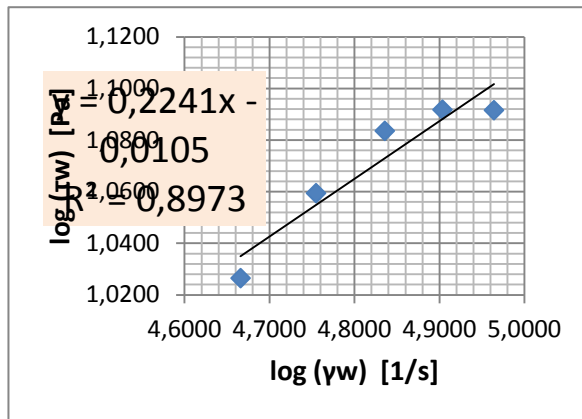


Figura 90. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b4 (néctar de manzana 12°Brix) – R1

Figura 88. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R2

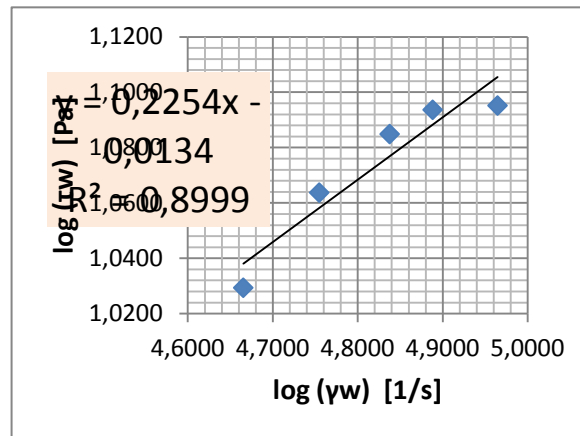


Figura 91. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b4 (néctar de manzana 12°Brix) – R2

Figura 89. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R3

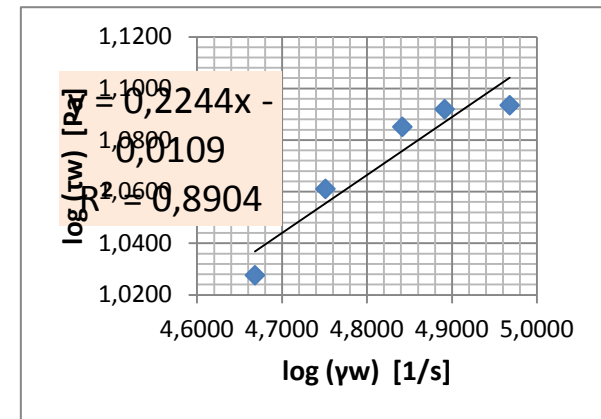


Figura 92. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b4 (néctar de manzana 12°Brix) – R3

MODELO CASSON PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE DURAZNO

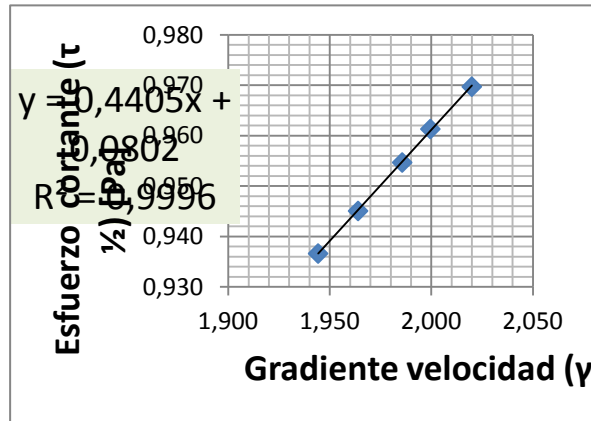


Figura 93. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R1

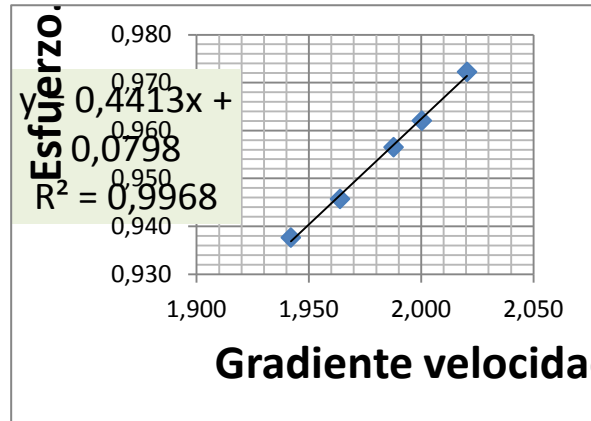


Figura 94. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R2

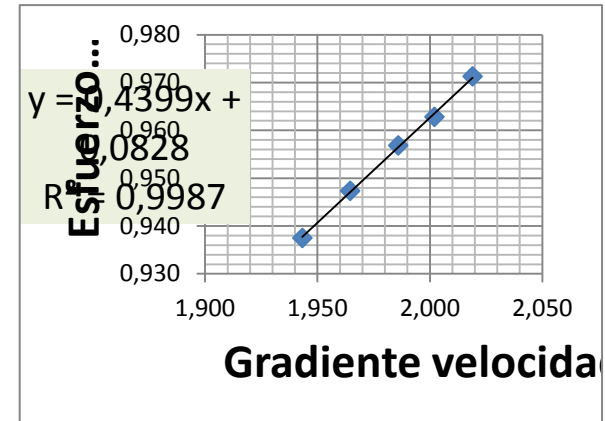


Figura 95. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R3

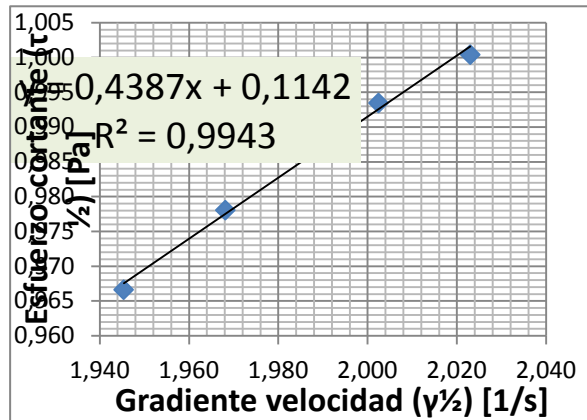


Figura 96. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b2 (néctar de durazno 6°Brix) – R1

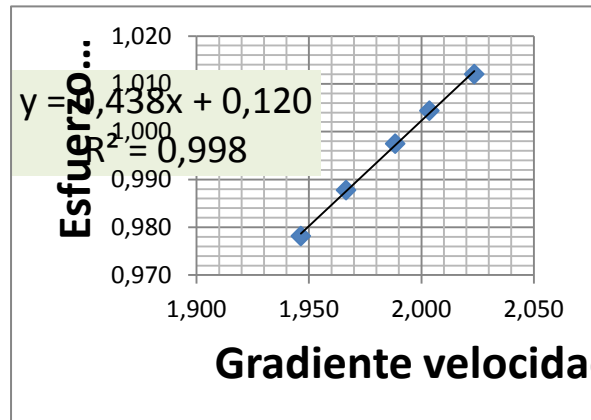
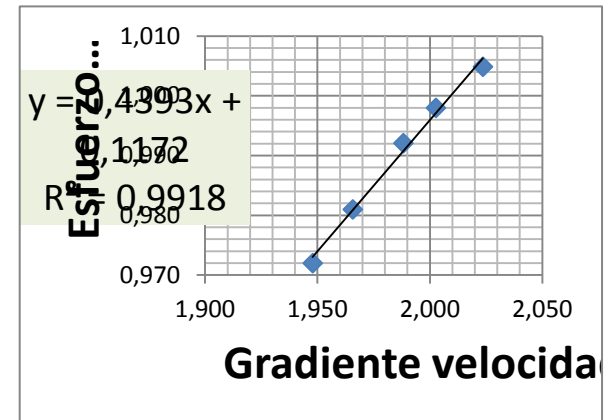


Figura 97. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b2 (néctar de durazno 6°Brix) – R2



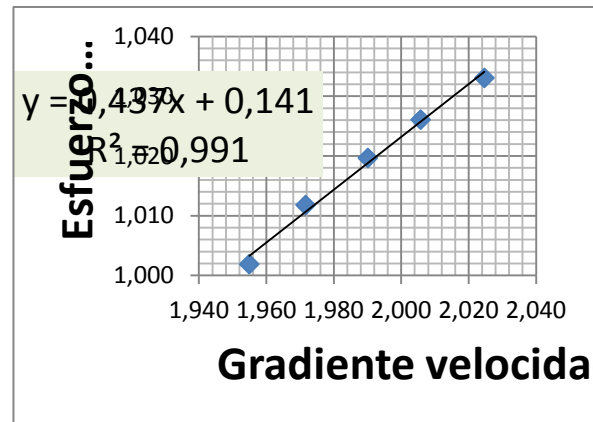


Figura 99. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R1

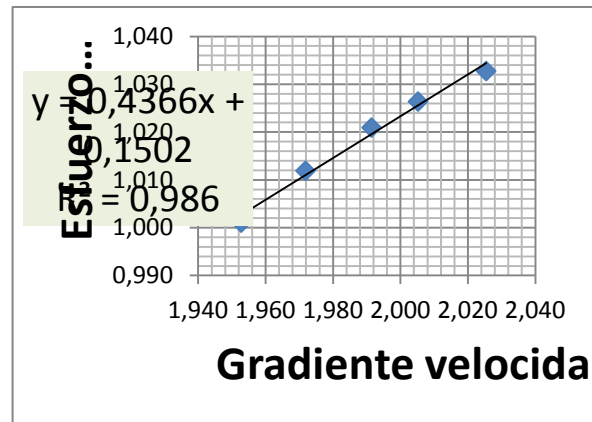


Figura 100. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R2

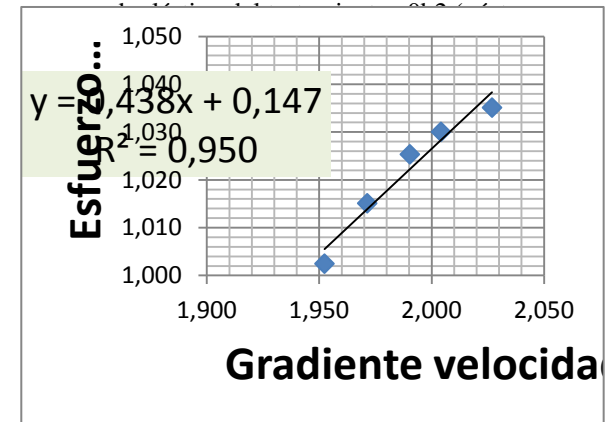


Figura 101. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R3

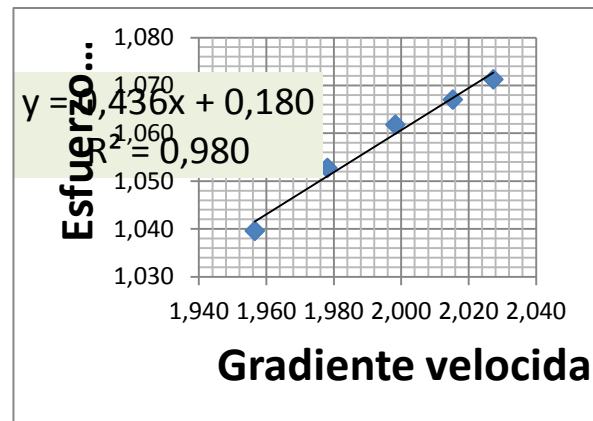


Figura 102. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R1

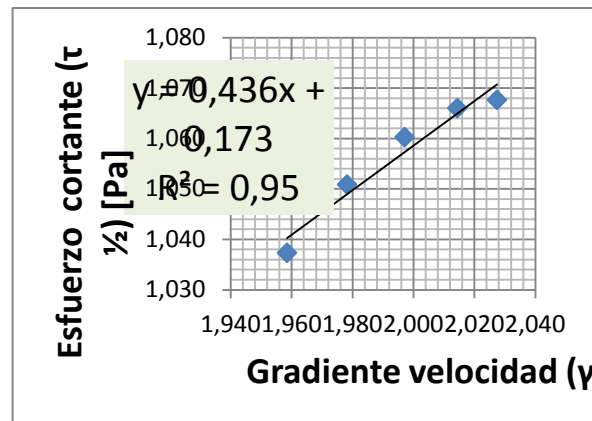


Figura 103. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R2

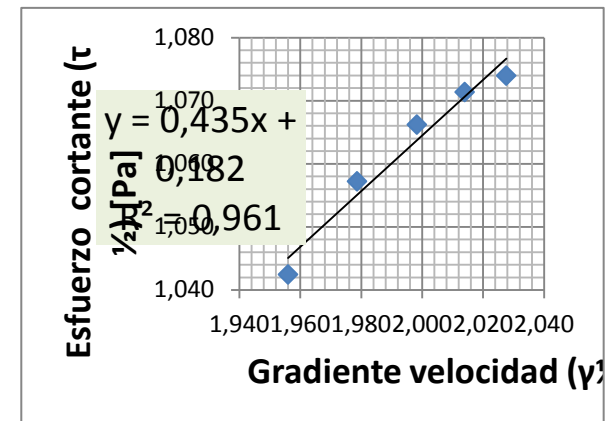


Figura 104. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R3

Figura 98. Reograma del comportamiento

MODELO CASSON PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANGO

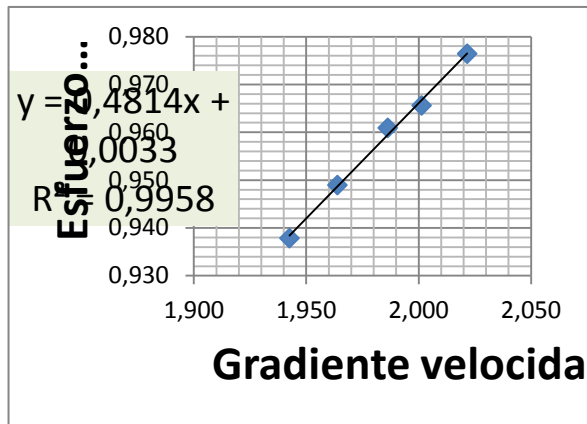


Figura 105. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R1

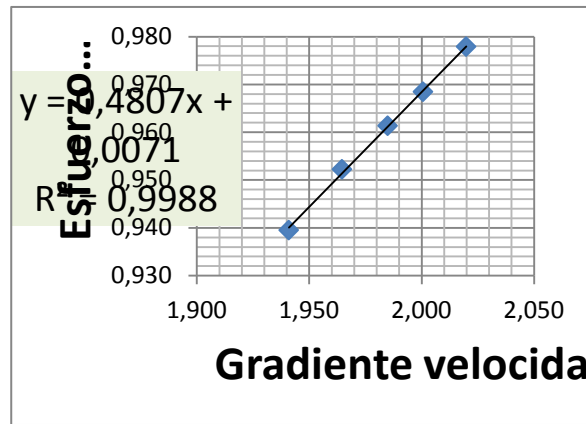


Figura 106. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R2

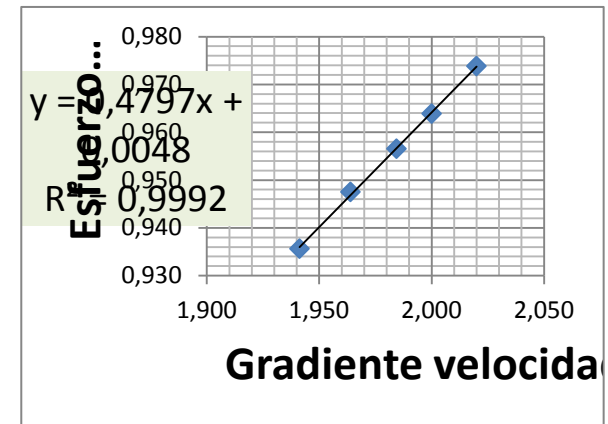


Figura 107. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R3

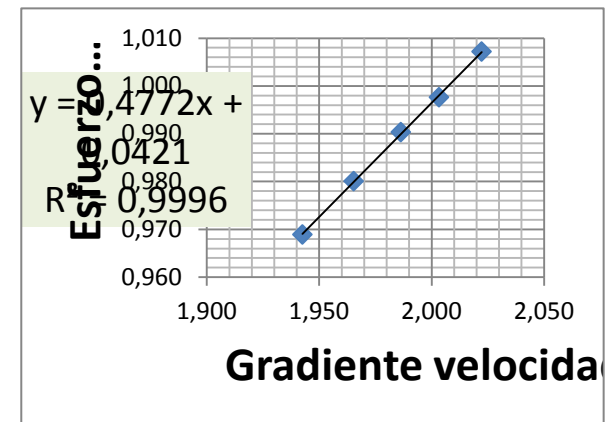
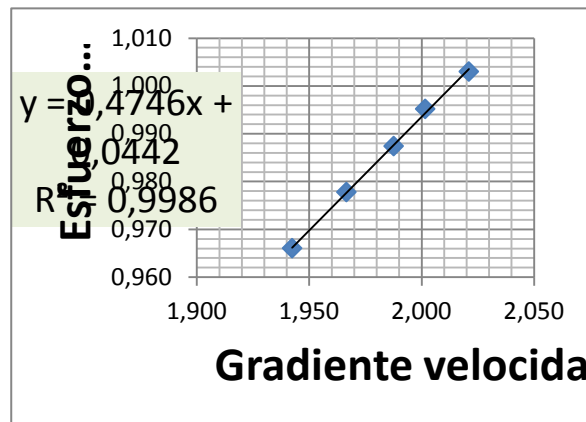
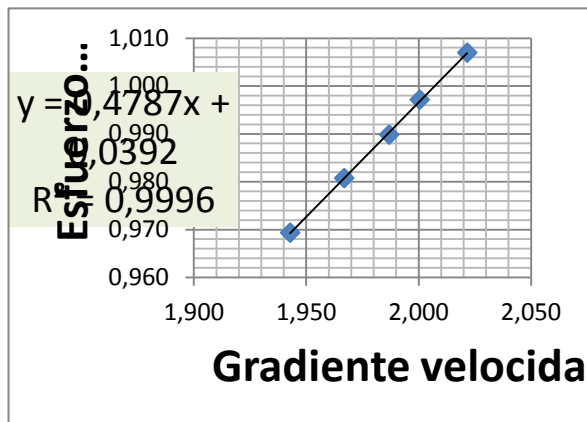


Figura 108. Reograma del comportamiento

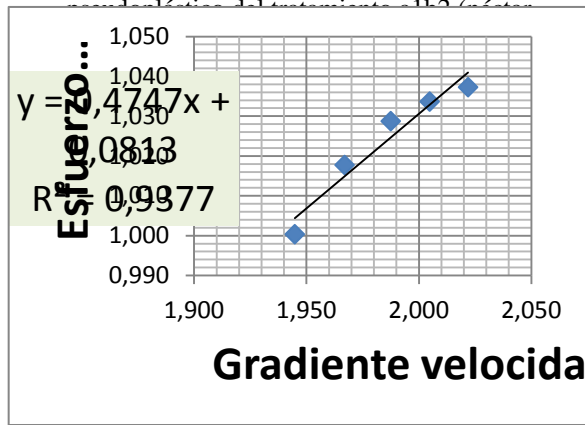


Figura 109. Reograma del comportamiento

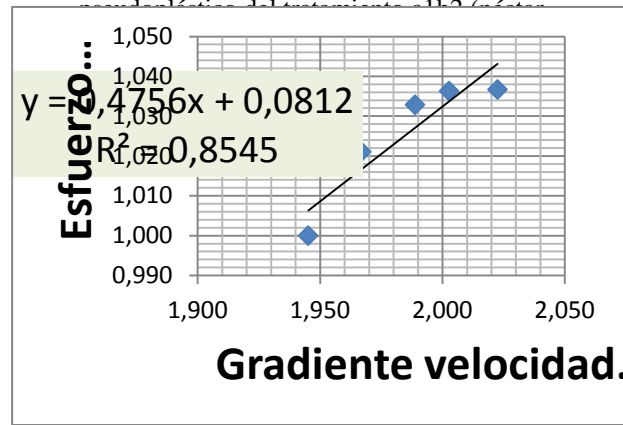


Figura 110. Reograma del comportamiento

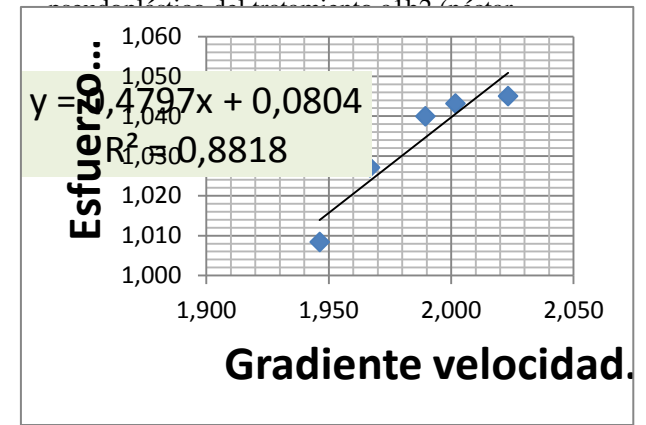


Figura 111. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) - R1

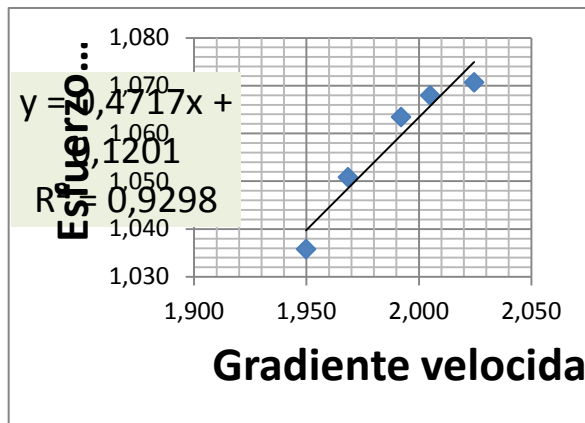


Figura 112. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) - R2

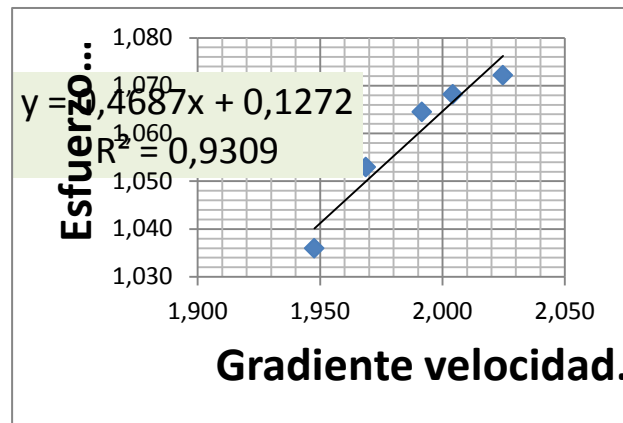
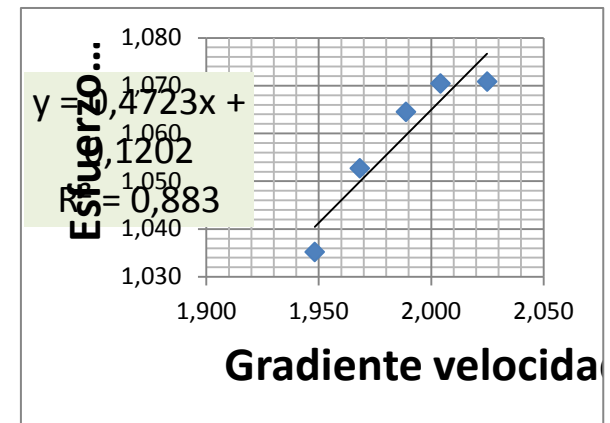


Figura 113. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) - R3



MODELO CASSON PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANZANA

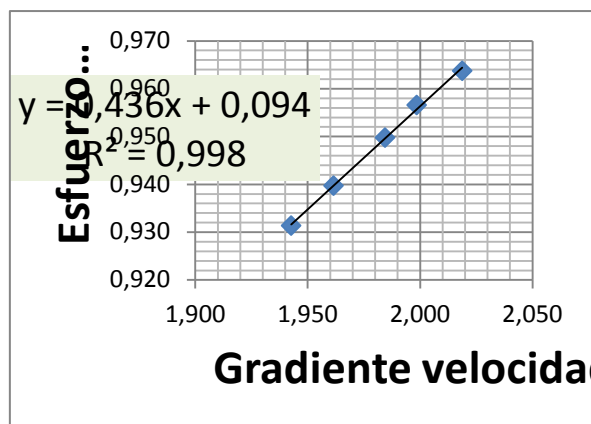


Figura 117. . Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R1

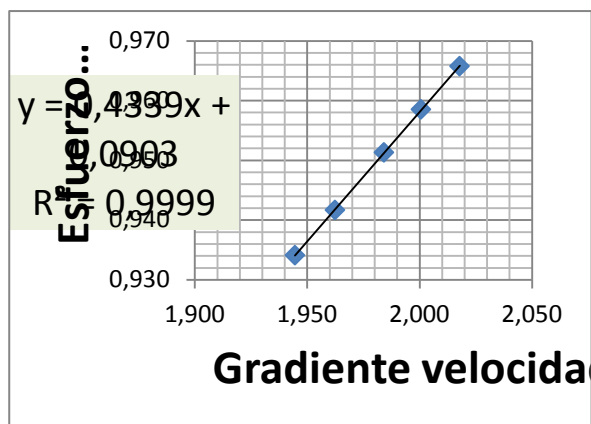


Figura 118. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R2

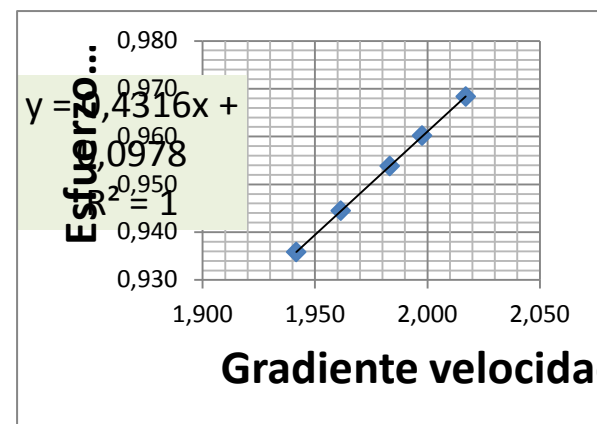


Figura 119. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R3

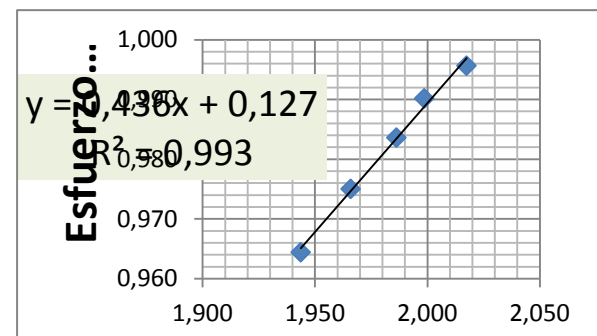
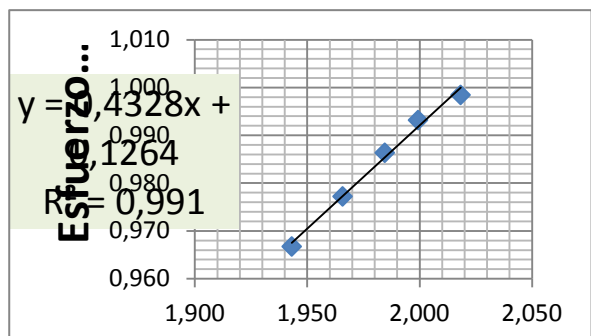
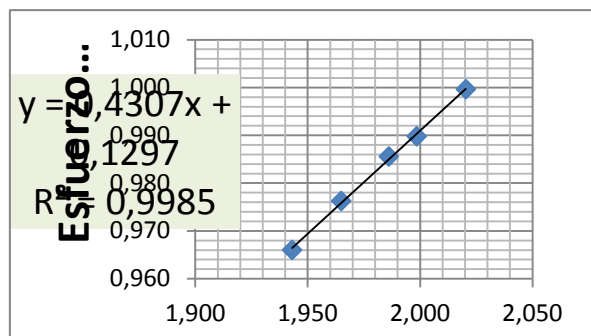


Figura 120. Reograma del comportamiento

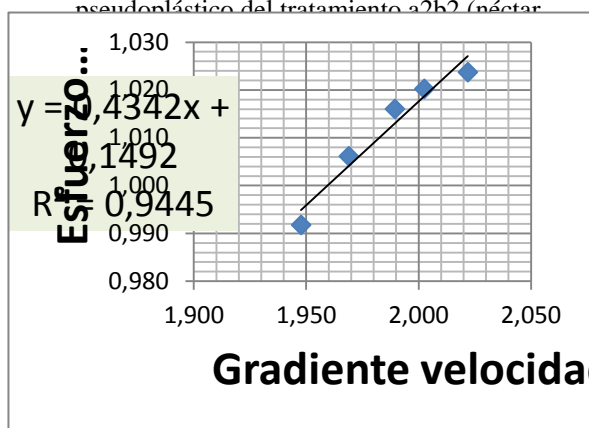


Figura 121. Reograma del comportamiento

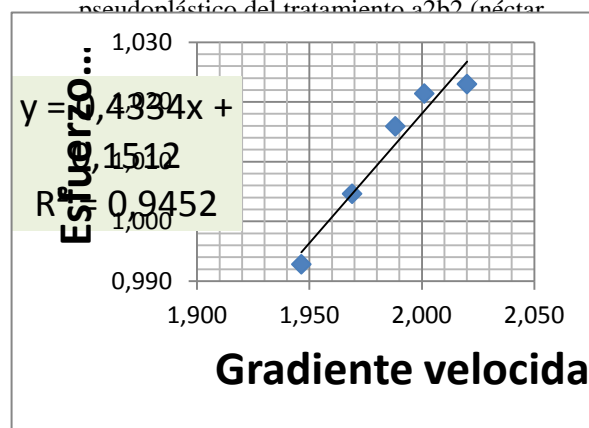


Figura 122. Reograma del comportamiento

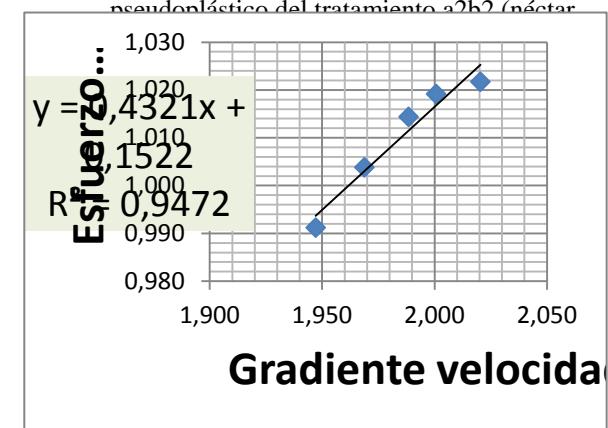


Figura 123. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R1

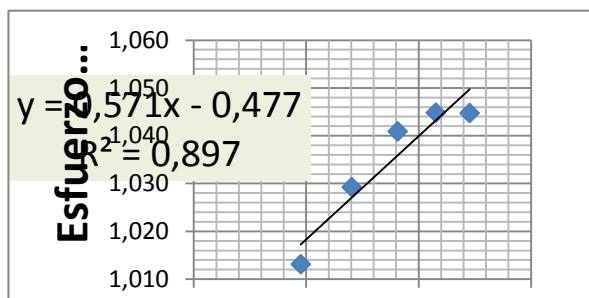


Figura 124. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R2

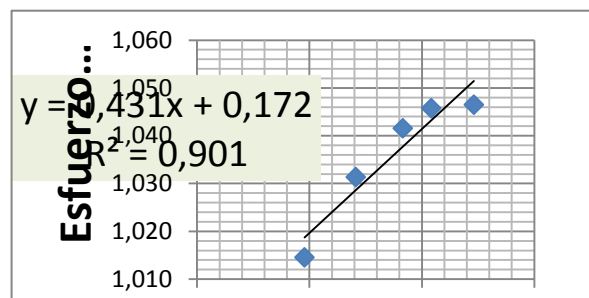
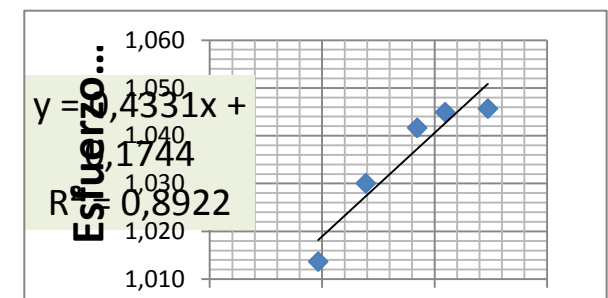


Figura 125. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R3



MODELO HERSCHEL-BULKLEY PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE DURAZNO

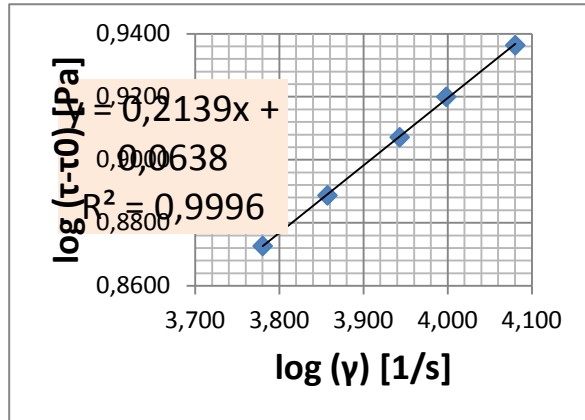


Figura 129. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R1

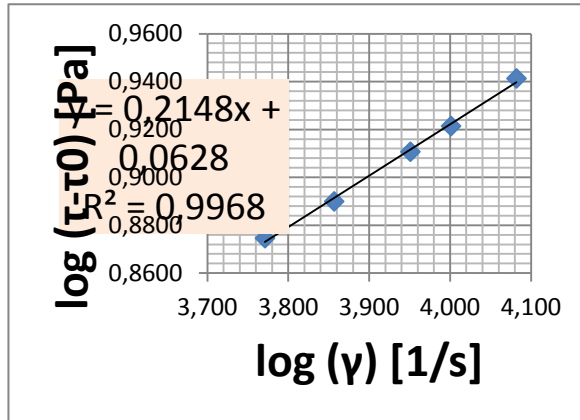


Figura 130. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R2

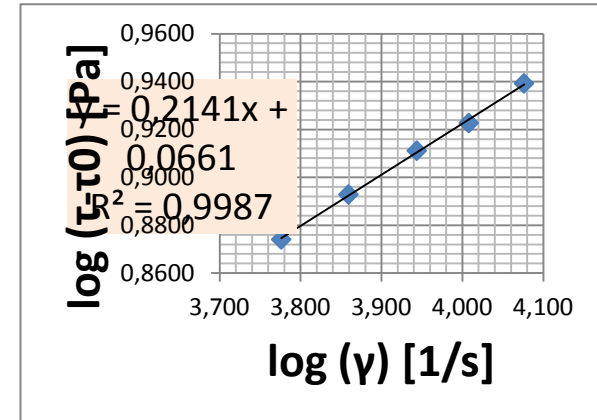


Figura 131. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b1 (néctar de durazno 3°Brix) – R3

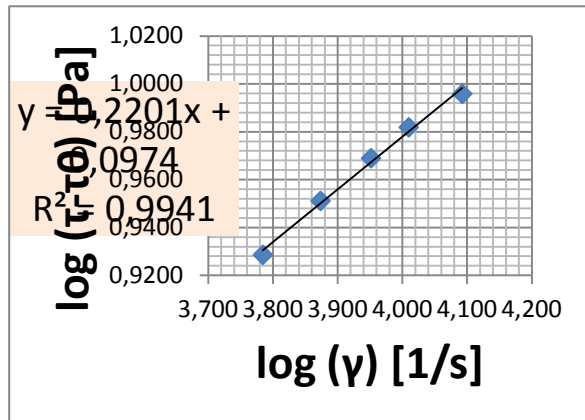


Figura 132. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b2 (néctar de durazno 6°Brix) – R1

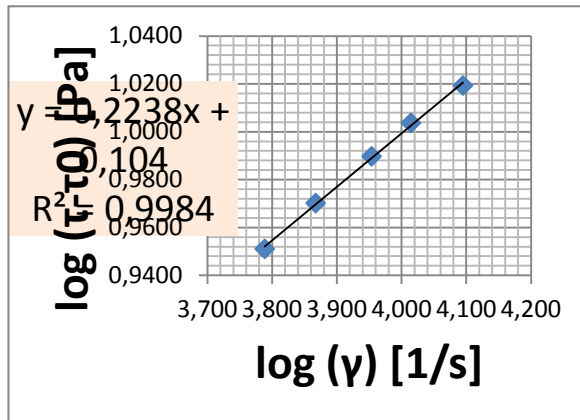


Figura 133. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b2 (néctar de durazno 6°Brix) – R2

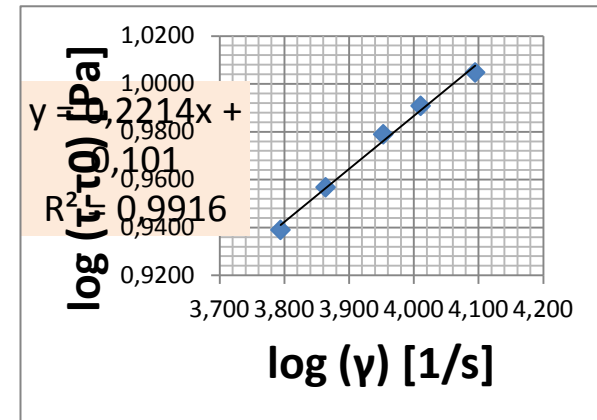


Figura 134. Reograma del comportamiento

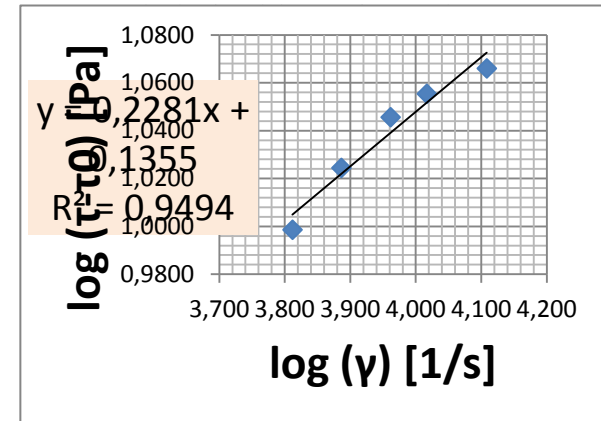


Figura 137. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R3

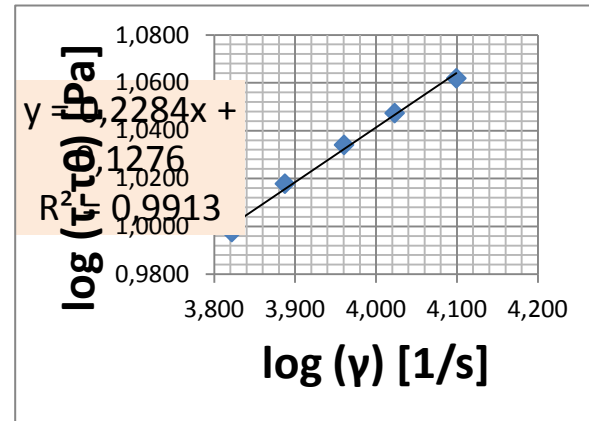


Figura 135. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R1

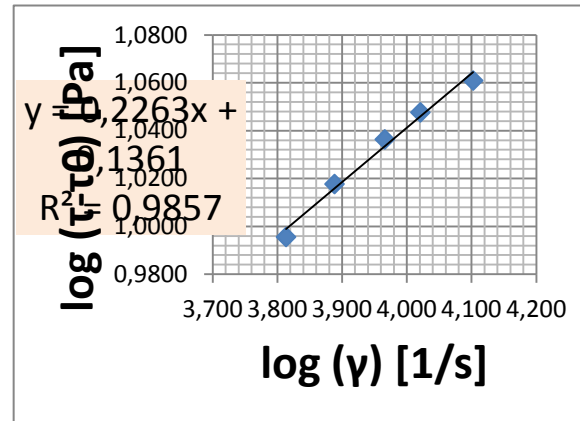


Figura 136. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b3 (néctar de durazno 9°Brix) – R2

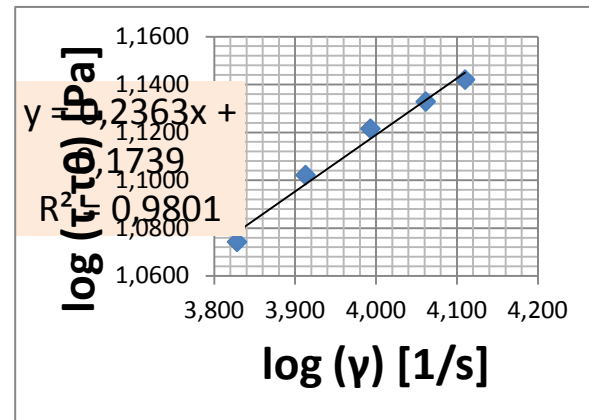


Figura 138. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R1

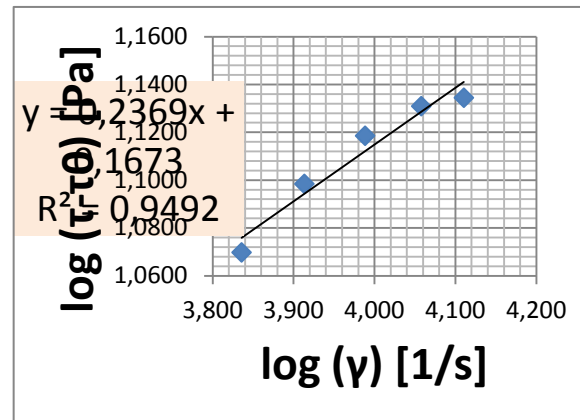


Figura 139. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R2

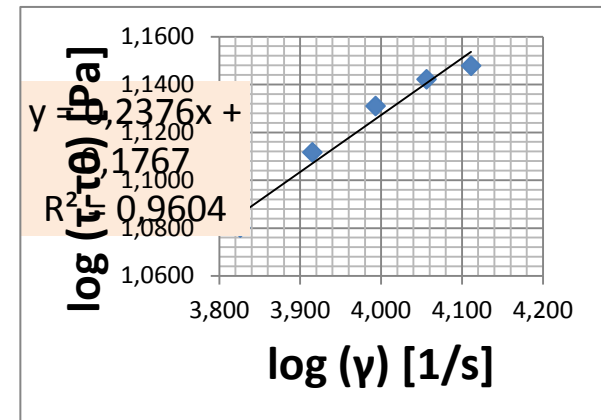


Figura 140. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a0b4 (néctar de durazno 12°Brix) – R3

MODELO HERSHEY-BULKLEY PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANGO

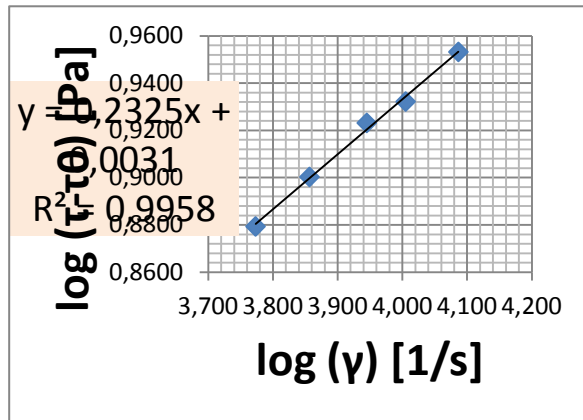


Figura 141. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R1

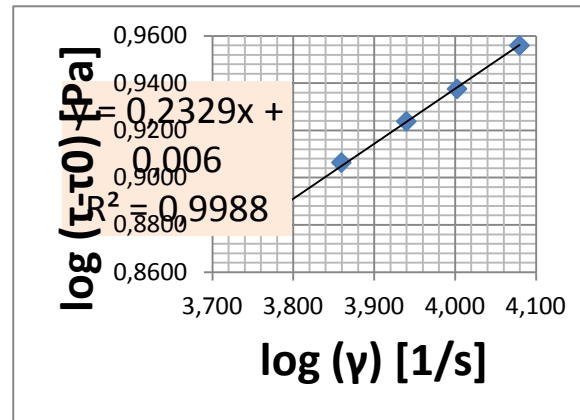


Figura 142. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R2

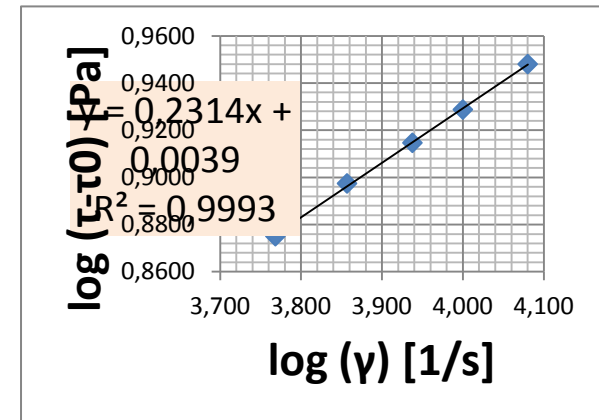


Figura 143. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b1 (néctar de mango 3°Brix) – R3

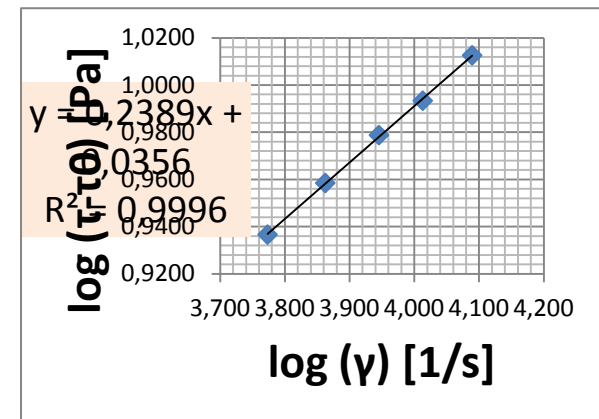
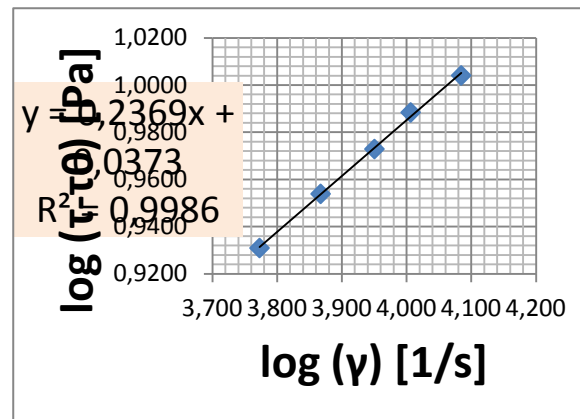
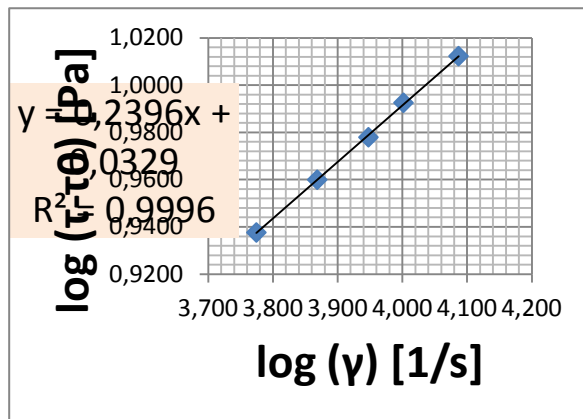


Figura 144. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b2 (néctar

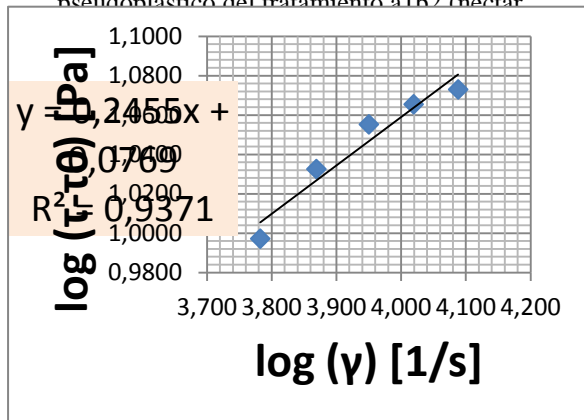


Figura 145. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b2 (néctar

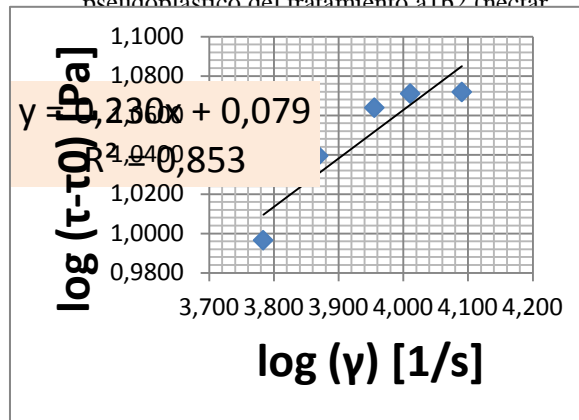


Figura 146. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b2 (néctar

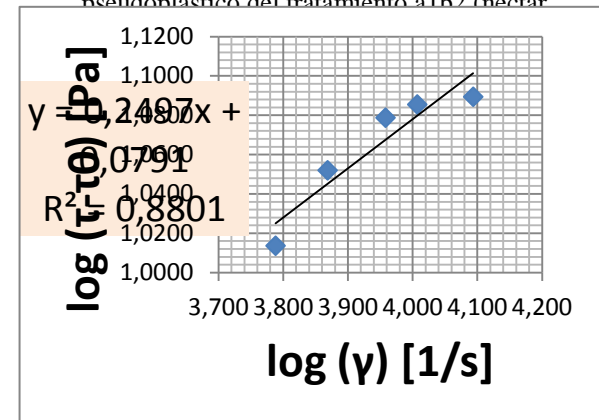


Figura 147. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) – R1

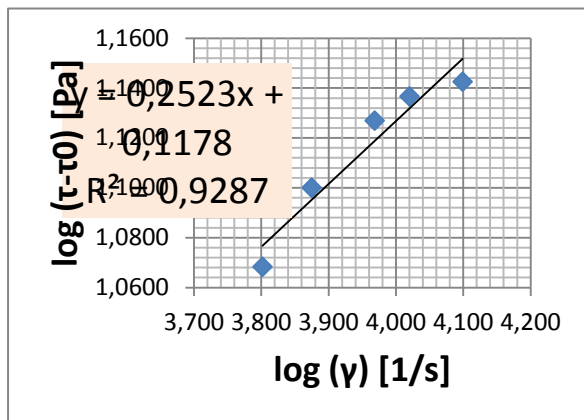


Figura 148. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) – R2

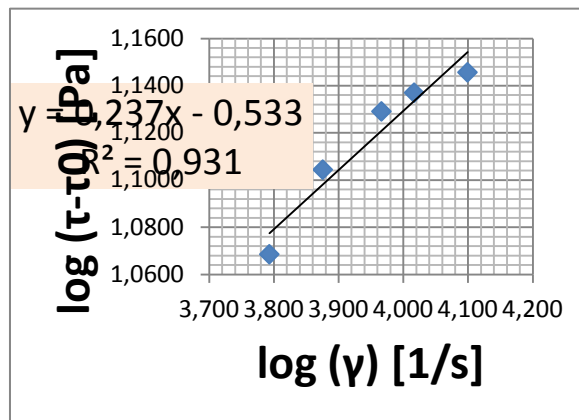
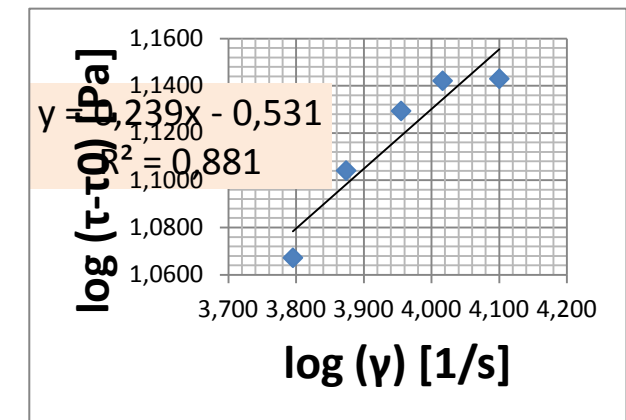


Figura 149. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a1b3 (néctar de mango 9°Brix) – R3



MODELO HERSCHEL-BULKLEY PARA DILUCIONES DE NÉCTAR DE MANZANA

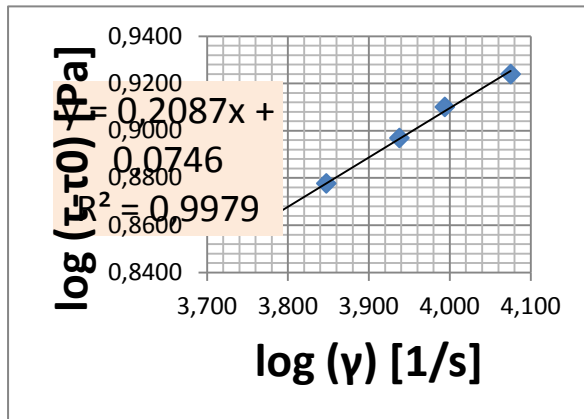


Figura 153. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R1

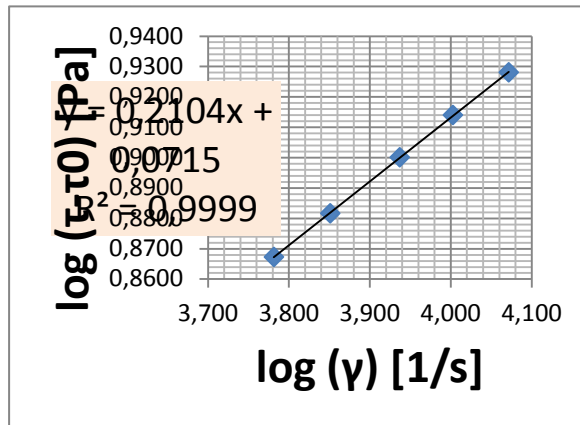


Figura 154. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R2

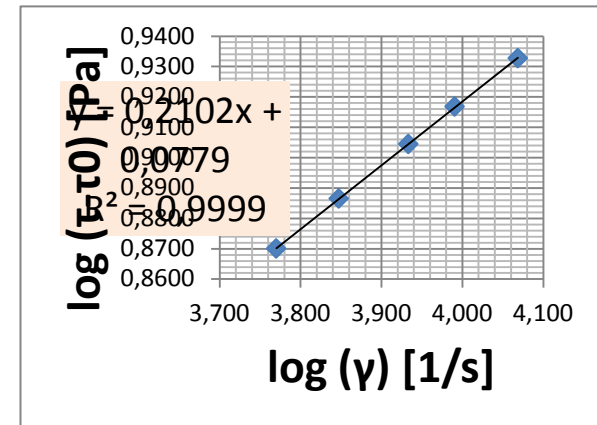


Figura 155. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b1 (néctar de manzana 3°Brix) – R3

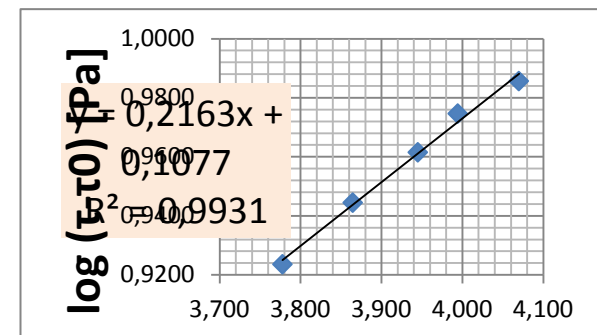
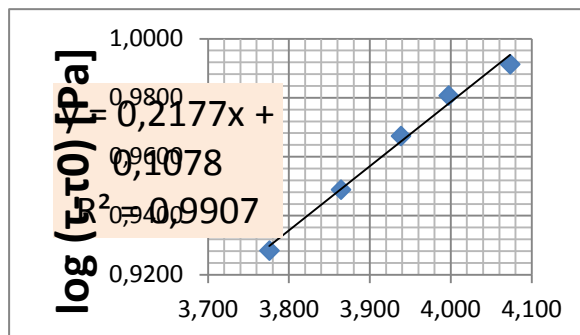
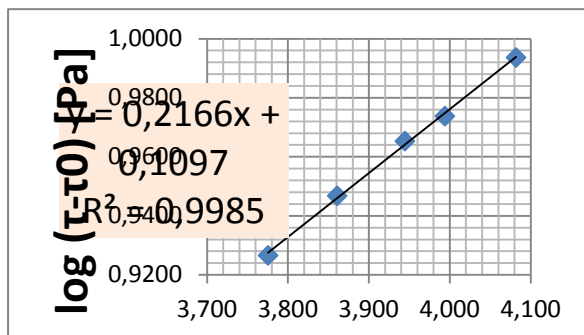


Figura 156. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar

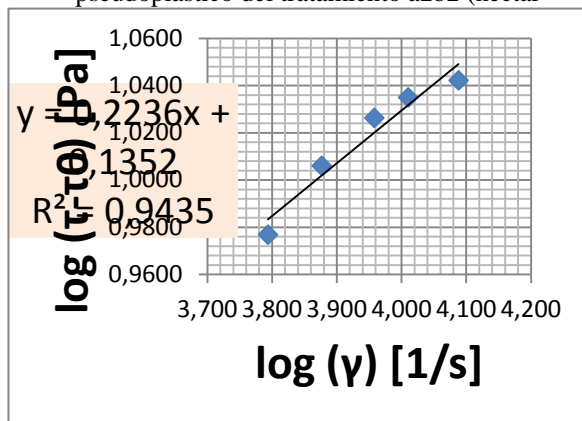


Figura 157. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar

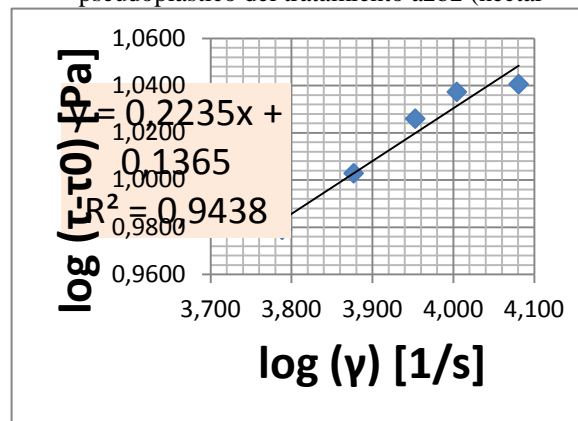


Figura 158. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b2 (néctar

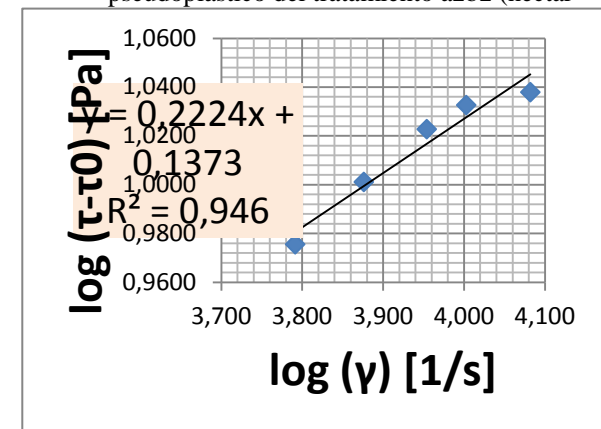


Figura 159. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R1

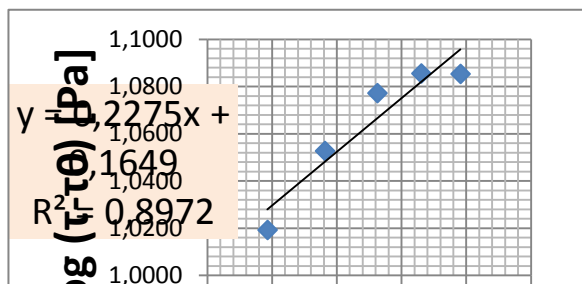


Figura 160. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R2

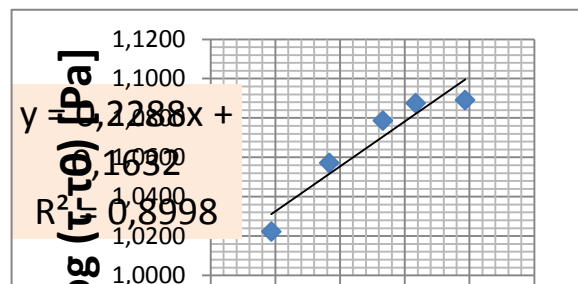
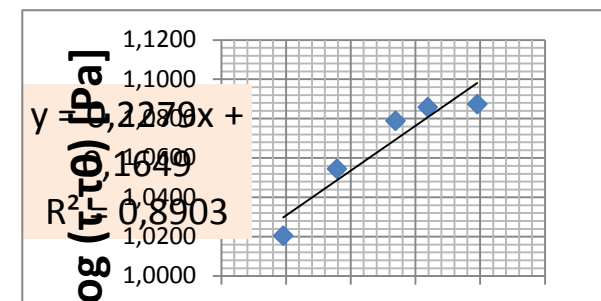


Figura 161. Reograma del comportamiento pseudoplástico del tratamiento a2b3 (néctar de manzana 9°Brix) – R3



ANEXO H

Análisis Estadístico

Análisis de Varianza del Índice de comportamiento de flujo (n)

Cuadro H.1 Análisis de Varianza - Modelo Ley de Potencia

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
n (Ley de Potencia)	45	1	1	0,62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,37	16	0,02	18105,16	<0,0001
Réplicas	7,20E-07	2	3,60E-07	0,28	0,7584
Factor A: Néctar de frutas..	3,30E-03	2	1,60E-03	1269,05	<0,0001
Factor B: %S.S	0,37	4	0,09	71621,1	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	8,50E-04	8	1,10E-04	82,45	<0,0001
Error	3,60E-05	28	1,30E-06		
Total	0,37	44			

Cuadro H.1.1 Prueba Tukey - Modelo Ley de Potencia

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00343

Error: 0,0000 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.	
2	5	0,25	3	6,50E-04	A
2	4	0,25	3	6,50E-04	B
2	3	0,24	3	6,50E-04	C
1	5	0,23	3	6,50E-04	D
2	2	0,23	3	6,50E-04	D
1	4	0,22	3	6,50E-04	E
3	5	0,22	3	6,50E-04	E
3	4	0,22	3	6,50E-04	F
1	3	0,22	3	6,50E-04	F
3	3	0,21	3	6,50E-04	G
1	2	0,21	3	6,50E-04	G
3	2	0,21	3	6,50E-04	H
1	1	1,00E-03	3	6,50E-04	I
3	1	1,00E-03	3	6,50E-04	I
2	1	9,90E-04	3	6,50E-04	I

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Cuadro H.2 Análisis de Varianza - Modelo Herschel – Bulkley

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
n (Herschel-Bulkley)	45	1	1	0,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,77	16	0,11	18421,15	<0,0001
Réplicas	7,60E-06	2	3,80E-06	0,63	0,539
Factor A: Néctar de frutas..	2,60E-03	2	1,30E-03	215,3	<0,0001
Factor B: %S.S	1,77	4	0,44	73534,12	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	1,00E-03	8	1,30E-04	21,26	<0,0001
Error	1,70E-04	28	6,00E-06		
Total	1,77	44			

Cuadro H.2.1 Prueba Tukey - Modelo Herschel - Bulkley

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00742

Error: 0,0000 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.	
3	1	0,73	3	1,40E-03	A
2	1	0,72	3	1,40E-03	A B
1	1	0,72	3	1,40E-03	B
2	5	0,25	3	1,40E-03	C
2	4	0,25	3	1,40E-03	C
2	3	0,24	3	1,40E-03	D
1	5	0,24	3	1,40E-03	D
2	2	0,23	3	1,40E-03	D E
3	5	0,23	3	1,40E-03	E F
1	4	0,23	3	1,40E-03	E F
3	4	0,22	3	1,40E-03	F G
1	3	0,22	3	1,40E-03	F G H
3	3	0,22	3	1,40E-03	G H I
1	2	0,21	3	1,40E-03	H I
3	2	0,21	3	1,40E-03	I

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Análisis de Varianza del Índice de consistencia (k)

Cuadro H.3 Análisis de Varianza - Modelo Ley de Potencia

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
k (Ley de Potencia)	45	1	1	0,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1,56	16	0,1	1205,13	<0,0001
Réplicas	4,60E-04	2	2,30E-04	2,85	0,075
Factor A: Néctar de frutas..	0,26	2	0,13	1613,63	<0,0001
Factor B: %S.S	1,23	4	0,31	3816,65	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	0,06	8	0,01	97,8	<0,0001
Error	2,30E-03	28	8,10E-05		
Total	1,56	44			

Cuadro H.3.1 Prueba Tukey - Modelo Ley de Potencia

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02722

Error: 0,0001 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas)	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.	
1	5	1,55	3	0,01	A
3	5	1,53	3	0,01	A
3	4	1,43	3	0,01	B
1	4	1,41	3	0,01	B
2	5	1,36	3	0,01	C
3	3	1,34	3	0,01	C
1	3	1,31	3	0,01	D
3	2	1,23	3	0,01	E
2	4	1,23	3	0,01	E
1	2	1,19	3	0,01	F
2	3	1,1	3	0,01	G
3	1	1,01	3	0,01	H
2	2	1,01	3	0,01	H
1	1	1	3	0,01	H
2	1	1	3	0,01	H

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Cuadro H.4 Análisis de Varianza - Modelo Desarrollado Toledo

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
k (Toledo)	45	1	1	0,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,58	16	0,04	930	<0,0001
Réplicas	2,30E-04	2	1,20E-04	2,98	0,0671
Factor A: Néctar de frutas..	0,15	2	0,08	1946,54	<0,0001
Factor B: %S.S	0,4	4	0,1	2526,67	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	0,03	8	4,30E-03	109,28	<0,0001
Error	1,10E-03	28	3,90E-05		
Total	0,58	44			

Cuadro H.4.1 Prueba Tukey - Modelo Desarrollado Toledo

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,01893

Error: 0,0000 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.	
3	1	1,01	3	3,60E-03	A
1	1	1	3	3,60E-03	A
2	1	1	3	3,60E-03	A
1	5	0,98	3	3,60E-03	B
3	5	0,97	3	3,60E-03	B
3	4	0,92	3	3,60E-03	C
1	4	0,9	3	3,60E-03	C
3	3	0,87	3	3,60E-03	D
1	3	0,84	3	3,60E-03	E
2	5	0,84	3	3,60E-03	E
3	2	0,8	3	3,60E-03	F
1	2	0,77	3	3,60E-03	G
2	4	0,76	3	3,60E-03	G
2	3	0,69	3	3,60E-03	H
2	2	0,64	3	3,60E-03	I

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Cuadro H.5 Análisis de Varianza - Modelo Casson

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
k (Casson)	45	1	1	1,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	18,92	16	1,18	14837,56	<0,0001
Réplicas	2,70E-04	2	1,30E-04	1,68	0,2047
Factor A: Néctar de frutas..	0,01	2	0,01	76,07	<0,0001
Factor B: %S.S	18,9	4	4,73	59305,96	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	1,70E-03	8	2,20E-04	2,71	0,0242
Error	2,20E-03	28	8,00E-05		
Total	18,92	44			

Cuadro H.5.1 Prueba Tukey - Modelo Casson

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02702

Error: 0,0001 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.
2	1	2,08	3	0,01 A
3	1	2,07	3	0,01 A
1	1	2,06	3	0,01 A
2	2	0,48	3	0,01 B
2	3	0,48	3	0,01 B
2	4	0,48	3	0,01 B
2	5	0,47	3	0,01 B
1	2	0,44	3	0,01 C
1	3	0,44	3	0,01 C
1	4	0,44	3	0,01 C
1	5	0,44	3	0,01 C
3	2	0,43	3	0,01 C
3	4	0,43	3	0,01 C
3	3	0,43	3	0,01 C
3	5	0,43	3	0,01 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Cuadro H.6 Análisis de Varianza - Modelo Herschel – Bulkley

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
k (Herschel-Bulkley)	45	1	1	0,75

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11,91	16	0,74	12853,85	<0,0001
Réplicas	2,20E-04	2	1,10E-04	1,9	0,168
Factor A: Néctar de frutas..	0,18	2	0,09	1551,89	<0,0001
Factor B: %S.S	11,68	4	2,92	50426,06	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	0,05	8	0,01	106,22	<0,0001
Error	1,60E-03	28	5,80E-05		
Total	11,91	44			

Cuadro H.6.1 Prueba Tukey - Modelo Herschel - Bulkley

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02303

Error: 0,0001 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.	
1	5	1,49	3	4,40E-03	A
3	5	1,46	3	4,40E-03	B
3	4	1,37	3	4,40E-03	C
1	4	1,36	3	4,40E-03	C
2	5	1,32	3	4,40E-03	D
3	3	1,28	3	4,40E-03	E
1	3	1,26	3	4,40E-03	E
2	4	1,2	3	4,40E-03	F
3	2	1,19	3	4,40E-03	F
1	2	1,16	3	4,40E-03	G
2	3	1,08	3	4,40E-03	H
2	2	1,01	3	4,40E-03	I
1	1	0,02	3	4,40E-03	J
2	1	0,02	3	4,40E-03	J
3	1	0,02	3	4,40E-03	J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes(p<= 0,05)

Análisis de Varianza del Umbral de fluencia (τ_0)

Cuadro H.7 Análisis de Varianza - Modelo Casson

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
τ_0 (Casson)	45	1	1	5,6

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	697,63	16	43,6	3538,08	<0,0001
Réplicas	0,03	2	0,02	1,35	0,2755
Factor A: Néctar de frutas..	2,50E-03	2	1,30E-03	0,1	0,9022
Factor B: %S.S	697,56	4	174,39	14150,92	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	0,03	8	4,10E-03	0,33	0,9461
Error	0,35	28	0,01		
Total	697,98	44			

Cuadro H.7.1 Prueba Tukey - Modelo Casson

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,33597

Error: 0,0123 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.
2	1	9,94	3	0,06 A
3	1	9,83	3	0,06 A
1	1	9,8	3	0,06 A
1	5	0,03	3	0,06 B
3	5	0,03	3	0,06 B
3	4	0,02	3	0,06 B
1	4	0,02	3	0,06 B
3	3	0,02	3	0,06 B
2	5	0,01	3	0,06 B
1	3	0,01	3	0,06 B
3	2	0,01	3	0,06 B
1	2	0,01	3	0,06 B
2	4	0,01	3	0,06 B
2	3	1,70E-03	3	0,06 B
2	2	2,80E-05	3	0,06 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes($p \leq 0,05$)

Cuadro H.8 Análisis de Varianza - Modelo Herschel – Bulkley

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
τ_0 (Herschel-Bulkley)	45	1	1	0,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	11,42	16	0,71	10522,42	<0,0001
Réplicas	1,50E-04	2	7,60E-05	1,11	0,3426
Factor A: Néctar de frutas..	0,39	2	0,19	2858,68	<0,0001
Factor B: %S.S	10,95	4	2,74	40351,1	<0,0001
Factor A: Néctar de frutas*Factor B: %S.S	0,08	8	0,01	154,34	<0,0001
Error	1,90E-03	28	6,80E-05		
Total	11,42	44			

Cuadro H.8.1 Prueba Tukey - Modelo Herschel - Bulkley

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02493

Error: 0,0001 gl: 28

Factor A: Néctar de frutas	Factor B: %S.S	Medias	n	E.E.	
1	5	1,51	3	4,80E-03	A
3	5	1,49	3	4,80E-03	A
3	4	1,41	3	4,80E-03	B
1	4	1,4	3	4,80E-03	B
3	3	1,34	3	4,80E-03	C
2	5	1,33	3	4,80E-03	C D
1	3	1,31	3	4,80E-03	D
3	2	1,24	3	4,80E-03	E
1	2	1,21	3	4,80E-03	F
2	4	1,2	3	4,80E-03	F
2	3	1,1	3	4,80E-03	G
2	2	1,01	3	4,80E-03	H
3	1	0,26	3	4,80E-03	I
1	1	7,40E-04	3	4,80E-03	J
2	1	7,40E-04	3	4,80E-03	J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Cuadro H.9 Prueba comparación múltiple t Student (n): Ley de Potencia – Toledo

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	(n) Ley de Potencia	(n) Toledo
Media	0,181377349	0,181377422
Varianza	0,008453808	0,008453781
Observaciones	45	45
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	88	
Estadístico t	-3,77756E-06	
P(T<=t) una cola	0,499998498	
Valor crítico de t (una cola)	1,66235403	
P(T<=t) dos colas	0,999996995	
Valor crítico de t (dos colas)	1,987289823	

Cuadro H.10 Prueba comparación múltiple t Student (k): Ley de Potencia – Toledo

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>(k) Ley de Potencia</i>	<i>(k) Toledo</i>
Media	1,246872	0,865789556
Varianza	0,035494451	0,013261279
Observaciones	45	45
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	73	
Estadístico t	11,57743534	
P(T<=t) una cola	1,71635E-18	
Valor crítico de t (una cola)	1,665996224	
P(T<=t) dos colas	3,4327E-18	
Valor crítico de t (dos colas)	1,992997097	

Cuadro H.11 Prueba comparación múltiple t Student (n): Casson – Herschel – Bulkley

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>(n) Método Casson</i>	<i>(n)Método Herschel Bulkley</i>
Media	0,5	0,328133333
Varianza	0	0,040291118
Observaciones	45	45
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	44	
Estadístico t	5,743719872	
P(T<=t) una cola	4,01129E-07	
Valor crítico de t (una cola)	1,680229977	
P(T<=t) dos colas	8,02259E-07	
Valor crítico de t (dos colas)	2,015367547	

Cuadro H.12 Prueba comparación múltiple t Student (k): Casson – Herschel – Bulkley

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	<i>(k) Método Casson</i>	<i>(k)Método Herschel Bulkley</i>
Media	0,773181555	1,015331111
Varianza	0,430008645	0,27074645
Observaciones	45	45
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	84	
Estadístico t	-1,940469415	
P(T<=t) una cola	0,027838614	
Valor crítico de t (una cola)	1,66319668	
P(T<=t) dos colas	0,055677228	
Valor crítico de t (dos colas)	1,988609629	

Cuadro H.13 Prueba comparación múltiple t Student (τ_0): Casson – Herschel - Bulkley

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	(τ_0) Método Casson	(τ_0) Método Herschel Bulkley
Media	1,983167567	1,05448974
Varianza	15,86308099	0,259601671
Observaciones	45	45
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	45	
Estadístico t	1,551503217	
P(T<=t) una cola	0,06389322	
Valor crítico de t (una cola)	1,679427393	
P(T<=t) dos colas	0,127786441	
Valor crítico de t (dos colas)	2,014103359	

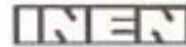
Cuadro H.14 Prueba comparación múltiple t Student Viscosidad relativa (μ): Cannon Fenske – TA-XT2i

Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales

	Cannon-Fenske	TA-XT2i
Media	0,000999895	0,00099951
Varianza	7,07242E-11	1,7938E-10
Observaciones	9	9
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	13	
Estadístico t	0,07346474	
P(T<=t) una cola	0,471277325	
Valor crítico de t (una cola)	1,770933383	
P(T<=t) dos colas	0,94255465	
Valor crítico de t (dos colas)	2,160368652	

ANEXO I

Normas INEN y CODEX



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2 337:2008

JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE FRUTAS Y VEGETALES. REQUISITOS

Primera Edición

FRUIT JUICE, PUREES, CONCENTRATES, NECTAR AND BEVERAGE. SPECIFICATIONS.

First Edition

DESCRIPTORES: Tecnología de los alimentos, bebidas no alcohólicas, jugos, pulpas, concentrados, néctares, requisitos.
AI 02.03-465
CDU: 663.8
CIIU: 3113
ICS: 67.160.20

<p>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</p>	<p>JUGOS, PULPAS, CONCENTRADOS, NECTARES, BEBIDAS DE FRUTAS Y VEGETALES. REQUISITOS.</p>	<p>NTE INEN 2 337:2008 2008-12</p>
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los jugos, pulpas, concentrados, néctares, bebidas de frutas y vegetales.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica a los productos procesados que se expenden para consumo directo; no se aplica a los concentrados que son utilizados como materia prima en las industrias.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Jugo (zumo) de fruta.- Es el producto líquido sin fermentar pero susceptible de fermentación, obtenido por procedimientos tecnológicos adecuados, conforme a prácticas correctas de fabricación; procedente de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o, a partir de frutas conservadas por medios físicos.</p> <p>3.2 Pulpa (puré) de fruta.- Es el producto carnoso y comestible de la fruta sin fermentar pero susceptible de fermentación, obtenido por procesos tecnológicos adecuados por ejemplo, entre otros: lamizando, triturando o desmanuzando, conforme a buenas prácticas de manufactura; a partir de la parte comestible y sin eliminar el jugo, de frutas enteras o peladas en buen estado, debidamente maduras o, a partir de frutas conservadas por medios físicos.</p> <p>3.3 Jugo (zumo) concentrado de fruta.- Es el producto obtenido a partir de jugo de fruta (definido en 3.1), al que se le ha eliminado físicamente una parte del agua en una cantidad suficiente para elevar los sólidos solubles (° Brix) en, al menos, un 50% más que el valor Brix establecido para el jugo de la fruta.</p> <p>3.4 Pulpa (puré) concentrada de fruta.- Es el producto (definido en 3.2) obtenido mediante la eliminación física de parte del agua contenida en la pulpa.</p> <p>3.5 Jugo y pulpa concentrado edulcorado.- Es el producto definido en 3.3 y 3.4 al que se le ha adicionado edulcorantes para ser reconstituido a un néctar o bebida, el grado de concentración dependerá de los volúmenes de agua a ser adicionados para su reconstitución y que cumpla con los requisitos de la tabla 1, ó el numeral 5.4.1</p> <p>3.6 Néctar de fruta.- Es el producto pulposo o no pulposo sin fermentar, pero susceptible de fermentación, obtenido de la mezcla del jugo de fruta o pulpa, concentrados o sin concentrar o la mezcla de éstos, provenientes de una o más frutas con agua e ingredientes endulzantes o no.</p> <p>3.7 Bebida de fruta.- Es el producto sin fermentar, pero fermentable, obtenido de la dilución del jugo o pulpa de fruta, concentrados o sin concentrar o la mezcla de éstos, provenientes de una o más frutas con agua, ingredientes endulzantes y otros aditivos permitidos.</p> <p style="text-align: center;">4. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS</p> <p>4.1 El jugo y la pulpa debe ser extraído bajo condiciones sanitarias apropiadas, de frutas maduras, sanas, lavadas y sanitizadas, aplicando los Principios de Buenas Prácticas de Manufactura.</p> <p>4.2 La concentración de plaguicidas no deben superar los límites máximos establecidos en el Codex Alimentario (Volumen 2) y el FDA (Part. 193).</p> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <p>DESCRIPTORES: Tecnología de los alimentos, bebidas no alcohólicas, jugos, pulpas, concentrados, néctares, requisitos.</p>		

Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN - Calle 17-01-3999 - Pasadizo Ibarra ES-29 y Almagro - Cuito-Ecuador - Prohibida la reproducción

- 4.3 Los principios de buenas prácticas de manufactura deben propender reducir al mínimo la presencia de fragmentos de cáscara, de semillas, de partículas gruesas o duras propias de la fruta.
- 4.4 Los productos deben estar libres de insectos o sus restos, larvas o huevos de los mismos.
- 4.5 Los productos pueden llevar en suspensión parte de la pulpa del fruto finamente dividida.
- 4.6 No se permite la adición de colorantes artificiales y aromatizantes (con excepción de lo indicado en 4.7 y 4.9), ni de otras sustancias que disminuyan la calidad del producto, modifiquen su naturaleza o den mayor valor que el real.
- 4.7 Únicamente a las bebidas de fruta se pueden adicionar colorantes, aromatizantes, saborizantes y otros aditivos tecnológicamente necesarios para su elaboración establecidos en la NTE INEN 2 074.
- 4.8 Como acidificante podrá adicionarse jugo de limón o de lima o ambos hasta un equivalente de 3 g/l como ácido cítrico anhidro.
- 4.9 Se permite la restitución de los componentes volátiles naturales, perdidos durante los procesos de extracción, concentración y tratamientos térmicos de conservación, con aromas naturales.
- 4.10 Se permite utilizar ácido ascórbico como antioxidante en límites máximos de 400 mg/kg.
- 4.11 Se puede adicionar enzimas y otros aditivos tecnológicamente necesarios para el procesamiento de los productos, aprobados en la NTE INEN 2 074, Codex Alimentario, o FDA o en otras disposiciones legales vigentes.
- 4.12 Se permite la adición de los edulcorantes aprobados por la NTE INEN 2 074, Codex Alimentario, y FDA o en otras disposiciones legales vigentes.
- 4.13 Sólo a los néctares de fruta pueden añadirse miel de abeja y/o azúcares derivados de frutas.
- 4.14 Se pueden adicionar vitaminas y minerales de acuerdo con lo establecido en la NTE INEN 1 334-2 y en las otras disposiciones legales vigentes.
- 4.15 La conservación del producto por medios físicos puede realizarse por procesos térmicos: pasteurización, esterilización, refrigeración, congelación y otros métodos adecuados para ese fin; se excluye la radiación ionizante.
- 4.16 La conservación de los productos por medios químicos puede realizarse mediante la adición de las sustancias indicadas en la tabla 15 de la NTE INEN 2 074.
- 4.17 Los productos conservados por medios químicos deben ser sometidos a procesos térmicos.
- 4.18 Se permite la mezcla de una o más variedades de frutas, para elaborar estos productos y el contenido de sólidos solubles ("Brix), será ponderado al aporte de cada fruta presente.
- 4.19 Puede añadirse jugo obtenido de la mandarina *Citrus reticulata* y/o híbridos al jugo de naranja en una cantidad que no exceda del 10% de sólidos solubles respecto del total de sólidos solubles del jugo de naranja.
- 4.20 Puede añadirse jugo de limón (*Citrus limon* (L.) Burm. f. *Citrus limonium* Rissa) o jugo de lima (*Citrus aurantifolia* (Christm.), o ambos, al jugo de fruta hasta 3 g/l de equivalente de ácido cítrico anhidro para fines de acidificación a jugos no endulzados.
- 4.21 Puede añadirse jugo de limón o jugo de lima, o ambos, hasta 5 g/l de equivalente de ácido cítrico anhidro a néctares de frutas.
- 4.22 Puede añadirse al jugo de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) sal y especias así como hierbas aromáticas (y sus extractos naturales).

(Continúa)

4.23 Se permite la adición de dióxido de carbono, mayor a 2 g/kg, para que al producto se lo considere como gasificado.

4.24 A las bebidas de frutas cuando se les adicione gas carbónico se las considerará bebidas gaseosas y deberán cumplir los requisitos de la NTE INEN 1 101.

5. REQUISITOS

5.1 Requisitos específicos para los jugos y pulpas de frutas

5.1.1 El jugo puede ser turbio, claro o clarificado y debe tener las características sensoriales propias de la fruta de la cual procede.

5.1.2 La pulpa debe tener las características sensoriales propias de la fruta de la cual procede.

5.1.3 El jugo y la pulpa debe estar exento de olores o sabores extraños u objetables.

5.1.4 Requisitos físico-químico

5.1.4.1 Los jugos y las pulpas ensayados de acuerdo a las normas técnicas ecuatorianas correspondientes, deben cumplir con las especificaciones establecidas en la tabla 1.

5.2 Requisitos específicos para los néctares de frutas

5.2.1 El néctar puede ser turbio o claro o clarificado y debe tener las características sensoriales propias de la fruta o frutas de las que procede.

5.2.2 El néctar debe estar exento de olores o sabores extraños u objetables.

5.2.3 Requisitos físico-químicos

5.2.3.1 El néctar de fruta debe tener un pH menor a 4,5 (determinado según NTE INEN 389).

5.2.3.2 El contenido mínimo de sólidos solubles ("Brix) presentes en el néctar debe corresponder al mínimo de aporte de jugo o pulpa, referido en la tabla 2 de la presente norma.

(Continúa)

TABLA 1. Especificaciones para los jugos o pulpas de fruta

FRUTA	Nombre Botánico	Sólidos Solubles ^{a)} Mínimo NTE INEN 380
Acerola	<i>Malpighia sp</i>	6,0
Albaricoque (Damasco)	<i>Prunus armeniaca</i> L.	11,5
Arándano (mirtilo)	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. <i>Vaccinium corymbosum</i> L. <i>Vaccinium angustifolium</i>	10,0
Araza	<i>Eugenia stipitata</i>	4,8
Babuco	<i>Cavica pentagona</i> Heilb	5,0
Banano	<i>Musa, spp</i>	21,0
Borojo	<i>Borojoa spp</i>	7,0
Carambola (Grosella china)	<i>Averrhoa carambola</i>	5,0
Claudia ciruela	<i>Prunus domestica</i> L.	12,0
Coco (1)	<i>Cocos nucifera</i> L.	5,0
Coco (2)	<i>Cocos nucifera</i> L.	4,0
Durazno (Melocotón)	<i>Prunus persica</i> L.	9,0
Frujilla	<i>Fragaria spp</i>	6,0
Frambuesa roja	<i>Rubus idaeus</i> L.	7,0
Frambuesa negra	<i>Rubus occidentalis</i> L.	11,0
Guarábana	<i>Anona muricata</i> L.	11,0
Gueyeba	<i>Psidium guajava</i> L.	5,0
Kivi	<i>Actinidia deliciosa</i>	6,0
Litchi	<i>Litchi chinensis</i>	11,0
Lima	<i>Citrus aurantifolia</i>	4,5
Limón	<i>Citrus limon</i> L.	4,5
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	10,0
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	11,0
Marzana	<i>Melus domestica</i> Borkh	6,0
Maracuyá (Parchita)	<i>Passiflora edulis</i> Sims	12,0
Marañón	<i>Ancercolum occidentale</i> L.	11,5
Melón	<i>Cucumis melo</i> L.	5,0
Mora	<i>Rubus spp.</i>	6,0
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	9,0
Naranja (Lulo)	<i>Solanum quitoense</i>	6,0
Papaya (Lichosa)	<i>Carica papaya</i>	6,0
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	10,0
Piña	<i>Ananas comosus</i> L.	10,0
Sandía	<i>Citrullus lanatus</i> Thunb	6,0
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i> L.	18,0*
Tomate de árbol	<i>Cyphomandra betacea</i>	6,0
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i> L.	4,5
Torreja (Pomelo)	<i>Citrus paradisi</i>	6,0
Uva	<i>Vitis spp</i>	11,0

^{a)} En grados Brix a 20 °C (con exclusión de azúcar)

(1) Este producto se conoce como "agua de coco" el cual se extrae directamente del fruto sin exprimir la pulpa.

(2) Es la emulsión extraída del endosperma (almendra) maduro del coco, con o sin adición de agua de coco

* Para extraer el jugo del tamarindo debe hacerse en extracción acuosa, lo cual baja el contenido de sólidos solubles desde 60 °Brix, que es su Brix natural, hasta los 18 °Brix en el extracto.

NOTA 1. Para las frutas que no se encuentran en la tabla el mínimo de grados Brix será el Brix del jugo o pulpa obtenido directamente de la fruta

(Continúa)

TABLA 2. Especificaciones para el néctar de fruta

FRUTA	Nombre Botánico	% Aporte de jugo de fruta	Sólidos Solubles ⁴⁾ Mínima NTE INEN 380
Acerola	<i>Malpighia</i> sp	25	1,5
Albaricoque (Damasco)	<i>Prunus armeniaca</i> L.	40	4,6
Arándano (mirtilo.)	<i>Vaccinium myrtillus</i> L. <i>Vaccinium corymbosum</i> L. <i>Vaccinium angustifolium</i>	40	4,0
Arazá	<i>Eugenia stipitata</i>	*	*
Babaco	<i>Carica pentagona</i> Heilb	25	1,25
Banano	<i>Musa</i> , spp	25	5,25
Borojo	<i>Borjoea</i> spp	25	1,75
Carambola (Custia china)	<i>Averrhoa carambola</i>	25	1,25
Claudia ciruela	<i>Prunus domestica</i> L.	50	6,0
Coco (1)	<i>Cocos nucifera</i> L.	25	1,25
Coco (2)	<i>Cocos nucifera</i> L.	25	1,0
Durazno (Melocotón)	<i>Prunus pérsica</i> L.	40	3,6
Frutilla	<i>Fragaria</i> spp	40	2,4
Frambuesa roja	<i>Rubus idaeus</i> L.	40	2,8
Frambuesa negra	<i>Rubus occidentalis</i> L.	25	2,75
Guanábana	<i>Anona muricata</i> L.	25	2,75
Guayaba	<i>Psidium guajava</i> L.	25	1,25
Kiwí	<i>Actinidia deliciosa</i>	*	*
Litchi	<i>Litchi chinensis</i>	20	2,24
Lima	<i>Citrus aurantifolia</i>	25	1,13
Limón	<i>Citrus limon</i> L.	25	1,13
Mandarina	<i>Citrus reticulata</i>	50	5,0
Mango	<i>Mangifera indica</i> L.	25	2,75
Manzana	<i>Malus domestica</i> Borkh	50	5,0
Maracuyá (Parchita)	<i>Passiflora edulis</i> Sims	*	*
Marañón	<i>Anacardium occidentale</i> L.	25	2,88
Melón	<i>Cucumis melo</i> L.	35	1,75
Mora	<i>Rubus</i> spp	30	1,8
Naranja	<i>Citrus sinensis</i>	50	4,5
Naranja (Lulo)	<i>Solanum quitoense</i>	*	*
Papaya (Lechosa)	<i>Carica pepaya</i>	25	2,0
Pera	<i>Pyrus communis</i> L.	40	4,0
Piña	<i>Ananas comosus</i> L.	40	4,0
Sandia	<i>Citrullus lanatus</i> Thumb	40	2,4
Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i> L.	*	*
Tomate de árbol	<i>Cyphomandra belfragei</i>	25	2,0
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i> L.	50	2,25
Toronja (Pomelo)	<i>Citrus paradisi</i>	50	4,0
Uva	<i>Vitis</i> spp	50	5,5
Otros:			
- Alto contenido de pulpa o aroma fuerte		25	--
- Baja acidez, bajo contenido de pulpa o aroma bajo a medio		50	--

* Elevada acidez, la cantidad suficiente para lograr una acidez mínima de 0,5 % (como ácido cítrico)

4) En grados Brix a 20°C (con exclusión de azúcar)

(Continúa)

TABLA 4. Requisitos microbiológicos para los productos pasteurizados

	n	m	M	c	Método de ensayo
Coliformes NMP/cm ³	3	< 3	–	0	NTE INEN 1529-9
Coliformes fecales NMP/cm ³	3	< 3	–	0	NTE INEN 1529-9
Recuento estándar en placa REP UFC/cm ³	3	< 10	10	1	NTE INEN 1529-5
Recuento de mohos y levaduras UP/cm ³	3	< 10	10	1	NTE INEN 1529-10

En donde:

- NMP = número más probable
 UFC = unidades formadoras de colonias
 UP = unidades propagadoras
 n = número de unidades
 m = nivel de aceptación
 M = nivel de rechazo
 c = número de unidades permitidas entre m y M

5.5.4 Los productos envasados asepticamente deben cumplir con esterilidad comercial de acuerdo a la NTE INEN 2 335

5.6 Contaminantes

5.6.1 Los límites máximos de contaminantes no deben superar lo establecido en la tabla 5

TABLA 5. Límites máximos de contaminantes

	Límite máximo	Método de ensayo
Arsénico, As mg/kg	0,3	NTE INEN 389
Cobre, Cu mg/kg	5,0	NTE INEN 270
Estaño, Sn mg/kg*	200	NTE INEN 385
Zinc, Zn mg/kg	5,0	NTE INEN 389
Hierro, Fe mg/kg	15,0	NTE INEN 400
Plomo, Pb mg/kg	0,05	NTE INEN 271
Patulina (en jugo de manzana)**, mg/kg	50	AOAC 48.7.01
Suma de Cu, Zn, Fe mg/kg	20	

* En el producto envasado en recipientes estañados
 ** La patulina es una micotoxina formada por una lactona hemiacetálica, producida por especies del género *Aspergillus*, *Penicillium* y *Byssoclamys*.

5.7 Requisitos Complementarios

5.7.1 El espacio libre tendrá como valor máximo el 10 % del volumen total del envase (ver NTE INEN 394).

5.7.2 El vacío referido a la presión atmosférica normal, medido a 20 °C, no debe ser menor de 320 hPa (250 mm Hg) en los envases de vidrio, ni menor de 160 hPa (125 mm Hg) en los envases metálicos. (ver NTE INEN 392).

(Continúa)

**NORMA GENERAL DEL CODEX PARA ZUMOS (JUGOS) Y NÉCTARES
DE FRUTAS
(CODEX STAN 247-2005)**

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

La presente Norma se aplica a todos los productos que se definen en la Sección 2.1

2. DESCRIPCIÓN

2.1 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

2.1.1 Zumo (jugo) de fruta

Por zumo (jugo) de fruta se entiende el líquido sin fermentar, pero fermentable, que se obtiene de la parte comestible de frutas en buen estado, debidamente maduras y frescas o frutas que se han mantenido en buen estado por procedimientos adecuados, inclusive por tratamientos de superficie aplicados después de la cosecha de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Comisión del Codex Alimentarius.

Algunos zumos (jugos) podrán elaborarse junto con sus pepitas, semillas y pieles, que normalmente no se incorporan al zumo (jugo), aunque serán aceptables algunas partes o componentes de pepitas, semillas y pieles que no puedan eliminarse mediante las buenas prácticas de fabricación (BPF).

Los zumos (jugos) se preparan mediante procedimientos adecuados que mantienen las características físicas, químicas, organolépticas y nutricionales esenciales de los zumos (jugos) de la fruta de que proceden. Podrán ser turbios o claros y podrán contener componentes restablecidos¹ de sustancias aromáticas y aromatizantes volátiles, elementos todos ellos que deberán obtenerse por procedimientos físicos adecuados y que deberán proceder del mismo tipo de fruta. Podrán añadirse pulpa y células² obtenidas por procedimientos físicos adecuados del mismo tipo de fruta.

Un zumo (jugo) de un solo tipo es el que se obtiene de un solo tipo de fruta. Un zumo (jugo) mixto es el que se obtiene mezclando dos o más zumos (jugos), o zumos (jugos) y purés de diferentes tipos de frutas.

El zumo (jugo) de fruta se obtiene como sigue:

2.1.1.1 Zumo (jugo) de fruta exprimido directamente por procedimientos de extracción mecánica.

2.1.1.2 Zumo (jugo) de fruta a partir de concentrados, mediante reconstitución del zumo (jugo) concentrado de fruta, tal como se define en la Sección 2.1.2 con agua potable que se ajuste a los criterios descritos en la Sección 3.1.1(c).

Ingredientes básicos

- (a) Para los zumos (jugos) de frutas exprimidos directamente, el nivel de grados Brix será el correspondiente al del zumo (jugo) exprimido de la fruta y el contenido de sólidos solubles del zumo (jugo) de concentración natural no se modificará salvo para mezclas del mismo tipo de zumo (jugo).

3.2 CRITERIOS DE CALIDAD

Los zumos (jugos) y néctares de frutas deberán tener el color, aroma y sabor característicos del zumo (jugo) del mismo tipo de fruta de la que proceden.

La fruta no deberá retener más agua como resultado de su lavado, tratamiento con vapor u otras operaciones preparatorias que la que sea tecnológicamente inevitable.

3.3 AUTENTICIDAD

Se entiende por autenticidad el mantenimiento en el producto de las características físicas, químicas, organolépticas y nutricionales esenciales de la fruta o frutas de que proceden.

3.4 VERIFICACIÓN DE LA COMPOSICIÓN, CALIDAD Y AUTENTICIDAD

Los zumos (jugos) y néctares de frutas deberán someterse a pruebas para determinar su autenticidad, composición y calidad cuando sea pertinente y necesario. Los métodos de análisis utilizados deberán ser los establecidos en la Sección 9 – Métodos de análisis y muestreo.

La verificación de la autenticidad /calidad de una muestra puede ser evaluada por comparación de datos para la muestra, generados usando métodos apropiados incluidos en la norma, con aquéllos producidos para la fruta del mismo tipo y de la misma región, permitiendo variaciones naturales, cambios estacionales y por variaciones ocurridas debido a la elaboración/procesamiento.