

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
MENCIÓN: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**REOLOGÍA DEL HIDROCOLOIDE DE RATANYA  
(*Triumfetta semitriloba* Jacq.): EFECTO DE LA  
CONCENTRACIÓN Y TEMPERATURA**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS  
MENCIÓN: INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**CÉSAR ROBERT CUETO ROSALES**

**TINGO MARÍA – PERÚ**

**2019**



**TM**  
**ING**

**Cueto Rosales, César Robert**

Reología del hidrocoloide de ratanya (*Triumfetta semitriloba jacq.*): Efecto de la concentración y temperatura.

111 Páginas; 14 Tablas; 20 Figuras; 73 ref.; 30 cm.

Tesis (Maestro en Ingeniería de Alimentos, Mención: Ingeniería Agroindustrial)

- 1. REOLOGÍA    2. PSEUDOPLÁSTICO**
- 3. ÍNDICE DE COMPORTAMIENTO DE FLUJO**
- 4. ÍNDICE DE CONSISTENCIA    5. TIXOTROPÍA**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**DIRECCIÓN**



*"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"*

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**Nro. 001-2019-EPG-UNAS**

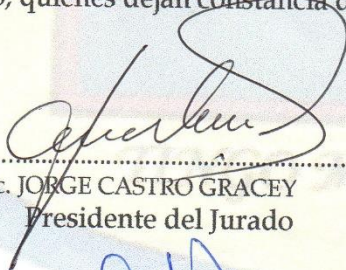
En la ciudad universitaria, siendo las 3:00 pm, del día martes 11 de enero del 2019, reunidos en el Auditorio de la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

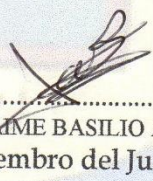
**"REOLOGIA DEL HIDROCOLOIDE DE RATANYA (*triumfetta semitriloba* jaca)  
EFECTO CONCENTRACIÓN Y TEMPERATURA"**

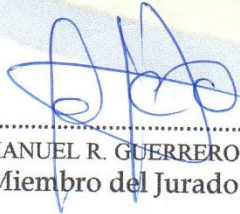
A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ingeniería de Alimentos mención Ingeniería Agroindustrial, César CUETO ROSALES.

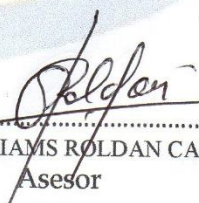
Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**.

Acto seguido, a horas 4:45 pm. el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

  
.....  
M.Sc. JORGE CASTRO GRACEY  
Presidente del Jurado

  
.....  
M.Sc. JAIME BASILIO ATENCIO  
Miembro del Jurado

  
.....  
M. Sc. MANUEL R. GUERRERO OCHOA  
Miembro del Jurado

  
.....  
M.Sc. WILLIAMS ROLDAN CARBAJAL  
Asesor



## VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL GRADO ACADEMICO DE  
MAESTRO, INVESTIGACIÓN DOCENTE y TESISTA

### I. DATOS GENERALES DE POSGRADO

**Universidad** : Universidad Nacional Agraria de la Selva

**Escuela de Posgrado**

**Maestría** : Ingeniería de Alimentos

**Mención** : Ingeniería Agroindustrial

**Título de Tesis** : “REOLOGÍA DEL HIDROCOLOIDE DE RATANYA (*Triumfetta semitriloba* Jacq.): EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y TEMPERATURA”

**Autor** : César Robert Cueto Rosales

**Asesor de Tesis** : M. Sc Williams Roldan Carbajal

**Programa de Investigación** : Programa de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Línea (s) de Investigación** : Biotecnología

**Eje temático de investigación** : Desarrollar investigación científica básica y aplicada en la biotecnología de alimentos, bioprocesos, biocatálisis, fermentaciones, bioproductos, biomateriales, bioplásticos, biocombustibles y materiales nuevos, bioderivados, citotoxicidad metabólica y metabolómica.

**Lugar de Ejecución** : Huánuco/Tingo María

**Año** : 2019

**Financiamiento:** : Propio

*A mi familia.*

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis maestros, colegas y amigos, que influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien, a todos y cada uno de ellos gracias por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Un profundo agradecimiento a las autoridades, docentes y personal que conforman la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias – UNAS y la Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial – UNHEVAL, por abrirme las puertas y permitirme realizar la investigación en sus instalaciones.

## ÍNDICE TEMÁTICO

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
2.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN .....	3
2.2.	MATERIAL BIOLÓGICO .....	3
2.3.	MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS .....	3
2.4.	MÉTODOS DE ANÁLISIS .....	5
2.5.	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	6
2.5.1.	AISLAMIENTO DE HIDROCOLOIDE .....	7
2.5.2.	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA.....	10
2.5.3.	EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO.....	10
2.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	11
III.	REVISIÓN DE LITERATURA .....	13
3.1.	RATANYA.....	13
3.2.	HIDROCOLOIDES.....	15
3.2.1.	Propiedades funcionales en alimentos .....	16
3.3.	REOLOGÍA .....	18
3.4.	CLASIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE FLUIDOS .....	19
3.4.1.	Fluido newtoniano .....	19
3.4.2.	Fluido no newtoniano.....	21
3.5.	COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO INDEPENDIENTE DEL TIEMPO.....	22
3.5.1.	Líquidos pseudoplásticos o adelgazantes ( <i>Shear-Thinning</i> ).....	23
3.5.2.	Comportamiento del fluido visco plástico .....	28
3.5.3.	Comportamiento dilatante o espesante ( <i>Shear-Thickening</i> ) .....	32
3.6.	COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO DEPENDIENTE DEL TIEMPO... ..	34
3.6.1.	Tixotropía .....	34
3.6.2.	Tixotropía negativa o Antitixotropía .....	36

3.6.3.	Caracterización del comportamiento de fluidos dependiente del tiempo .....	36
3.7.	MODELADO DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE FLUIDOS	39
3.7.1.	Efecto de la concentración de solidos solubles e insolubles.....	39
3.7.2.	Efecto de la temperatura sobre la viscosidad.....	40
3.7.3.	Efecto combinado de concentración y temperatura .....	41
IV.	RESULTADOS.....	43
4.1.	AISLAMIENTO DEL HIDROCOLOIDE .....	43
4.2.	CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA.....	44
4.3.	EVALUACIÓN REOLÓGICA .....	46
4.3.1.	Comportamiento independiente del tiempo .....	46
4.3.2.	Comportamiento dependiente del tiempo.....	54
4.3.3.	Efecto de la concentración.....	57
4.3.4.	Efecto de la temperatura.....	59
4.3.5.	Efecto de combinado de concentración y temperatura .....	62
V.	DISCUSIONES.....	63
5.1.	DEL AISLAMIENTO DEL HIDROCOLOIDE .....	63
5.2.	DE LA CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA .....	65
5.3.	DE LA EVALUACIÓN REOLÓGICA .....	67
5.3.1.	Del comportamiento independiente del tiempo .....	67
5.3.2.	Del comportamiento dependiente del tiempo .....	69
5.3.3.	Del efecto de la concentración.....	70
5.3.4.	Del efecto de la temperatura.....	71
5.3.5.	Del efecto combinado concentración y temperatura .....	72
	CONCLUSIONES .....	73
	RECOMENDACIONES.....	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	75
	ANEXOS .....	84



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis proximal de los tallos frescos de ratanya ( <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq.).....	13
Tabla 2. Rendimiento de hidrocoloide aislado (% p/p b.s.) respecto al método de extracción y muestra .....	43
Tabla 3. Características fisicoquímicas del HCTS .....	43
Tabla 4. Composición proximal de HCTS.....	44
Tabla 5. Contenido de minerales presentes en HCTS (en base seca).....	44
Tabla 6. Polifenoles totales y capacidad antioxidante de HCTS.....	45
Tabla 7. Parámetro reológicos del modelo de Ley de la Potencia ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq. a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).....	49
Tabla 8. Parámetro reológicos del modelo de Herschel-Bulkley ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq. a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).....	50
Tabla 9. Parámetro reológicos del modelo de Bingham ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq. a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).....	51
Tabla 10. Parámetro reológicos del modelo de Casson ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq. a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).....	52
Tabla 11. Áreas de histéresis y de histéresis relativa (%AHR), calculadas para cada concentración y temperatura .....	54

Tabla 12. Parámetros de los modelos potencial, exponencial y polinomial dependientes de la concentración, relacionado al índice de consistencia de soluciones de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba Jacq.</i> , para diferentes temperaturas.....	56
Tabla 13. Parámetros de la ecuación de Arrhenius y del modelo exponencial relacionado al índice de consistencia (K), de soluciones HCTS.....	59
Tabla 14. Parámetros de los modelos potencial y exponencial, relacionados al efecto combinado de la concentración de sólidos y la temperatura, con el índice de consistencia de soluciones de HCTS.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la conducción experimental.....	6
Figura 2: Flujo grama para la extracción del hidrocoloide de la corteza de <i>Triumfetta semitriloba Jacq</i> .....	9
Figura 3. Representación esquemática del flujo de corte unidireccional .....	19
Figura 4. Curvas para fluidos típicos independientes del tiempo.....	22
Figura 5. Representación esquemática del comportamiento de adelgazamiento por cizalladura.....	23
Figura 6. Demostración de viscosidades a velocidad de corte cero e infinito para una solución de polímero pseudoplástico.....	24
Figura 7. Datos representativos del esfuerzo cortante vs velocidad de corte que muestran el comportamiento viscoplástico en un extracto de carne y en una solución acuosa de polímero carbopol .....	29
Figura 8. Comportamiento de velocidad de cizallamiento por esfuerzo de corte esquemático para el comportamiento de fluido dependiente del tiempo .....	34
Figura 9. Rendimiento obtenido por diferentes métodos de extracción para la corteza y centro leñoso de <i>Triumfetta semitriloba Jacq</i> . (% p/p) .....	42
Figura 10. Datos de viscosidad aparente versus velocidad de corte para diferentes concentraciones de solución de HCTS a 15 °C .....	46
Figura 11. Reograma de soluciones de HCTS a diferentes concentraciones (0.050 – 0.225%) evaluados a 15 °C.....	46
Figura 12. Comportamiento de flujo a diferentes temperaturas de una solución al 0.100% de HCTS .....	47

Figura 13. Comportamiento de flujo a diferentes temperaturas de una solución al 0.150% de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba Jacq.</i> .....	48
Figura 14. Comportamiento de flujo a diferentes temperaturas de una solución al 0.225% de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba Jacq.</i> .....	48
Figura 15. Ciclo de histéresis obtenido para diferentes concentraciones de HCTS evaluados a 15 °C.....	53
Figura 16. Valores de áreas de histéresis experimental para soluciones de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba Jacq.</i> a diferentes temperaturas.....	55
Figura 17. Valores de áreas relativas de soluciones de hidrocoloide de <i>Triumfetta semitriloba Jacq.</i> a diferentes temperaturas.....	55
Figura 18. Ajuste del índice de consistencia (K) de soluciones de HCTS a los modelos potencial, exponencial y polinomial, evaluados a 15 °C (A), 25 °C (B), 35 °C (C) y 45 °C (D) .....	57
Figura 19. Ajuste de datos experimentales a la ecuación de Arrhenius .....	59
Figura 20. Ajuste de datos experimentales al modelo exponencial: (A) a bajas concentraciones y altas (B).....	60

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar comportamiento reológico del hidrocoloide aislado de la corteza de *Triumfetta semitriloba* Jacq. (HCTS), un arbusto con atribuciones medicinales y ampliamente distribuido en la región. Los experimentos se llevaron a cabo a diferentes concentraciones (0,050 – 0,225% p/v) y temperaturas (15 – 45 °C), empleando un reómetro rotacional con geometría de cilindros concéntricos. Los datos experimentales se ajustaron a los modelos reológicos de Ley de la Potencia, Herschel-Bulkley, Bingham y Casson. Las soluciones de HCTS mostraron una transición de comportamiento de flujo, iniciando como un fluido espesante (dilatante) a bajas concentraciones (0,050 a 0,125%), para luego desarrollar un comportamiento adelgazante (pseudoplástico) para concentraciones superiores a 0,150%; el incremento de temperatura extendió el carácter dilatante de las concentraciones bajas a las más altas. El efecto de la concentración sobre el índice de consistencia (K) se describió mediante un modelo polinomial ( $R^2_{adj} > 0,90$ ), donde los factores no mostraron una tendencia definida, indicando una fuerte interacción entre la temperatura y la concentración. De otro lado, el efecto de la temperatura respecto K fue contrastado a la ecuación de Arrhenius y un modelo exponencial, siendo este último el que mostro una mejor bondad de ajuste ( $R^2_{adj} > 0,80$ ) e indicó una mayor dependencia de la temperatura a altas concentraciones; igualmente, el efecto combinado de concentración y temperatura obedeció a una ecuación de tipo exponencial ( $R^2_{adj} = 0,7031$ ). Finalmente, la evaluación del comportamiento de flujo dependiente del tiempo, revelo una tendencia diferida, prevaleciendo una pequeña tixotropía a bajas concentraciones, la cual es desplazada por un marcado comportamiento antitixotrópico a concentraciones intermedias (0,100 a 0,200%), para finalmente converger en un fluido tixotrópico a concentraciones mayores a 0,200%.

*Palabras claves: reología, pseudoplástico, índice de comportamiento de flujo, índice de consistencia, tixotropía.*

## ABSTRACT

The objective of the study was to evaluate the rheological behavior of hydrocolloid when isolated from the bark of *Triumfetta semitriloba* Jacq. (HCTS – acronym in Spanish), a shrub with medicinal attributions and widely distributed in the region. The experiments took place at different concentrations (0.050 – 0.225% p/v) and temperatures (15 – 45 °C), employing a rotational rheometer with concentric cylinder geometry. The experimental data was adapted to the Power Law, Herschel-Bulkley, Bingham and Casson rheological models. The HCTS solutions showed a transition in flow behavior, starting as a thickening fluid (dilatant) at low concentrations (0.050 to 0.125%), to later develop a thinning behavior (pseudoplastic) for concentrations above 0.150%; the increase in temperature extended the dilatant character from the lowest to the highest concentrations. The effect of the concentration on the consistency index (K) is described using the polynomial model ( $R^2_{adj} > 0.90$ ), where the factors do not show a definite tendency, indicating a strong interaction between the temperature and the concentration. On the other hand, the effect of the temperature with respect to K was contrasted to the Arrhenius equation and an exponential model, with the latter showing a better goodness adjustment ( $R^2_{adj} > 0.80$ ) and indicating a greater dependency on the temperature at higher concentrations; likewise, the combined effect of the concentration and the temperature obeyed an exponential type equation ( $R^2_{adj} = 0.7031$ ). Finally, the evaluation of the flow behavior depending on the time revealed a deferred tendency, with a small thixotropy prevailing at low concentrations, which is displaced by a marked anti-thixotropic behavior at intermediate concentrations (0.100 to 0.200%), to finally converge in a thixotropic fluid at concentrations greater than 0.200%.

*Keywords: Rheology, pseudo plastic, flow behavior index, consistency index, thixotropy*

## I. INTRODUCCIÓN

La ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq.*) es un arbusto perenne de la familia Malvaceae, ampliamente distribuida en Centro y Suramérica; aun cuando es considerada una maleza, se tiene registro de su aplicación en medicina natural atribuyéndole diversas propiedades, en particular el mucílago obtenido de la infusión de sus tallos.

Los hidrocoloides, que a menudo se conocen como gomas, se encuentran naturalmente en plantas y algas, representando una fracción de la composición de polisacáridos totales en los mismos; debido a su afinidad por el agua y su tamaño molecular, forman dispersiones o soles coloidales acuosos estables, pero la mayoría no pueden formar geles. Sin embargo, pueden atrapar grandes cantidades de agua dentro de sus ramas, resultando en dispersiones acuosas muy viscosas.

Hoy en día muchas investigaciones en ciencia de polímeros están orientadas a la búsqueda de fibras solubles de fuentes naturales, con propiedades funcionales mejoradas. Por ello, los polisacáridos derivados de plantas son una interesante fuente de aditivos para diversas industrias, en particular la industria de alimentos y farmacéutica, por ser biodegradables, biocompatibles, generalmente no tóxicos y de bajo costo de producción.

Tomado en cuenta lo mencionado, la caracterización del hidrocoloide de *Triumfetta semitriloba Jacq.* despierta interés, ya que hasta la fecha no se contaba con información científica; consecuentemente este arbusto podría convertirse en una fuente renovable de biopolímeros para diversas industrias y procesos.

Es así que se decidió realizar la presente investigación, planteándose los siguientes objetivos:

- Aislar el hidrocoloide de los tallos de ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq*).
- Realizar la caracterización fisicoquímica del hidrocoloide extraído de ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq*).
- Evaluar el efecto de la concentración y temperatura, en el comportamiento reológico de soluciones de hidrocoloide de ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq*).



## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en los ambientes de los laboratorios de Análisis Físicoquímico y Análisis por Instrumentación, de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan (UNHEVAL), Huánuco.

### 2.2. MATERIAL BIOLÓGICO

Para el estudio se emplearon 4 muestras de 3 Kg de tallos frescos de ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq*) provenientes de la microcuenca del río Higueras.

#### Ubicación geográfica

Latitud Sur : 9° 56' 23.406''  
Latitud oeste : 76° 15' 53.197''  
Altitud : 1952 msnm

#### Ubicación política

Región : Huánuco  
Provincia : Huánuco  
Distrito : Huánuco

### 2.3. MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

- **Materiales:** Tubos de ensayo de 10 mL, matraces aforados de 10, 25, 50 y 100 mL, Erlenmeyers de 250 y 500 mL, pipetas de 1, 5 y 10 mL, vasos de precipitados de 100, 250, 600 y 1000 mL, micropipetas de 20 -200  $\mu$ L y 100 – 1000  $\mu$ L, probetas de 25 y 100 mL, placas Petri, desecadores de vidrio, crisoles, celdas para espectrofotómetro de cuarzo y poliestireno, papel de filtro Wathman # 42, jarras medidoras de 1 y 2.5 L, baldes

plásticos de 10 y 20 L, ollas de acero inoxidable de 8 L, entre otros que se mencionen en la metodología.

- **Reactivos:** Ácido clorhídrico al 37% (Sigma-Aldrich), Cloruro de potasio (KCl) (Scharlau), Cloruro de hierro hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ) (Riedel de Haen), Ferrocianuro de potasio ( $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ ) (Riedel de Haen), Ácido gálico (EMURE®, Merck), 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH) (Calbiochem), Reactivo de Folin-Ciocalteu (Sigma-Aldrich), Metanol al 99.9% (Sigma Aldrich), Hidróxido de sodio (NaOH) (EMURE®, Merck), Hidróxido de potasio KOH (EMURE®, Merck), ( $\pm$ )-6-Hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma Aldrich), Persulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ) (EMURE®, Merck), Ácido 3,5-dinitrosalicílico (Sigma-Aldrich), Tartrato de sodio y potasio tetrahidrato ( $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) (Riedel de Haen).
  
- **Equipos:**
  - Baño de agua (Memmert Co. Ltd, WNB14, Alemania)
  - Balanza analítica (A&D®, HR-250AZ, cap. 250g, resolución 0.1 mg, Japón)
  - Balanza digital (Ohaus®, mod. Scout Pro 601, cap. Max. 600 g, resolución 0.1 g, USA)
  - pHmetro (Metrohm, 826 pH mobile, rango -8.000 a +22.000 pH, resolución 0.0, Suiza)
  - Analizador de humedad (A&D®, mod. MX -50, cap. 50g, 0.001 g, precisión 0.01%H, Japón),
  - Centrífuga (Hettich, Rotina 380, 15000 rpm máx. Alemania)
  - Microcentrífuga (eppendorf, MiniSpin® plus, 14500 rpm máx., Alemania)
  - Microcentrífuga refrigerada (eppendorf, 5424 R, 15000 rpm máx., -10 a 40 °C, Alemania),
  - Estufa eléctrica (MMM Group, ECOCEL 55, hasta 250 °C, Alemania)
  - Equipo de ultrasonido (Lab Companion®, mod. UCS – 05, 40 KHz, 25 a 70 °C, USA),

- Horno microondas (Daewoo, mod. KOR\_170S, 2450 MHz, 600 W)
- Cámara de conservación (Frio Tecnocomercial S.A., mod. AG276, rango 2 – 10 °C, Perú),
- Espectrofotómetro UV/Vis (Termo Scientific®, mod. Genesys 10s, USA),
- Espectrofotómetro de absorción atómica (Varian®, mod. Spectraa 55B, USA)
- Mufla (JP Selecta, mod. Select-Horn-TF, hasta 1150 °C, España)
- Reómetro rotacional (Brookfield Engineering Laboratories Inc mod. RVDV III Ultra, USA)
- Purificador (ELGA-VEOLIA, mod. Micra, agua Tipo II, UK)
- Ultrapurificador de agua (ELGA - VEOLIA, PUREAB – Classic, agua Tipo I, 18.2 MΩ, UK)
- Colorímetro (Konica Minolta, mod. CR 400, Japón)

## 2.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Al hidrocoloide aislado se le realizaron los siguientes análisis:

- **Rendimiento de extracción.** Se reporta la relación (%) del peso obtenido por peso de muestra seca empleada para extracción.
- **Determinación de pH.** Los valores de pH de las soluciones de hidrocoloide (0,5%) se midieron con un pHmetro (Metrohm, 826 pHLab, Suiza) a temperatura ambiente (Kurt, 2018)
- **Color e Índice de blancura.** Los valores  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (enrojecimiento/verdor) y  $b^*$  (amarillo/azul) del hidrocoloide en polvo se determinaron mediante un colorímetro Minolta (CR-400, Konica Minolta, Japón), para calcular el índice de blancura (IB) se tomó en cuenta la metodología descrita por Kurt (2018).
- **Cuantificación de proteína.** Se ensayó el método colorimétrico para proteína soluble de Lowry (Waterborg, 2002).
- **Determinación de humedad.** Según la AOAC (2002), código 925.10.
- **Determinación de grasa.** Se realizó la extracción total de la materia grasa libre por soxhlet, según AOAC (2002), código 969.24.

- **Determinación de ceniza.** Según AOAC (2002), código 942.05.
- **Determinación de calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, cobre, zinc y manganeso.** Según el método de la AOAC (2002) por espectrofotometría de absorción atómica.
- **Cuantificación de polifenoles totales.** De acuerdo al método espectrofotométrico de azul de Prussian sugerido por Margraf, Karnopp, Rosso, y Granato (2015).
- **Evaluación de capacidad antioxidante.** Se ensayó el método del radical 2,2-diphenyl-1-picrilhydrazyl (DPPH) descrito por Brand-Williams, Cuvelier y Berset (1995); y el del catión 2,2,-azinobis(3-tilenbenzotiazolino-6 ácido sulfónico) (ABTS+) de acuerdo a lo reportado por Fellegrini, Ke, Yang y Rice-Evans (1999).
- **Comportamiento reológico.** Se determinó con un reómetro rotacional Brookfield® RVDV III Ultra y el spindle ULA de acuerdo a la metodología descrita por Rossa, Burin y Bordignon-Luiz (2012).

## 2.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Durante el desarrollo de la investigación se consideró el esquema experimental que se muestra en la Figura 1. Se obtuvo las muestras de ratanya, se acondicionó y se aisló el hidrocoloide de la corteza; posteriormente se realizaron los análisis respectivos.



Figura 1. Esquema de la conducción experimental.

### 2.5.1. AISLAMIENTO DE HIDROCOLOIDE

La obtención del hidrocoloide de ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq.*) se realizó por medio de una extracción acuosa sólido líquido asistida por ultrasonido, con base a resultados preliminares, mostrado en la Figura 2:

- **Recolección.** La recolección de las muestras se realizó en horas de las mañanas, seleccionándose los tallos de plantas maduras, con diámetros  $\geq 1$  cm, recortados a una altura de 30 cm desde el suelo, las muestras obtenidas fueron transportadas de inmediato a los ambientes del laboratorio para su acondicionamiento.
- **Selección y clasificación.** Esta operación permitió eliminar los materiales extraños y/o restos de hojas, a la vez de estandarizar el diámetro (0,8 – 1,2 cm) y longitud de los tallos (12 -14 cm), para obtener muestras con las mejores condiciones para la investigación.
- **Lavado y desinfección.** Los tallos fueron lavados con agua potable, para luego ser desinfectadas por inmersión en hipoclorito de sodio a 100 ppm por un tiempo de 10 minutos.
- **Oreado.** Esta operación tuvo como objetivo el eliminar la humedad residual de la operación anterior, para lo cual los tallos fueron ubicados sobre rejillas metálicas a temperatura ambiente ( $\sim 23$  °C), por un tiempo de 2 horas.
- **Separación de corteza.** En esta etapa se procedió a remover la corteza de los “centros leñosos” de los tallos de los arbustos con ayuda de una navaja.
- **Secado.** La corteza y el centro leñoso fueron secados en un secador de bandejas por aire forzado tipo cabina a 45 °C por 6 horas, hasta obtener una humedad menor de 14%. El material vegetal seco se almacenó en bolsas de polietileno de alta densidad con cierre hermético, hasta su posterior uso.
- **Extracción.** En base a pruebas preliminares, se trabajó bajo las siguientes condiciones: se inició con la humectación del material

vegetal con agua destilada (1:12,5 p/v para centro leñoso; 1:20 p/v para corteza) por 30 minutos, se homogenizo y dejó la mezcla en maceración por 24 horas a temperatura ambiente. Adicionalmente se ensayaron dos pretratamientos para la extracción; el “Convencional” (MC), consistió en llevar la mezcla a ebullición (>80 °C) por 15 min; el “Método Asistido por Ultrasonido” (MAU), donde la mezcla sonicó en un baño de ultrasonido (Lab Companion®, mod. UCS – 05) por 20 minutos a 40 °C (40 kHz y 20000 W/m<sup>3</sup>); estos pretratamientos se realizaron finalizada la humectación.

- **Filtración.** Después de la maceración, se procedió a filtrar el extracto acuoso obtenido con la ayuda de tela para queso, para eliminar las partículas y restos de corteza.
- **Centrifugado.** El extracto filtrado se centrifugo a 9000 rpm por 20 minutos para precipitar las partículas en suspensión y obtener un extracto mucilaginoso claro y brillante.
- **Precipitación.** El sobrenadante obtenido del centrifugado fue precipitado por adición de alcohol etílico 96° en una proporción 2:1, se homogenizo y dejó reposar por 8 horas. Luego se filtró y lavo el precipitado dos veces con alcohol de 70°.
- **Secado.** El precipitado se secó en estufa a 40 °C por 4 horas, para obtener el hidocoloide aislado.
- **Molienda.** El hidocoloide seco fue triturado en un mortero y pilon de laboratorio, se tamizo por una malla de 250 µM, el producto se almacenó en frascos de vidrio de color ámbar hasta su posterior análisis.

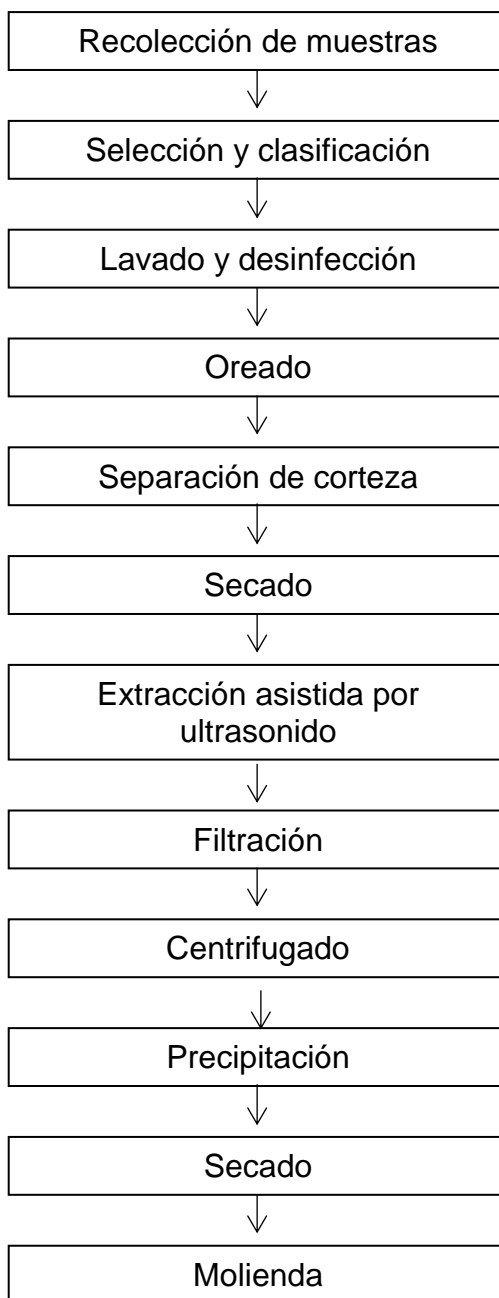


Figura 2: Flujo grama para la extracción del hidocoloide de la corteza de *Triumfetta semitriloba* Jacq.

### **2.5.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA**

Se determinó de acuerdo a las metodologías mencionadas en la sección 2.4.

### **2.5.3. EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO**

Para la evaluación del comportamiento reológico se utilizó un reómetro rotacional de cilindros concéntricos Brookfield modelo RVDV-III Ultra y un spindle ULA (Brookfield Engineering Laboratories, Inc, USA). Los datos se recogieron usando el software Rheocalc® versión 3.3 (Brookfield Engineering Laboratories, Inc, EE. UU.). El reómetro se controló termostáticamente mediante un sistema de circulación de agua, consistente en un baño de agua (WNB14, Memmert Co. Ltd., Alemania) y una bomba sumergible (WP-3400, SOBO Electric Co. Ltd., China).

La preparación de las soluciones de hidrocoloide se realizaron con agua bidestilada, a concentraciones de 0,05; 0,075; 0,100; 0,125; 0,150; 0,175; 0,200 y 0,225 % (p/v), todas las soluciones se dejaron en reposo durante 30 minutos a la temperatura ambiente, luego se ajustó a la temperatura de ensayo (15, 25, 35 y 45 °C), mediante circulación de agua para garantizar la estabilidad antes del análisis.

El comportamiento de flujo de las muestras se midió siguiendo la metodología descrita por Rossa *et al.* (2012). Cada muestra fue sometida a un ciclo de deformación (curvas ascendente o ida y descendente o vuelta) incrementando el gradiente de velocidad cada 20 segundos, hasta llegar a la velocidad máxima (del equipo), la que se mantuvo por 15 minutos antes del inicio de la curva descendente. Las medidas se realizaron por triplicado, usando una solución nueva para cada replica; se registraron la viscosidad, gradiente de velocidad, esfuerzo cortante y %



torque para cada tratamiento desarrollado. Se evaluó el ajuste de los datos obtenidos a los modelos reológicos de la Ley de la Potencia, Bingham, Casson, y Herschel-Bulkley

Para el modelamiento de la concentración, temperatura y el efecto combinado de concentración-temperatura sobre el índice de consistencia (K) del modelo reológico de la Ley de la Potencia, se emplearon las ecuaciones descritas en la sección 3.7.

## 2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para la sistematización y ordenamiento de los datos exportados se trabajó con Microsoft® Word y Excel versión 2016; para el ajuste de los datos a modelos se utilizó el software estadístico OriginPro® Versión 2017, realizando el análisis de regresión simple y múltiple (según sea el caso), asimismo los criterios utilizados para la selección del mejor modelo fueron:

- Coeficiente de determinación Ajustado ( $R^2_{Adj}$ )
- Coeficiente de determinación Ajustado,  $R^2_{Adj} > 0,8$ .
- Chi cuadrado reducido,  $\chi^2_{reducido}$
- Error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés)

Para los análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple (Tukey,  $\alpha = 5\%$ ), se empleó el programa estadístico InfoStat versión Estudiante 2017.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. RATANYA

También conocida como carnaval huayo, sacramento fresa, arbusto negro, cadillo, cadillo de perro, cadillo prieto, caballusa, mozote de caballo, pega pega y abrojo (Romero y Vargas, 2008). Se trata de un arbusto perenne de un solo tallo, alcanza hasta 2 m de altura y 3 cm de diámetro en el tallo; presenta corteza lisa de color gris y un centro leñoso. Las raíces son flexibles, de color tostado y tiene una capa exterior carnosa sobre un centro leñoso. Las hojas miden de 3 a 8 cm de largo, son ampliamente ovadas a rómbico – ovadas. Las flores, que se encuentran en las axilas de las hojas, tienen pétalos amarillos de unos 5 mm de largo. Las frutas son esféricas (6 a 8 mm de diámetro) con numerosas espinas ganchudas, se presentan en grupos de dos o tres. Cada fruta tiene tres compartimentos y contiene tres semillas (Leitão, Meira, Azevedo y Araújo, 2002; Toledo y Santiago, 2012).

De acuerdo al Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS, por sus siglas en inglés, 2018), la clasificación taxonómica de la ratanya es la siguiente:

Reino	:	<i>Plantae</i>
Filo	:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	:	<i>Malvales</i>
Familia	:	<i>Malvaceae</i>
Género	:	<i>Triumfetta</i>
Especie	:	<i>Triumfetta semitriloba</i> Jacq.

Romero y Vargas (2008), realizaron los análisis de composición proximal para los tallos de ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq*), la Tabla 1 muestra sus resultados.

Tabla 1. Análisis proximal de los tallos frescos de ratanya (*Triumfetta semitriloba Jacq.*)

ANÁLISIS	(g/100 g Corteza fresca)
Humedad	73,64
Ceniza	2,64
Grasa	0,50
Proteína	1,22
Carbohidratos totales	22,00

**Fuente:** Tomado de Romero y Vargas, 2008.

Este arbusto es nativo de América Central y Suramérica, pero también se encuentra en México, al sur de Florida, Bermudas y las Antillas (Romero y Vargas, 2008). La especie se ha naturalizado en Hawái, Guam, Samoa Occidental y muchas otras islas del Pacífico, considerada como una mala hierba tropical (Leitão *et al.*, 2002).

Tiene un promedio de vida de entre 1 y 3 años. Hábitat estacional seco, con un comportamiento anual. Las plantas crecen alrededor de 1 m el primer año, con la desaceleración del crecimiento en años posteriores. Debido a su naturaleza como maleza, la plantación, es poco probable y mal aconsejado fuera de su área de distribución natural. De hecho, el control es a menudo necesario en las tierras de cultivo y pastizales (Quintero *et al.*, 2012).

Son variados los usos medicinales que se mencionan para esta planta, entre ellas la infusión de sus hojas como antidiarreico, tratamiento de hernias y problemas del útero; el extracto acuoso de sus hojas frescas es empleado para tratar dolores gastrointestinales, disentería, constipación, cálculos, fiebre, tos, para prevenir abortos y problemas urinarios (Arce-Urbina, Hun-Opfer y Mata-Segreda, 2003; Barraza-Morales, Medrano-Nahuat, y Peraza-Sánchez, 2013).

### 3.2. HIDROCOLOIDES

En la literatura actual se encuentra diferentes definiciones según el contexto y/o ámbito de estudio; a continuación, se presentan tres de las definiciones más aceptadas, por presentar un enfoque bastante completo del término.

Alger (2017:397), en el Diccionario de Ciencia de Polímeros, define hidrocoloide como:

En general, un coloide cuya fase de dispersión muestra una interacción significativa con el agua. Sin embargo, el uso del término a menudo se restringe a polímeros naturales, especialmente polisacáridos, utilizados como agentes espesantes para productos alimenticios, productos de cuidado personal, perforación de petróleo, revestimiento de papel e impresión textil y de alfombras.

Milani y Maleki (2012:17), indican:

Los hidrocoloides o gomas son un grupo diverso de polímeros de cadena larga que se caracterizan por su propiedad de formar dispersiones viscosas y/o geles cuando se dispersan en agua. Estos materiales se encontraron primero en exudados de árboles o arbustos, extractos de plantas o algas marinas, harinas de semillas o granos, limos gomosos de procesos de fermentación y muchos otros productos naturales. La aparición de un gran número de grupos hidroxilo aumenta notablemente su afinidad por unirse a moléculas de agua que los convierten en compuestos hidrófilos. Además, producen una dispersión, que es intermedia entre una solución verdadera y una suspensión, y exhibe las propiedades de un coloide. Teniendo en cuenta estas dos propiedades, se denominan apropiadamente como "coloides hidrófilos" o "hidrocoloides".

El término "hidrocoloides" se usa comúnmente para describir una gama de polisacáridos y proteínas que son ampliamente utilizados actualmente en una variedad de sectores industriales para realizar una serie de funciones que incluyen espesamiento y gelificación de soluciones acuosas, espumas, estabilizantes, emulsiones y dispersiones, inhibición del hielo y la formación de cristales de azúcar y la liberación controlada de sabores, etc. (Williams y Phillips, 2009).

### **3.2.1. Propiedades funcionales en alimentos**

A continuación, se hace una breve descripción de las propiedades funcionales clave por las cuales son usados los hidrocoloides en la industria.

#### **– Propiedades de aumento de la viscosidad o engrosamiento**

Milani y Maleki (2012), mencionan que la principal razón detrás del amplio uso de hidrocoloides en los alimentos es su capacidad para modificar la reología del sistema alimentario. La modificación de la textura y/o viscosidad del sistema alimentario ayuda a modificar sus propiedades sensoriales. El efecto espesante producido dependerá del tipo de hidrocoloide utilizado (masa molecular y estructura), su concentración, el sistema alimentario en el que se utiliza (composición, pH y temperatura).

#### **– Propiedades gelificantes**

Las formas particuladas hinchadas de hidrocoloides gelificados son particularmente útiles ya que combinan la formación de estructuras macroscópicas con una capacidad de fluir y a menudo tienen una textura sólida, suave y atractiva, que se busca especialmente en aplicaciones alimenticias, todas con altos contenidos de agua (> 95%). Las redes de gel de hidrocoloide se forman a través del entrelazado y la reticulación de las cadenas de polímero para formar una red tridimensional. El mecanismo por el cual se produce esta vinculación entre cadenas puede variar.

Varios parámetros como la temperatura, la presencia de iones y la estructura inherente del hidrocólide pueden afectar la disposición física de las zonas de unión dentro de la red (Milani y Maleki 2012).

– **Actividad superficial y propiedades emulsionantes**

La funcionalidad de los hidrocóides como emulsionantes y/o estabilizadores de emulsión se correlaciona con fenómenos tales como: retraso de la precipitación de partículas sólidas dispersas, disminución de las tasas de formación de gotas de aceite en cremas y espumas, prevención de la agregación de partículas dispersas, prevención de la sinéresis de sistemas gelificados que contienen aceites y retraso de la coalescencia de las gotas de aceite. Se cree que los hidrocóides se adsorberán (sobre superficies sólidas o líquidas) muy lentamente, de forma débil y con una carga superficial muy limitada, si es que lo hacen (Milani y Maleki 2012).

– **Hidrocóides como películas y recubrimientos comestibles**

Una película comestible se define como una capa delgada, que puede consumirse, cubrirse con un alimento o colocarse como barrera entre la comida y el ambiente circundante. El ejemplo más familiar de los envases comestibles es la carne de embutido en la carcasa que no se retira para cocinar y comer.

Los hidrocóides se utilizan para producir películas comestibles en superficies de alimentos y entre componentes de alimentos. Tales películas sirven como inhibidores de la migración de humedad, gas, aroma y lípidos. Se han usado muchas gomas y derivados para propuestas de recubrimiento. Incluyen alginato, carragenano, celulosa y sus derivados, pectina, almidón y sus derivados, entre otros. Dado que estos hidrocóides son hidrófilos, los revestimientos que producen tienen propiedades de barrera a la humedad limitadas por la naturaleza. Sin embargo, si se usan en forma de gel, pueden retrasar la pérdida de humedad durante el almacenamiento a corto plazo cuando el gel actúa como un agente de sacrificio en lugar de una barrera para la transmisión de la humedad (Milani y Maleki 2012).

– **Hidrocoloides como sustitutos de la grasa**

Los cambios en el estilo de vida moderno, la creciente conciencia del vínculo entre la dieta y la salud y las nuevas tecnologías de procesamiento han llevado a un rápido aumento en el consumo de comidas preparadas, alimentos novedosos y el desarrollo de productos alimenticios ricos en fibra y bajos en grasas. Los materiales calóricos como las grasas y los aceites pueden reemplazarse por "agua estructurada" para darles alimentos saludables y bajos en calorías con una excelente calidad alimentaria. En particular, numerosos productos hidrocoloides se han desarrollado específicamente para su uso como sustitutos de la grasa en los alimentos. Esto ha llevado a una mayor demanda de hidrocoloides (Milani y Maleki 2012).

– **Nutricional y nutracéutico**

Ya existe un amplio uso de algunos hidrocoloides, goma arábica y goma guar, por ejemplo, como fuentes de fibra dietética soluble. Se han llevado a cabo muchas investigaciones sobre los beneficios nutracéuticos de los hidrocoloides. Los beneficios potenciales van desde la reducción del colesterol hasta la prevención del riesgo de cáncer. Su uso en programas de pérdida de peso ya está muy extendido y es probable que se expanda aún más (Imeson, 2011).

### **3.3. REOLOGÍA**

La reología se define como 'la ciencia que se ocupa del estudio de la deformación y el flujo de la materia'. Sus principios se pueden aplicar a cualquier tipo de material (productos tecnológicos y naturales), desde fluidos móviles como agua, plásticos, sangre, pinturas, cosméticos, suelos, vidrios, goma, lubricantes, materiales cerámicos, rocas y, por supuesto, alimentos y bebidas, etc. Logra sus objetivos mediante modelos que representan las principales peculiaridades del comportamiento de estos materiales. El comportamiento del material es una

relación entre fuerzas y cambios de forma. Un modelo da una formulación matemática de tal relación. Las propiedades reológicas se expresan mediante la estructura del modelo (es decir, su imagen matemática) y los valores de las constantes incluidas en el modelo son características del material (Bourne, 2002; Malkin y Isayev, 2017).

En términos de alimentos, "la reología es el estudio de la deformación y el flujo de las materias primas, los productos intermedios y los productos finales de la industria alimentaria" (Ahmed, Ptaszek y Basu, 2016).

### **3.4. CLASIFICACIÓN DE COMPORTAMIENTO DE FLUIDOS**

Uno puede clasificar los líquidos de dos maneras diferentes; ya sea de acuerdo con su respuesta a la presión aplicada externamente o de acuerdo con los efectos producidos bajo la acción de un esfuerzo cortante. El primer esquema de clasificación conduce a los llamados fluidos "compresibles" e "incompresibles", dependiendo de si el volumen de un elemento de fluido depende o no de su presión. Si bien la compresibilidad influye en las características de flujo de los gases, los líquidos normalmente pueden considerarse como incompresibles y es su respuesta al corte lo que es de mayor importancia (Chhabra y Richardson, 2008).

#### **3.4.1. Fluido newtoniano**

Considerando el sistema que se muestra en la Figura 3; se tiene dos placas planas paralelas, entre estas, el fluido de espesor  $dy$  (m). La placa superior (móvil) con un área  $A$  ( $m^2$ ) se mueve con una velocidad  $v$  (m/s) por la fuerza  $F$  ( $N = kg.m/ s^2$ ). Como la placa inferior es estacionaria, se puede considerar que el fluido consiste en varias capas, cada una de las cuales se mueve a una velocidad diferente entre cero (en la placa estacionaria) y  $v$  en la placa móvil (Braun y Rosen, 1999; Brummer, 2006). El flujo que surge es laminar y no turbulento, por lo que se pueden hacer las siguientes definiciones:



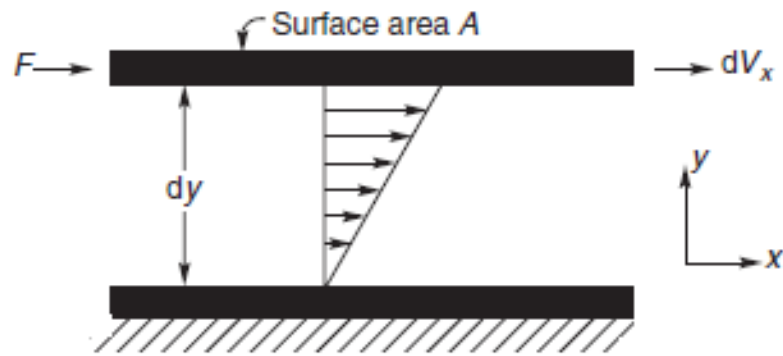


Figura 3. Representación esquemática del flujo de corte unidireccional.

(Fuente: Tomado de Chhabra y Richardson, 2008).

La relación de la fuerza  $F$  con el área  $A$  se denomina esfuerzo de corte:

$$\tau_{yx} = \frac{F}{A} = \mu \left( -\frac{dV_x}{dy} \right) = \mu (\dot{\gamma}_{yx}) \quad (\text{N/m}^2 = \text{Pa}) \quad (1)$$

La relación de la velocidad  $v$  al espesor  $h$  es la velocidad de corte:

$$\dot{\gamma}_{yx} = -\frac{dV_x}{dy} \quad (1/\text{s}) \quad (2)$$

La deformación que surge es:

$$\gamma = \frac{x}{h} \quad (\text{adimensional}) \quad (3)$$

Este experimento nos proporciona la siguiente información adicional: el aumento del esfuerzo cortante es proporcional a la velocidad de corte. El factor de proporcionalidad fue llamado viscosidad por Sir Isaac Newton:

$$\mu = \tau_{yx} / \dot{\gamma}_{yx} \quad (\text{Pa}\cdot\text{s}) \quad (4)$$

Esta ley se aplica solo a una categoría muy pequeña de sustancias llamadas fluidos newtonianos, donde se le denomina coeficiente de viscosidad (Brummer, 2006).

En un fluido newtoniano el coeficiente de viscosidad es constante. Un gráfico de esfuerzo cortante frente a la velocidad de corte da como resultado una línea recta que pasa por el origen. En este caso, la "viscosidad diferencial" y la "viscosidad aparente" son idénticas. En un fluido newtoniano, por lo tanto, el coeficiente de viscosidad se conoce simplemente como la viscosidad. Como la viscosidad es constante e independiente de la velocidad de corte, una medición sirve para caracterizar completamente el sistema (Braun y Rosen, 1999).

### **3.4.2. Fluido no newtoniano**

Un fluido no newtoniano es aquel cuya curva de flujo (esfuerzo cortante versus velocidad de corte) no es lineal o no pasa por el origen, es decir, donde la viscosidad aparente (el esfuerzo cortante dividido por la velocidad de corte), no es constante a una temperatura y presión dada, pero depende de las condiciones del flujo, como la geometría del flujo, la velocidad de corte, etc. y, a veces, incluso del historial cinemático del elemento de fluido considerado (Chhabra y Richardson, 2008). Dichos materiales se pueden agrupar convenientemente en tres clases generales:

- Fluidos para los cuales la velocidad de corte en cualquier punto está determinada solo por el valor de la tensión de corte en ese punto en ese instante; estos fluidos se conocen como "independientes del tiempo", "puramente viscosos", "inelásticos" o "fluidos newtonianos generalizados" (GNF).
- Fluidos más complejos para los cuales la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte depende, además, de la duración del corte y su historial cinemático; se los llama 'fluidos dependientes del tiempo'.
- Sustancias que exhiben características tanto de fluidos ideales como de sólidos elásticos y que muestran recuperación elástica parcial, después de la deformación; estos se clasifican como 'fluidos visco-elásticos'.

Este esquema de clasificación es arbitrario ya que la mayoría de los materiales reales a menudo exhiben una combinación de dos o incluso los tres tipos de características no newtonianas. En general, es posible identificar la característica no newtoniana dominante y tomar esto como base para los cálculos del proceso posterior. Además, como se mencionó anteriormente, es conveniente definir una viscosidad aparente de estos materiales como la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte, aunque la última relación es una función del esfuerzo cortante o la velocidad de cizallamiento y/o del tiempo (Chhabra y Richardson, 2008).

### 3.5. COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO INDEPENDIENTE DEL TIEMPO

En el corte simple, el comportamiento del flujo de esta clase de materiales puede describirse por una relación constitutiva de la forma,

$$\dot{\gamma}_{yx} = f(\tau_{yx}) \quad (5)$$

o su forma inversa:

$$\tau_{yx} = f_1(\dot{\gamma}_{yx}) \quad (6)$$

Esta ecuación implica que el valor de  $\dot{\gamma}_{yx}$  en cualquier punto dentro del fluido cortado se determina solo por el valor actual del esfuerzo de corte en ese momento, o viceversa (Chhabra y Richardson, 2008). Según la forma de la función en las Ecuaciones (5) o (6), estos fluidos pueden subdividirse en tres tipos:

- (a) diluyente por cizalladura o pseudoplástico
- (b) viscoplástico
- (c) espesante por cizalladura o dilatante.

Las curvas de flujo cualitativas en escalas lineales para estos tres tipos de comportamiento del fluido se muestran en la Figura 4; la relación lineal típica de los fluidos newtonianos también está incluida.

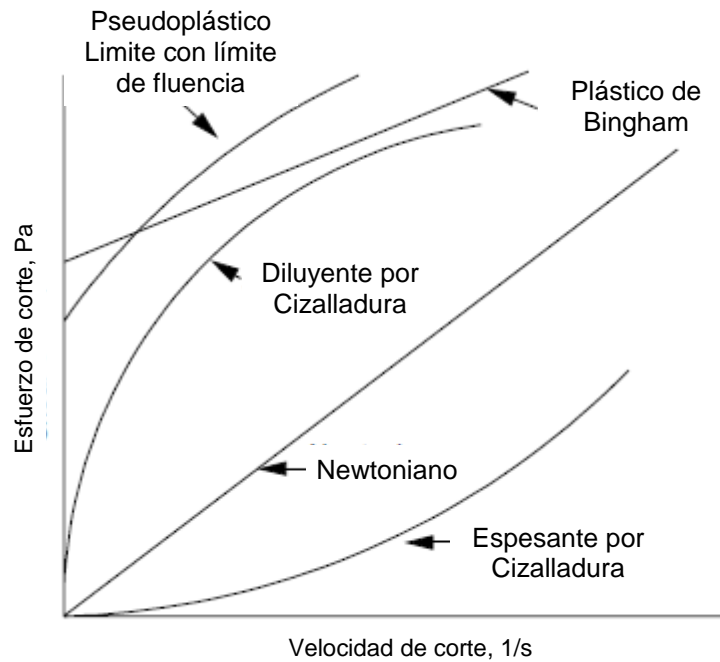


Figura 4. Curvas para fluidos típicos independientes del tiempo

(Fuente: Tomado de Steffe, 1996).

### 3.5.1. Líquidos pseudoplásticos o adelgazantes (*Shear-Thinning*)

El tipo más común de comportamiento del fluido no newtoniano independiente del tiempo observado es la pseudoplasticidad o el diluyente por cizallamiento (o adelgazante), que se caracteriza por una viscosidad aparente que disminuye al aumentar la velocidad de cizallamiento. Tanto a velocidades de cizalladura muy bajas como a muy altas, la mayoría de las soluciones y polímeros fundidos diluyentes presentan comportamiento newtoniano, es decir, los diagramas de esfuerzo cortante-velocidad de cizalladura se convierten en líneas rectas (Figura 5) y en una escala lineal pasará por el origen (Chhabra y Richardson, 2008).

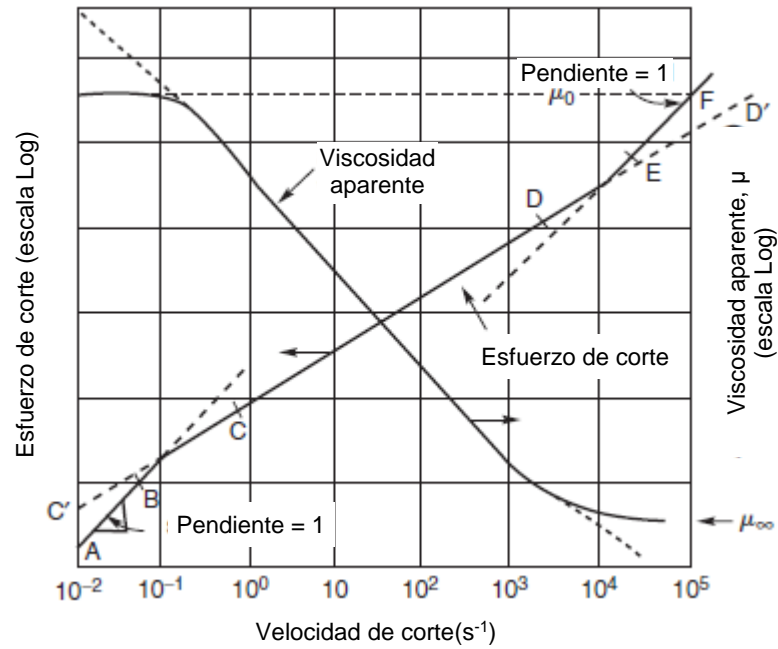


Figura 5. Representación esquemática del comportamiento de adelgazamiento por cizalladura

(Fuente: Tomado de Chhabra y Richardson, 2008).

Los valores resultantes de la viscosidad aparente a velocidades de cizallamiento muy bajas y altas se conocen como la viscosidad de cizallamiento cero,  $\mu_0$  y la viscosidad de cizalladura infinita,  $\mu_\infty$ . Por lo tanto, la viscosidad aparente de un fluido diluyente por cizallamiento disminuye de  $\mu_0$  a  $\mu_\infty$  con una tasa de cizallamiento creciente. Los datos que abarcan un rango suficientemente amplio de tasas de cizallamiento para ilustrar este espectro completo de comportamiento pseudoplástico son difíciles de obtener y son escasos. Un solo instrumento no tendrá tanto la sensibilidad requerida en la región de baja velocidad de corte y la robustez a altas velocidades de corte, por lo que a menudo se requieren varios instrumentos para lograr este objetivo; esto queda ilustrado en la Figura 6 (Boger, 1977; Chhabra y Richardson, 2008).

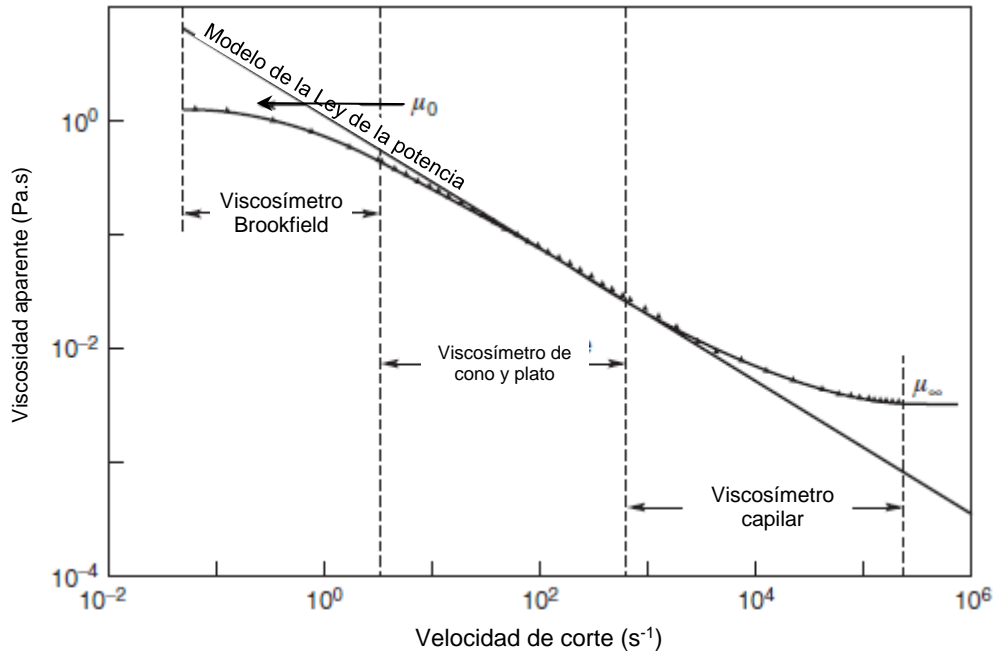


Figura 6. Demostración de viscosidades a velocidad de corte cero e infinito para una solución de polímero pseudoplástico  
(Fuente: Tomado de Boger, 1977).

Los valores de las velocidades de cizallamiento que marcan el inicio de las viscosidades límite superior e inferior dependen de varios factores, tales como el tipo y concentración de polímero, su distribución de peso molecular y la naturaleza del disolvente, etc. Por lo tanto, es difícil sugerir generalizaciones válidas, pero muchos materiales exhiben sus viscosidades límite a velocidades de corte por debajo de  $10^{-2} s^{-1}$  y arriba  $10^5 s^{-1}$ , respectivamente (Figura 6). Generalmente, el rango de velocidad de cizallamiento sobre el cual la viscosidad aparente es constante (en la región de cizallamiento cero) aumenta a medida que disminuye el peso molecular del polímero, a medida que su distribución de peso molecular se hace más estrecha y disminuye la concentración de polímero (en solución). De manera similar, la velocidad de disminución de la viscosidad aparente con velocidad de corte también varía de un material a otro (Chhabra y Richardson, 2008).

Se han propuesto muchas expresiones matemáticas de complejidad y forma variables en la literatura para modelar las características de

adelgazamiento o dilución por corte, por lo que en este punto solo se describirán los modelos de viscosidad más ampliamente utilizados.

### **Ley de Potencia o modelo de Ostwald de Waele**

La relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de corte (trazada en coordenadas logarítmicas dobles) para un fluido de dilución por corte a menudo se puede aproximar por una línea recta sobre un rango limitado de velocidad de corte (o tensión). Para esta parte de la curva de flujo, se aplica una expresión de la siguiente forma:

$$\tau_{yx} = K(\dot{\gamma}_{yx})^n \quad (7)$$

Por lo tanto, la viscosidad aparente para el llamado fluido de ley de potencia (u Ostwald de Waele) está dada por:

$$\mu = \tau_{yx}/\dot{\gamma}_{yx} = K(\dot{\gamma}_{yx})^{n-1} \quad (8)$$

Para:  $n < 1$ , el fluido exhibe propiedad diluyente por cizallamiento.  
 $n = 1$ , el fluido muestra comportamiento newtoniano.  
 $n > 1$ , el fluido muestra un comportamiento espesante por cizallamiento.

En estas ecuaciones,  $K$  y  $n$  son dos parámetros empíricos que se ajustan a la curva, se los conoce como el coeficiente de consistencia del fluido y el índice de comportamiento del flujo, respectivamente. Para un fluido diluyente por cizallamiento, el índice puede tener cualquier valor entre 0 y 1. Cuanto menor es el valor de  $n$ , mayor es el grado de dilución por corte. Para un fluido espesante por cizallamiento, el índice  $n$  será mayor que la unidad. Cuando  $n = 1$ , las ecuaciones (7) y (8) se reducen a la ecuación (1) que describe el comportamiento del fluido newtoniano (Rao, 2014).

Aunque el modelo de ley de potencia ofrece la representación más simple del comportamiento de dilución por cizalladura, tiene varias deficiencias. En general, se aplica solo a un rango limitado de velocidades de corte y, por lo tanto, los valores fijados de  $K$  y  $n$  dependerán del rango de velocidades de corte considerado. Además, no predice las viscosidades de corte cero e infinito, como se muestra en la Figura 6. Finalmente, se debe tener en cuenta que las dimensiones del coeficiente de consistencia del flujo,  $K$ , dependen del valor numérico de  $n$  y, por lo tanto, los  $K$  valores no se deben comparar cuando los valores de  $n$  difieren. Por otro lado, el valor de  $K$  puede verse como el valor de la viscosidad aparente a la velocidad de cizalladura de la unidad y, por lo tanto, dependerá de la unidad de tiempo (por ejemplo, segundo, minuto u hora) empleada. A pesar de estas limitaciones, este es quizás el modelo más utilizado en la literatura sobre aplicaciones de ingeniería de procesos (Chhabra y Richardson, 2008).

### **Modelo de Carreau**

Cuando hay desviaciones significativas del modelo de la ley de potencia a velocidades de cizallamiento muy altas y muy bajas, como se muestra en la Figura 6, es necesario utilizar un modelo que tenga en cuenta los valores límite de las viscosidades  $\mu_0$  y  $\mu_\infty$ .

Con base en las consideraciones de la red molecular, Carreau (1972) presentó el siguiente modelo de viscosidad que incorpora las dos viscosidades límite  $\mu_0$  y  $\mu_\infty$ :

$$\frac{\mu - \mu_\infty}{\mu_0 - \mu_\infty} = \left\{ 1 + \left( \lambda \dot{\gamma}_{yx} \right)^2 \right\}^{(n-1)/2} \quad (9)$$

Donde  $n$  ( $<1$ ) y  $\lambda$  son dos parámetros de ajuste de curva. Este modelo puede describir el comportamiento diluyente por cizalladura en amplios rangos de tasas de corte, pero solo a expensas de la complejidad agregada de cuatro parámetros. Este modelo predice el



comportamiento del fluido newtoniano  $\mu = \mu_0$  cuando  $n = 1$  o  $\lambda = 0$ , o ambos (Steffe, 1996; Chhabra y Richardson, 2008; Rao, 2014).

### Modelo de Cross

Otro modelo de cuatro parámetros que ha ganado amplia aceptación se debe a Cross (1965) que, en cizalla simple, se escribe como:

$$\frac{\mu - \mu_\infty}{\mu_0 - \mu_\infty} = \frac{1}{1 + K(\dot{\gamma}_{yx})^m} \quad (10)$$

Donde, escrito de esta manera particular,  $K$  tiene las dimensiones de tiempo, y  $m$  es adimensional, mientras que  $\mu_0$  y  $\mu_\infty$  son los valores límite de la viscosidad aparente a tasas de cizalladura baja y alta, respectivamente. Cuando este modelo se utiliza para describir líquidos no newtonianos, el grado de adelgazamiento por cortante está dictado por el valor de  $m$ , con  $m$  tendiendo a cero se describen más líquidos newtonianos, mientras que la mayoría de los líquidos de dilución por cizalladura tienen un valor de  $m$  tendiendo a la unidad (Barnes, 2000). De manera similar, cuando  $\mu \ll \mu_0$  y  $\mu \gg \mu_\infty$ , se reduce al modelo de la ley de la potencia, ecuación (8). Aunque inicialmente Cross (1965) sugirió que un valor constante de  $m = 2/3$  fue adecuado para aproximar los datos de viscosidad para muchos sistemas, ahora se piensa que tratar el índice,  $m$ , como un parámetro ajustable ofrece una mejora considerable sobre el uso del valor constante de  $m$  (Chhabra y Richardson, 2008; Rao, 2014).

### 3.5.2. Comportamiento del fluido visco plástico

Este tipo de comportamiento del fluido se caracteriza por la existencia de una tensión de fluencia ( $\tau_0$ ) que debe excederse antes de que el fluido se deforme o fluya. Por el contrario, dicho material se deformará elásticamente (o fluirá en masa como un cuerpo rígido) cuando la tensión aplicada externamente sea menor que la tensión de fluencia. Una vez que la magnitud de la tensión externa ha excedido el valor de la tensión de fluencia, la curva

de flujo puede ser lineal o no lineal, pero no pasará por el origen (Figura 4). Por lo tanto, en ausencia de efectos de tensión superficial, dicho material no se nivelará bajo la gravedad para formar una superficie libre absolutamente plana. Sin embargo, se puede explicar este tipo de comportamiento de fluidos postulando que la sustancia en reposo consiste en estructuras tridimensionales de suficiente rigidez para resistir cualquier tensión externa menor que  $\tau_0$ . Para niveles de estrés superiores a  $\tau_0$ ; sin embargo, la estructura se descompone y la sustancia se comporta como un material viscoso. En algunos casos, se ha descubierto que la acumulación y la descomposición de la estructura son reversibles, es decir, la sustancia puede recuperar su valor inicial de la tensión de fluencia (Chhabra y Richardson, 2008).

Un fluido con una curva de flujo lineal para  $|\tau_{yx}| > |\tau_0|$  se llama fluido plástico de Bingham y se caracteriza por una viscosidad plástica constante (la pendiente de la curva de tensión de corte frente a la velocidad de corte) y un límite elástico. Por otro lado, una sustancia que posee un límite elástico, así como una curva de flujo no lineal sobre coordenadas lineales ( $|\tau_{yx}| > |\tau_0|$ ), se denomina material de "pseudoplástico con límite de fluencia". Un ejemplo de estos comportamientos se muestra en la Figura 7.

Es interesante observar que un material viscoplástico también muestra una viscosidad aparente que disminuye al aumentar la velocidad de cizallamiento. A velocidades de cizallamiento muy bajas, la viscosidad aparente es efectivamente infinita en el instante inmediatamente anterior a que la sustancia ceda y comience a fluir. Por lo tanto, es posible considerar estos materiales como poseedores de una clase particular de comportamiento de adelgazamiento por cizallamiento (Chhabra y Richardson, 2008).

Estrictamente hablando, es virtualmente imposible determinar si un material real tiene un verdadero límite elástico o no, sin embargo, el concepto de un límite de fluencia ha demostrado ser conveniente en la práctica debido

a algunos materiales estrechamente relacionados con este tipo de comportamiento de flujo. Muchos trabajadores en este campo ven la tensión de fluencia en términos de la transición de un estado similar a un sólido (alta viscosidad) a uno similar a un líquido (baja viscosidad) que ocurre abruptamente en un rango extremadamente estrecho de velocidades de cizalladura o tensión de corte (Uhlherr, Guo, Tiu, Zhang, Zhou, y Fang, 2005). No es raro que los dos valores de viscosidad difieran entre sí en varios órdenes de magnitud. La respuesta a la pregunta de si un fluido tiene un límite de fluencia o no, parece estar relacionado con la elección de una escala de tiempo de observación. Ejemplos comunes de comportamiento del fluido viscoplastico incluyen suspensiones de partículas, emulsiones, alimentos, sangre y lodos de perforación, etc. (Barnes, 1999; Chhabra y Richardson, 2008).

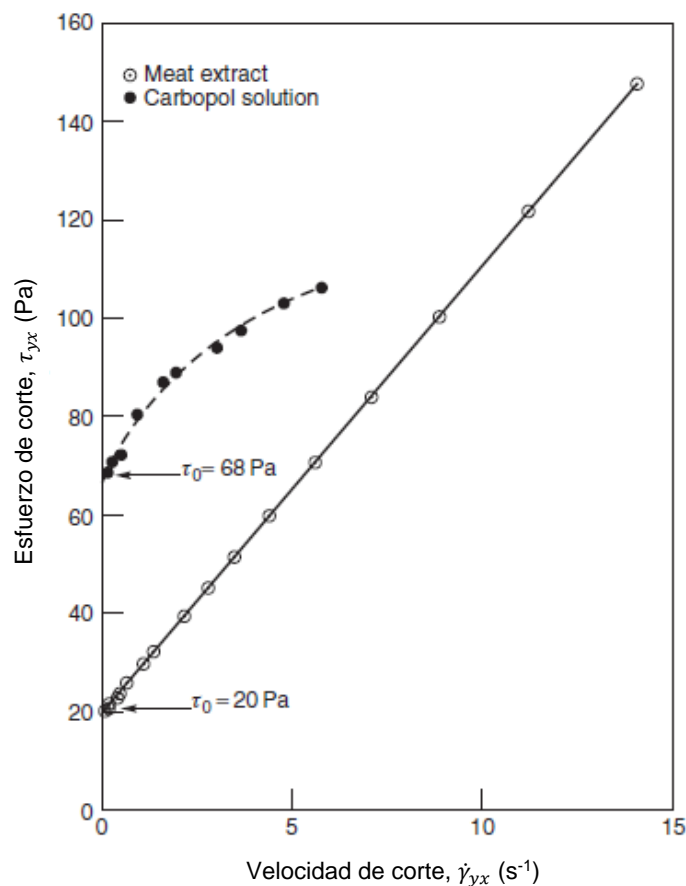


Figura 7. Datos representativos del esfuerzo cortante vs velocidad de corte que muestran el comportamiento viscoplastico en un extracto de carne (plástico Bingham) y en una solución acuosa de polímero carbopol (pseudoplástico con límite de fluencia).

(Fuente: Tomado de Chhabra y Richardson, 2008)

Se han propuesto muchas expresiones empíricas como resultado de ejercicios sencillos de ajuste de curvas, pero son tres los modelos comúnmente usados para fluidos viscoplásticos.

### **El modelo de plástico de Bingham**

Esta es la ecuación más simple que describe el comportamiento de flujo de un fluido con un límite de fluencia y, en cizalla unidimensional constante, se escribe como:

$$\begin{aligned} \tau_{yx} &= \tau_0^B + \mu_B(\dot{\gamma}_{yx}) & \text{para } |\tau_{yx}| > |\tau_0^B| \quad (11) \\ \dot{\gamma}_{yx} &= 0 & \text{para } |\tau_{yx}| < |\tau_0^B| \end{aligned}$$

A menudo, los dos parámetros del modelo  $\tau_0^B$  (límite de fluencia) y  $\mu_B$  (viscosidad plástica) se tratan como constantes de ajuste de curvas independientemente de si el fluido posee o no un verdadero límite plástico (Barnes, 2000; Chhabra y Richardson, 2008; Malkin y Isayev, 2017).

### **El modelo de fluido Herschel-Bulkley**

Una generalización simple del modelo de plástico Bingham para abarcar la curva de flujo no lineal (para  $|\tau_{yx}| > |\tau_0^B|$ ) es el modelo de fluido constante de Herschel-Bulkley (Chhabra y Richardson, 2008). En el movimiento de cizalla constante unidimensional, está escrito como:

$$\begin{aligned} \tau_{yx} &= \tau_0^H + K(\dot{\gamma}_{yx})^n & \text{para } |\tau_{yx}| > |\tau_0^H| \quad (12) \\ \dot{\gamma}_{yx} &= 0 & \text{para } |\tau_{yx}| < |\tau_0^H| \end{aligned}$$

Tenga en cuenta que también aquí, las dimensiones de  $K$  dependen del valor de  $n$ . El significado físico de  $K$  y  $n$  ( $< 1$ ) en la ecuación (12) es similar al de la ecuación (7). Con el uso del tercer parámetro ( $\tau_0^H$ , límite de fluencia), este modelo proporciona un ajuste algo mejor a algunos datos experimentales. Aquí se observa que el

concepto de límite de fluencia se ha cuestionado (Barnes y Walters, 1989) porque un fluido puede deformarse minuciosamente a valores de tensión inferiores al límite elástico. Sin embargo, el estrés de fluencia puede considerarse una realidad de ingeniería y juega un papel importante en muchos productos alimenticios (Rao, 2014).

### **El modelo de fluido de Casson**

El modelo de Casson (1959), está basado en la estructura, aunque se desarrolló originalmente para caracterizar las tintas de impresión, se ha utilizado para caracterizar alimentos y materiales biológicos:

$$\begin{aligned} (|\tau_{yx}|)^{1/2} &= (|\tau_0^C|)^{1/2} + (\mu_C |\dot{\gamma}_{yx}|)^{1/2} \quad \text{para } |\tau_{yx}| > |\tau_0^C| \\ \dot{\gamma}_{yx} &= 0 \quad \text{para } |\tau_{yx}| < |\tau_0^C| \end{aligned} \quad (13)$$

Para un fluido cuyo comportamiento de flujo sigue el modelo de Casson, se obtiene una línea recta cuando la raíz cuadrada de la velocidad de corte,  $(|\dot{\gamma}_{yx}|)^{1/2}$ , se traza contra la raíz cuadrada del esfuerzo cortante,  $(|\tau_{yx}|)^{1/2}$ , con pendiente  $(\mu_C)^{1/2}$  e intersección  $(|\tau_0^C|)^{1/2}$ . El límite elástico de Casson se calcula como el cuadrado de la intersección,  $\tau_0^C$  y la viscosidad plástica de Casson como el cuadrado de la pendiente,  $\mu_C$  (Rao, 2014).

### **3.5.3. Comportamiento dilatante o espesante (*Shear-Thickening*)**

Los fluidos dilatantes son similares a los sistemas pseudoplásticos ya que no muestran tensión de fluencia, pero su viscosidad aparente aumenta al aumentar la velocidad de cizallamiento; por lo tanto, estos fluidos también se denominan de engrosamiento o espesantes por cizalladura (Chhabra y Richardson, 2008).

Este tipo de flujo se ha encontrado en dispersiones de almidón parcialmente gelatinizadas. La expresión “dilatante” se usa de forma popular e incorrecta para describir el engrosamiento por corte. Sin embargo, debido

a que la dilatancia implica un aumento en el volumen de la muestra durante la prueba, es incorrecto usarla para describir el comportamiento reológico espesante por cizalladura. Estrictamente hablando, el engrosamiento por corte debería deberse al aumento en el tamaño de las unidades estructurales como resultado del corte (Rao, 2014).

De los fluidos independientes del tiempo, esta subclase ha recibido muy poca atención; en consecuencia, muy pocos datos confiables están disponibles. Hasta hace poco, este comportamiento de flujo se consideraba mucho menos extendido en las industrias químicas y de procesamiento, sin embargo, con el creciente interés reciente en el manejo y procesamiento de sistemas con altas cargas de sólidos, ya no es así (Chhabra y Richardson, 2008).

La información limitada reportada hasta ahora sugiere que los datos aparentes de tasa de cizalladura a menudo resultan en gráficas lineales en coordenadas logarítmicas dobles sobre un rango de velocidad de cizalladura limitada y el comportamiento del flujo puede ser representado por el modelo de ley de potencia, ecuación (7), con el índice de comportamiento de flujo,  $n$ , mayor que la unidad, es decir,

$$\mu = K(\dot{\gamma}_{yx})^{n-1} \quad (7)$$

Uno puede ver fácilmente que para  $n > 1$ , la ecuación (7) predice el aumento de la viscosidad con el aumento de la velocidad de corte. Este comportamiento puede observarse en suspensiones moderadamente concentradas a altas velocidades de cizallamiento, y, sin embargo, la misma suspensión puede presentar un comportamiento pseudoplástico a velocidades de cizallamiento más bajas; aún no es posible determinar si estos materiales también muestran viscosidades aparentes limitantes (Chhabra y Richardson, 2008).

### 3.6. COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO DEPENDIENTE DEL TIEMPO

El comportamiento del flujo de muchos materiales industrialmente importantes no puede describirse por una ecuación reológica simple como (7) o (8). En la práctica, las viscosidades aparentes pueden depender no solo de la velocidad de cizallamiento sino también del tiempo durante el cual el fluido ha sido sometido a cizallamiento. Por ejemplo, cuando materiales tales como suspensiones de bentonita-agua, suspensiones de barro rojo (flujo de residuos de la industria del aluminio), pasta de cemento, aceites crudos y ciertos alimentos se cortan a velocidad constante después de un largo período de reposo, sus viscosidades aparentes disminuyen gradualmente ya que la estructura 'interna' del material se descompone progresivamente. A medida que disminuye el número de "enlaces" estructurales capaces de descomponerse, la velocidad de cambio de la viscosidad aparente con el tiempo disminuye progresivamente a cero. Por el contrario, a medida que la estructura se descompone, la velocidad a la que los enlaces pueden volver a formarse aumenta, de modo que finalmente se alcanza un estado de equilibrio dinámico cuando se equilibran las tasas de acumulación y descomposición (Chhabra y Richardson, 2008).

La caracterización de estos tipos de fluidos es un importante problema de investigación en la actualidad. La principal dificultad para obtener datos fiables tixotrópicos o antitixotrópicos es que a menudo la carga de la muestra de prueba en una geometría de medición induce cambios estructurales que no pueden controlarse ni expresarse cuantitativamente (Rao, 2014).

#### 3.6.1. Tixotropía

Se dice que un material exhibe tixotropía, si cuando se cizalla a velocidad constante, su viscosidad aparente (o el esfuerzo cortante correspondiente) disminuye con el tiempo de cizallamiento. Si la curva de flujo se mide en un único experimento en el que la velocidad de cizalladura se incrementa constantemente a una velocidad constante de cero a algún valor máximo y luego disminuye a la misma velocidad a cero nuevamente, un ciclo de histéresis de la forma que se muestra en la Figura 8 es obtenido; la altura, la forma y el área cerrada del ciclo de histéresis dependen de la

duración del corte, la tasa de aumento/disminución de la velocidad de corte y el historial cinemático pasado de la muestra. En términos generales, cuanto mayor sea el área cerrada, más fuerte es el comportamiento dependiente del tiempo de los materiales. Por lo tanto, no se observa ningún ciclo de histéresis para los fluidos independientes del tiempo, es decir, el área cerrada del ciclo es cero. Además, en algunos casos, la ruptura de la estructura por cizallamiento es reversible en el sentido de que al eliminar la cizalladura y después de un período de descanso, es posible que el fluido recupere (acumulación de estructura) el valor inicial de la viscosidad (Chhabra y Richardson, 2008).

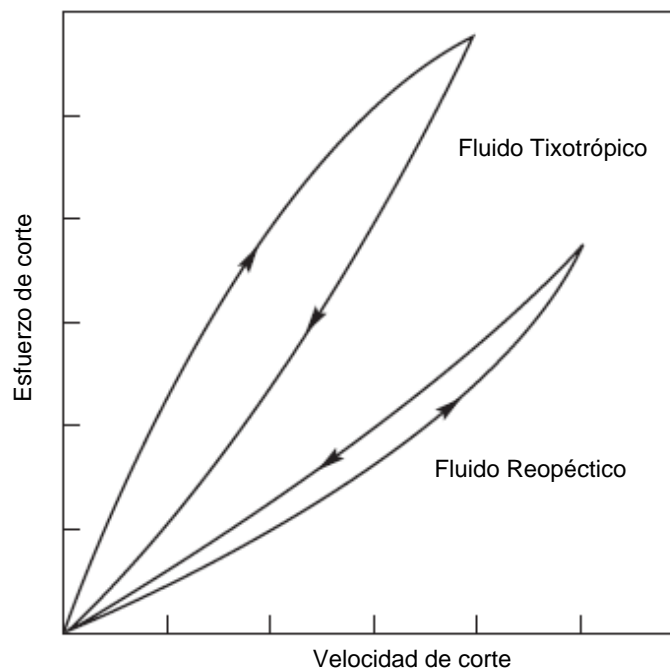


Figura 8. Comportamiento de velocidad de cizallamiento por esfuerzo de corte esquemático para el comportamiento de fluido dependiente del tiempo

(Fuente: Tomado de Chhabra y Richardson, 2008).

El término "cuerpo falso" se ha introducido para describir el comportamiento tixotrópico de los materiales viscoplásticos. Aunque la tixotropía está asociada con la acumulación de estructura en reposo y la ruptura de la estructura bajo cizallamiento, los materiales viscoplásticos no pierden por completo sus propiedades sólidas y aún pueden presentar un límite elástico, aunque esto suele ser menor que el valor original de la



muestra virgen que se recupera (si es que lo hace) solo después de un largo período de recuperación (Chhabra y Richardson, 2008).

### **3.6.2. Tixotropía negativa o Antitixotropía**

Si para un fluido la viscosidad aparente (o la tensión de cizallamiento correspondiente) aumenta con el tiempo de cizallamiento, se dice que muestra una anti-tixotropía o tixotropía negativa. Igualmente, se observan efectos de histéresis en la curva de flujo, pero en este caso se invierte, en comparación con un material tixotrópico, como se visualiza en la Figura 8 (Chhabra y Richardson, 2008).

Este comportamiento está generalmente asociado con la agregación o asociación como consecuencia del corte. El comportamiento anti-tixotrópico no se observa comúnmente. Tal comportamiento de flujo se ha visto con soluciones de polímeros diluidos. En estas soluciones de polímeros, se supone que la antitixotropía es causada por la formación reversible de enlaces cruzados. Ejemplos de materiales que han exhibido un comportamiento inusual Pseudoplástico-Anti-tixotrópico son los geles microcristalinos poliméricos. Estos sistemas muestran que la viscosidad disminuye al aumentar el cizallamiento, pero la viscosidad aumenta con el tiempo, a velocidad de cizallamiento constante (Braun y Rosen, 1999). Por ello no es raro que, para un mismo sistema, se visualice tanto la tixotropía, así como tixotropía negativa, dependiendo de la velocidad de cizallamiento y/o la concentración de sólidos (Chhabra y Richardson, 2008).

### **3.6.3. Caracterización del comportamiento de fluidos dependiente del tiempo**

Debido a la amplia presencia de comportamiento tixotrópico en numerosos entornos industriales, los esfuerzos significativos se han dirigido al desarrollo de relaciones constitutivas para el comportamiento tixotrópico (Mujumdar, Beris, y Metzner, 2002). Regularmente, no es posible presentar ecuaciones matemáticas simples de validez general para describir el comportamiento del fluido dependiente del tiempo, y generalmente es necesario realizar mediciones sobre el rango de condiciones de interés.

Para muchas industrias (especialmente alimentos) la forma en que la reología de los materiales afecta su procesamiento es mucho menos significativa que los efectos que el proceso tiene en su reología. Implícito aquí es el reconocimiento de la importancia de las propiedades dependientes del tiempo de los materiales que pueden ser profundamente influenciados por el trabajo mecánico, por un lado, o por un proceso de envejecimiento durante una vida útil prolongada, por el otro (Chhabra y Richardson, 2008).

#### **a) Método de ciclo de histéresis**

Un método frecuentemente utilizado para caracterizar el comportamiento tixotrópico o reopectico es el ciclo de histéresis. La técnica consiste en comenzar con la tasa de cizalladura más baja disponible y obtener una medición de esfuerzo inicial. Después de un tiempo determinado, la velocidad de cizallamiento se incrementa hasta la siguiente configuración de velocidad de cizallamiento más alta y la tensión se mide de nuevo. El procedimiento se repite hasta que se alcanza la tasa de cizallamiento más alta y el sistema se cizalla a su tensión de equilibrio. Después de alcanzar el equilibrio, la velocidad de corte se reduce paso a paso y la tensión de corte se vuelve a medir en cada punto hasta que se alcanza la velocidad de corte más baja. El esfuerzo de cizalladura se traza frente a la velocidad de cizalladura (Figura 8). El área del ciclo es una medida de la ruptura tixotrópica o la acumulación anti-tixotrópica debida al trabajo mecánico (Braun, y Rosen,1999).

El método de ciclo de histéresis se puede cuantificar utilizando el área debajo de la curva ascendente ( $A_a$ ) y descendente ( $A_d$ ). El área de histéresis ( $A_H$ ), se obtiene por la diferencia de las áreas para las mediciones respectivas:

$$A_H = A_a - A_d \quad (14)$$

El porcentaje de área relativa de histéresis (Tárrega, Durán y Costell, 2004) puede ser calculado por:

$$A_r = ((A_a - A_d)/A_a) \times 100 \quad (15)$$

#### **b) Modelo de Weltman**

El modelo de Weltman (1943) se ha utilizado para caracterizar el comportamiento tixotrópico y el comportamiento anti-tixotrópico de alimentos (Rao, 2014):

$$\tau = A_1 - B_1 \log(t) \quad (16)$$

Donde,  $\tau$  es el esfuerzo cortante (Pa),  $t$  es el tiempo (s),  $A_1$  (valor de la tensión en  $t = 1$  s) y  $B_1$  son constantes. Un diagrama de  $\tau$  versus  $\log$  del tiempo de registro debe dar como resultado una línea recta. En el comportamiento tixotrópico  $B_1$  toma valores negativos y en comportamiento anti-tixotrópico toma valores positivos (Rao, 2014).

#### **c) Modelo de Hahn**

Este modelo es una ampliación al modelo Weltman (Hahn, Ree y Eyring, 1959), y junto con este último, representan los primeros modelos bien conocidos de dependencia del tiempo que se han aplicado.

$$\log(\tau - \tau_e) = A_2 - B_2 t \quad (17)$$

Los parámetros  $A_2$  y  $B_2$  del son similares a las constantes correspondientes en el modelo Weltman (Paredes, Rao y Bourne, 1988; Bhattacharya, 1999).

#### d) Modelo de Higgs y Norrington

Higgs y Norrington (1971) propusieron dos parámetros (B y M) para estimar la dependencia del tiempo. El parámetro  $B$  es la tasa de degradación a una velocidad de cizallamiento constante, mientras que  $M$  indica la pérdida en el esfuerzo de cizallamiento por aumento de la unidad en la velocidad de cizallamiento (Bhattacharya, 1999).

$$B = (\mu_1 - \mu_2) / \left[ \ln \left( \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \quad (18)$$

$$M = (\mu_1 - \mu_2) / \left[ \ln \left( \frac{N_2}{N_1} \right) \right] \quad (19)$$

Donde:  $\mu_1$  y  $\mu_2$  son las viscosidades aparentes para los tiempos  $t_1$  y  $t_2$ ;  $N_1$  y  $N_2$  son las velocidades de giro del husillo (revolución/s), para los respectivos tiempos.

### 3.7. MODELADO DEL COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE FLUIDOS

El modelado proporciona un medio para representar una gran cantidad de datos reológicos en términos de una expresión matemática simple. Los reogramas, resumidos en términos de la ecuación de Herschel-Bulkley, representan un ejemplo de modelado. Muchas formas de ecuaciones son posibles y no existe un modelo maestro, adecuado para todas las situaciones.

#### 3.7.1. Efecto de la concentración de sólidos solubles e insolubles

El efecto de la concentración ( $C$ ) de sólidos solubles o insolubles sobre la viscosidad aparente ( $\mu$ ) o el índice de consistencia del modelo de ley de potencia ( $K$ ) puede describirse mediante los modelos potencial, exponencial o polinomial.

$$\mu = a_1 C^{b_1} \quad ; \quad K = a_1 C^{b_1} \quad (20)$$

$$\mu = a_2 e^{b_2 C} \quad ; \quad K = a_2 e^{b_2 C} \quad (21)$$

$$\mu = 1 + a_3C + b_3C^2 \quad ; \quad K = 1 + a_3C + b_3C^2 \quad (22)$$

Donde  $C$  es la concentración de sólidos solubles o insolubles,  $a_1$ ;  $a_2$ ;  $a_3$ ;  $b_1$ ;  $b_2$  y  $b_3$  son constantes (Hosseini-Parvar *et al.* 2010).

### 3.7.2. Efecto de la temperatura sobre la viscosidad

El efecto de la temperatura sobre la viscosidad aparente a una tasa de cizalla especificada (ecuación 23) o el índice de consistencia,  $K$ , del modelo de ley de potencia (ecuación 24) de un fluido se puede describir a menudo por la relación de Arrhenius:

$$\mu = (\mu_A)e^{E_a/RT} \quad (23)$$

Donde,  $\mu_a$  es la viscosidad aparente a una velocidad de corte específica,  $\mu_A$  es el factor de frecuencia,  $E_a$  es la energía de activación ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),  $R$  es la constante de gas universal ( $8.314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) y  $T$  es temperatura (K).

La cantidad  $E_a$  es la barrera de energía que debe superarse antes de que pueda ocurrir el proceso de flujo elemental. El término:  $e^{E_a/RT}$  puede explicarse como un factor de Boltzmann que da a la fracción de las moléculas la energía necesaria para superar la barrera. Por lo tanto,  $E_a$  es la energía de activación para el flujo viscoso; los valores más altos de  $E_a$  indican un cambio más rápido en la viscosidad con la temperatura. A partir de una gráfica de  $\ln \mu$  versus  $(1/T)$ ,  $E_a$  es igual a pendiente  $\times R$  y  $\mu_A$  es la intersección exponencial (Steffe, 1996; Rao, 2014).

La ecuación de Arrhenius para el coeficiente de consistencia es:

$$k = k_A e^{E_{ak}/RT} \quad (24)$$

Donde,  $K_A$  es el factor de frecuencia,  $E_{ak}$  es la energía de activación ( $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ ),  $R$  es la constante de gas y  $T$  es la temperatura (K). se aplica el mismo método para obtener los valores de  $E_{ak}$  y  $K_A$ .

Como alternativa a la ecuación de Arrhenius, en la descripción del efecto de la temperatura sobre el índice de consistencia y viscosidad, es posible emplear un modelo exponencial, El uso de este modelo se basa en los serios problemas conceptuales (significado de mol, dependencia de  $E_a$  a la temperatura de un proceso...) y prácticos (rango de temperatura aplicable, precisión de extrapolación, presencia de curvatura de los datos...) encontrados para la ecuación de Arrhenius para diferentes muestras, tal como lo mencionan Peleg, Normand y Corradini (2012), quienes subrayan que los datos que originalmente se utilizan para establecer el modelo tradicional de Arrhenius también pueden describirse mediante el modelo exponencial, sin sacrificar la bondad de ajuste; la ecuación es la siguiente:

$$\mu = a_4 e^{b_4 T} \quad ; \quad K = a_4 e^{b_4 T} \quad (25)$$

Donde  $a_4$  y  $b_4$  son constantes, y  $T$  está en  $^{\circ}\text{C}$  (Saravacos, 1970; Peleg *et al.*, 2012; Peleg, 2017).

### 3.7.3. Efecto combinado de concentración y temperatura

Asumiendo que el índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) es relativamente constante con la temperatura y la concentración, y los efectos combinados de temperatura y concentración en el índice de consistencia de la ley de potencia,  $K$ , se describen mediante:

$$K = AC^{b_4} e^{(E_a/RT)} \quad (26)$$

Alternativamente, los efectos combinados de temperatura y concentración en el índice de consistencia de la ley de potencia,  $K$ , se describen por:

$$K = A' e^{\left(\frac{E_a}{RT} + b_5 C\right)} \quad (27)$$

Donde  $A$ ,  $A'$ ,  $b_4$  y  $b_5$  son constantes,  $E_a$  es la energía de activación,  $R$  la constante de los gases ideales y  $T$  la temperatura en K (Rao, 2014).

## IV. RESULTADOS

### 4.1. AISLAMIENTO DEL HIDROCOLOIDE

El proceso de aislamiento del hidrocoloide a partir de corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.*, se llevó a cabo de acuerdo al flujograma presentado en la Figura 2 (basado en estudios preliminares). Para la operación de extracción se ensayaron dos pretratamientos (convencional = MC; y asistido por ultrasonido = MAU) frente a un testigo (sin pretratamiento=MSP); evaluándose el rendimiento del hidrocoloide obtenido respecto a la muestra (corteza o centro leñoso); los resultados se muestran en la Figura 9 y Tabla 2:

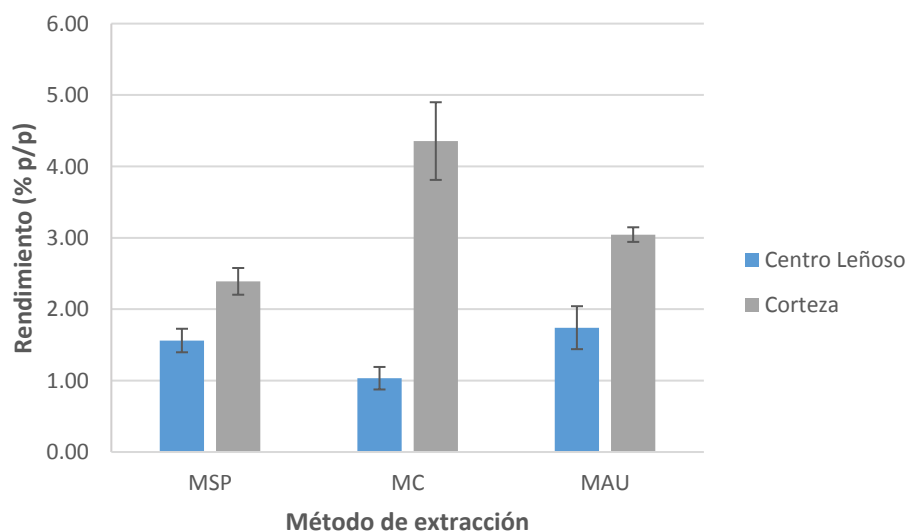


Figura 9. Rendimiento obtenido por diferentes métodos de extracción para la corteza y centro leñoso de *Triumfetta semitriloba Jacq.* (% p/p)



Tabla 2. Rendimiento de hidrocoloide aislado (% p/p b.s.) respecto al método de extracción y muestra.

Método de extracción	Muestra	
	Centro leñoso	Corteza
MSP	1,56 ± 0,16 <sup>ab</sup>	2,39 ± 0,19 <sup>b</sup>
MC	1,03 ± 0,16 <sup>b</sup>	4,36 ± 0,54 <sup>a</sup>
MAU	1,74 ± 0,30 <sup>a</sup>	3,05 ± 0,10 <sup>b</sup>

<sup>a-b</sup> Valor medio ± desviación estándar (n=3). Los valores con diferentes superíndices en la misma columna son significativamente diferentes (p <0,05).

## 4.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

Los diferentes análisis fisicoquímicos realizados al hidrocoloide aislado de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.* (HCTS) se detallan en las tablas siguientes.

Tabla 3. Características fisicoquímicas del HCTS

Característica	Resultado
pH	6,96 ± 0,04 <sup>a</sup>
	L* = 53,58 ± 0,98
Color	a* = 4,66 ± 0,11
	b* = 17,26 ± 0,24
Índice de Blancura	50,25 ± 0,85

<sup>a</sup> Valores para una solución acuosa de hidrocoloide de 0.5% p/v.

Valor medio ± desviación estándar (n=5).

Tabla 4. Composición proximal de HCTS

<b>Componente</b>	<b>(g/100 g)</b>
Humedad	14,44 ± 1,62
Cenizas Totales	16,22 ± 1,94
Grasa Cruda	0,14 ± 0,02
Proteína Soluble*	3,51 ± 0,02
Carbohidratos totales**	~ 65,69

Valor medio ± desviación estándar (n=3).

\* Expresado como Albumina de Suero Bovina.

\*\* Contenido aproximado, obtenido por diferencia (Behbahani *et al.*, 2017)

Tabla 5. Contenido de minerales presentes en HCTS (en base seca)

<b>Mineral</b>	<b>Resultado</b>
Ca	32600 ± 207.81 ppm
Mg	13700 ± 143.02 ppm
K	4800 ± 26.02 ppm
Na	1300 ± 10.02 ppm
Zn	65 ± 0.12 ppm
Cu	13 ± 0.09 ppm
Mn	10 ± 0.17 ppm
Fe	9 ± 0.04 ppm
Cd	1 ± 0.02 ppm

Valor medio de dos lecturas (n=3).

Como pruebas complementarias, se cuantificaron los polifenoles totales presentes en el hidrocoloide aislado mediante por el método de azul de Prussian sugerido por Margraf *et al.* (2015), conjuntamente se evaluó su capacidad antioxidante frente a los radiales Radical 2,2-diphenyl-1-picrilhydral (DPPH) y el Cation 2,2-azinobis(3-etilenbenzotiazolino-6 ácido sulfónico) (ABTS+), los resultados se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Polifenoles totales y capacidad antioxidante de HCTS

<b>Ensayo</b>	<b>Resultado</b>	
Polifenoles totales (mg AGE/g)	0,17 ± 0,002	
Radical DPPH	mg TE/g	419,59 ± 49,59
	%Inhibición	15,66 ± 1,85
Cación ABTS	mg TE/g	518,79 ± 1,03
	%Inhibición	32,83 ± 0,07

Valor medio ± desviación estándar (n=3).

### 4.3. EVALUACIÓN REOLÓGICA

Los resultados de la evaluación reológica de las soluciones de HCTS se presenta organizada en 5 puntos para evitar ambigüedades; el primero trata sobre el estudio del comportamiento de flujo independiente del tiempo, en la instancia siguiente se toma en cuenta la dependencia del tiempo, le siguen el análisis del efecto de concentración, temperatura, y en última instancia el efecto combinado de estos.

#### 4.3.1. Comportamiento independiente del tiempo

El análisis gráfico de los datos experimentales permitió obtener información a priori del comportamiento de flujo de las soluciones de HCTS; tal es así, que en las Figuras 10 y 11, que muestran los datos experimentales de las soluciones HCTS a diferentes concentraciones a 15 °C, se observan comportamientos claramente no newtonianos; a bajas concentraciones se distingue un comportamiento espesante (dilatante), sin embargo, el incremento en la concentración deriva en la transición hacia un comportamiento adelgazante (pseudoplástico).

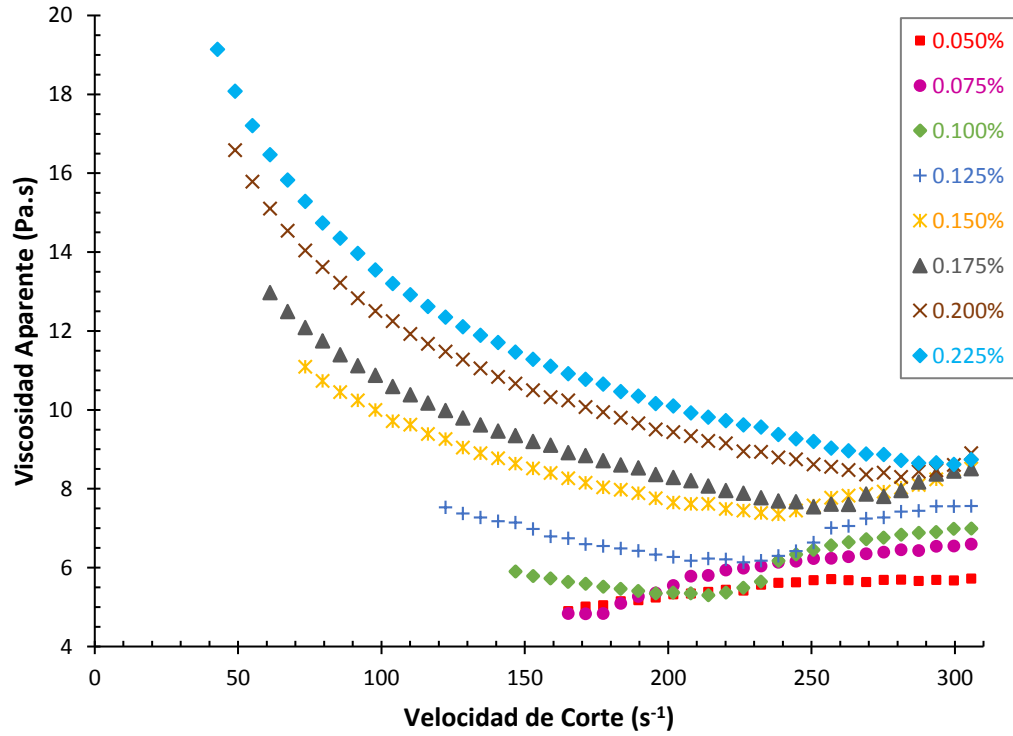


Figura 10. Datos de viscosidad aparente versus velocidad de corte para diferentes concentraciones (0,050 – 0,225%) de solución de HCTS a 15 °C.

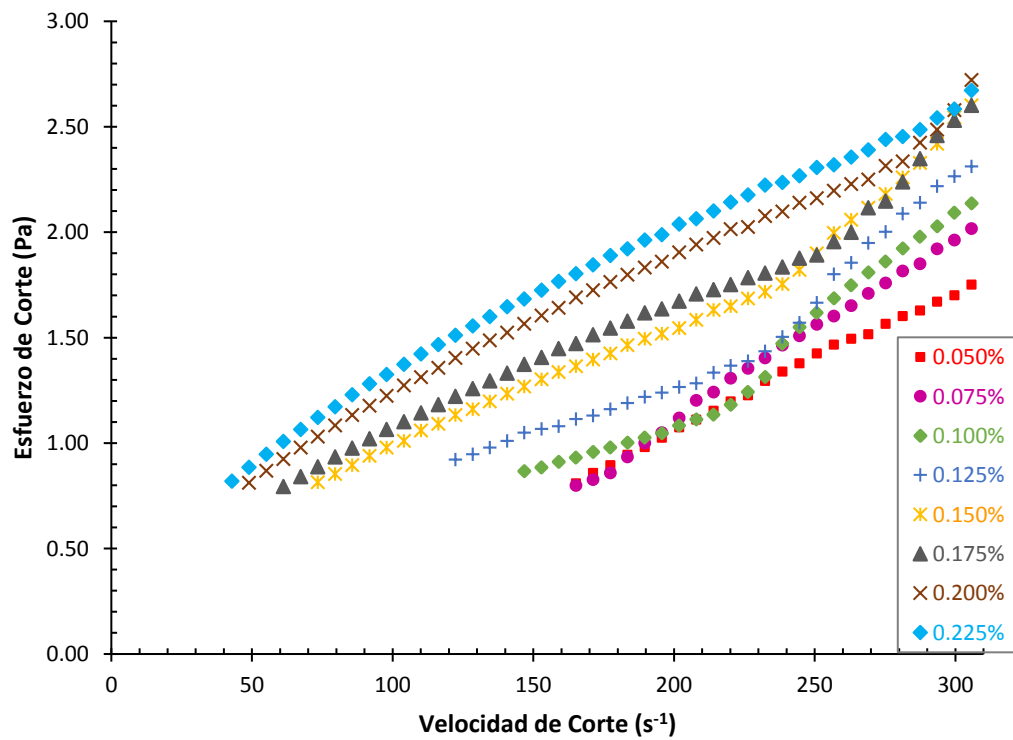


Figura 11. Reograma de soluciones de HCTS a diferentes concentraciones (0.050 – 0.225%) evaluados a 15 °C.

Para un mejor análisis y visualización de datos, se presentan los Figuras 12, 13 y 14, en estos se exponen los reogramas de tres concentraciones representativas (0,100; 0,150 y 0,225%) para las soluciones de HCTS, evaluadas a diferentes temperaturas. Es así, que la solución al 0,100% de HCTS exhibe un comportamiento espesante, el cual es más evidente en la solución al 0,150%; no obstante, cuando la concentración de la solución llega al 0,225%; este adopta un comportamiento adelgazante (pseudoplástico).

El ajuste de los datos experimentales a los modelos reológico estudiados, demostró que el modelo de la Ley de Potencia y Herschel-Bulkley presentan un ajuste satisfactorio, con valores de  $R^2_{adj} > 0,90$  y  $\chi^2$  cerca de cero; no obstante, debido a los valores más altos para  $R^2_{adj}$  y los valores más bajos de  $\chi^2$  para las diferentes concentraciones y temperaturas, se utilizó el modelo de Herschel-Bulkley como representativo. Los parámetros de los modelos de la Ley de la Potencia, Herschel-Bulkley, Bingham y Casson, se muestran en los Tablas del 7 al 10.

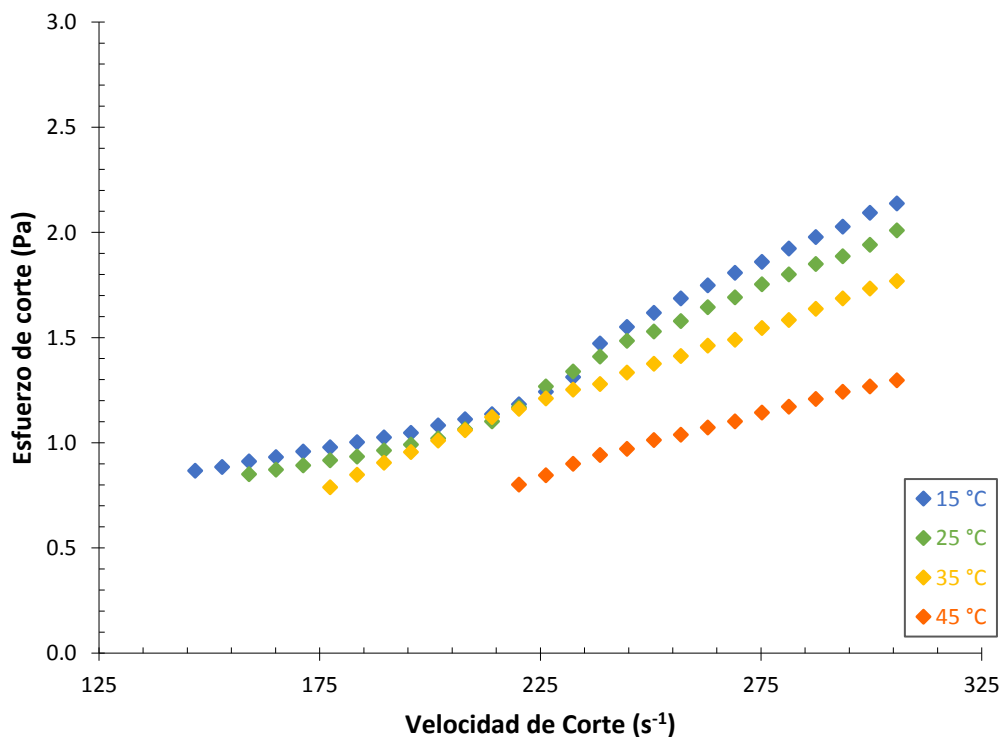


Figura 12. Comportamiento de flujo a diferentes temperaturas de una solución al 0.100% de HCTS

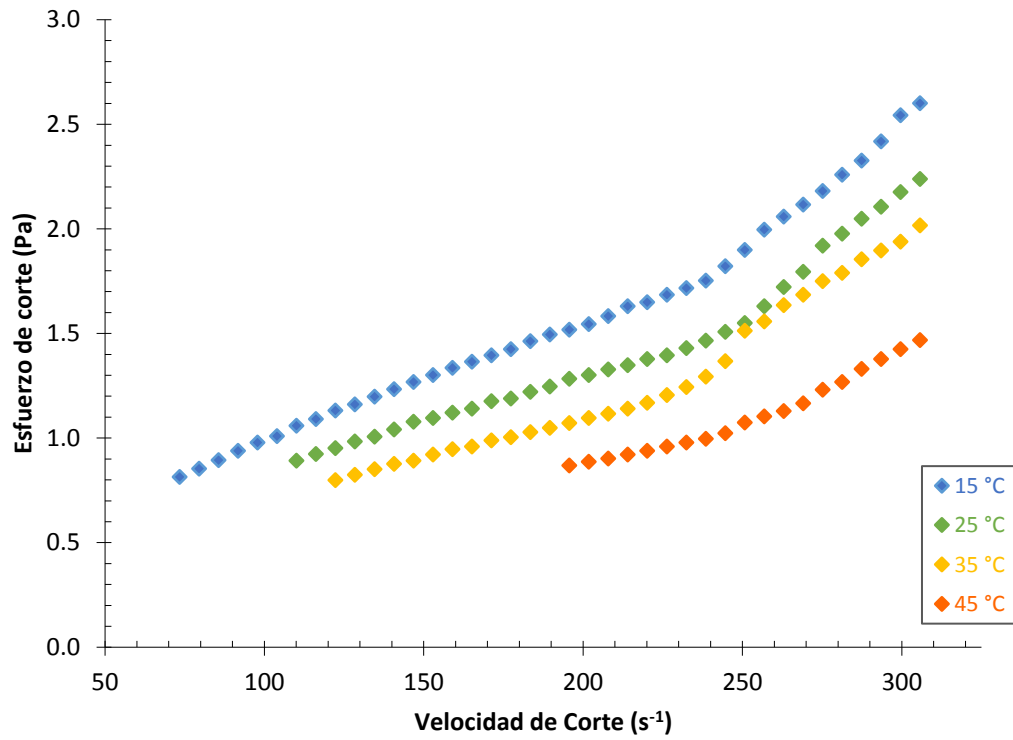


Figura 13. Comportamiento de flujo a diferentes temperaturas de una solución al 0.150% de hidrocoloide de *Triumfetta smiriloba* Jacq.

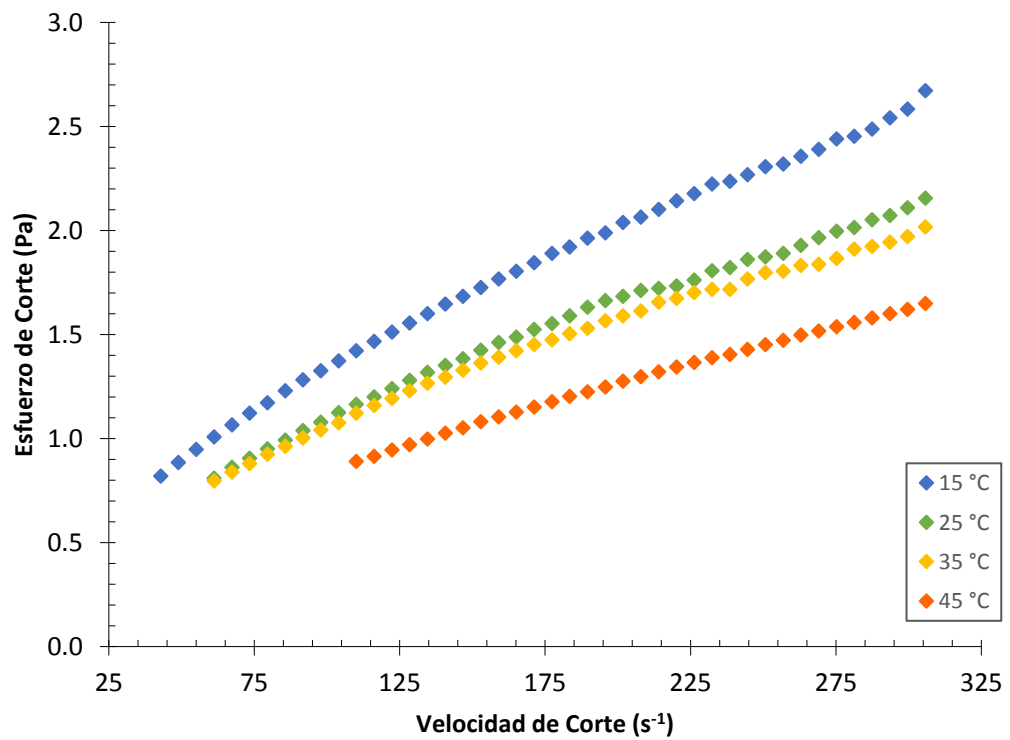


Figura 14. Comportamiento de flujo a diferentes temperaturas de una solución al 0.225% de hidrocoloide de *Triumfetta smiriloba* Jacq.

Tabla 7. Parámetro reológicos del modelo de Ley de la Potencia ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de *Triumfetta semitriloba* Jacq. a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).

% (p/v)	°C	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n (–)	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	χ <sup>2</sup>
0,050	15	0,00172 ± 0,00025	1,21397 ± 0,03489	0,99465	0,00043
	25	0,00187 ± 0,00042	1,18179 ± 0,04390	0,99404	0,00031
	35	0,00271 ± 0,00018	1,07712 ± 0,01219	0,99474	0,00011
	45	0,00066 ± 0,00006	1,26764 ± 0,01548	0,99396	0,00002
0,075	15	0,00049 ± 0,00024	1,46965 ± 0,08478	0,99043	0,00139
	25	0,00083 ± 0,00005	1,32924 ± 0,01522	0,99753	0,00016
	35	0,00096 ± 0,00019	1,29663 ± 0,03406	0,99767	0,00013
	45	0,00136 ± 0,00021	1,17219 ± 0,02670	0,99639	0,00004
0,100	15	0,00047 ± 0,00019	1,47853 ± 0,06043	0,96805	0,00593
	25	0,00039 ± 0,00010	1,49891 ± 0,04199	0,98374	0,00246
	35	0,00071 ± 0,00031	1,38261 ± 0,08714	0,99154	0,00077
	45	0,00058 ± 0,00037	1,38764 ± 0,17141	0,98910	0,00035
0,125	15	0,00289 ± 0,00022	1,15976 ± 0,01229	0,93811	0,01164
	25	0,00083 ± 0,00019	1,35717 ± 0,03319	0,95541	0,00690
	35	0,00046 ± 0,00006	1,45453 ± 0,01968	0,97449	0,00338
	45	0,00018 ± 0,00008	1,57456 ± 0,06603	0,97369	0,00076
0,150	15	0,02113 ± 0,01575	0,85284 ± 0,12990	0,95404	0,01171
	25	0,00867 ± 0,00287	0,96200 ± 0,06797	0,92568	0,01128
	35	0,00254 ± 0,00070	1,16151 ± 0,03798	0,94168	0,00837
	45	0,00150 ± 0,00113	1,25039 ± 0,21710	0,93442	0,00217
0,175	15	0,03607 ± 0,00311	0,72930 ± 0,02461	0,96422	0,00837
	25	0,03600 ± 0,01642	0,70819 ± 0,07266	0,95519	0,00573
	35	0,02255 ± 0,01222	0,78203 ± 0,09515	0,93084	0,00782
	45	0,00440 ± 0,00079	1,01148 ± 0,03644	0,90921	0,00426
0,200	15	0,06636 ± 0,00724	0,63496 ± 0,01798	0,98953	0,00267
	25	0,07312 ± 0,01170	0,59952 ± 0,02175	0,99642	0,00057
	35	0,05728 ± 0,00999	0,61157 ± 0,02725	0,98662	0,00143
	45	0,03294 ± 0,00163	0,65542 ± 0,00727	0,99846	0,00005
0,225	15	0,08874 ± 0,00406	0,59014 ± 0,00971	0,99857	0,00040
	25	0,07262 ± 0,00048	0,59006 ± 0,00601	0,99782	0,00033
	35	0,07808 ± 0,00252	0,56689 ± 0,00717	0,99829	0,00021
	45	0,05171 ± 0,00577	0,60490 ± 0,01764	0,99968	0,00002

Valor medio ± desviación estándar (n=3).

Tabla 8. Parámetro reológicos del modelo de Herschel-Bulkley ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de *Triumfetta semitriloba* Jacq. a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).

% (p/v)	°C	$\tau_0^H$ (Pa)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n (--)	$R^2_{adj}$	$\chi^2$
0,050	15	---	1,72E-03 ± 2,49E-04	1,21411 ± 0,03449	0,9944	0,0005
	25	---	1,87E-03 ± 4,18E-04	1,18185 ± 0,04364	0,9937	0,0003
	35	---	2,71E-03 ± 1,88E-04	1,07750 ± 0,01264	0,9944	0,0001
	45	0,16767 ± 0,29040	4,81E-04 ± 4,16E-04	1,89905 ± 1,12002	0,9931	0,0000
0,075	15	---	4,85E-04 ± 2,42E-04	1,47383 ± 0,08001	0,9900	0,0015
	25	---	8,33E-04 ± 4,92E-05	1,32949 ± 0,01514	0,9974	0,0002
	35	---	9,56E-04 ± 1,88E-04	1,29684 ± 0,03396	0,9975	0,0001
	45	0,03781 ± 0,06549	1,04E-03 ± 4,22E-04	1,22344 ± 0,07305	0,9960	0,0000
0,100	15	0,60495 ± 0,09782	3,46E-07 ± 2,38E-07	2,71831 ± 0,14396	0,9824	0,0033
	25	0,43178 ± 0,07407	9,01E-06 ± 9,85E-06	2,19751 ± 0,24484	0,9872	0,0019
	35	---	7,08E-04 ± 3,07E-04	1,38279 ± 0,08772	0,9911	0,0008
	45	---	5,81E-04 ± 3,72E-04	1,38845 ± 0,17130	0,9882	0,0004
0,125	15	0,87622 ± 0,00354	3,96E-08 ± 6,09E-08	3,24750 ± 0,31561	0,9892	0,0020
	25	0,64042 ± 0,01534	8,30E-08 ± 7,67E-08	2,95590 ± 0,14549	0,9831	0,0026
	35	0,46948 ± 0,07486	3,69E-06 ± 5,35E-06	2,41186 ± 0,28047	0,9824	0,0023
	45	---	1,73E-04 ± 7,29E-05	1,57779 ± 0,06472	0,9713	0,0008
0,150	15	0,79098 ± 0,07454	1,96E-04 ± 3,32E-04	1,97277 ± 0,51340	0,9842	0,0036
	25	0,91672 ± 0,04055	2,33E-08 ± 1,94E-08	3,17922 ± 0,19455	0,9852	0,0022
	35	0,75135 ± 0,06024	2,06E-08 ± 7,28E-09	3,14787 ± 0,06502	0,9889	0,0016
	45	0,74184 ± 0,13775	1,50E-08 ± 2,59E-08	4,92118 ± 1,88705	0,9813	0,0008
0,175	15	0,70185 ± 0,09835	7,10E-04 ± 7,32E-04	1,42439 ± 0,17684	0,9788	0,0049
	25	0,65130 ± 0,27368	4,93E-03 ± 8,52E-03	1,64178 ± 0,70912	0,9744	0,0032
	35	0,81081 ± 0,10237	5,00E-05 ± 8,66E-05	2,48924 ± 0,81135	0,9744	0,0027
	45	0,80700 ± 0,02407	2,61E-12 ± 1,68E-12	4,64533 ± 0,16494	0,9793	0,0010
0,200	15	0,34589 ± 0,14079	0,02349 ± 0,01515	0,82420 ± 0,12754	0,9914	0,0022
	25	0,07748 ± 0,13420	0,06199 ± 0,03084	0,64077 ± 0,09192	0,9965	0,0006
	35	0,26937 ± 0,22574	0,02750 ± 0,03163	0,80634 ± 0,20800	0,9880	0,0013
	45	0,21707 ± 0,04684	0,01123 ± 0,00380	0,82230 ± 0,05755	0,9988	0,0000
0,225	15	0,07194 ± 0,12461	0,07623 ± 0,02573	0,62002 ± 0,06145	0,9987	0,0004
	25	0,02264 ± 0,03922	0,06816 ± 0,00679	0,60007 ± 0,02178	0,9979	0,0003
	35	---	0,07808 ± 0,00249	0,56689 ± 0,00708	0,9982	0,0002
	45	0,11665 ± 0,09398	0,03412 ± 0,00993	0,66937 ± 0,04629	0,9998	0,0000

Valor medio ± desviación estándar (n=3).



Tabla 9. Parámetro reológicos del modelo de Bingham ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de *Triumfetta semitriloba* Jacq. a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).

% (p/v)	°C	$\tau_0^B$ (Pa)	$\mu_B$ (Pa.s)	$R^2_{adj}$	$\chi^2$
0,050	15	---	0,00554 ± 0,00023	0,96451	0,00304
	25	---	0,00503 ± 0,00006	0,97018	0,00156
	35	---	0,00416 ± 0,00000	0,98945	0,00023
	45	---	0,00300 ± 0,00000	0,94095	0,00015
0,075	15	---	0,00609 ± 0,00040	0,89144	0,01580
	25	---	0,00516 ± 0,00017	0,93650	0,00424
	35	---	0,00488 ± 0,00003	0,94551	0,00310
	45	---	0,00355 ± 0,00005	0,97316	0,00026
0,100	15	---	0,00626 ± 0,00033	0,87310	0,02350
	25	---	0,00594 ± 0,00019	0,87920	0,01823
	35	---	0,00544 ± 0,00015	0,91635	0,00748
	45	---	0,00408 ± 0,00017	0,90740	0,00267
0,125	15	---	0,00691 ± 0,00036	0,92243	0,01466
	25	---	0,00580 ± 0,00026	0,89518	0,01625
	35	---	0,00555 ± 0,00015	0,88429	0,01542
	45	---	0,00416 ± 0,00013	0,83596	0,00471
0,150	15	0,24503 ± 0,16430	0,00692 ± 0,00091	0,96056	0,01018
	25	0,09319 ± 0,07538	0,00635 ± 0,00054	0,92860	0,01088
	35	---	0,00599 ± 0,00034	0,92535	0,01068
	45	---	0,00444 ± 0,00064	0,88984	0,00485
0,175	15	0,40347 ± 0,01354	0,00645 ± 0,00046	0,97371	0,00615
	25	0,39700 ± 0,10711	0,00514 ± 0,00028	0,96265	0,00476
	35	0,28688 ± 0,10347	0,00503 ± 0,00057	0,94051	0,00677
	45	0,01829 ± 0,02739	0,00457 ± 0,00025	0,90900	0,00428
0,200	15	0,57225 ± 0,03630	0,00653 ± 0,00005	0,98966	0,00263
	25	0,59801 ± 0,06452	0,00555 ± 0,00023	0,98944	0,00175
	35	0,50271 ± 0,04925	0,00462 ± 0,00007	0,98631	0,00145
	45	0,37206 ± 0,01184	0,00341 ± 0,00001	0,99841	0,00005
0,225	15	0,66677 ± 0,01308	0,00658 ± 0,00012	0,99020	0,00263
	25	0,58202 ± 0,01312	0,00523 ± 0,00024	0,98856	0,00167
	35	0,58765 ± 0,00849	0,00479 ± 0,00010	0,98759	0,00154
	45	0,48956 ± 0,03170	0,00383 ± 0,00003	0,99782	0,00011

Valor medio ± desviación estándar (n=3).

Tabla 10. Parámetro reológicos del modelo de Casson ajustados a los datos experimentales de soluciones de hidrocoloide de *Triumfetta semitriloba Jacq.* a diferentes concentraciones (% p/v) y temperaturas (°C).

% (p/v)	°C	$\tau_0^c$ (Pa)	$\mu_c$ (Pa.s)	$R^2_{adj}$	$\chi^2$
0.050	15	---	0,00501 ± 0,00006	0,96653	0,00036
	25	---	0,00416 ± 0,00000	0,98867	0,00006
	35	---	0,00300 ± 0,00000	0,94099	0,00004
	45	---	0,00550 ± 0,00023	0,95967	0,00068
0.075	15	---	0,00599 ± 0,00041	0,87661	0,00339
	25	---	0,00512 ± 0,00017	0,93215	0,00092
	35	---	0,00485 ± 0,00003	0,94218	0,00071
	45	---	0,00354 ± 0,00005	0,97238	0,00007
0.100	15	---	0,00613 ± 0,00035	0,87527	0,00409
	25	---	0,00583 ± 0,00020	0,87570	0,00349
	35	---	0,00538 ± 0,00016	0,90602	0,00171
	45	---	0,00406 ± 0,00016	0,90053	0,00068
0.125	15	---	0,00685 ± 0,00036	0,92654	0,00225
	25	---	0,00570 ± 0,00026	0,90040	0,00297
	35	---	0,00545 ± 0,00015	0,88387	0,00307
	45	---	0,00413 ± 0,00014	0,82230	0,00121
0.150	15	0,06975 ± 0,06545	0,00537 ± 0,00122	0,96346	0,00149
	25	0,01899 ± 0,01401	0,00542 ± 0,00067	0,93073	0,00178
	35	---	0,00594 ± 0,00035	0,92853	0,00192
	45	---	0,00442 ± 0,00062	0,89389	0,00098
0.175	15	0,12996 ± 0,00883	0,00447 ± 0,00039	0,97772	0,00083
	25	0,13543 ± 0,05409	0,00348 ± 0,00040	0,96801	0,00073
	35	0,08846 ± 0,04898	0,00362 ± 0,00068	0,94475	0,00116
	45	0,00277 ± 0,00312	0,00423 ± 0,00037	0,91362	0,00089
0.200	15	0,21465 ± 0,01794	0,00417 ± 0,00009	0,99390	0,00024
	25	0,23589 ± 0,03241	0,00343 ± 0,00012	0,99510	0,00013
	35	0,19866 ± 0,02854	0,00284 ± 0,00012	0,99061	0,00019
	45	0,12911 ± 0,00632	0,00224 ± 0,00002	0,99903	0,00001
0.225	15	0,26828 ± 0,00778	0,00403 ± 0,00010	0,99669	0,00013
	25	0,23189 ± 0,00539	0,00320 ± 0,00014	0,99475	0,00013
	35	0,24771 ± 0,00604	0,00282 ± 0,00008	0,99475	0,00012
	45	0,19358 ± 0,02130	0,00234 ± 0,00009	0,99942	0,00001

Valor medio ± desviación estándar (n=3).

### 4.3.2. Comportamiento dependiente del tiempo

Para la evaluación del comportamiento dependiente del tiempo se empleó el método del ciclo de histéresis, desde los gráficos de las curvas (esfuerzo de corte vs velocidad de corte) ascendentes y descendentes se calcularon las áreas bajo los puntos de las mismas, así como el área de histéresis y el porcentaje del área de histéresis relativa, de acuerdo al método mencionado por Tárrega *et al.* (2004).

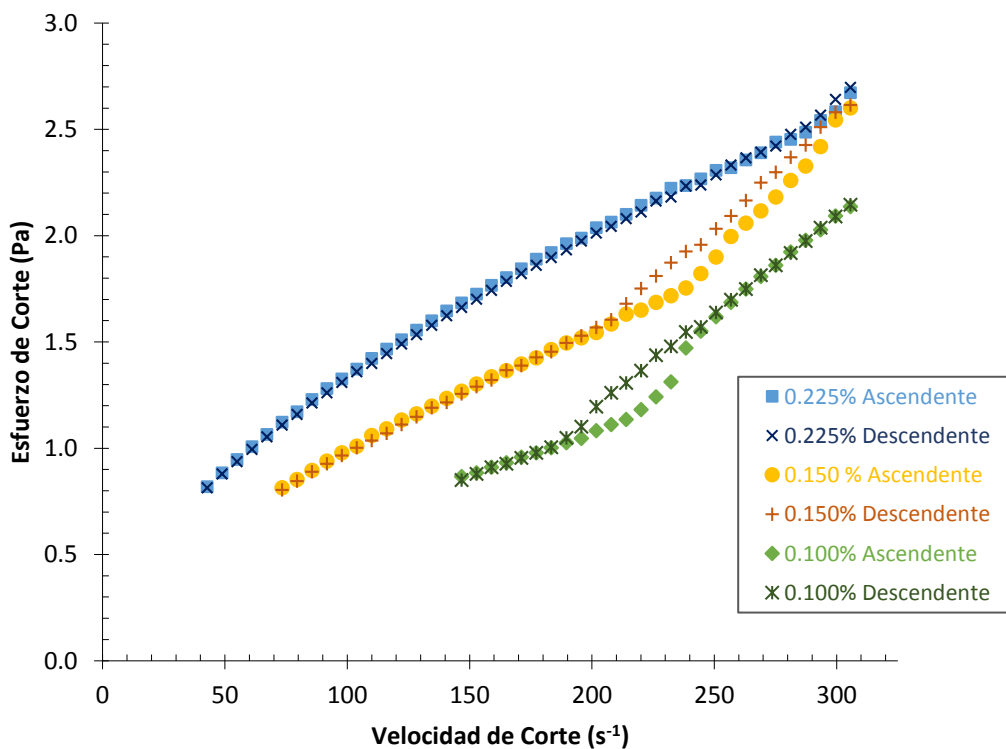


Figura 15. Ciclo de histéresis obtenido para diferentes concentraciones de HCTS evaluados a 15 °C.

Las Figuras 16 y 17, así como la Tabla 11, detallan los valores medios obtenidos para el área de histéresis (AR) y el área de histéresis relativa (%AHR) de las soluciones de HCTS a diferentes concentraciones y temperaturas.

Tabla 11. Áreas de histéresis y de histéresis relativa (%AHR), calculadas para cada concentración y temperatura

[%]	°C	Área de Histéresis (Pa.s <sup>-1</sup> )	%AHR
0.050	15	2.353 ± 0.697	1.282 ± 0.330
	25	0.726 ± 0.827	0.488 ± 0.555
	35	-0.142 ± 0.087	-0.129 ± 0.079
	45	0.239 ± 0.024	0.774 ± 0.078
0.075	15	-0.479 ± 1.385	-0.266 ± 0.718
	25	-0.391 ± 0.863	-0.251 ± 0.552
	35	0.312 ± 0.691	0.214 ± 0.477
	45	0.439 ± 0.651	0.622 ± 0.931
0.100	15	-7.203 ± 0.563	-3.264 ± 0.076
	25	-7.802 ± 1.674	-3.938 ± 0.920
	35	-1.101 ± 1.628	-0.678 ± 1.010
	45	-0.495 ± 1.364	-0.537 ± 1.525
0.125	15	-7.211 ± 1.246	-2.677 ± 0.358
	25	-7.004 ± 0.862	-3.277 ± 0.523
	35	-6.438 ± 0.629	-3.366 ± 0.248
	45	-0.367 ± 0.441	-0.430 ± 0.510
0.150	15	-9.258 ± 1.631	-2.565 ± 0.447
	25	-10.977 ± 2.356	-3.964 ± 0.716
	35	-8.456 ± 2.222	-3.605 ± 0.738
	45	-0.335 ± 2.139	-0.117 ± 1.807
0.175	15	-8.528 ± 1.789	-2.202 ± 0.455
	25	-6.517 ± 1.554	-2.117 ± 0.528
	35	-8.288 ± 0.399	-3.072 ± 0.153
	45	0.638 ± 0.766	0.414 ± 0.494
0.200	15	-6.158 ± 3.327	-1.395 ± 0.775
	25	-3.175 ± 3.721	-0.843 ± 1.026
	35	-5.807 ± 1.322	-1.822 ± 0.458
	45	1.635 ± 1.202	0.828 ± 0.605
0.225	15	3.191 ± 2.058	0.669 ± 0.433
	25	-0.271 ± 4.126	-0.046 ± 1.072
	35	0.566 ± 0.389	0.157 ± 0.106
	45	1.895 ± 1.186	0.759 ± 0.489

Valor medio ± desviación estándar (n=3).

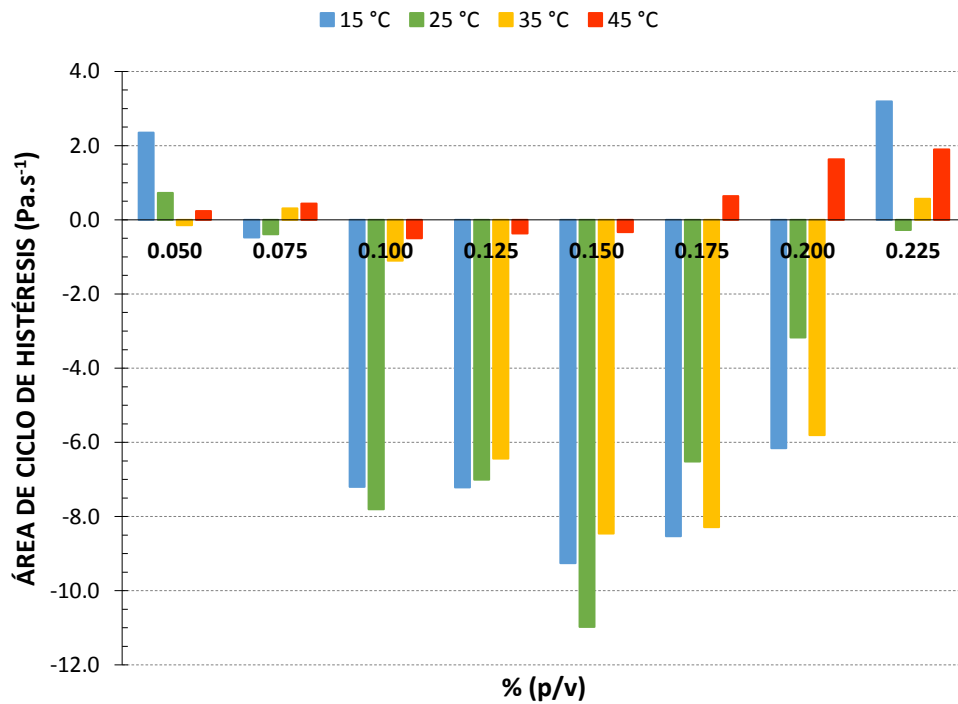


Figura 16. Valores de áreas de histéresis experimental para soluciones de hidrocoloide de *Triumfetta smitriloba* Jacq. a diferentes temperaturas.

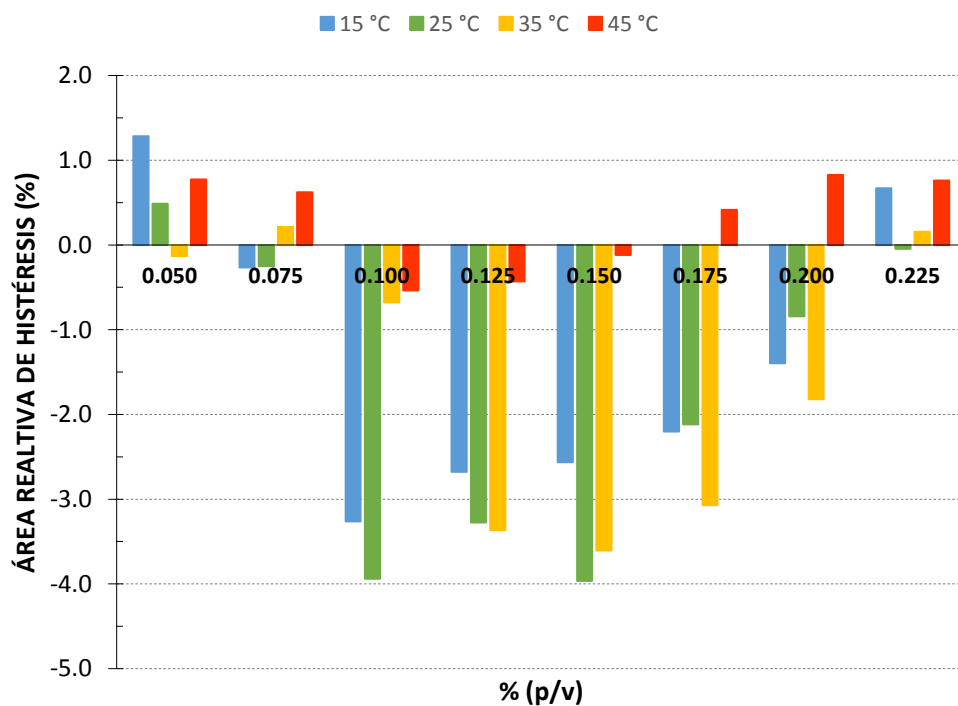


Figura 17. Valores de áreas relativas de soluciones de hidrocoloide de *Triumfetta smitriloba* Jacq. a diferentes temperaturas.

### 4.3.3. Efecto de la concentración

Como ya se discutió en la sección 4.3.1, para todas las temperaturas, un aumento en la concentración se vio acompañado con una acentuación en la pseudoplasticidad (disminución de valores de  $n$ ) y el incremento en los valores de  $K$ .

Tabla 12. Parámetros de los modelos potencial, exponencial y polinomial dependientes de la concentración, relacionado al índice de consistencia de soluciones de hidrocoloide de *Triumfetta semitriloba* Jacq., para diferentes temperaturas.

Temperatura (°C)	Modelo									
	Potencial ( $K = a[\%]^b$ )			Exponencial ( $K = ae^{b[\%]}$ )			Polinomial ( $K = a + b[\%] + c[\%]^2$ )			
	$a$ (Pa.s <sup>n</sup> . % <sup>-1</sup> )	$b$ (--)	$R^2_{adj}$	$a$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$b$ (% <sup>-1</sup> )	$R^2_{adj}$	$a$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$b$ (% <sup>-1</sup> )	$c$ (% <sup>-2</sup> )	$R^2_{adj}$
15	25,2582	3,7608	0,9807	9,21 x 10 <sup>-4</sup>	20,5607	0,9595	0,0276	-0,7253	4,4791	0,9905
25	18,5057	3,6278	0,8905	9,89 x 10 <sup>-4</sup>	19,7083	0,8537	0,0260	-0,6863	4,1777	0,9011
35	93,3112	4,7141	0,9564	3,25 x 10 <sup>-4</sup>	24,6365	0,9369	0,0415	-0,9587	5,0242	0,9655
45	713,1318	6,3642	0,9512	4,11 x 10 <sup>-5</sup>	31,9097	0,9395	0,0333	-0,7374	3,5958	0,9032

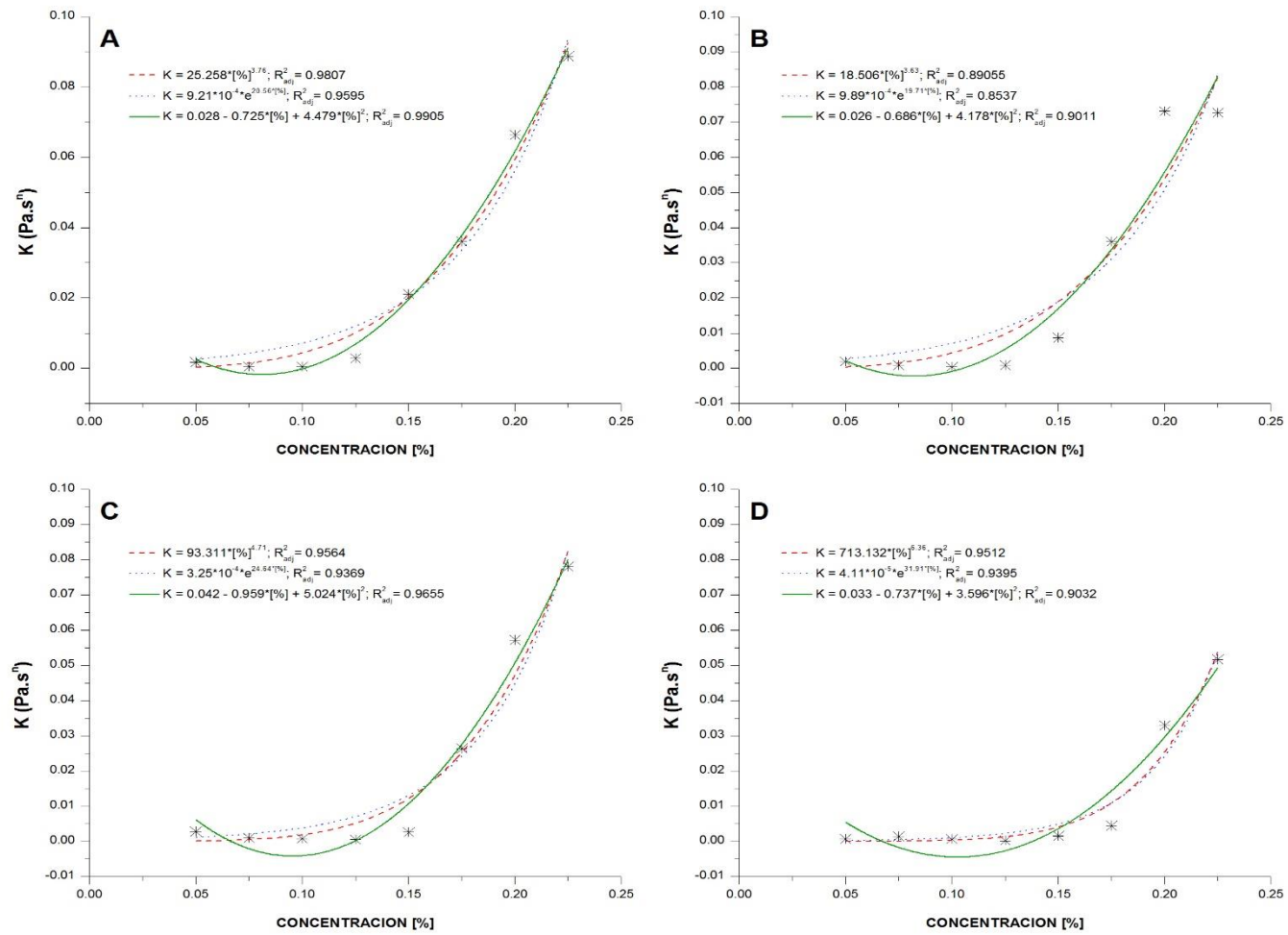


Figura 18. Ajuste del índice de consistencia (K) de soluciones de HCTS a los modelos potencial, exponencial y polinomial, evaluados a 15 °C (A), 25 °C (B), 35 °C (C) y 45 °C (D).

#### 4.3.4. Efecto de la temperatura

El efecto de la temperatura no mostró una tendencia clara, a bajas concentraciones (0,050 a 0,100%) los valores de  $K$  se incrementaron conjuntamente con la temperatura, por el contrario, para concentraciones entre 0,125 a 0,225%, su valor disminuyó; para el caso de  $n$ , se observó un comportamiento inverso, disminuyendo para el primer caso e incrementándose en el segundo. El comportamiento diferenciado de las soluciones de HCTS respecto a la temperatura, concuerda con lo observado en la evaluación del comportamiento dependiente del tiempo, ya que un aumento de  $n$  con la temperatura indica que las soluciones se vuelven menos adelgazante (a bajas concentraciones), por el contrario, la reducción de  $n$  se traduce en la consolidación de la pseudoplasticidad (entre 0,125 a 0,225%). Este comportamiento particular tiene similitud con lo hallado por Umerova y Ragulya (2017) para suspensiones de polímeros rellenas de nanopartículas, quienes proponen un modelo de flujo reopexico-pseudoplástico-tixotrópico, para explicar las variaciones de comportamiento en este sistema.

La Tabla 13 resume los parámetros para la ecuación de Arrhenius y el modelo exponencial, ajustados a los valores de índice de consistencia ( $K$ ) de la Ley de la Potencia, para las diferentes concentraciones. Asimismo, la Figura 19 muestra el ajuste lineal de la ecuación de Arrhenius a los datos experimentales para las diferentes concentraciones; la Figura 20 hace lo mismo para el modelo exponencial.



Tabla 13. Parámetros de la ecuación de Arrhenius y del modelo exponencial relacionado al índice de consistencia (K), de soluciones HCTS.

[%]	Arrhenius			Exponencial		
	$k_a$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$E_a$	$R^2_{adj}$	$a$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$b$ (°C <sup>-1</sup> )	$R^2_{adj}$
0.050	1.15E-06	18134.4046	-0.1065	0.002383	-0.010631	-0.349051
0.075	15.2763	-24649.1119	0.9343	3.46E-04	0.030396	0.944551
0.100	0.0211	-9287.6421	0.0544	1.38E-04	0.050156	0.865785
0.125	9.58E-16	68623.5852	0.9792	0.015034	-0.110428	0.986809
0.150	4.36E-15	69959.6036	0.9754	0.087276	-0.094318	0.995696
0.175	5.54E-11	49558.4286	0.5356	0.067356	-0.03396	0.529079
0.200	5.17E-05	17540.4459	0.5432	0.097133	-0.018118	0.478475
0.225	6.87E-04	11687.2922	0.6048	0.109853	-0.014122	0.617713

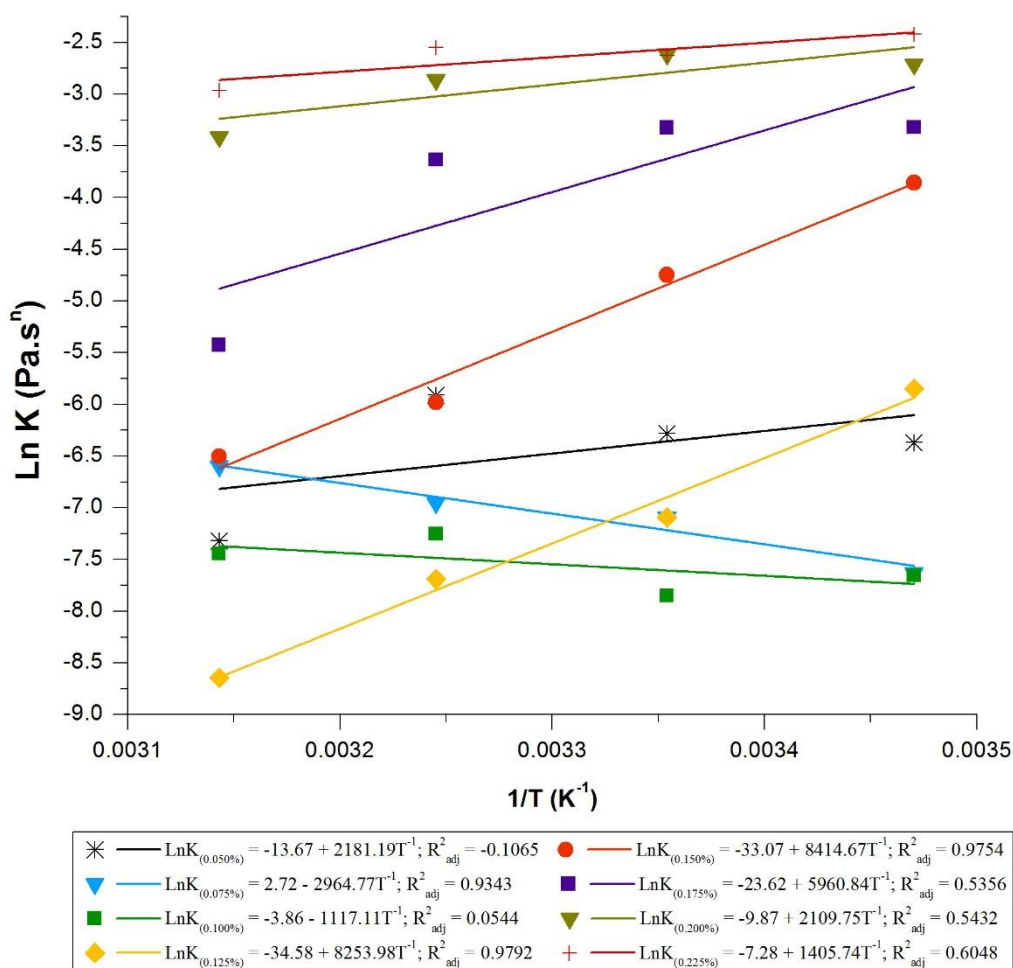


Figura 19. Ajuste de datos experimentales a la ecuación de Arrhenius

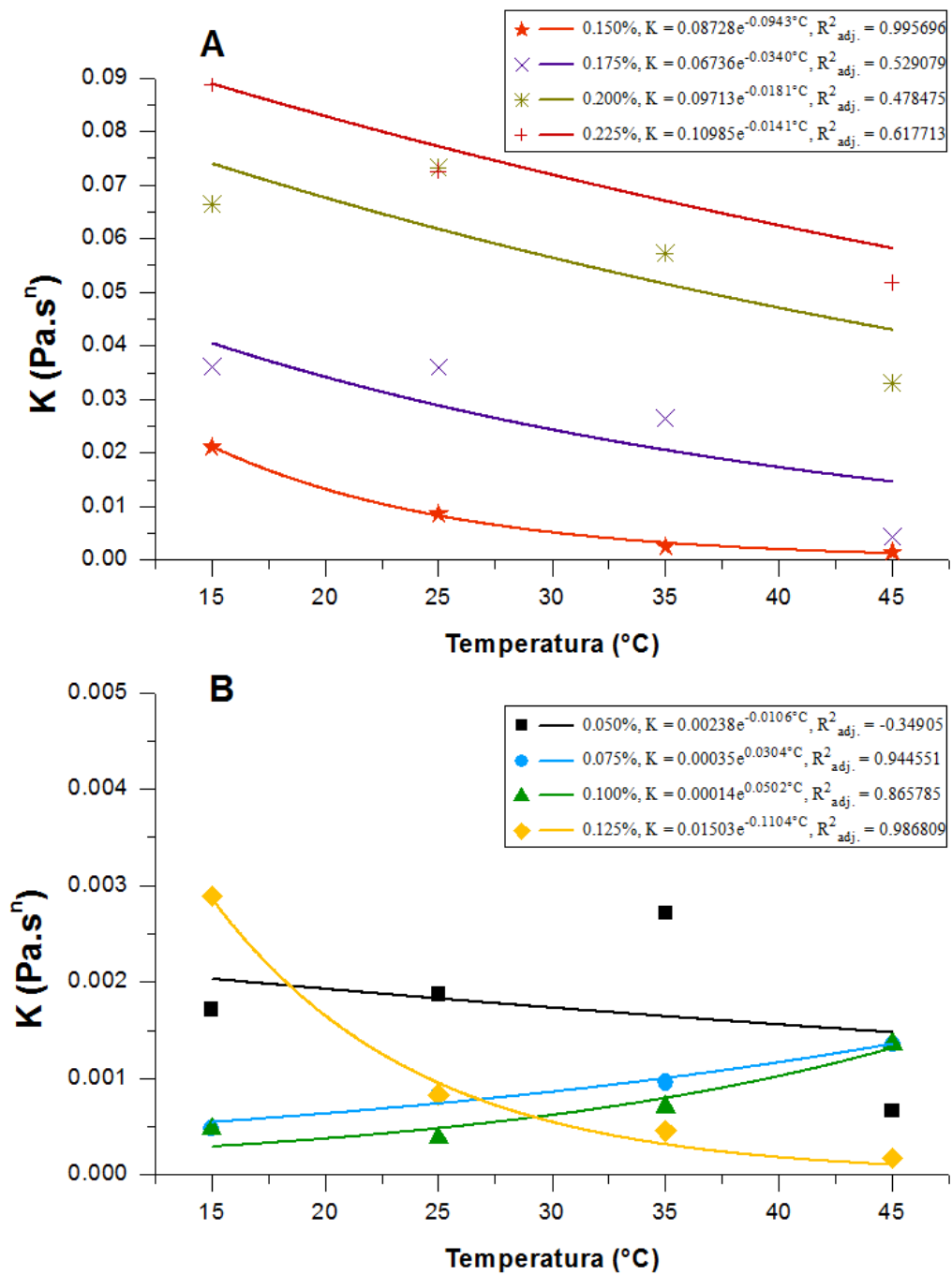


Figura 20. Ajuste de datos experimentales al modelo exponencial: (A) a bajas concentraciones y altas (B).

#### 4.3.5. Efecto de combinado de concentración y temperatura

El efecto combinado de la concentración y temperatura sobre el índice de consistencia (K), fue modelado por las ecuaciones potencial y exponencial, los parámetros obtenidos para cada una de estas se presentan en la Tabla 14, y seguidamente las ecuaciones respectivas.

Tabla 14. Parámetros de los modelos potencial y exponencial, relacionados al efecto combinado de la concentración de sólidos y la temperatura, con el índice de consistencia de soluciones de HCTS.

Modelo	Parámetros				
	a	b	E <sub>a</sub>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	RMSE
Potencial	0,000112632	3,021919	25195,8759	0,540726	1,37142
Exponencial	3,87649E-09	28,837946	25195,8759	0,703135	1,10259

Modelo Potencial

$$K = 0,000112632 \times [\%]^{3,021919} \times e^{\left(\frac{25195,8759}{RT}\right)}$$

Modelo Exponencial

$$K = 3,87649E - 09 \times e^{\left(28,837946[\%] + \frac{25195,8759}{RT}\right)}$$

## V. DISCUSIONES

### 5.1. DEL AISLAMIENTO DEL HIDROCOLOIDE

La corteza de *Tiumfetta simitriloba Jacq* mostró rendimientos superiores a los del “centro leñoso” ( $p < 0.05$ ), siendo MC el que registro la mayor variación (322,44%). Al evaluar el rendimiento según el método de extracción, se observan respuestas diferentes para cada muestra (Tabla 2); en el centro leñoso MAU muestra la mejor junto con MC ( $p > 0,05$ ), mientras que para la corteza MC presento el mayor valor (4,36%) frente a MAU y MSP ( $p < 0,05$ ).

Tomando como referencia el mejor rendimiento obtenido en el estudio, su valor es inferior a lo mencionado por los diferentes autores; es así que en publicaciones recientes encontramos reportes que van desde 5% a más de 20% de rendimiento en base seca para la extracción de hidrocoloides y polisacáridos de diferentes fuentes (ya sean semillas, vainas, tubérculos, entre otros) y diversos métodos de extracción (Razavi *et al.* 2009; Bagherian, Ashtiani, Fouladitajar, y Mohtashamy, 2011; Samavati, 2013; Yang, Wang, Li y Yu, 2015; Naji-Tabasi, Razavi, Mohebbi y Malaekheh-Nikouei, 2016).

Entre los muchos factores que afectan el rendimiento en la extracción de hidrocoloides y polisacáridos, los de mayor importancia son la temperatura, pH de solvente, tamaño de partícula, relación materia prima/solvente y tiempo de extracción. De los factores mencionados, el tamaño de partícula puede explicar los bajos niveles de rendimientos obtenidos en la investigación, si se tiene en cuenta que se emplearon “centros leñosos” de ~1 cm de diámetro y ~12 cm de longitud, “cortezas” de ~12 cm de longitud y ~0,3 cm de espesor, estas muestras no fueron pulverizadas para evitar su exposición a más de 50 °C, temperatura que fácilmente se alcanzó por fricción durante el proceso de molienda. En contraste Razavi *et al.* (2009); Karazhiyan, Razavi, y Phillips (2011); y Naji-Tabasi *et al.* (2016); trabajaron con semillas enteras de albaca y berro (de pocos mm de diámetro), con rendimientos de 12,34; 6,46 y 10,16%, respectivamente.

De forma similar, Samavati (2013) y Yang *et al.* (2015), extrajeron polisacáridos a partir de harina vainas de okra y ñame chino en polvo, con rendimientos de 16,90 y 5,19%, respectivamente.

Con respecto al efecto del método de extracción sobre el rendimiento; Keisandokht, Haddad, Gariepy y Orsat, (2018), evaluaron dos métodos de extracción de hidrocoloide de semillas de albaca, uno convencional y otro asistido por microondas, logrando rendimientos de 6,17% y 10,45%, respectivamente. Análogamente, en su investigación comparativa de los métodos para la extracción de pectina de toronja, Bagherian, Ashtiani, Fouladitajar, y Mohtashamy (2011), obtuvieron rendimientos de 19,16; 27,81; 17,92 y 31,88% para los métodos convencional, asistido por microondas, asistido por ultrasonido y ultrasonido-microondas, respectivamente. En los dos casos anteriores, el método convencional logra los menores rendimientos, lo que no concuerda con lo encontrado en el presente estudio, un factor a tener en cuenta (además del ya mencionado tamaño de partícula), es el pH del solvente, en particular se empleó agua destilada con un pH de ~7,0; mientras que Keisandokht *et al.* (2018), trabajaron con pH 4 a 11 y subrayan que el rendimiento mejora al bajar el pH; por su parte Bagherian *et al.* (2011) emplearon un pH de 1,5. El notorio el efecto del pH en el rendimiento, está relacionado a la reducción de la viscosidad de la mezcla materia prima/solvente que se logra al reducir el pH del mismo, esto deriva en una mayor solubilidad del hidrocoloide o polímero a extraer y mejora el coeficiente de difusión, con lo que se logra una mayor extracción y rendimiento.

Considerando los resultados obtenidos en este subcapítulo y en base a estudios preliminares, para la caracterización fisicoquímica y reológica, se trabajó con la muestra de hidrocoloide obtenido a partir de la corteza seca de *Triumfetta semitriloba Jacq.* aplicando el método asistido por ultrasonido, al que se codificó como HCTS.

## 5.2. DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA

El hidrocoloide registro un pH de 6,96 (neutro) para una solución al 0,5% (p/v), este valor se acerca a los 6,2 reportado para una solución al 1% de mucílago de semillas de *Cassia fistula* (Yadav, Sharma, Goyal y Patel, 2015); sin embargo, es más alto que los valores de 5,82 y 5,40 citados para la fracción alcohólica precipitada y sin purificar de la goma tragacanto, respectivamente (Kurt, 2018). Teniendo en cuenta que el pH de una muestra está directamente relacionado a su composición química, es lógico esperar diferencias (en este parámetro) para hidrocoloides de diferentes fuentes; aun así, se percibe una tendencia a la neutralidad cuanto más purificado sea el hidrocoloide.

El HCTS presento valores de  $L^* = 53,58$ ;  $a^* = 4,66$  y  $b^* = 17,26$ , que distan mucho a lo hallado por Grassino *et al.* (2016), en pectinas extraídas a partir de residuos de tomate, quienes indican valores entre 66,0 – 95,98; 0,02 – 0,63 y 4,51 – 11,36 (para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , respectivamente). El bajo valor de  $L^*$  para la muestra de HCTS, indican la presencia de impurezas (polifenoles, pigmentos, azúcares reductores, proteínas, entre otros), que fueron extraídos conjuntamente con el hidrocoloide y no se eliminaron con la precipitación y posteriores lavados, lo anterior se confirma si se observan detalladamente los valores de  $a^*$  y  $b^*$ , también es importante señalar la acción enzimática y posible pardeamiento no enzimático durante el proceso de aislamiento. Grassino *et al.* (2016), reportan una problemática, por lo que ensayaron un lavado final con etanol/acetona para reducir el contenido de impurezas, con lo que incrementaron los valores de  $L^*$  y redujeron los de  $a^*$  y  $b^*$ .

De otro lado, el HCTS obtuvo un índice de blancura (%IB) de 50,25; estando muy por debajo a los 81,05 y 90,51 para para la fracción alcohólica precipitada y sin purificar de la goma tragacanto (respectivamente), mencionados por Kurt (2018), quien también empleo un lavado de etanol/acetona.

De la composición proximal (Tabla 4), resalta el contenido de cenizas totales (16,22), que supera por mucho a lo reportado en investigaciones recientes sobre hidrocoloides, en las que se mencionan contenidos que van desde 3,27 a 10,94% (Razavi, 2009; Ismail, Ramli, Hani y Meon, 2012; Jouki, Mortazavi, Yazdi y Koocheki, 2014; Faccio, Machado, de Souza, Zoldan, y Quadri, 2015; Behbahani, Yazdi, Shahidi, Hesarinejad, Mortazavi y Mohebbi, 2017; Keisandokht, 2018). El elevado valor puede ser atribuido a una incompleta incineración a 550 °C para 3 horas, tal como lo indica Behbahani *et al.* (2017).

El contenido de proteína solubles presente en HCTS fue de 3,51%; superando a los valores de 1,18 y 2,71% %, reportados por Keisandokht *et al.* (2018) y Jouki *et al.* (2014), respectivamente; por otro lado, el valor es inferior a los mencionados por Behbahani *et al.* (2017) y Faccio *et al.* (2015) (6,66 y 16,04%, respetivamente). Es importante subrayar que los valores citados por los autores son de proteína total, comparado al de proteína soluble que se reporta para la presente investigación, por lo que el valor final (proteína total) podría ser mayor; así mismo los hidrocoloides y gomas obtenidos por los autores fueron extraídos de semillas o pulpa de fruta.

El valor de carbohidratos totales fue calculado por diferencia; sin embargo, al contar solo con valores de proteínas solubles, este valor resulta una aproximación del valor real; aun así, representan la mayor fracción en peso del HCTS (65.69%), estando cerca a los valores de 79,11; 79,62; 82,85 y 83,43%, señalados por Jouki *et al.* (2014), Razavi (2009), Behbahani *et al.* (2017) y Keisandokht *et al.* (2018), respectivamente.

El análisis de contenido de minerales mostró que Ca, Mg, K, Na, fueron los principales iones presentes en HCTS ( $3,26 \times 10^4$ ;  $1,37 \times 10^4$ ;  $4,8 \times 10^3$ ;  $1,3 \times 10^3$  ppm), también se encontró pequeñas cantidades de Zn, Cu, Mn, Fe y Cd (65, 13, 10, 9 y 1 ppm). Los valores encontrados son inferiores a los encontrados para el mucílago de llantén, donde Ca, Mg, Fe, K, P y Na fueron los principales iones presentes ( $1,1 \times 10^5$ ;  $2,9 \times 10^4$ ;  $1,4 \times 10^4$ ;  $1,3 \times 10^4$ ;  $9,2 \times 10^3$  y  $6,5 \times 10^3$  ppm), respectivamente (Behbahani *et al.* 2017).

Los resultados de la cuantificación de polifenoles totales sugiere que de HCTS un contenido de 0,17 mg AGE/g. Este valor es cercano a los 0,15 mg AGE/g informado para el mucílago extraídos del fruto de *Carica quercifolia* (Behbahani et al. 2017), pero mucho más bajo que los 76,79 AGE/g del mucílago semillas de *Plantago major* (Faccio et al. 2015).

La actividad antioxidante se investigó a través de la prueba DPPH y ABTS, calculándose 419,59 y 518,79 mg TE/g, también se evaluó la capacidad de inhibición de los radicales, obteniéndose un 15,66 y 32,83 % para cada método respectivo. Siendo mayor a los 1,70 y 30,64% (para DPPH) reportados por Faccio *et al.* (2015) y Jouki *et al.* (2014). Si se toma en cuenta la clasificación adoptada por Melo, Maciel, Lima y Araújo (2008), para los extractos frutales, donde la acción antioxidante se considera fuerte cuando hay secuestro de DPPH por encima del 70%, moderado cuando está entre 50% y 70%, y por debajo 50% se considera una acción débil. Por lo tanto, se puede decir que el HCTS muestra una actividad antioxidante débil.

### **5.3. DE LA EVALUACIÓN REOLÓGICA**

#### **5.3.1. Del comportamiento independiente del tiempo**

La Tabla 7 corrobora lo deducido en las Figuras 10 al 14, se demuestra que las soluciones diluidas (0,050 a 0,125%) presentaron un comportamiento espesante ( $n > 1$ ), y a partir de la solución al 0,150% se registra un comportamiento pseudoplástico ( $n < 1$ ). El análisis de varianza del índice de comportamiento de flujo ( $n$ ) demostró diferencias significativas ( $p < 0,001$ ) con respecto a la concentración, temperatura y su interacción; la prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) reveló que a las concentraciones de 0,100 y 0,125% se alcanzan los valores máximos para  $n$ , el cual se reduce al incrementarse concentración, obteniéndose valores menores a la unidad a partir de los 0,150% en adelante. Del mismo modo, la prueba Tukey señala un incremento del índice de comportamiento de flujo con respecto a la temperatura, donde a los 45 °C se exhibe un mayor valor medio. Con respecto al índice de consistencia ( $K$ ), donde



igualmente se encontraron diferencias significativas, la prueba de rangos expuso un comportamiento opuesto al de  $n$ , puesto que su valor se ve favorecido con la concentración, pero no con la temperatura (ver Anexos 3 y 4).

Por otra parte, en la Tabla 8 se observa que para las concentraciones 0,050; 0,075 y 0,100% los parámetros son iguales al modelo Ley de potencia (Tabla 7), esto puede explicarse si se tiene en cuenta lo indicado por Steffe (1996), quien considera el modelo Herschel-Bulkley una relación general para describir el comportamiento de los fluidos no newtonianos, siendo muy conveniente porque el comportamiento newtoniano, Ley de Potencia (límite de fluencia = 0) y plástico de Bingham se pueden considerar casos especiales.

Los valores del límite de fluencia (del modelo de Herschel-Bulkley) se incrementaron a medida que aumentaban la temperatura y la dilución. Esto puede reflejar la naturaleza compleja de HCTS posiblemente compuesta de más de dos fracciones de polisacárido diferentes. Marcotte *et al.* (2001) y Hosseini-Parvar *et al.* (2010), en sus investigaciones sobre carragenina y goma de semillas de albaca, respectivamente; citan resultados similares, donde señalan al modelo de Herschel-Bulkley como el mejor para describir el comportamiento de flujo de las soluciones de estas muestras.

El comportamiento de flujo espesante y su posterior transición a uno adelgazante, encontrado en las soluciones de HCTS, está ligado a la microestructura del polímero (hidrocoloide) como lo indica Barnes (2000), quien señala que la viscosidad de las soluciones poliméricas, al igual que dependen de la velocidad de cizallamiento y la temperatura, también depende de la distribución del peso molecular y la concentración. Por su parte, Chhabra y Richardson (2011), explican que para polímeros en solución en reposo (concentraciones medias a altas), su microestructura molecular está orientada aleatoriamente en función de su estado de energía mínimo, al aplicar bajos niveles de esfuerzo, el sistema se resiste a la deformación y se esfuerza por retener su estructura, exhibiendo así un valor alto de viscosidad aparente y punto de fluencia. Al incrementarse los niveles de esfuerzo cortante, las moléculas poliméricas enrolladas y enredadas, pueden desenredarse, romperse y

finalmente alinearse completamente en dirección al flujo. Todos estos cambios microestructurales facilitan el flujo masivo en el sistema. Esto puede verse como la disminución de la viscosidad efectiva al aumentar la velocidad de corte, como se observa en las sustancias viscoplásticas y adelgazantes.

Para el caso de soluciones de polímeros hiper-ramificados a baja concentración ( $< 0.5\%$  p/p), se explica un comportamiento diferente, donde inicialmente (en reposo) las moléculas no interactúan entre sí, pero al incrementarse la cizalla se promueve el desenredo de las estructuras de "bobinas", exponiendo las ramificaciones que pueden llegar a interactuar y formar enredos con las moléculas vecinas, esto se manifiesta un incremento temporal en la viscosidad (comportamiento espesante), sin embargo a medida que se incrementa la velocidad, la ruptura de los enlaces es mayor a la formación de los mismos (Chhabra y Richardson, 2011).

### **5.3.2. Del comportamiento dependiente del tiempo**

Tárrega *et al.* (2004), Koocheki y Razavi (2009), mencionan que la comparación de áreas de histéresis (AH) entre sistemas viscosos de manera diferente puede no proporcionar conclusiones válidas sobre la extensión de la ruptura estructural dependiente del tiempo. Un enfoque alternativo puede ser el uso del área tixotrópica relativa (%AHR), definida como la relación del área de histéresis "absoluta" al área bajo la curva de cizallamiento ascendente (Dolz *et al.*, 2000).

Pese a que todas las muestras revelaron valores muy bajos tanto para el AH y % AHR, el análisis de varianza evidenció diferencias significativas con respecto a la concentración y temperatura, como para la interacción de ambos factores ( $p < 0,001$ ). La prueba de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ) indicó que la temperatura tuvo un efecto negativo en el AH y %AHR, debido a que a la temperatura más alta se obtuvieron los menores valores, no obstante, el incremento de temperatura permitió el desarrollo tixotrópico en las soluciones. Por su parte, la concentración tuvo un efecto particular en el AH y %AHR, a bajas concentraciones (0,050 a 0,075%) prevalece una pequeña tixotropía, la cual es

desplazada por un marcado comportamiento antitixotrópico a concentraciones intermedias (0,100 a 0,200%), para finalmente converger en un fluido tixotrópico a concentraciones mayores a 0,200%.

Suponiendo que el AH es un índice de la energía necesaria para destruir la estructura responsable de la dependencia del tiempo de flujo, los datos experimentales mostraron que la solución al 0,225% era la que necesitaba la energía más alta para descomponer dicha estructura, mientras que, si se consideran las %ARH el valor de energía más alto se mostró en las soluciones al 0,050 y 0,225%.

Tárrega *et al.* (2004), Koocheki *et al.* (2009) y Razavi *et al.* (2009), también observaron una tendencia similar cuando estudiaron el comportamiento tixotrópico de muestras de natillas, soluciones de gomas de semilla de *Alyssum homolocarpum* e hidrocoloides tradicionales iraníes, respectivamente.

### 5.3.3. Del efecto de la concentración

Los coeficientes de determinación obtenidos fueron altos, lo que indica que los modelos describen adecuadamente la variabilidad asociada. Los parámetros de los modelos ajustados para el índice de consistencia (K) de las soluciones de HCTS (diferentes concentraciones) a cada temperatura se mostrados en la Tabla 12 y el Figura 18.

Para el modelo potencial, los parámetros “a” y “b” aumentaron con la temperatura, mientras que en el modelo exponencial solo el parámetro “b” incremento su valor con respecto a la temperatura; esto indica una mayor dependencia del índice de consistencia a la concentración. El modelo Polinomial presento los valores más bajos de RMSE y  $\chi^2$ , fue el mejor modelo para predecir la dependencia de K a la concentración, para todas las temperaturas (excepto para 45 °C), para ello fue necesario emplear un intercepto diferente a 1 (ecuación 22), aun así no hubo una tendencia definida, lo que indica que podría haber una fuerte interacción entre la temperatura y la concentración. Se observaron

tendencias similares para soluciones de carragenina, pectina y goma xantana de acuerdo a lo reportado por Marcotte *et al.* (2001). En contraste Hosseini-Parvar *et al.* (2010), señalan al modelo potencial como el mejor para predecir la dependencia de la viscosidad a la concentración, en soluciones de goma de semillas de albaca; del mismo modo Santos *et al.* (2016), cita al modelo exponencial, en la predicción del efecto de concentración en la viscosidad aparente de jugo de manzana malayo.

#### 5.3.4. Del efecto de la temperatura

La ecuación de Arrhenius mostró una bondad de ajuste satisfactoria ( $R^2_{adj} > 0.900$ , Tabla 13), únicamente para cuatro concentraciones (0,075; 0,125 y 0,150%); pese a ello se puede distinguir una doble caída en la energía de activación ( $E_a$ ), el primer tramo para concentraciones entre 0,050 y 0,100%, y el segundo desde 0,150 a 0,225%; en general se puede señalar que  $E_a$  aumenta a medida que disminuye la concentración. Según Steffe (1996), la energía de activación indica la influencia de la temperatura en la viscosidad aparente de los fluidos, es decir cuanto mayor sea la energía de activación, mayor será la variación aparente de la viscosidad ( $K$  para el caso en particular) en un rango de temperatura. Una tendencia similar (menos la doble caída de  $E_a$ ) fue reportada por Santos *et al.* (2016); sin embargo, Marcotte *et al.* (2001), Hosseini-Parvar *et al.* (2010) y Kelleher *et al.* (2018), encontraron una relación directa entre  $E_a$  y concentración, para carragenina, goma de semilla de albaca y bebidas a base de proteína láctea, respectivamente.

El modelo exponencial, presento una mejor descripción del efecto de la temperatura sobre el índice de consistencia (y consecuentemente la viscosidad) de todas las soluciones de HCTS evaluadas (excepto para 0,050%); esto concuerda con lo indicado por Peleg (2017). Al analizar los parámetros, no se distingue una tendencia clara para el parámetro pre exponencial ( $a$ ), sin embargo, los valores del parámetro exponencial “ $b$ ” se reducen a mayor concentración, esto indica un mayor efecto de la temperatura a altas concentraciones y fuerte interacción entre concentración y temperatura.

### 5.3.5. Del efecto combinado concentración y temperatura

De los dos modelos contrastados (Tabla 14), el exponencial presento un mejor ajuste a los datos experimentales, lo cual es era de esperarse si se tiene en cuenta que en la evaluación por separado de la dependencia de la concentración y temperatura por parte del índice de consistencia (K), los modelos de tipo exponencial mostraron una bondad de ajuste satisfactoria. Estos resultados muestran que K (y consecuentemente la viscosidad) aumenta con una mayor concentración de sólidos solubles y una temperatura más baja. Resultados similares fueron reportados por Arslan *et al.* (2005) y Santos *et al.* (2016) para mezclas de pasta de sésamo-jugo de uva concentrado y jugo de manzano malayo, respectivamente.

Se debe enfatizar que las ecuaciones presentadas, son únicamente aplicable para las concentraciones (0,050 – 0,225%) y temperaturas (15 – 45 °C) evaluadas, una posible extrapolación no es recomendada.

## CONCLUSIONES

- La extracción de hidrocoloide a partir de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.* asistida por ultrasonido es factible.
- El hidrocoloide de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.* tiene el potencial para ser utilizado como una fuente alternativa y sostenible frente a las gomas comerciales.
- De los modelos reológicos independientes del tiempo evaluados, el modelo Herschel-Bulkely fue el que mejor se ajustó a las condiciones experimentales para explicar el comportamiento de flujo de las soluciones de hidrocoloide de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.*
- Las soluciones de hidrocoloide de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.* revelaron una transición en el comportamiento de flujo, iniciando como espesante (dilatante) para luego mostrar pseudoplasticidad al aumentar la concentración y temperatura. Además, de manifestar un comportamiento virtualmente independencia del tiempo.
- El modelamiento del efecto de la concentración tuvo un mejor ajuste a modelo polinomial, mientras que para la temperatura fue el modelo exponencial; finalmente, el efecto combinado de concentración-temperatura se explicó mediante una ecuación exponencial.

## RECOMENDACIONES

Con base en lo observado durante el desarrollo de la investigación y en los resultados obtenidos, se recomienda:

- Investigar la optimización de la extracción asistida por ultrasonido del hidrocoloide de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.*
- Realizar mayores estudios con énfasis en el comportamiento viscoelástico del hidrocoloide de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.*; evaluar concentración, temperatura, pH y fuerza iónica.
- Purificar el polímero presente en el hidrocoloide de la corteza de *Triumfetta semitriloba Jacq.*, estudiar su composición y sus características estructurales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeyemi, I. A., Akanbi, C. T., y Fasoro, O. G. (1991). Effect of soy fractions on some functional and rheological properties of maize-banana mixtures. *Journal of Food Processing and Preservation*, 15(1), 31-43.
- Ahmed, J., Ptaszek, P., y Basu, S. (Eds.). (2016). *Advances in food rheology and its applications* (pp. 8 – 63). Woodhead Publishing.
- Alger, M. (2017). *Polymer Science Dictionary*. Springer Netherlands: Dordrecht, 2017.
- Arce-Urbina, M. E., Hun-Opfer, C., y Mata-Segreda, J. F. (2003). The aqueous extract of *Triumfetta semitriloba* (Tiliaceae) does not inhibit the in-vitro hydrolytic activity of the major pancreatic enzymes. *Revista de biología tropical*, 51(2), 313-316.
- Arslan, E., Yener, M. E., y Esin, A. (2005). Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends. *Journal of Food Engineering*, 69(2), 167-172.
- Barnes, H. A. (1999). The yield stress—a review or ‘παντα ρει’—everything flows?. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 81(1-2), 133-178.
- Barnes, H. A. (2000). *A handbook of elementary rheology* University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics. Department of Mathematics, University of Wales Aberystwyth: Aberystwyth, Wales.
- Barnes, H. A., y Walters, K. (1985). The yield stress myth?. *Rheologica acta*, 24(4), 323-326.



- Barraza-Morales, A., Medrano-Nahuat, D., y Peraza-Sánchez, S. R. (2013). Chemical constituents of the leaves of *Triumfetta semitriloba*. *Natural product communications*, 8(9), 1245-1246.
- Behbahani, B. A., Yazdi, F. T., Shahidi, F., Hesarinejad, M. A., Mortazavi, S. A., y Mohebbi, M. (2017). *Plantago major* seed mucilage: Optimization of extraction and some physicochemical and rheological aspects. *Carbohydrate polymers*, 155, 68-77.
- Bhattacharya, S. (1999). Yield stress and time-dependent rheological properties of mango pulp. *Journal of Food Science*, 64(6), 1029-1033.
- Boger, D. V. (1977). Demonstration of upper and lower Newtonian fluid behaviour in a pseudoplastic fluid. *Nature*, 265(5590), 126.
- Bourne, M. (2002). *Physics and Texture*. In *Food texture and viscosity: concept and measurement* (pp. 59 – 106). Elsevier.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. L. W. T. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1), 25-30.
- Braun, D. D., y Rosen, M. R. (1999). *Rheology modifiers handbook: practical use and application*. William Andrew Publishing (pp. 1 – 69). Elsevier.
- Brummer, R. (2006). *Rheology essentials of cosmetic and food emulsions*. Springer Science & Business Media.
- Camareno, M. V., y Esquivel, L. G. R. (2006). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 19(4), 37-41.
- Carreau, P. J. (1972). Rheological equations from molecular network theories. *Transactions of the Society of Rheology*, 16(1), 99-127.

- Casson, N. (1959) A Flow Equation for Pigment-Oil Suspensions of the Printing Ink Type. In: Mill, C.C., Ed., *Rheology of Disperse Systems*, Pergamon Press, Oxford, 84-104.
- Chhabra, R. P., y Richardson, J. F. (2008). *Non-Newtonian flow and applied rheology: engineering applications*. Butterworth-Heinemann.
- Contreras-Padilla, M., Rodríguez-García, M. E., Gutiérrez-Cortez, E., del Carmen Valderrama-Bravo, M., Rojas-Molina, J. I., y Rivera-Muñoz, E. M. (2016). Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus* mucilage at three different maturity stages of cladode. *European Polymer Journal*, 78, 226-234.
- Cross, M. M. (1965). Rheology of non-Newtonian fluids: a new flow equation for pseudoplastic systems. *J. Colloid Interface Sci.*, 20, 417-437
- Dolz, M., González, F., Delegido, J., Hernández, M. J., y Pellicer, J. (2000). A time-dependent expression for thixotropic areas. Application to Aerosil 200 hydrogels. *Journal of pharmaceutical sciences*, 89(6), 790-797.
- Faccio, C., Machado, R. A., de Souza, L. M., Zoldan, S. R., y Quadri, M. G. (2015). Characterization of the mucilage extracted from jaracatia (*Carica quercifolia* (A. St. Hil.) Hieron). *Carbohydrate polymers*, 131, 370-376.
- Felkai-Haddache, L., Remini, H., Dulong, V., Mamou-Belhabib, K., Picton, L., Madani, K., y Rihouey, C. (2016). Conventional and microwave-assisted extraction of mucilage from *Opuntia ficus-indica* cladodes: physico-chemical and rheological properties. *Food and bioprocess technology*, 9(3), 481-492.
- Fellegrini, N., Ke, R., Yang, M., y Rice-Evans, C. (1999). [34] Screening of dietary carotenoids and carotenoid-rich fruit extracts for antioxidant activities applying 2, 2'-azinobis (3-ethylenebenzothiazoline-6-sulfonic acid radical

cation decolorization assay. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 379-389). Academic Press.

Grassino, A. N., Brnčić, M., Vikić-Topić, D., Roca, S., Dent, M., y Brnčić, S. R. (2016). Ultrasound assisted extraction and characterization of pectin from tomato waste. *Food chemistry*, 198, 93-100.

Hahn, S. J., Ree, T., y Eyring, H. (1959). Flow mechanism of thixotropic substances. *Industrial & Engineering Chemistry*, 51(7), 856-857.

Higgs, S.J. y Norrington, R.J. 1971. Rheological properties of selected foodstuffs. *Process Biochem.* 6(5): 52-54.

Hosseini-Parvar, S. H., Matia-Merino, L., Goh, K. K. T., Razavi, S. M. A., y Mortazavi, S. A. (2010). Steady shear flow behavior of gum extracted from *Ocimum basilicum* L. seed: effect of concentration and temperature. *Journal of food engineering*, 101(3), 236-243

Imeson, A. (Ed.). (2011). *Food stabilisers, thickeners and gelling agents*. John Wiley & Sons.

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). (2018). Consultado el 20 de Julio del 2018. Disponible en: <http://www.itis.gov>

Ismail, N. S. M., Ramli, N., Hani, N. M., y Meon, Z. (2012). Extraction and characterization of pectin from dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) using various extraction conditions. *Sains Malaysiana*, 41(1), 41-45.

Jouki, M., Mortazavi, S. A., Yazdi, F. T., y Koocheki, A. (2014). Optimization of extraction, antioxidant activity and functional properties of quince seed mucilage by RSM. *International journal of biological macromolecules*, 66, 113-124.

- Karazhiyan, H., Razavi, S. M., y Phillips, G. O. (2011). Extraction optimization of a hydrocolloid extract from cress seed (*Lepidium sativum*) using response surface methodology. *Food Hydrocolloids*, 25(5), 915-920.
- Keisandokht, S., Haddad, N., Garipey, Y., y Orsat, V. (2018). Screening the microwave-assisted extraction of hydrocolloids from *Ocimum basilicum* L. seeds as a novel extraction technique compared with conventional heating-stirring extraction. *Food Hydrocolloids*, 74, 11-22.
- Kelleher, C. M., O'Mahony, J. A., Kelly, A. L., O'Callaghan, D. J., y McCarthy, N. A. (2018). Evaluation of Models for Temperature-Dependent Viscosity Changes in Dairy Protein Beverage Formulations During Thermal Processing. *Journal of food science*, 83(4), 937-945.
- Razavi, S. M. A., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., & Khanipour, E. (2009). Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum*L.). *International Journal of Food Science & Technology*, 44(9), 1755–1762. doi:10.1111/j.1365-2621.2009.01993.x
- Kurt, A. (2018). Physicochemical, rheological and structural characteristics of alcohol precipitated fraction of gum tragacanth. *Food and health*, 4 (3), 183-193. DOI: 10.3153/FH18019
- Leitão, C. A. E., Meira, R. M. S. A., Azevedo, A. A., y Araújo, J. M. (2002). Extrafloral nectary ontogeny of *Triumfetta semitriloba* (Tiliaceae). *Planta Daninha*, 20(3), 343-351.
- Malkin, A. Y. y Isayev, A. I. (2017). *Rheology: concepts, methods, and applications*. Elsevier.
- Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., y Ramaswamy, H. S. (2001). Rheological properties of selected hydrocolloids as a function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695-703.

- Margraf, T., Karnopp, A. R., Rosso, N. D., y Granato, D. (2015). Comparison between Folin-Ciocalteu and prussian blue assays to estimate the total Phenolic Content of Juices and Teas Using 96-Well Microplates. *Journal of food science*, 80(11), C2397-C2403.
- Melo, E. de A., Maciel, M. I. S., Lima, V. L. A. G. de, & Nascimento, R. J. do. (2008). Capacidade antioxidante de frutas. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, 44(2), 193–201. doi:10.1590/s1516-93322008000200005
- Milani, J., y Maleki, G. (2012). Hydrocolloids in food industry. In *Food industrial processes-methods and equipment*. InTech.
- Mujumdar, A., Beris, A. N., y Metzner, A. B. (2002). Transient phenomena in thixotropic systems. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 102(2), 157-178.
- Naji-Tabasi, S., Razavi, S. M. A., Mohebbi, M., y Malaekheh-Nikouei, B. (2016). New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part I–Fractionation, physicochemical and surface activity characterization. *Food Hydrocolloids*, 52, 350-358.
- Paredes, M. D. C., Rao, M. A., y Bourne, M. C. (1988). Rheological characterization of salad dressings. 1. Steady shear, thixotropy and effect of temperature. *Journal of Texture Studies*, 19(3), 247-258.
- Patton, T. C. (1969). *J. Paint Technol.* 38 (502), 656 (1966). *Cereal Sci. Today*, 14, 178.
- Peleg, M. (2017). Temperature–viscosity models reassessed. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(15), 2663–2672. doi:10.1080/10408398.2017.1325836

35. Peleg, M., Normand, M. D., & Corradini, M. G. (2012). The Arrhenius Equation Revisited. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(9), 830–851. doi:10.1080/10408398.2012.667460
- Quintero, P.; Meccia, G.; Rojas, L. B.; Usubillaga, A.; Carmona Arzol, J. y De Lima, W. (2012). Análisis químico del aceite esencial de las hojas de *Triumfetta semitriloba* Jacq. (Tiliaceae) colectada en Mérida, Venezuela. *Rev Fac Farm.* 2012; 54(2): 17 – 20. Disponible en: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/37029>
- Rao, M. A. (2014). Flow and functional models for rheological properties of fluid foods. In *Rheology of Fluid, Semisolid, and Solid Foods* (pp. 27-61). Springer, Boston, MA.
- Razavi, S. M., y Karazhiyan, H. (2009). Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: experimental and modeling studies. *Food Hydrocolloids*, 23(3), 908-912.
- Razavi, S. M., Mortazavi, S. A., Matia-Merino, L., Hosseini-Parvar, S. H., Motamedzadegan, A., y Khanipour, E. (2009). Optimisation study of gum extraction from Basil seeds (*Ocimum basilicum* L.). *International journal of food Science & Technology*, 44(9), 1755-1762.
- Romero, L. G., y Vargas, M. (2008). Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica (p. 12). Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Rossa, P. N., Burin, V. M., y Bordignon-Luiz, M. T. (2012). Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. *LWT-Food Science and Technology*, 48(2), 224-230.

- Samavati, V. (2013). Polysaccharide extraction from *Abelmoschus esculentus*: Optimization by response surface methodology. *Carbohydrate polymers*, 95(1), 588-597.
- Santos, P. H., Silva, L. H. M. D., Rodrigues, A. M. D. C., y Souza, J. A. R. D. (2016). Influence of temperature, concentration and shear rate on the rheological behavior of malay apple (*Syzygium malaccense*) juice. *Brazilian Journal of Food Technology*, 19.
- Saravacos, G. D. (1970). Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *Journal of Food Science*, 35(2), 122-125.
- Steffe, J. F. (1996). *Rheological methods in food process engineering*. Freeman press.
- Tárrega, A., Durán, L., y Costell, E. (2004). Flow behaviour of semi-solid dairy desserts. Effect of temperature. *International dairy journal*, 14(4), 345-353.
- Toledo M. y Santiago J. (2012). Estudio Fotoquímico de la Corteza de *Triumfetta semitriloba* Jacq (en línea). Investigación en el campo de bioquímica orgánica y compuestos naturales, presentado en el XXVI Congreso Peruano de Química Mariano Eduardo de Rivero y Ustáriz. Universidad Nacional de San Agustín. Arequipa, Perú. 242, 243 p. Consultado el 15 de diciembre del 2017. Disponible en: [http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS\\_20/Quimica\\_Industrial/26.pdf](http://www.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/TECNOLOGICAS_20/Quimica_Industrial/26.pdf)
- Uhlherr, P. H. T., Guo, J., Tiu, C., Zhang, X. M., Zhou, J. Q., y Fang, T. N. (2005). The shear-induced solid-liquid transition in yield stress materials with chemically different structures. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, 125(2-3), 101-119.

- Umerova S, Ragulya A (2017) Coexistence of Rheopexy and Dilatancy in Polymer Suspensions Filled with Ceramic Nanoparticles. *Rheol: open access* 1: e102.
- Vaclavik, V. A., y Christian, E. W. (2014). Pectins and Gums. In *Essentials of food science* (pp. 53-61). Springer, New York, NY.
- Waterborg, J. H. (2002). The Lowry method for protein quantitation. In *The protein protocols handbook* (pp. 7-9). Humana press.
- Weltmann, R. N. (1943). Breakdown of thixotropic structure as function of time. *Journal of Applied Physics*, 14(7), 343-350.
- Williams, P.A. y Phillips, D.L. (2009). Introduction to food hydrocolloids, in: P.A. Williams, D.L. Phillips (Eds.), *Handbook of hydrocolloids*, Woodhead publishing Ltd.2009, pp. 1-22.
- Wu, Y., Ding, W., Jia, L., y He, Q. (2015). The rheological properties of tara gum (*Caesalpinia spinosa*). *Food chemistry*, 168, 366-371.
- Yadav, S., Sharma, P. K., Goyal, N. K., & Patel, D. K. (2015). Extraction and characterization of mucilage from *Cassia fistula* seeds. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 10(2), 68-72.
- Yang, W., Wang, Y., Li, X., y Yu, P. (2015). Purification and structural characterization of Chinese yam polysaccharide and its activities. *Carbohydrate polymers*, 117, 1021-1027.



## ANEXOS

**Anexo 1.** Análisis de variancia y pruebas de comparación múltiple Tukey para el rendimiento (% base seca) del hidrocoloide obtenido a partir de la corteza y centro leñoso de *Triumfetta semitriloba Jacq.*, bajo diferentes métodos.

### Análisis de la variancia

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento (%)	18	0.96	0.94	12.09

### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	21.67	5	4.33	53.51	<0.0001
Muestra	14.85	1	14.85	183.34	<0.0001
Método	1.57	2	0.78	9.67	0.0031
Muestra*Método	5.26	2	2.63	32.44	<0.0001
Error	0.97	12	0.08		
Total	22.65	17			

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.29233

Error: 0.0810 gl: 12

Muestra	Mediasn	E.E.	
Corteza	3.26 9	0.09	A
Centro	1.45 9	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.43839

Error: 0.0810 gl: 12

Método	Mediasn	E.E.	
MC	2.70 6	0.12	A
MAU	2.39 6	0.12	A B
MSP	1.98 6	0.12	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

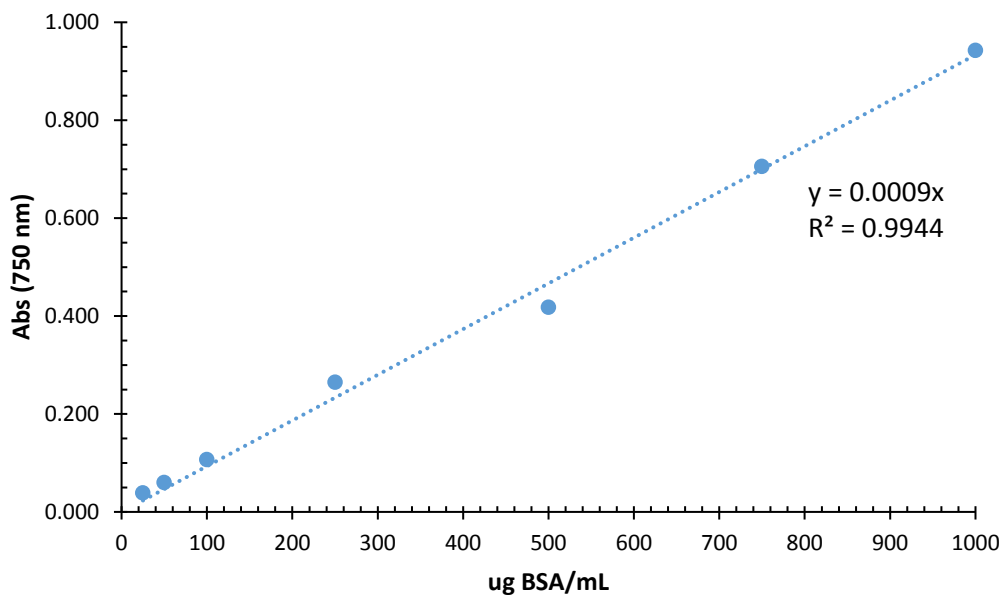
### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.78057

Error: 0.0810 gl: 12

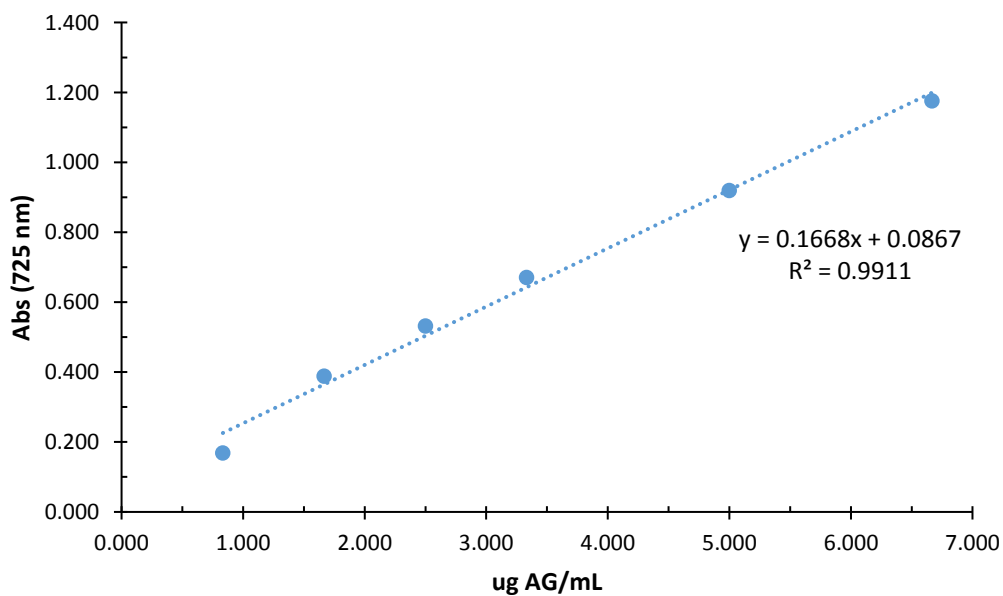
Muestra	Método	Mediasn	E.E.	
Corteza	MC	4.36 3	0.16	A
Corteza	MAU	3.04 3	0.16	B
Corteza	MSP	2.39 3	0.16	B C
Centro	MAU	1.74 3	0.16	C D
Centro	MSP	1.56 3	0.16	D
Centro	MC	1.04 3	0.16	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

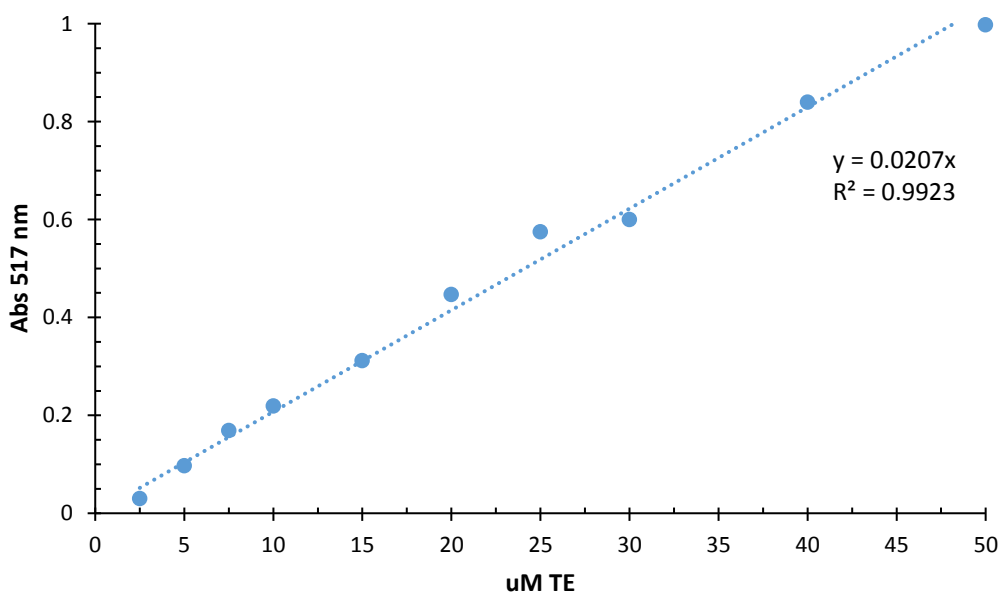
## Anexo 2. Curvas estándar de métodos espectrofotométricos



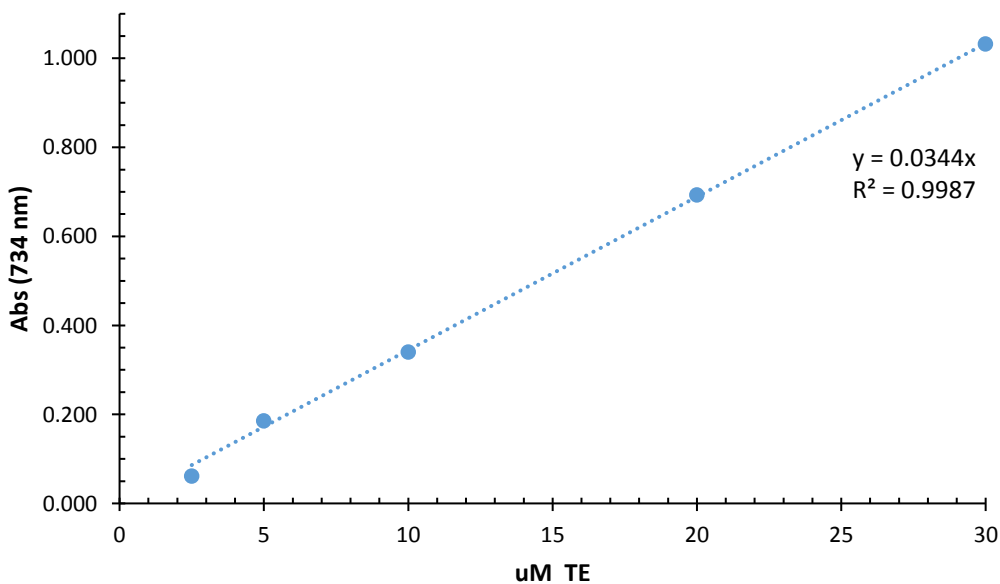
A. Curva de estándar para albumina suero bovino (BSA); cuantificación de proteínas solubles por el método Lowry.



B. Curva de estándar para ácido gálico; cuantificación de polifenoles totales por el método Azul de Prussian.



C. Curva de estándar para Trolox; evaluación de capacidad antioxidante por el método del radical 2,2-diphenyl-1-picrilhydrazyl (DPPH)



D. Curva de estándar para Trolox; evaluación de capacidad antioxidante para el método del catión 2,2-azobis(3-etilenbenzotiazolino-6 ácido sulfónico) (ABTS<sup>+</sup>).

Anexo 3. Resultados de análisis de minerales de la muestra de HCTS



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
 Tingo Maria  
 Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Aguas y Ecotoxicología  
 Av. Universitario s/n Telef. (062) 562342 - Celular 941531369 Aptdo. 156  
 uas@unase.edu.pe | unase@unase.edu.pe



# ANÁLISIS ESPECIAL

**SOLICITANTE:** CUETO ROSALES CÉSAR ROBERT

**PROCEDENCIA:** TINGO MARIA

DATOS DE LA MUESTRA		PORCENTAJE (%) EN BASE SECA					PARTES POR MILLON (PPM) EN BASE SECA				
Código	Referencia	Ca (%)	Mg (%)	K (%)	Na (%)	Cu ppm	Fe ppm	Cd ppm	Zn ppm	Mn ppm	
M0307	tejido foliar	3.26	1.37	0.48	0.13	13	9	1	65	10	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE  
 TINGO MARIA, 03 DE ABRIL DEL 2018  
 RECIBO N° 0533587



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
 FACULTAD DE AGRONOMIA  
 Laboratorio de Análisis de Suelos



Jef. Luis Gonzalo Miraya  
 JEFE

**Anexo 4.** Análisis de variancia y prueba de Tukey de los coeficientes de consistencia (K) e índices de comportamiento del flujo (n) de la Ley de la Potencia, en soluciones de HCTS, evaluación de efecto de la concentración.

#### K (15 °C)

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0243	7	0.0035	85.0398	<0.0001
[%]	0.0243	7	0.0035	85.0398	<0.0001
Error	0.000716		4.1E-05		
Total	0.025023				

##### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01807

Error: 0.0000 gl: 16

[%]	Mediasn	E.E.			
0.225	0.0887	3	0.0037	A	
0.200	0.0664	3	0.0037	B	
0.175	0.0361	3	0.0037	C	
0.150	0.0211	3	0.0037	C	
0.125	0.0029	3	0.0037		D
0.050	0.0017	3	0.0037		D
0.075	0.0005	3	0.0037		D
0.100	0.0005	3	0.0037		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### n (15 °C)

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.7448	7	0.3921104	2011	<0.0001
[%]	2.7448	7	0.3921104	2011	<0.0001
Error	0.060216		0.0038		
Total	2.805123				

##### Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.17341

Error: 0.0038 gl: 16

[%]	Mediasn	E.E.			
0.100	1.4785	3	0.0354	A	
0.075	1.4696	3	0.0354	A	
0.050	1.2140	3	0.0354	B	
0.125	1.1598	3	0.0354	B	
0.150	0.8528	3	0.0354		C
0.175	0.7293	3	0.0354		C
0.200	0.6350	3	0.0354		D
0.225	0.5901	3	0.0354		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## K (25 °C)

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0218	7	0.00316	0.0448	<0.0001
[%]	0.0218	7	0.00316	0.0448	<0.0001
Error	0.000816		0.0001		
Total	0.022723				

## Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02037

Error: 0.0001 gl: 16

[%]	Medias	n	E.E.	
0.200	0.0731	3	0.0042	A
0.225	0.0726	3	0.0042	A
0.175	0.0360	3	0.0042	B
0.150	0.0087	3	0.0042	C
0.050	0.0019	3	0.0042	C
0.075	0.0008	3	0.0042	C
0.125	0.0008	3	0.0042	C
0.100	0.0004	3	0.0042	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## n (25 °C)

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.7796	7	0.39712	05.8410	<0.0001
[%]	2.7796	7	0.39712	05.8410	<0.0001
Error	0.030916		0.0019		
Total	2.810423				

## Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.12416

Error: 0.0019 gl: 16

[%]	Medias	n	E.E.	
0.100	1.4989	3	0.0254	A
0.125	1.3572	3	0.0254	B
0.075	1.3292	3	0.0254	B
0.050	1.1818	3	0.0254	C
0.150	0.9620	3	0.0254	D
0.175	0.7082	3	0.0254	E
0.200	0.5995	3	0.0254	E
0.225	0.5901	3	0.0254	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## K (35 °C)

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0195	7	0.0028	86.8322	<0.0001
[%]	0.0195	7	0.0028	86.8322	<0.0001
Error	0.000516		3.2E-05		
Total	0.020023				

## Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01599

Error: 0.0000 gl: 16

[%]	Mediasn	E.E.			
0.225	0.0781	3	0.0033	A	
0.200	0.0573	3	0.0033		B
0.175	0.0226	3	0.0033		C
0.050	0.0027	3	0.0033		D
0.150	0.0025	3	0.0033		D
0.075	0.0010	3	0.0033		D
0.100	0.0007	3	0.0033		D
0.125	0.0005	3	0.0033		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## n (35 °C)

## Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.5354	7	0.3622	140.7938	<0.0001
[%]	2.5354	7	0.3622	140.7938	<0.0001
Error	0.041216		0.0026		
Total	2.576623				

## Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.14338

Error: 0.0026 gl: 16

[%]	Mediasn	E.E.				
0.125	1.4545	3	0.0293	A		
0.100	1.3826	3	0.0293		B	
0.075	1.2966	3	0.0293		B	C
0.150	1.1615	3	0.0293			C
0.050	1.0771	3	0.0293			D
0.175	0.7820	3	0.0293			D
0.200	0.6116	3	0.0293			E
0.225	0.5669	3	0.0293			F
						F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**K (45 °C)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0081	7	0.0012	242.8421	<0.0001
[%]	0.0081	7	0.0012	242.8421	<0.0001
Error	0.000116		4.8E-06		
Total	0.008223				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00616**

Error: 0.0000 gl: 16

[%]	Mediasn	E.E.			
0.225	0.0517	3	0.0013A		
0.200	0.0329	3	0.0013	B	
0.175	0.0044	3	0.0013		C
0.150	0.0015	3	0.0013		C
0.075	0.0014	3	0.0013		C
0.050	0.0007	3	0.0013		C
0.100	0.0006	3	0.0013		C
0.125	0.0002	3	0.0013		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )**n (45 °C)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2.4377	7	0.348233	33.3582	<0.0001
[%]	2.4377	7	0.348233	33.3582	<0.0001
Error	0.167016		0.0104		
Total	2.604723				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.28883**

Error: 0.0104 gl: 16

[%]	Mediasn	E.E.			
0.125	1.5746	3	0.0590A		
0.100	1.3876	3	0.0590A	B	
0.050	1.2676	3	0.0590	B	C
0.150	1.2504	3	0.0590	B	C
0.075	1.1722	3	0.0590	B	C
0.175	1.0115	3	0.0590		C
0.200	0.6554	3	0.0590		D
0.225	0.6049	3	0.0590		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



**Anexo 5.** Análisis de variancia y prueba de Tukey de los coeficientes de consistencia (K) e índices de comportamiento del flujo (n), de soluciones de HCTS, evaluación del efecto de la temperatura.

**K (0.050%)**

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	6.4E-06	3	2.1E-06	30.6122	0.0001
°C	6.4E-06	3	2.1E-06	30.6122	0.0001
Error	5.6E-07	8	6.9E-08		
Total	6.9E-06	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00069**

Error: 0.0000 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
35.0	0.0027	3	0.0002A
25.0	0.0019	3	0.0002 B
15.0	0.0017	3	0.0002 B
45.0	0.0007	3	0.0002 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**n (0.050%)**

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0579	3	0.0193	21.8698	0.0003
°C	0.0579	3	0.0193	21.8698	0.0003
Error	0.0071	8	0.0009		
Total	0.0650	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.07771**

Error: 0.0009 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
45.0	1.2676	3	0.0172A
15.0	1.2140	3	0.0172A B
25.0	1.1818	3	0.0172 B
35.0	1.0771	3	0.0172 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**K (0.075%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.2E-06	3	3.9E-07	11.1555	0.0031
°C	1.2E-06	3	3.9E-07	11.1555	0.0031
Error	2.8E-07	8	3.5E-08		
Total	1.5E-06	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00049**

Error: 0.0000 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
45.00	0.0014	3	0.0001A
35.00	0.0010	3	0.0001A B
25.00	0.0008	3	0.0001 B
15.00	0.0005	3	0.0001 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***n (0.075%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.1345	3	0.0448	19.3008	0.0005
°C	0.1345	3	0.0448	19.3008	0.0005
Error	0.0186	8	0.0023		
Total	0.1531	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.12602**

Error: 0.0023 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
15.00	1.4696	3	0.0278A
25.00	1.3292	3	0.0278 B
35.00	1.2966	3	0.0278 B C
45.00	1.1722	3	0.0278 C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**K (0.100%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.7E-07	3	5.7E-08	0.8131	0.5216
°C	1.7E-07	3	5.7E-08	0.8131	0.5216
Error	5.6E-07	8	7.1E-08		
Total	7.4E-07	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00069**

Error: 0.0000 gl: 8

°C	Mediasn		E.E.
35.00	0.0007	3	0.0002A
45.00	0.0006	3	0.0002A
15.00	0.0005	3	0.0002A
25.00	0.0004	3	0.0002A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***n (0.100%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0329	3	0.01101	0.0335	0.4282
°C	0.0329	3	0.01101	0.0335	0.4282
Error	0.0848	8	0.0106		
Total	0.117611				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26916**

Error: 0.0106 gl: 8

°C	Mediasn		E.E.
25.00	1.4989	3	0.0594A
15.00	1.4785	3	0.0594A
45.00	1.3876	3	0.0594A
35.00	1.3826	3	0.0594A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**K (0.125%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1.4E-05	3	4.5E-06	195.3928	<0.0001
°C	1.4E-05	3	4.5E-06	195.3928	<0.0001
Error	1.9E-07	8	2.3E-08		
Total	1.4E-05	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00040**

Error: 0.0000 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.		
15.00	0.0029	3	0.0001A	
25.00	0.0008	3	0.0001	B
35.00	0.0005	3	0.0001	B C
45.00	0.0002	3	0.0001	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )**n (0.125%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.2768	3	0.092361	5106	<0.0001
°C	0.2768	3	0.092361	5106	<0.0001
Error	0.0120	8	0.0015		
Total	0.2888	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.10127**

Error: 0.0015 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.		
45.00	1.5746	3	0.0224A	
35.00	1.4545	3	0.0224	B
25.00	1.3572	3	0.0224	B
15.00	1.1598	3	0.0224	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**K (0.150%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0007	3	0.00023	3.7853	0.0587
°C	0.0007	3	0.00023	3.7853	0.0587
Error	0.0005	8	0.0001		
Total	0.0012	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02100**

Error: 0.0001 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.
15.00	0.0211	3 0.0046A
25.00	0.0087	3 0.0046A
35.00	0.0025	3 0.0046A
45.00	0.0015	3 0.0046A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***n (0.150%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.2971	3	0.09905	5.6531	0.0224
°C	0.2971	3	0.09905	5.6531	0.0224
Error	0.1401	8	0.0175		
Total	0.4372	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.34606**

Error: 0.0175 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.
45.00	1.2504	3 0.0764A
35.00	1.1615	3 0.0764A B
25.00	0.9620	3 0.0764A B
15.00	0.8528	3 0.0764 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**K (0.175%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0020	3	0.00076	6.2761	0.0170
°C	0.0020	3	0.00076	6.2761	0.0170
Error	0.0009	8	0.0001		
Total	0.0029	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02709**

Error: 0.0001 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
15.00	0.0361	3	0.0060A
25.00	0.0360	3	0.0060A
35.00	0.0226	3	0.0060A B
45.00	0.0044	3	0.0060 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***n (0.175%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.1747	3	0.0582	14.3186	0.0014
°C	0.1747	3	0.0582	14.3186	0.0014
Error	0.0325	8	0.0041		
Total	0.2072	11			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.16675**

Error: 0.0041 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
45.00	1.0115	3	0.0368A
35.00	0.7820	3	0.0368 B
15.00	0.7293	3	0.0368 B
25.00	0.7082	3	0.0368 B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

**K (0.200%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0028	3	0.000912	12.6948	0.0021
°C	0.0028	3	0.000912	12.6948	0.0021
Error	0.0006	8	0.0001		
Total	0.003411				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02233**

Error: 0.0001 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
25.00	0.0731	3	0.0049A
15.00	0.0664	3	0.0049A
35.00	0.0573	3	0.0049A
45.00	0.0329	3	0.0049 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )**n (0.200%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0056	3	0.00194	6.556	0.0364
°C	0.0056	3	0.00194	6.556	0.0364
Error	0.0032	8	0.0004		
Total	0.008711				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05217**

Error: 0.0004 gl: 8

°C	Mediasn	E.E.	
45.00	0.6554	3	0.0115A
15.00	0.6350	3	0.0115A B
35.00	0.6116	3	0.0115A B
25.00	0.5995	3	0.0115 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**K (0.225%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0022	3	0.0007	51.6030	<0.0001
°C	0.0022	3	0.0007	51.6030	<0.0001
Error	0.0001	8	1.4E-05		
Total	0.002311				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00981**

Error: 0.0000 gl: 8

°C	Mediasn	n	E.E.	
15.00	0.0887	3	0.0022A	
35.00	0.0781	3	0.0022	B
25.00	0.0726	3	0.0022	B
45.00	0.0517	3	0.0022	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)***n (0.225%)****Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.0022	3	0.00076	0.0054	0.0191
°C	0.0022	3	0.00076	0.0054	0.0191
Error	0.0010	8	0.0001		
Total	0.003211				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.02903**

Error: 0.0001 gl: 8

°C	Mediasn	n	E.E.	
45.00	0.6049	3	0.0064A	
15.00	0.5901	3	0.0064A	B
25.00	0.5901	3	0.0064A	B
35.00	0.5669	3	0.0064	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*



**Anexo 6.** Análisis de variancia y prueba de Tukey para los índices de comportamiento del flujo (n) de las soluciones de HCTS, evaluación del efecto combinado de concentración – temperatura.

**K**

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.08	31	2.5E-03	76.67	<0.0001
°C	3.3E-03	3	1.1E-03	33.83	<0.0001
[%]	0.07	7	0.01	305.40	<0.0001
°C*[%]	4.4E-03	21	2.1E-04	6.54	<0.0001
Error	2.1E-03	64	3.2E-05		
Total	0.08	95			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00433**

Error: 0.0000 gl: 64

°C	Mediasn	E.E.		
15.00	0.0324	1.2E-03	A	
25.00	0.0224	1.2E-03	A	B
35.00	0.0224	1.2E-03		B
45.00	0.0124	1.2E-03		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00728**

Error: 0.0000 gl: 64

[%]	Medias	n	E.E.			
0.225	0.07	12	1.6E-03	A		
0.200	0.06	12	1.6E-03		B	
0.175	0.02	12	1.6E-03			C
0.150	0.01	12	1.6E-03			D
0.050	1.7E-03	12	1.6E-03			D
0.125	1.1E-03	12	1.6E-03			E
0.075	9.1E-04	12	1.6E-03			E
0.100	5.4E-04	12	1.6E-03			E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01840

Error: 0.0000 gl: 64

°C	[%]	Medias	n	E.E.								
15	0.225	0.09	3	3.3E-03	A							
35	0.225	0.08	3	3.3E-03	A	B						
25	0.200	0.07	3	3.3E-03	A	B	C					
25	0.225	0.07	3	3.3E-03	A	B	C					
15	0.200	0.07	3	3.3E-03		B	C	D				
35	0.200	0.06	3	3.3E-03			C	D				
45	0.225	0.05	3	3.3E-03				D	E			
15	0.175	0.04	3	3.3E-03					E	F		
25	0.175	0.04	3	3.3E-03					E	F		
45	0.200	0.03	3	3.3E-03						F		
35	0.175	0.02	3	3.3E-03					F	G		
15	0.150	0.02	3	3.3E-03					F	G	H	
25	0.150	0.01	3	3.3E-03						G	H	I
45	0.175	4.4E-03	3	3.3E-03						G	H	I
15	0.125	2.9E-03	3	3.3E-03							H	I
35	0.050	2.7E-03	3	3.3E-03								I
35	0.150	2.5E-03	3	3.3E-03								I
25	0.050	1.9E-03	3	3.3E-03								I
15	0.050	1.7E-03	3	3.3E-03								I
45	0.150	1.5E-03	3	3.3E-03								I
45	0.075	1.4E-03	3	3.3E-03								I
35	0.075	9.6E-04	3	3.3E-03								I
25	0.075	8.3E-04	3	3.3E-03								I
25	0.125	8.3E-04	3	3.3E-03								I
35	0.100	7.1E-04	3	3.3E-03								I
45	0.050	6.6E-04	3	3.3E-03								I
45	0.100	5.8E-04	3	3.3E-03								I
15	0.075	4.9E-04	3	3.3E-03								I
15	0.100	4.7E-04	3	3.3E-03								I
35	0.125	4.6E-04	3	3.3E-03								I
25	0.100	3.9E-04	3	3.3E-03								I
45	0.125	1.8E-04	3	3.3E-03								I

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

n

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	10.64	31	0.34	73.41	<0.0001
°C	0.14	3	0.05	10.23	<0.0001
[%]	9.66	7	1.38	295.10	<0.0001
°C*[%]	0.84	21	0.04	8.54	<0.0001
Error	0.30	64	4.7E-03		
Total	10.94	95			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.05207**

Error: 0.0047 gl: 64

°C	Mediasn	E.E.	
45.00	1.1224	0.01	A
35.00	1.0424	0.01	B
25.00	1.0324	0.01	B
15.00	1.0224	0.01	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.08747**

Error: 0.0047 gl: 64

[%]	Mediasn	E.E.				
0.100	1.4412	0.02	A			
0.125	1.3912	0.02	A	B		
0.075	1.3212	0.02		B		
0.050	1.1912	0.02			C	
0.150	1.0612	0.02				D
0.175	0.8112	0.02				E
0.200	0.6312	0.02				F
0.225	0.5912	0.02				F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.22108**

Error: 0.0047 gl: 64

°C	[%]	Medias	n	E.E.	
45	0.125	1.57	3	0.04	A
25	0.100	1.50	3	0.04	A B
15	0.100	1.48	3	0.04	A B C
15	0.075	1.47	3	0.04	A B C D
35	0.125	1.45	3	0.04	A B C D
45	0.100	1.39	3	0.04	A B C D E
35	0.100	1.38	3	0.04	A B C D E
25	0.125	1.36	3	0.04	A B C D E F
25	0.075	1.33	3	0.04	B C D E F
35	0.075	1.30	3	0.04	B C D E F G
45	0.050	1.27	3	0.04	C D E F G
45	0.150	1.25	3	0.04	D E F G
15	0.050	1.21	3	0.04	E F G H
25	0.050	1.18	3	0.04	E F G H I
45	0.075	1.17	3	0.04	E F G H I
35	0.150	1.16	3	0.04	F G H I
15	0.125	1.16	3	0.04	F G H I
35	0.050	1.08	3	0.04	G H I
45	0.175	1.01	3	0.04	H I J
25	0.150	0.96	3	0.04	I J K
15	0.150	0.85	3	0.04	J K L
35	0.175	0.78	3	0.04	K L M
15	0.175	0.73	3	0.04	L M
25	0.175	0.71	3	0.04	L M
45	0.200	0.66	3	0.04	L M
15	0.200	0.63	3	0.04	L M
35	0.200	0.61	3	0.04	M
45	0.225	0.60	3	0.04	M
25	0.200	0.60	3	0.04	M
15	0.225	0.59	3	0.04	M
25	0.225	0.59	3	0.04	M
35	0.225	0.57	3	0.04	M

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## Anexo 7. Análisis de variancia y prueba de Tukey para las áreas de histéresis (AH) e histéresis relativa (%AHR) de las soluciones de HCTS

### AH

#### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1637.47	31	52.8218.73		<0.0001
°C	378.41	3	126.1444.72		<0.0001
[%]	886.74	7	126.6844.91		<0.0001
°C*[%]	372.31	21	17.73	6.29	<0.0001
Error	180.52	64	2.82		
Total	1817.99	95			

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.27889

Error: 2.8207 gl: 64

°C	Mediasn	E.E.	
45	0.4624	0.34	A
35	-3.6724	0.34	B
15	-4.1624	0.34	B
25	-4.4324	0.34	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.14839

Error: 2.8207 gl: 64

[%]	Mediasn	E.E.				
0.225	1.3512	0.48	A			
0.050	0.7912	0.48	A			
0.075	-0.0312	0.48	A			
0.200	-3.3812	0.48		B		
0.100	-4.1512	0.48		B	C	
0.125	-5.2512	0.48		B	C	D
0.175	-5.6712	0.48			C	D
0.150	-7.2612	0.48				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.42991**

Error: 2.8207 gl: 64

°C	[%]	Mediasn	E.E.							
15	0.225	3.19	3	0.97	A					
15	0.050	2.35	3	0.97	A					
45	0.225	1.89	3	0.97	A	B				
45	0.200	1.64	3	0.97	A	B				
25	0.050	0.73	3	0.97	A	B				
45	0.175	0.64	3	0.97	A	B				
35	0.225	0.57	3	0.97	A	B				
45	0.075	0.44	3	0.97	A	B				
35	0.075	0.31	3	0.97	A	B				
45	0.050	0.24	3	0.97	A	B				
35	0.050	-0.14	3	0.97	A	B				
25	0.225	-0.27	3	0.97	A	B				
45	0.150	-0.34	3	0.97	A	B				
45	0.125	-0.37	3	0.97	A	B				
25	0.075	-0.39	3	0.97	A	B	C			
15	0.075	-0.48	3	0.97	A	B	C			
45	0.100	-0.49	3	0.97	A	B	C			
35	0.100	-1.10	3	0.97	A	B	C	D		
25	0.200	-3.17	3	0.97		B	C	D	E	
35	0.200	-5.81	3	0.97			C	D	E	F
15	0.200	-6.16	3	0.97				D	E	F
35	0.125	-6.44	3	0.97				D	E	F
25	0.175	-6.52	3	0.97				D	E	F
25	0.125	-7.00	3	0.97					E	F
15	0.100	-7.20	3	0.97					E	F
15	0.125	-7.21	3	0.97					E	F
25	0.100	-7.80	3	0.97					E	F
35	0.175	-8.29	3	0.97					E	F
35	0.150	-8.46	3	0.97					E	F
15	0.175	-8.53	3	0.97					E	F
15	0.150	-9.26	3	0.97						F
25	0.150	-10.98	3	0.97						F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**%AHR**

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	253.4031		8.17	15.99	<0.0001
°C	61.77	3	20.59	40.28	<0.0001
[%]	143.16	7	20.45	40.01	<0.0001
°C*[%]	48.4721		2.31	4.52	<0.0001
Error	32.7264		0.51		
Total	286.1295				

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.54444**

Error: 0.5112 gl: 64

°C	Mediasn	E.E.	
45	0.2924	0.15	A
15	-1.3024	0.15	B
35	-1.5424	0.15	B
25	-1.7424	0.15	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.91459**

Error: 0.5112 gl: 64

[%]	Mediasn	E.E.	
0.050	0.6012	0.21	A
0.225	0.3812	0.21	A
0.075	0.0812	0.21	A B
0.200	-0.8112	0.21	B
0.175	-1.7412	0.21	C
0.100	-2.1012	0.21	C
0.125	-2.4412	0.21	C
0.150	-2.5612	0.21	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=2.31157**

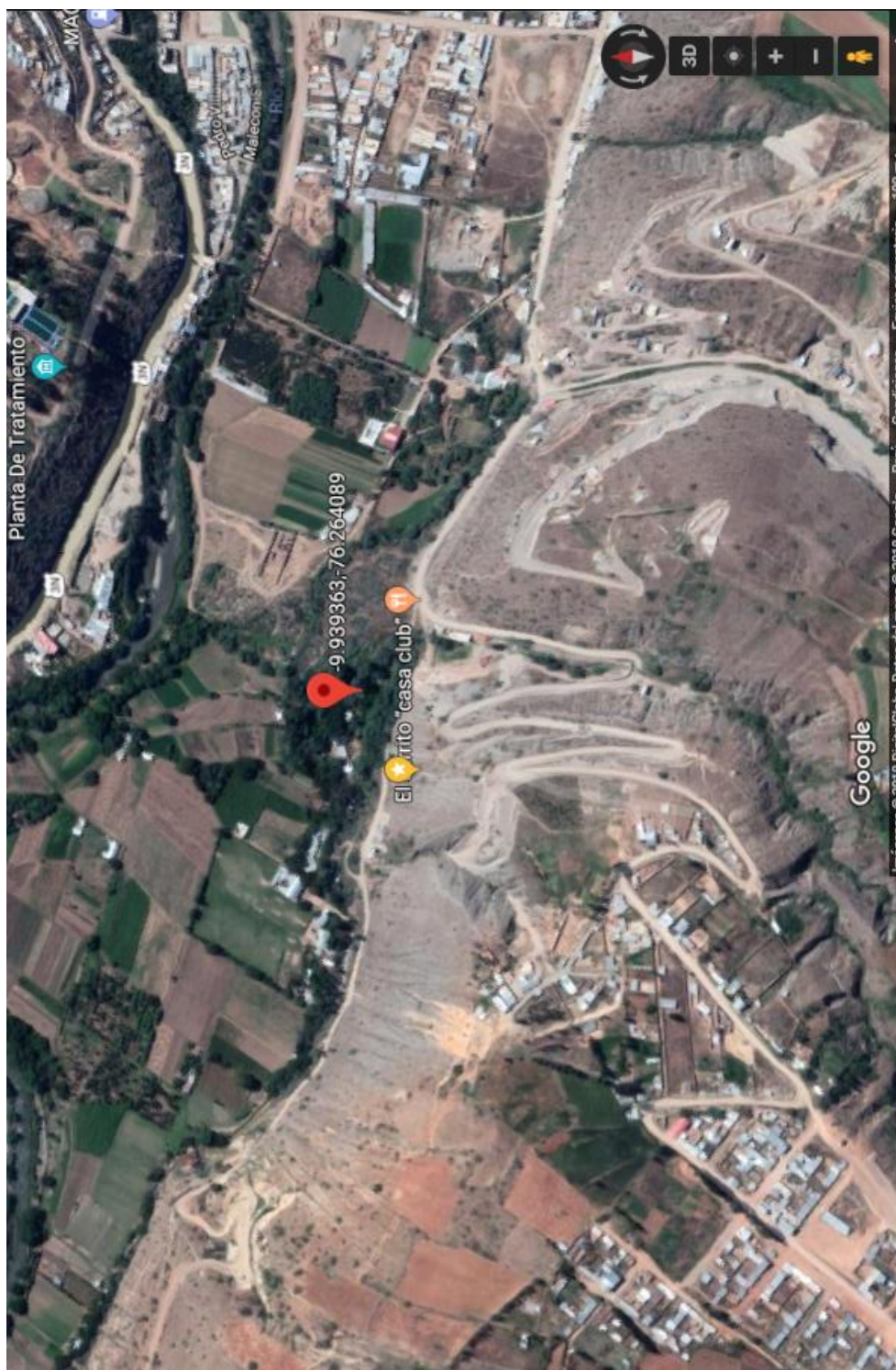
Error: 0.5112 gl: 64

°C	[%]	Medias	n	E.E.	
15	0.050	1.28	3	0.41	A
45	0.200	0.83	3	0.41	A B
45	0.050	0.77	3	0.41	A B
45	0.225	0.76	3	0.41	A B
15	0.225	0.67	3	0.41	A B
45	0.075	0.62	3	0.41	A B
25	0.050	0.49	3	0.41	A B C
45	0.175	0.41	3	0.41	A B C
35	0.075	0.21	3	0.41	A B C
35	0.225	0.16	3	0.41	A B C D
25	0.225	-0.05	3	0.41	A B C D E
45	0.150	-0.12	3	0.41	A B C D E
35	0.050	-0.13	3	0.41	A B C D E
25	0.075	-0.25	3	0.41	A B C D E
15	0.075	-0.27	3	0.41	A B C D E F
45	0.125	-0.43	3	0.41	A B C D E F G
45	0.100	-0.54	3	0.41	A B C D E F G
35	0.100	-0.68	3	0.41	A B C D E F G
25	0.200	-0.84	3	0.41	A B C D E F G H
15	0.200	-1.40	3	0.41	B C D E F G H I
35	0.200	-1.82	3	0.41	C D E F G H I J
25	0.175	-2.12	3	0.41	D E F G H I J
15	0.175	-2.20	3	0.41	E F G H I J
15	0.150	-2.57	3	0.41	F G H I J
15	0.125	-2.68	3	0.41	G H I J
35	0.175	-3.07	3	0.41	H I J
15	0.100	-3.26	3	0.41	I J
25	0.125	-3.28	3	0.41	I J
35	0.125	-3.37	3	0.41	I J
35	0.150	-3.61	3	0.41	I J
25	0.100	-3.94	3	0.41	J
25	0.150	-3.96	3	0.41	J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



## Anexo 8. Panel fotográfico



*Georreferencia de las muestras empleadas en la investigación.*

*Latitud Sur : 9° 56' 23.406"*

*Latitud oeste : 76° 15' 53.197"*

*Altitud : 1952 msnm*



*Arbusto de Triumfetta semitriloba Jacq.*



*Recolección de muestras (corte sobre los 25 cm desde el suelo).*





*Estandarización de longitud de tallos de Triumfetta semitriloba Jacq.*



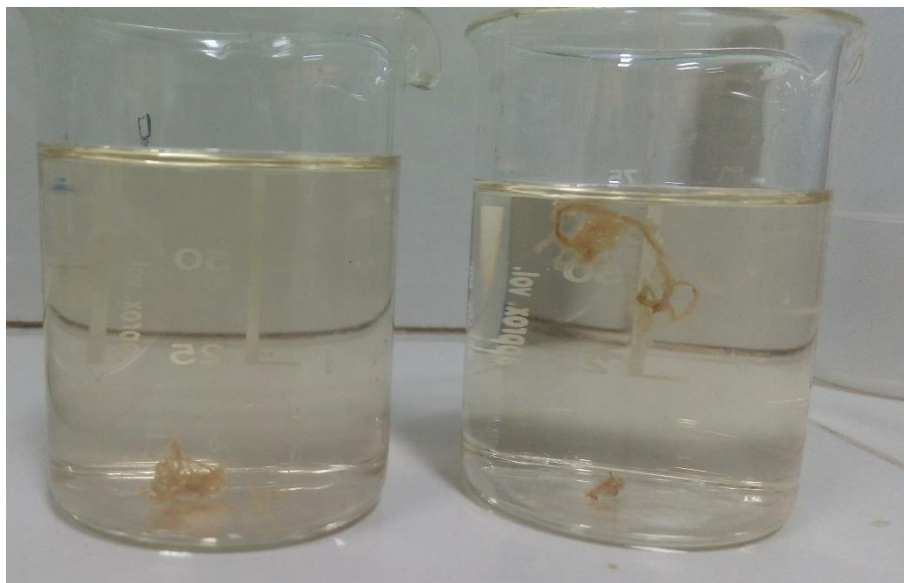
*Estandarización del diámetro de tallos de T. semitriloba Jacq.*



*Ubicación de cortezas (derecha) y centros leñosos (izquierda) en las bandejas del secador de cabinas, para su secado a 45 °C por 6 horas.*



*Pruebas de extracción de hidrocoloide asistido por ultrasonido, a partir de corteza (derecha) y centro leñoso (izquierda).*

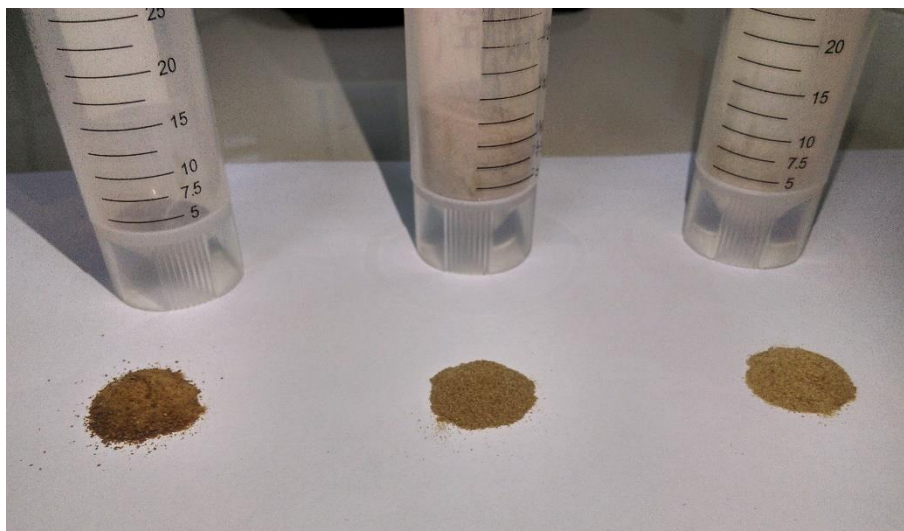


*Detalle de precipitación alcohólica de hidrocoloide a partir del extracto de corteza *T. semitriloba* Jacq.*



*Hidrocoloide aislado listo para ser secado en estufa a 40 °C.*





*Hidrocoloides secos y pulverizados obtenidos de la corteza de T. semitriloba  
(de izquierda a derecha: MC, MSP, MAU)*



*Viscosímetro Brookfield® RVDV III Ultra con el adaptador UL, previo a la prueba de*