

# COMPORTAMIENTO DE LA VISCOSIDAD DE LA DISOLUCIÓN MUCILAGINOSA DE CADILLO TRIUMFETA EMPLEADA EN LA CLARIFICACIÓN DE JUGOS DE CAÑA

**Teresa Blanco Tirado,  
Instituto Universitario de la Paz, Colombia y  
Lourdes Zumalacárregui de Cárdenas,  
Grupo Azúcar, Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”, Cuba.**

Recibido: Febrero/2005

Aceptado: Mayo/2005

El comportamiento reológico del mucílago obtenido de las cortezas de cadillo y utilizado en la clarificación de jugos de caña, fue estudiado en función de las variables velocidad de deformación, concentración y temperatura. Para la evaluación se empleó un viscosímetro rotacional digital Brookfield DV II. El comportamiento fue descrito según la ley de potencia, calculando los valores del índice de flujo y del índice de consistencia. La solución mucilaginosa de cadillo exhibió comportamiento seudoplástico. Los resultados obtenidos permiten determinar, con un nivel de confianza mayor del 95 %, que la disolución mucilaginosa de cadillo pierde sus características aglutinantes a medida que aumenta la temperatura de adición de ésta. A la concentración 1,4 g/100 mL se obtienen los menores valores de índice de flujo a cada temperatura. Se obtuvo un modelo matemático que describe el comportamiento de la viscosidad aparente en función de la velocidad de deformación, de la concentración y de la temperatura.

Palabras clave: Comportamiento reológico, seudoplástico, mucílagos.

## ***RHEOLOGICAL BEHAVIOR OF TRIUMFETA AFF. MOLISSIMA. HBK, MUCILAGE USED IN CANE JUICE CLARIFICATION PROCESS***

Rheological behavior of mucilage obtained from cadillo's barks (*Triumfeta aff. molissima. HSK*) was studied as a function of shear rate, concentration and temperature. Cadillo's solution was used as agglutinant in clarification processes of sugar cane juices. A Brookfield DV II rotational viscometer was used. Power law model was used to describe rheological behavior, determining consistency index and flow index of each solution. Mucilage solution showed a pseudoplastic behavior. Results show that cadillo's solution break-up loses its agglutinative characteristics as the addition temperature increases, with a level of confidence greater than 95 %. At concentration 1,4 g/100 mL, the smallest values of flow index are obtained to each temperature. A mathematical model was obtained that describes the behavior of the apparent viscosity in function of shear rate, concentration and temperature.

Key words: Rheological behavior, pseudoplastic, mucilages.

## INTRODUCCIÓN

Colombia es el segundo productor mundial de panela (conocida como raspadura en Cuba) y en este país se consumen 31 kg/persona/año, lo que corresponde al 2,18 % del gasto en alimentos.<sup>4</sup>

La purificación de los jugos de caña es una de las etapas más importantes del proceso de elaboración de la panela en la que se retiran todas aquellas impurezas gruesas y de carácter no nutricional, bien sea por medios físicos (precipitación, flotación y calentamiento); químicos (poliacrilamidas aniónicas, catiónicas y no iónicas, cal, entre otros) o mediante la adición de productos orgánicos (mucílagos vegetales).<sup>6</sup>

Los productores colombianos emplean diversos materiales vegetales tales como las cortezas del balso, guásimo y cadillo que, al ser desprendidas y golpeadas, permiten obtener la baba mucilaginosa que facilita la labor de limpieza al actuar como aglutinante de los sólidos en suspensión.<sup>2</sup> En Cuba, existen referencias del uso de albúminas de tuna blanca, quimbombó, pitahaya, penca de maguey o guásima durante el proceso de clarificación.<sup>7</sup>

Los métodos de obtención y aplicación del aglutinante, tanto en la cantidad de material vegetal a emplear como en la temperatura y el momento de aplicación a los jugos de caña, son prácticas que aún se realizan de acuerdo con el criterio del operario; esta subjetividad provoca un amplio grado de calidades de panela, lo que ha frenado la competitividad frente a otros edulcorantes.

Los trabajos de investigación que se han hecho han contemplado variables como la temperatura del jugo al momento de aplicación del aglutinante, concentraciones de aglutinante adecuadas en relación con el volumen total del jugo y velocidad de calentamiento de los jugos en presencia del aglutinante, entre otras, buscando determinar la relación con el poder clarificador de los aglutinantes.<sup>9</sup> Sin embargo, pocos han sido los trabajos de caracterización de las disoluciones mucilaginosas obtenidas a partir de las cortezas de balso, cadillo y guásimo.<sup>6</sup>

Por consiguiente, en el presente trabajo se estudió la dependencia de la viscosidad de la disolución mucilaginosa de cadillo en función de la temperatura y de la concentración con el fin de hacer más eficiente el uso del cadillo y avanzar en la industrialización del aglutinante.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo experimental fue realizado en Colombia. Se trabajó con un única variedad de caña, la RD-751, de amplio uso por lo productores de panela, y con igual grado de maduración, para mantener fijos el Brix y el pH, factores que pueden influir en el comportamiento reológico del fluido. Las variables estudiadas fueron la concentración y la temperatura.<sup>8</sup>

Se trabajó a cuatro niveles de temperatura, tres igualmente espaciadas, seleccionadas en el intervalo de aplicación de los mucílagos al jugo de caña, (50, 70 y 90 °C) y a temperatura ambiente (25 °C).

Fueron estudiados tres niveles de concentración, seleccionados a partir de lo reportado en la literatura (1,4 g de mucílago/100 mL)<sup>5</sup> y de una prueba previa de clarificación que demostró que a concentraciones superiores a 2 g/100 mL el mucílago, una vez que se hidrata, no retira impurezas sino que las mantiene dispersas y retenidas en el jugo. Así, se estudiaron las concentraciones 1,3, 1,4 y 1,5 g de mucílago/100 mL.

Para la preparación de las muestras a estudiar se siguió el procedimiento descrito por Acero y Pacheco<sup>1</sup>, según el cual las muestras de jugo se toman transcurridos 5 minutos después de iniciado el proceso de molienda. La molienda se realizó en un trapiche panelero R14 de 58 a 60 % de extracción. De este jugo se tomaron tres muestras de 100 mL cada una, se sometieron a calentamiento hasta que alcanzaron la temperatura de 50 °C, y en ese momento se agregó a cada muestra 1,3; 1,4 y 1,5 gramos de corteza macerada de las ramas de *Cadillo triumfetta aff. molissima* HBK, se agitó hasta homogenizar el jugo y se dejó en reposo durante una hora, a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo se filtró al vacío.

Las lecturas de viscosidad y esfuerzo cortante se realizaron en un viscosímetro rotacional digital Brookfield modelo DV II, variando la velocidad de deformación. Las evaluaciones se hicieron con el adaptador LV ULA 00. Las lecturas se tomaron a 6, 12, 30 y 60 rpm a intervalos de 30 segundos cada una. Para un mismo tratamiento se realizaron tres determinaciones. Dadas las características del adaptador utilizado, los valores de velocidad de rotación se transforman en los correspondientes valores de velocidad de deformación según  $(s^{-1}) = 1,224 (rpm)$  de donde las determinaciones fueron realizadas en el intervalo de velocidades de deformación 7,3-73,4  $s^{-1}$ .<sup>3</sup>

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la Tabla 1 se presentan los resultados de viscosidad aparente para cada concentración, temperatura y velocidad de deformación. También se presentan los valores de índice de consistencia (K) y del índice de flujo (n) para cada temperatura y concentración, obtenidos al ajustar el modelo de la ley de potencia ( $\tau = K \dot{\gamma}^n$ ). Los ajustes se obtuvieron con coeficientes de correlación mayores que 0,95. De los resultados se aprecia que la disolución mucilaginosa exhibió un comportamiento pseudoplástico con valores de índice de flujo (n)  $0 < n < 1$ . Se observa cómo los valores del índice de flujo se encuentran en el intervalo 0,56 a 0,91 y que como tendencia, a la concentración 1,4 g/100 mL se obtienen los menores valores de índice de flujo. Este efecto se aprecia claramente en la Figura 1.

1,4	25	7,3	21,3	0,050	0,57
		14,6	17,3		
		36,7	13,3		
		73,4	8,73		
	50	7,3	15,7	0,030	0,65
		14,6	11,8		
		36,7	8,52		
		73,4	6,66		
	70	7,3	6,44	0,010	0,79
		14,6	6,21		
		36,7	4,24		
		73,4	4,18		
	90	7,3	5,03	0,010	0,74
		14,6	4,96		
		36,7	3,4		
		73,4	3,39		
1,5	25	7,3	21,3	0,058	0,65
		14,6	16,6		
		36,7	16,6		
		73,4	N/D		
	50	7,3	16,1	0,026	0,74
		14,6	10,5		
		36,7	10,5		
		73,4	8,77		
	70	7,3	9,14	0,012	0,82
		14,6	6,23		
		36,7	6,23		
		73,4	5,74		
	90	7,3	6,44	0,008	0,88
		14,6	4,72		
		36,7	4,72		
		73,4	4,53		

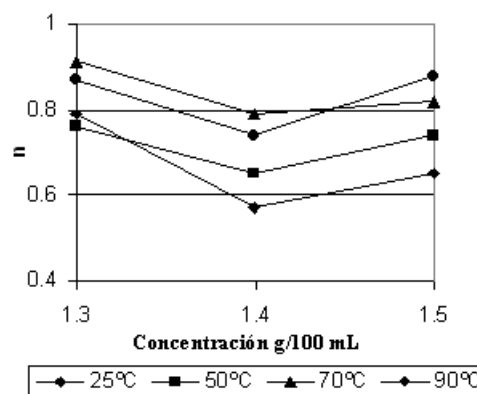


Figura 1. Comportamiento del índice de flujo

Tabla 1. Valores de índice de consistencia y de índice de flujo

g/100mL	°C	$\dot{\gamma}$ ( $s^{-1}$ )	$\tau$ (mPas <sup>n</sup> )	K (Pa s <sup>n</sup> )	n
1,3	25	7,3	14,2	0,020	0,79
		14,6	11,3		
		36,7	9,15		
		73,4	8,07		
	50	7,3	12,4	0,010	0,76
		14,6	6,96		
		36,7	4,91		
		73,4	4,89		
	70	7,3	5,92	0,005	0,91
		14,6	3,93		
		36,7	3,37		
		73,4	3,41		
	90	7,3	4,86	0,004	0,87
		14,6	3,7		
		36,7	2,22		
		73,4	2,07		

La Figura 2 muestra que el índice de consistencia disminuye a medida que aumenta el valor de la temperatura para una misma concentración. Independientemente del valor de la concentración, cuando la disolución mucilaginosa supera los 70 °C, el efecto de disminución del valor de K es menos marcado, tendiendo a ser constante éste. La disminución del valor del índice de consistencia puede ser atribuida al rompimiento de la estructura del mucílago por efecto de la temperatura, lo que ocasiona una disminución del poder aglutinante de la solución.

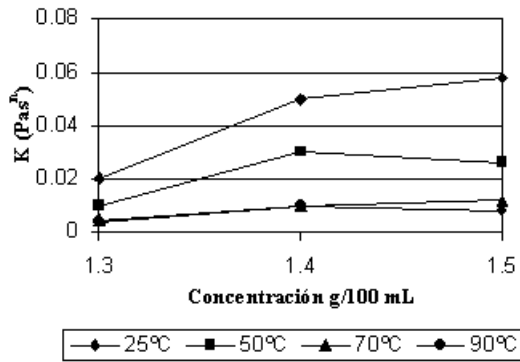


Figura 2. Comportamiento del índice de consistencia

Con el objetivo de ajustar un modelo matemático que describa el comportamiento global del sistema se correlacionaron los valores del índice de flujo y del índice de consistencia con la concentración y la temperatura.

Para la determinación del índice de consistencia se obtuvo el modelo:

$\ln K = -0,028 T - 8,081 C + 4,445 C^2$  con un  $R^2 = 99,5 \%$ , error típico de los estimados 0,331, un error medio absoluto de 0,23 y una distribución aleatoria de los residuos. Los valores de K se reportan en  $\text{Pa.s}^n$ .

Para la determinación del índice de flujo se obtuvo el modelo:

$n = 23,648 + 0,002 C * T - 32,619 C + 11,500 C^2$  con un  $R^2 = 85,6 \%$ , error típico de los estimados 0,046, un error medio absoluto de 0,032 y una distribución aleatoria de los residuos. En el intervalo estudiado esta función presenta un mínimo para concentraciones entre 1,410 y 1,416 %.

De igual forma se procedió para evaluar la dependencia de la viscosidad aparente con las variables estudiadas. En las figuras 3, 4 y 5 se presenta la dependencia de la viscosidad aparente con la temperatura, la concentración del mucílago y la velocidad de deformación.

Se ajustó un modelo para el cálculo de la viscosidad aparente en función de la concentración, la temperatura y la velocidad de deformación encontrando que:  $\ln \eta = 2,607 C - 0,020 T -$

$0,027 \eta + 0,0002 \eta^2$  con un  $R^2 = 99,5 \%$ , error típico de los estimados 0,150, un error medio absoluto de 0,116 y una distribución aleatoria de los residuos. Los valores de  $\eta$  se reportan en mPa.s.

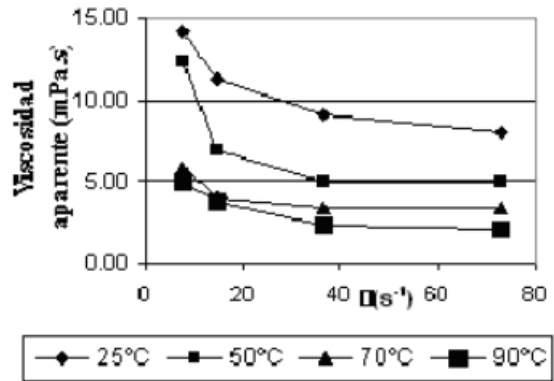


Figura 3. Curvas de viscosidad aparente. Concentración 1,3 g/100 mL

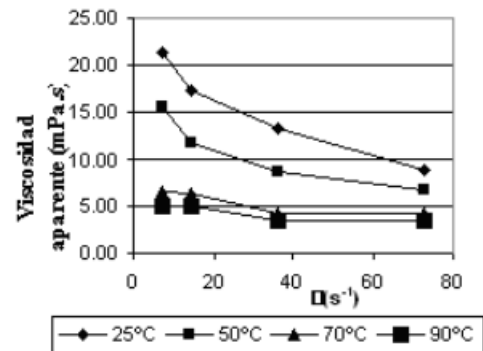


Figura 4. Curvas de viscosidad aparente. Concentración 1,4 g/100 mL

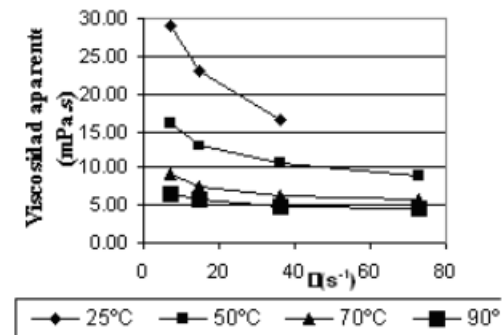


Figura 5. Curvas de viscosidad aparente. Concentración 1,5 g/100 mL

## CONCLUSIONES

1. La disolución mucilaginoso de cadillo preparada en jugo de caña, en el intervalo estudiado, es un fluido pseudoplástico que se ajusta a la ley de potencia con índice de flujo entre 0,57 y 0,91.
2. La viscosidad aparente disminuye en la medida que se incrementa la velocidad de deformación, pero para velocidades de deformación mayores que  $50 \text{ s}^{-1}$  la viscosidad aparente tiende a un valor constante.
3. Los resultados de los análisis estadísticos permiten afirmar, con más de 95 % de confianza, que la temperatura tiene un efecto significativo sobre la desestabilización de la estructura molecular del mucílago, compuesta por redes formadas durante el proceso de hidratación y que son las responsables de atrapar las impurezas presentes en el jugo. Esto se refleja en la caída que muestran los valores de viscosidad aparente para todos los tratamientos evaluados.
4. La concentración de la disolución mucilaginosa también influye en el valor de viscosidad aparente demostrándose que la tendencia es que a mayor concentración el valor de la viscosidad desciende más rápidamente.
5. La temperatura tiene un efecto significativo sobre el índice de consistencia K y sobre el índice de flujo n. En la práctica, y a la luz de los resultados, se puede inferir, con un 95 % de confianza, que no es conveniente someter los mucílagos a temperaturas altas pues su efecto clarificador se ve fuertemente disminuido.
6. Desde el punto de vista reológico, la adición del mucílago deberá realizarse a temperaturas cercanas a la ambiente y utilizando soluciones de cadillo de 1,4 g/100 mL.

## RECOMENDACIONES

1. Evaluar reológicamente las disoluciones variando el grado de madurez de las cortezas

empleadas para la extracción del mucílago.

2. Realizar evaluaciones reológicas del balso y del guásimo con el fin de comparar las diferencias en el comportamiento de sus disoluciones frente a las variables concentración y temperatura.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acero, O. y G. Pacheco: Elaboración de las fichas técnicas de las disoluciones mucilaginosas del balso *Heliocapus popayanensis*, Cadillo *triumpetta* aff. *molissima* HKB y guásimo *Guazuma ulmifolia* Lamarck, Proyecto de grado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2001.
2. Acero, O. y G. Pacheco: Estandarización de la metodología para la separación y purificación del mucílago de balso *Heliocapus popayanensis* HBK, CORPOICA-CIMPA, 2001.
3. Brookfield Eng. Lab.: Brookfield Digital Viscometer Model DV. Operating Instructions. Manual No. M/98-350-D0902, 1998.
4. CORPOICA FEDEPANELA: *Manual de caña para la producción de panela*, pp. 15-135, Regional Santander, 2000.
5. García, G.: Mejoramiento de las condiciones de uso del aglutinante natural guásimo *Guazuma ulmifolia* Lamarck. y cadillo *Triumpetta* aff. *Molissima* H.K.B en el proceso de elaboración de panela para pequeños y medianos productores. Proyecto de grado (Ingeniero Agroindustrial) Instituto Universitario de la Paz, Barrancabermeja, 2001.
6. ICA-CIMPA: *Manual de elaboración de panela y otros derivados de la caña*, pp. 1-175, 1992.
7. Moreno Friginals, M: *El Ingenio: complejo económico social cubano del azúcar*, p. 228, Editorial de Ciencias Sociales, Cuba, 1978.
8. Oliveros, C.: "Rheological characterization of

coffee mucilage”. *Journal of food process engineering*, Vol 19, pp. 331-342, 1996.

9. Ruiz, C. A.: Estudio de la operación de clarificación de jugos de caña en la producción de panela. CORPOICA-CIMPA, Barbosa, 1998.