

# Caracterización reológica de ceras derivadas de la caña de azúcar

Analia Cabalín, Azucena del R. Gómez López y Magdalena Mechetti

Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, Argentina.

## Resumen

Se evaluó el comportamiento reológico de ceras crudas de caña de azúcar obtenidas de la cutícula (C-Cu) y del residuo industrial o cachaza (C-Ca), registrándose datos del esfuerzo de corte y la viscosidad en función del gradiente de corte (1 - 100 1/s) en el rango de temperaturas de 75 °C a 90 °C. Se observó que la C-Cu presenta mayor viscosidad que la C-Ca, en iguales condiciones de trabajo. Los datos se ajustan al modelo de Bingham con un esfuerzo de corte umbral, 0, entre 0,014 y 0,862 Pa. Se determinó la energía de activación utilizando la ecuación de Arrhenius con valores comprendidos entre 14 y 40 kcal/mol. También se realizaron estudios dinámicos oscilatorios en barridos de esfuerzo de corte y de frecuencia a 75 °C en los cuales se analizó el comportamiento viscoelástico de las muestras a través de los módulos elástico y viscoso,  $G'$  y  $G''$  respectivamente determinándose la zona viscoelástica lineal. Se pudo observar que, dentro del rango lineal,  $G' > G''$  en el caso de la cera C-Cu lo que indica que el sistema presenta características típicas de un material elástico, no así en el caso de la cera C-Ca.

**Palabras clave:** reología, ceras de caña de azúcar, fluidos no newtonianos, viscoelasticidad.

## *Rheological Characterization of Sugarcane Waxes*

### **Abstract**

*The rheological behavior of sugarcane wax obtained from the cuticle of sugar cane (C-Cu) and from the waste of sugar industry (C-Ca) was evaluated at different temperatures. Data of shear stress and viscosity as a function of shear rate (1-100 1/s) in the temperature range of 75 °C to 90 °C were registered. It was noted that the C-Cu has a higher viscosity than the C-Ca under equal conditions. The data fit the Bingham model with a yield stress, 0, between 0.014 and 0.862 Pa. The activation energy of the viscous flow was determined using Arrhenius equation with values between 14 and 40 kcal / mol. Dynamical oscillatory studies were also performed as function of shear stress and frequency at 75 °C in which the viscoelastic behavior of the samples was analyzed through the elastic and viscous moduli  $G'$  and  $G''$ , respectively and the linear viscoelastic region was determined as well. It was observed that, within the linear range,  $G' > G''$  for the C-Cu sample, what indicates that the system presents typical characteristics of an elastic material but not in the case of the C-Ca sample.*

**Key Words:** rheology, sugar cane wax, non-Newtonian fluids, viscoelasticity.

## Introducción

La provincia de Tucumán es una de las principales productoras de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) y el aprovechamiento mayoritario de este cultivo es en la producción de azúcar para el mercado interno y la exportación y de bioetanol que se usa en el corte obligatorio de las naftas. Además de estos productos, la caña de azúcar puede entregar una amplia variedad de subproductos, como el ron, bagazo para papel o forrajería y miel que se desarrolla sólo en forma artesanal por pequeños productores. Otro subproducto de importancia por sus diversas aplicaciones, es la cera de caña de azúcar que se encuentra principalmente en la cutícula de la caña, **Font Quer** (1979). La cutícula se compone, principalmente, de una red tridimensional de cutina y lípidos integrados y superpuestos, llamados "ceras" o ceras epicuticulares. Las ceras epicuticulares forman a menudo estructuras bi y tridimensionales, que van desde los cientos de nanómetros hasta algunas micras, que influyen en la capacidad de humectación, comportamiento auto-limpieza y la reflexión de la luz en la superficie de la cutícula, **Koch and Enkissat** (2008).

---

**La cera de la caña de azúcar, que se encuentra principalmente en la cutícula de la caña, es muy importante por sus diversas aplicaciones.**

---

La cera de caña de azúcar, que se encuentra en la cutícula de la caña es hidrófoba, controla los cambios gaseosos y participa en la protección contra agentes patógenos.

La cera también puede extraerse del bagazo (masa comprimida) y en menor proporción del lodo residual del proceso industrial, llamado cachaza, **Assis et al.** (2003). La cera de caña de azúcar dentro de los tipos de ceras vegetales que existen, posee una combinación de propiedades de destacada importancia como dureza, elevado punto de fusión, capacidad de formar emulsiones, retención de solventes, que la llevan a tener un gran valor industrial. Esta cera de origen vegetal tiene un amplio espectro de aplicaciones, medicinales, cosméticas, alimenticias, farmacéuticas, industriales, entre otras. Se ha encontrado que es adecuada como inhibidora de la corrosión en estructuras reforzadas de concreto, **Fajobi et al.** (2015). También se utiliza, al igual que otras ceras vegetales como las de carnauba y candelilla, para formar organogeles, para uso en alimentos dado que las ceras naturales están

aprobadas como ingredientes o aditivos de alimentos, **Barbosa Rocha et al.** (2013).

Las ceras son mezclas de ésteres de alto peso molecular constituidas por ácidos grasos y alcoholes mono-hidroxilados, **Trease y Evans** (1988); son abundantes en la naturaleza y pueden ser de origen animal, vegetal, mineral y sintético. Las propiedades y composición química de las ceras vegetales se asemejan a las de cera de abejas. Son sólidas, y en su composición entran principalmente alcoholes de cadena larga, tienen cantidades mayores o menores, según el caso, de ácidos grasos libres, hidrocarburos saturados y pequeñas cantidades de glicéridos, **Font Quer** (1979).

En general, los productos derivados de la caña de azúcar (melados, melazas, mieles finales y ceras fundidas) son fluidos complejos cuya viscosidad depende no solo de la temperatura, sino también de la velocidad de deformación, de la composición y, en algunos casos pueden presentar un comportamiento tixotrópico y viscoelástico. En la literatura abundan los estudios sobre comportamiento reológico de estos productos como melazas, masas cocidas, mieles finales y vinazas, **Mechetti et al.** (2011); **Díaz García y Remedios Castañeda** (2002); **Broadfoot and Millar** (1990); **Cárdenas et al.** (1985). Sin embargo, para el caso de las ceras provenientes de la caña de azúcar, en la literatura nacional e internacional no se encuentran referencias de caracterizaciones reológicas de estos materiales. Se encontraron estudios de viscosidad de cera refinada en condiciones de flujo continuo, **Remedios Castañeda y Garcell Puyáns** (2001) pero no sobre su comportamiento viscoelástico. Sin embargo, hay estudios de estas ceras en combinación con otros materiales, como el caso de organogeles formados por cera de caña de azúcar en aceite de soja, **Barbosa Rocha et al.** (2013), o la influencia de los contenidos de cera y aceite en las propiedades de flujo del aceite de cera de cachaza, **Remedios Castañeda et al.** (2008).

Los puntos de fusión de la cera de caña de azúcar son relativamente altos (superiores a 70 °C), dependiendo del área cañera de dónde provenga la caña de azúcar y de qué parte de la misma o de su proceso se extraiga la cera, por lo que resulta de interés científico y práctico conocer qué influencia tienen los cambios de temperatura y el origen de la cera sobre sus propiedades de flujo.

El objetivo de este trabajo es la caracterización reológica de ceras extraídas de la cutícula de caña de azúcar y de la cachaza, residuo de la industria azucarera.

## Materiales y Métodos

### Materiales

Para la obtención de las ceras se usaron cañas de azúcar de parcelas de la zona del tipo 413 y C.P. 65/357 que fueron provistas gentilmente por el INTA-Famaillá, Tucumán y del lodo residual del proceso de obtención del azúcar en los ingenios, llamado cachaza, gentilmente facilitadas por el Ingenio La Corona, Concepción, Tucumán, Argentina.

### Métodos

#### a) Obtención de ceras

En el caso de cera de cutícula (C-Cu) la materia prima se obtuvo siguiendo el procedimiento de **García et al. (2003)** a partir de la cutícula de la caña, mediante una separación mecánica de la cáscara de la caña, que se realizó en el laboratorio mediante cuchillas especiales adaptadas para tal fin, seguida de una extracción de la cera con n-hexano como solvente, utilizando un extractor Soxhlet. Para la obtención de cera de cachaza, se desecó la pasta (cachaza) en horno a una temperatura de 50 °C por alrededor de 24 horas también seguida de una extracción de la cera con el mismo solvente.

Los porcentajes de extracción de cera fueron para este caso de 11,2 % para la caña 413, de 4,6 % para la caña C.P.65/357 y de 0,1 % para la cachaza.

#### b) Reología

Para caracterizar las propiedades reológicas de las ceras se usó un reómetro Anton Paar modelo MCR 301 con un accesorio P-PTD200 y un sistema de medición PP25 de placas paralelas de 25 mm de diámetro, con separación entre placas  $d = 0,5$  mm y con sistema Peltier de control de temperatura.

Las curvas de flujo se obtuvieron en el rango de gradiente de corte de  $1-100 \text{ s}^{-1}$  registrándose el esfuerzo de cizalla resultante. Las mediciones se llevaron a cabo a distintas temperaturas de 75, 80 y 85 °C para la muestra C-Cu y de 70, 75, 80, 85 y 90 °C para la

muestra C-Ca. Como se observa, los rangos de temperatura no son los mismos debido a que los puntos de fusión son diferentes para ambas ceras. Las curvas que se muestran son valores medios de tres mediciones. Los datos del esfuerzo de cizalla, la velocidad de deformación o gradiente de corte y la viscosidad aparente se obtuvieron directamente del instrumento.

A fin de estudiar la viscoelasticidad de estas ceras, se efectuaron mediciones en condiciones de flujo oscilatorio obteniéndose el comportamiento de los módulos dinámicos elástico,  $G'$  (Pa), y viscoso,  $G''$  (Pa), en función de la frecuencia  $f$  (Hz) de oscilación, a esfuerzo de cizalla  $\tau$  (Pa) constante, y en función de  $\tau$  a frecuencia  $f$  constante, en el mismo rango para ambas muestras y a 70 °C.

## Resultados y discusión

Se obtuvieron las curvas de flujo para  $\tau$  y la viscosidad  $\eta$  (Pa.s) en función del gradiente de corte  $\dot{\gamma}$  ( $1/\text{s}$ ) para ambas muestras a las diferentes temperaturas. Las figuras 1 y 2 representan el comportamiento del esfuerzo  $\tau$  en función de  $\dot{\gamma}$  para las ceras de cutícula C-Cu y de cachaza C-Ca respectivamente, mientras que en las figuras 3 y 4 se observa el comportamiento de la viscosidad aparente  $\eta$  en función de  $\dot{\gamma}$  para las mismas muestras, también a diferentes temperaturas.

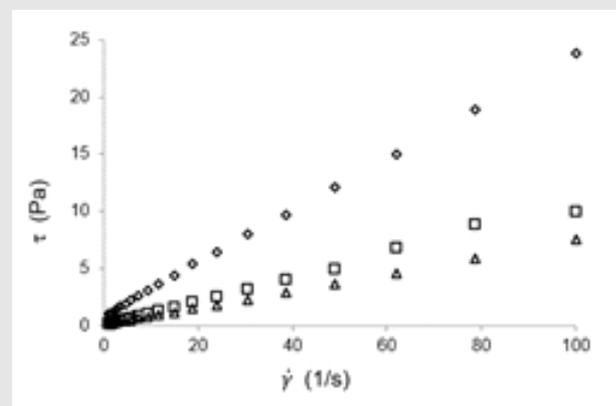


Fig. 1 Esfuerzo de corte  $\tau$  (Pa) vs velocidad de deformación  $\dot{\gamma}$  ( $1/\text{s}$ ) para ceras de cutícula a diferentes temperaturas.  $\diamond$  75°C  $\square$  80 °C y  $\Delta$  85°C.

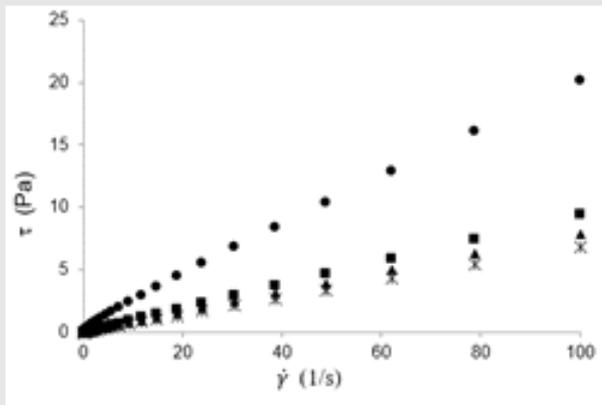


Fig. 2 Esfuerzo de corte  $\tau$ (Pa) vs velocidad de deformación  $\dot{\gamma}$  (1/s) para ceras de cachaza a diferentes temperaturas. ● 70°C ■ 80 °C ▲ 85 °C y \* 90 °C.

En estas figuras se observa que el esfuerzo de cizalla, tanto para C-Cu como para C-Ca, desarrolla una línea casi recta con una pendiente marcada en el rango de medición de  $\dot{\gamma}$  que indicaría que no es un fluido pseudoplástico, sino tipo plástico. Los valores de  $\tau$  son mayores para la cera C-Cu. También se observa la disminución de  $\tau$  con la temperatura con un apartamiento importante de las curvas de temperaturas menores respecto a la de mayor temperatura. Las de 80 y 85 °C respecto a la de 75 °C para el caso de C-CU y las de 80, 85 y 90 °C respecto a la de 70°C para la C-Ca. Ello se debe a que a 75°C y 70°C las ceras correspondientes comienzan a fundirse y ofrecen mayor resistencia al flujo.

En las figuras 3 y 4 se representa el comportamiento de la viscosidad aparente en función de  $\dot{\gamma}$ . Se observa, para ambas muestras, una disminución de la viscosidad con el aumento del gradiente de corte  $\dot{\gamma}$ , siendo esta disminución más abrupta a menor temperatura y muy suave a las temperaturas más elevadas casi superpuestas entre sí. Se debe tener en cuenta la escala, dado que el valor máximo de viscosidad para cera de cutícula es de aproximadamente 1000 mPa.s a 75 °C, mientras que los valores máximos correspondientes a 80 y 85 °C son aproximadamente de 200 mPa.s. Para la temperatura más baja, a bajos gradientes de corte,  $\dot{\gamma} < 10$  1/s, la viscosidad aparente disminuye marcadamente mientras que a valores mayores de  $\dot{\gamma}$  esta disminución se hace más leve, hasta alcanzar el plateau newtoniano de altos  $\dot{\gamma}$ . Esta disminución para valores bajos de  $\dot{\gamma}$  es comparativamente menos sig-

nificativa a las temperaturas mayores. Los valores de viscosidad de C-Ca son menores que los de C-Cu en todos los casos.

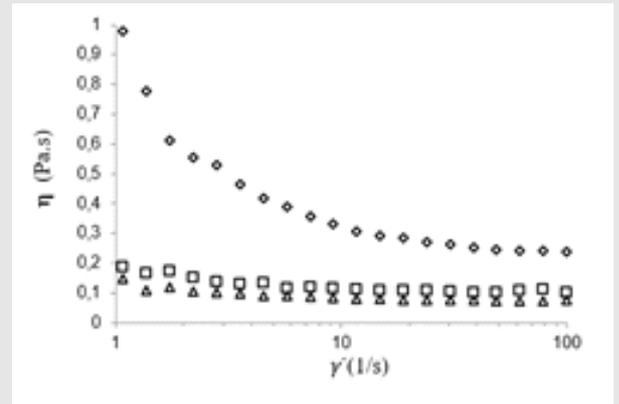


Fig. 3 Viscosidad aparente  $\eta$  (Pa s) vs velocidad de deformación  $\dot{\gamma}$  (1/s) para ceras de cutícula a diferentes temperaturas. ◇ 75°C, □ 80 °C y Δ 85°C.

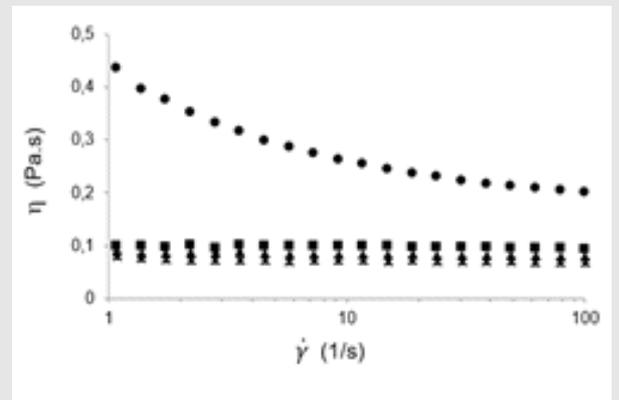


Fig. 4 Viscosidad aparente  $\eta$  (Pa s) vs velocidad de deformación  $\dot{\gamma}$  (1/s) para ceras de cachaza a diferentes temperaturas. ● 70°C, ■ 80 °C, ▲ 85 °C y \* 90 °C.

Existen diversos modelos para describir adecuadamente el comportamiento de fluidos complejos, como los de *Cross*, *ley de potencias*, *Herschel-Bulkley*, *Bingham*, entre otros, **Barnes et al.** (1993). En este trabajo se ha utilizado el modelo de Bingham lográndose un ajuste muy bueno. La ecuación constitutiva de este modelo, **Barnes et al.** (1993), está dada por la expresión:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \dot{\gamma} \quad (1)$$

donde  $\tau$  (Pa) es el esfuerzo de cizalla en la interfase del fluido y el elemento que produce el esfuerzo;  $\tau_0$ (Pa) es el esfuerzo de cizalla umbral;  $\dot{\gamma}$  ( $s^{-1}$ ) es el gradiente de deformación o velocidad de deformación en la interfase y  $\eta_p$  (Pas) se denomina viscosidad plástica. En este modelo, las cantidades  $\tau_0$  y  $\eta_p$  (ambas constantes) describen el comportamiento del fluido. A partir de las curvas de flujo, figuras 1 y 2, se obtuvieron por regresión lineal de los datos según el modelo dado por la ecuación (1), los valores de  $\tau_0$  y  $\eta_p$  para cada una de las muestras a las distintas temperaturas. Los resultados, tabla 1, muestran que el ajuste es muy bueno dados los valores de  $R^2$ , y confirmaría el comportamiento reológico tipo plástico Bingham. Se observa el alto valor de  $\tau_0$  a 75 °C, respecto a los de 80 y 85 °C para la muestra C-Cu, lo que se explica por la cercanía del punto de fusión (74-75 °C) situación que también se da en la muestra C-Ca (punto de fusión 68-70°C). La viscosidad plástica disminuye con la temperatura en ambas muestras.

donde  $\eta_0$  es un parámetro considerado como la viscosidad a temperatura infinita,  $E_a$  es la energía de activación del flujo viscoso y  $T$  es la temperatura absoluta. Los valores de  $E_a$  obtenidos a partir de la ecuación (2) para ambas muestras, a velocidades de corte de 10 y 50 1/s, se presentan en la tabla 2.

Tabla 1: Valores de los parámetros de ajuste según el modelo de Bingham,  $\tau_0$ ,  $\eta_p$  y  $R^2$ , para las ceras C-Cu y C-Ca, a distintas temperaturas.

Tabla 2: Energía de activación para las muestras C-Cu y C-Ca a dos valores de  $\dot{\gamma}$ .

Muestra	T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	$\eta_p$ (Pa.s)	$R^2$
C-Cu	75	0,862	0,229	0,999
	80	0,104	0,100	0,995
	85	0,069	0,060	0,999
C-Ca	70	0,339	0,202	0,998
	80	0,022	0,094	0,999
	85	0,014	0,079	0,999
	90	0,014	0,068	0,999

Muestra	$\dot{\gamma}$ (1/s)	$E_a$ (kcal/mol)	$R^2$
C-Cu	10	39,94	0,97
	50	30,22	0,96
C-Ca	10	15,91	0,96
	50	14,10	0,96

Se observa que, para ambas ceras, la energía de activación es menor para la velocidad de deformación mayor, siendo para la C-Cu poco más del doble que para la C-Ca, lo que se correlaciona con los valores de la viscosidad plástica de la tabla 1.

Para investigar las posibles características viscoelásticas de las ceras, se realizó un estudio dinámico oscilatorio efectuado en condiciones de esfuerzo controlado, a 75 °C, temperatura incluida dentro del rango de temperaturas de los estudios viscosimétricos. Se midieron el módulo elástico o de almacenamiento ( $G'$ ) y el módulo viscoso o de pérdida ( $G''$ ) al valor constante del esfuerzo de corte de 0,5 Pa y en el rango de frecuencia de 0 a 10 Hz, figuras 5 y 6; y a la frecuencia de 1,5 Hz en el rango de esfuerzo de cizalla de 1 a 10 Pa, figuras 7 y 8. Tanto el rango de frecuencias como el rango de esfuerzo de corte se fijaron teniendo en cuenta la respuesta del sistema.

Estos resultados son similares a los obtenidos por otros autores, Remedios Castañeda y Garcell Puyáns (2001).

La influencia de la temperatura sobre la viscosidad aparente es descrita a partir de la ecuación de Arrhenius:

$$\eta = \eta_0 e^{E_a/RT} \quad (2)$$



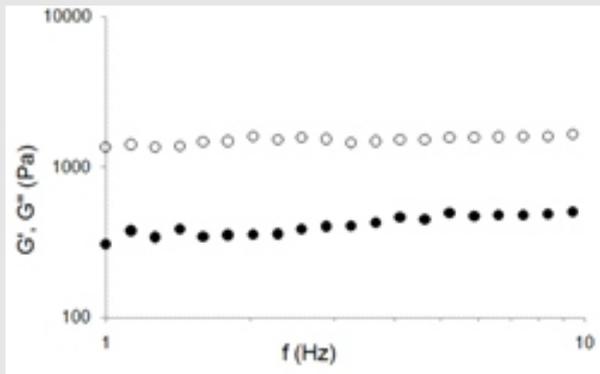


Fig. 5 Módulos de almacenamiento  $G'$  (Pa) y pérdida  $G''$  (Pa) vs frecuencia  $f$  (Hz) para cera de cutícula a  $75^\circ\text{C}$  y  $\tau = 0,5$  Pa.  $\circ$   $G'$  y  $\bullet$   $G''$ .

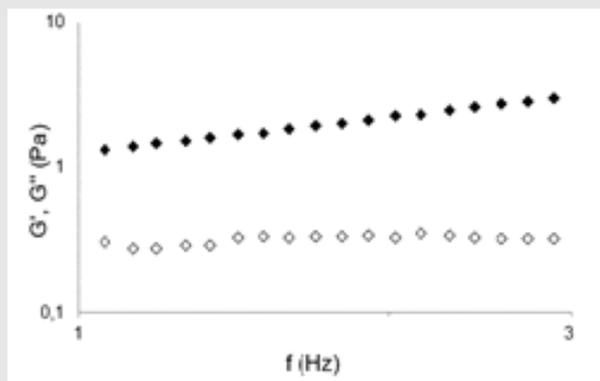


Fig. 6 Módulos de almacenamiento  $G'$  (Pa) y pérdida  $G''$  (Pa) vs frecuencia  $f$  (Hz) para cera de cachaza a  $75^\circ\text{C}$  y  $\tau = 0,5$  Pa.  $\diamond$   $G'$  y  $\blacklozenge$   $G''$ .

Según puede observarse en la figura 5, dentro del rango de frecuencias analizado las curvas corren casi paralelas, ubicándose la curva de  $G'$  por encima de la de  $G''$ . Este tipo de situación es característica de un gel. La respuesta de la cera C-Cu es fundamentalmente elástica ( $G' > G''$ ). Por el contrario, la cera de cachaza, figura 6, muestra un comportamiento que se asemeja más al de una solución concentrada con  $G'' > G'$ , es decir, presenta un comportamiento más viscoso que elástico. Los valores de  $G'$  y  $G''$  correspondientes a la C-Cu son entre dos y tres órdenes de magnitud mayores a los de C-Ca. En ambos casos, los sistemas no permitieron determinar el punto de cruce de las curvas de  $G'$  y  $G''$  donde  $G'$  y  $G''$  se igualan, o bien éste se encontraba a una frecuencia mayor fuera del rango considerado.

El comportamiento de los módulos viscoso y elástico

en función del esfuerzo de cizalla, en el rango de 0 a 10 Pa, a  $75^\circ\text{C}$  y a una frecuencia de oscilación  $f = 1,5$  Hz, para cada una de las ceras, están representados, respectivamente, en las figuras 7 y 8. Este tipo de gráfico da información sobre la región viscoelástica lineal, donde las funciones del material,  $G'$  y  $G''$  son independientes del esfuerzo o de la deformación, de allí la importancia de poder determinarla.

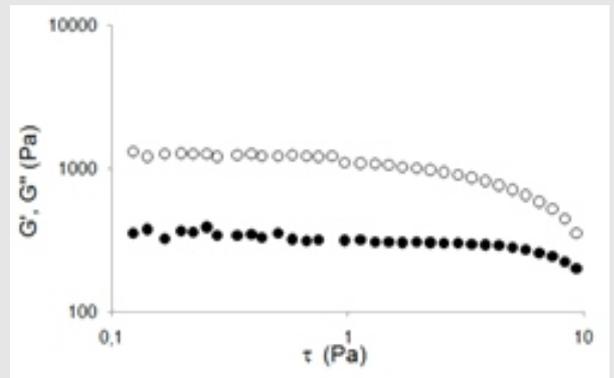


Fig. 7 Módulos de almacenamiento  $G'$  (Pa) y pérdida  $G''$  (Pa) vs esfuerzo de corte  $\tau$  (Pa) para cera de cutícula a  $75^\circ\text{C}$  y  $f = 1,5$  Hz.  $\circ$   $G'$  y  $\bullet$   $G''$ .

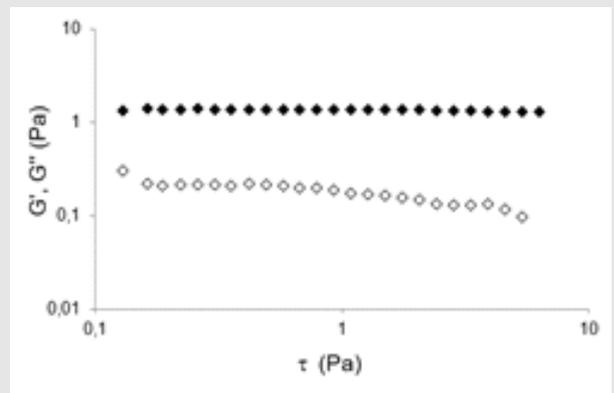


Fig. 8 Módulos de almacenamiento  $G'$  (Pa) y pérdida  $G''$  (Pa) vs esfuerzo de corte  $\tau$  (Pa) para cera de cachaza a  $75^\circ\text{C}$  y  $f = 1,5$  Hz.  $\diamond$   $G'$  y  $\blacklozenge$   $G''$ .

El módulo elástico de la C-Cu se mantiene casi constante con el aumento de  $\tau$  (con un valor promedio de 1,2103 Pa) hasta el valor aproximado de  $\tau = 1$  Pa, que marca el límite de la zona viscoelástica lineal. A partir de allí la curva comienza a decrecer con el aumento de  $\tau$  lo cual indicaría que la muestra es deformada hasta el punto que los enlaces internos temporarios de mo-

lículas o agregados se destruyen y la mayor parte de la energía introducida se pierde irreversiblemente como calor. Para esta misma muestra, el módulo viscoso es prácticamente constante con el aumento de  $\tau$  hasta aproximadamente  $\tau = 4$  Pa.

Para el caso de la cera C-Ca, la situación es similar, con el módulo elástico casi constante a un valor promedio de 0,2 Pa, hasta el valor  $\tau = 1$  Pa que marca el límite de la zona viscoelástica lineal para esta cera. A diferencia de la C-Cu, el módulo viscoso de la C-Ca se mantiene aproximadamente constante e igual a 1,3 Pa en todo el rango medido de  $\tau$ . En las mediciones de viscoelasticidad a las temperaturas de fusión de ambas ceras (75 y 70 °C según corresponda), se extendió el rango de frecuencias hasta 11 Hz, figura 9, dado que en el proceso de medición se observó una subida más abrupta del módulo elástico  $G'$  en el caso de la muestra C-Ca. Se observa un punto de cruce de ambas curvas a la frecuencia de 10,6 Hz. En dicho punto,  $G' = G''$ . Esto indicaría que el sistema se comporta como fluido viscoelástico similar a una solución concentrada hasta la frecuencia de cruce a partir del cual el sistema pasa a ser más elástico que viscoso.

Las curvas correspondientes a C-Cu ya fueron discutidas en la interpretación de la figura 5 dado que son las mismas, salvo por los puntos correspondientes a los valores extendidos de frecuencia. En este caso no se observa punto de cruce.

En la figura 10, las curvas de  $G'$  y  $G''$  de la muestra C-Cu se ubican por encima de las de C-Ca entre 1 y 3 órdenes de magnitud respectivamente. Para la muestra C-Ca el rango de  $\tau$  va de 1 a 11 Pa debido a que por debajo de  $\tau = 1$  se observaron fluctuaciones de los valores de ambos módulos viscoelásticos. El rango viscoelástico lineal se considera de 1 a 2 Pa. En el caso de la muestra C-Cu la interpretación es la misma que la de la figura 7.

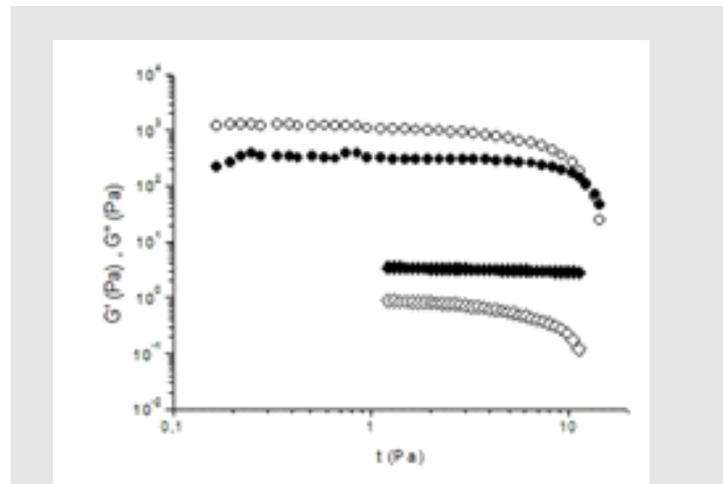


Fig. 10 Módulos de almacenamiento  $G'$  (Pa) y pérdida  $G''$  (Pa) vs esfuerzo de corte  $\tau$  (Pa) para ceras de cutícula a 75 °C y de cachaza a 70 °C,  $f = 1,5$  Hz. C-Cu:  $\circ$   $G'$  y  $\bullet$   $G''$ ; C-Ca:  $\diamond$   $G'$  y  $\blacklozenge$   $G''$ .

## Conclusiones

Se han caracterizado reológicamente dos tipos de cera de caña de azúcar según el origen de las mismas: cutícula y cachaza. El estudio del comportamiento de  $\tau$  y  $\eta$  en función de  $\dot{\gamma}$  permite caracterizar a las ceras como fluidos tipo plástico Bingham.  $\tau_0$  y  $\eta_p$  disminuyen con la temperatura y ambos valores son mayores para la cera C-CU que para la cera C-Ca.

Los resultados obtenidos en los estudios oscilatorios, a igual temperatura, indican que estas ceras se comportan como fluidos viscoelásticos similares al comportamiento de un gel en el caso de la cera C-Cu y a una solución concentrada para la cera C-Ca. De las figuras 7 y 8 se determina el rango de viscoelasticidad lineal que para ambos casos analizados se extiende hasta el valor  $\tau = 1$  Pa. Del estudio viscoelástico a las temperaturas de fusión de cada muestra se observa un punto de cruce para C-Ca indicando el cambio de comportamiento tipo solución concentrada a tipo gel a partir del punto de cruce de ambas curvas.

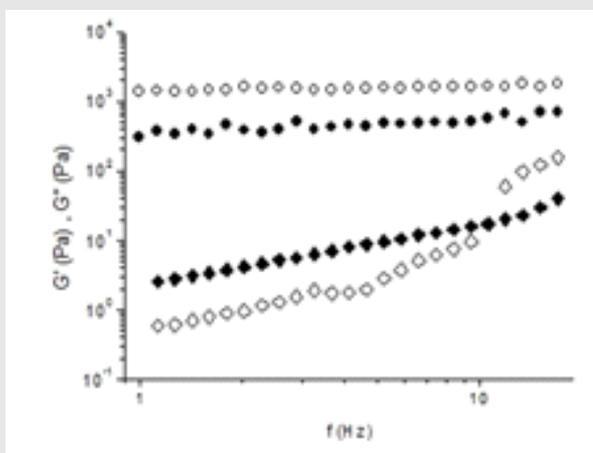


Fig. 9 Módulos de almacenamiento  $G'$  (Pa) y pérdida  $G''$  (Pa) vs frecuencia  $f$  (Hz) para cera de cutícula a 75 °C y de cachaza a 70 °C,  $\tau = 0,5$  Pa. C-Cu:  $\circ$   $G'$  y  $\bullet$   $G''$ ; C-Ca:  $\diamond$   $G'$  y  $\blacklozenge$   $G''$ .

## Referencias Bibliográficas

**Assis, E. M de, Serra, G. E., Asquiere, E. R.** (2003) "Aprovechamiento del subproducto de la caña de azúcar (cachaza) y la recuperación de ceras y sacarosa". *Revista de Tecnología e Higiene de los alimentos*, N° 341, pp. 103-110.

**Barnes, H. A., Hutton, J. F., KWalters, F. R. S.** (1993) *An Introduction to Rheology*, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands.

**Barbosa Rocha, J. L., Dutra Lopez, J., Nucci Mascarenhas, M. C., Barrera Arellano, D., Ricardo Guerrero, L. M., Lopes da Cunha, R.** (2013) "Thermal and rheological properties of organogels formed by sugarcane or calendilla wax in soybean oil". *Food Resculaearch International*, 50, pp. 318-323.

**Broadfoot, R., Miller, K.F.** (1990). "Rheological studies of massecuites and molasses", *Int. Sugar, JNL*, Vol. 92, N° 1098, pp. 107-116.

**Cárdenas, G. J., Yocca, E., Ruiz, R. M.** (1985). "Influencia de las variaciones de concentración y temperatura en la viscosidad de vinazas de melazas de caña de azúcar". *Rev.Ind. y Agric. de Tucumán*, (62) 2, pp. 21-37.

**Díaz García, A. A. y Remedios Castañeda, P. D.** (2002) "Análisis de las viscosidades de mieles y masas cocidas de las provincias de Santiago de Cuba y Las Tunas con vistas a establecer las variaciones más esperadas con la temperatura". *Tecnología Química*, Vol. XXII, N° 2, pp. 49-58. Santiago de Cuba, Cuba.

**Fajobi, A. B., Akinlolu, S. O., Ige, O. O.** (2015) "Study of sugarcane wax inhibitor on concrete reinforcement corrosion in 3.5% of NaCl solution". *Report and Opinion 2015*, 7(9), pp. 1-9. <http://www.sciencepub.net/report>.

**Font Quer, P.** (1979). *Diccionario de Botánica*, Editorial LABORS. A., 7° Reimpresión, p. 209- 211.

**García, A., García, M. A., Ribas, M. y Brown, A.** (2003) "Recuperación de Cera de Cutícula de caña de azúcar mediante separación mecánica y extracción con solventes". *Grasas y Aceites*, Vol. 54, Fasc. 2, pp.169-174.

**Koch, K. and Enkiset, H. J.** (2008) "The hydrophobic coatings of plant surfaces: Epicuticular wax crystals and their morphologies, crystallinity and molecular self-assembly". *Micron*, Vol 39, 7, pp.759–772.

**Mechetti, M., Gómez López, A. y Balella A.** (2011) "Propiedades reológicas de melados de caña de azúcar". *Revista de Ciencias Exactas e Ingeniería (CET)*, 33, pp 10-16.

**Remedios Castañeda, P. y Garcell Puyáns, L.** (2001) "Características reológicas de la cera-resina y cera refinada de caña de azúcar". *Tecnología Química* vol. XXI, N° 3, pp. 5-14. Santiago de Cuba, Cuba.

**Remedios Castañeda, P., Garcell Puyáns, L., y Bertot, L.** (2008) " Los contenidos de cera y aceite en las propiedades de flujo del aceite de cera de cachaza en la provincia Las Tunas". [www.bibliociencias.cu/gsd/collect/revistas/.../Contenidos\\_cera%20.pdf](http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/revistas/.../Contenidos_cera%20.pdf)

**Trease, C. E. y Evans, W. C.** (1988). *Tratado de Farmacognosia*, Cap. 24, Editorial Interamericana, 12ª Edición.

Este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Física de Fluidos y Electrorreología del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán.

**Magdalena Mechetti**

Licenciada y Doctora en Física de la Universidad Nacional de Tucumán - UNT, con Especialización en Química Cuántica y Teoría del Estado Sólido de la National University of Florida, EEUU. Es Profesora Titular Dedicación Exclusiva de las asignaturas Mecánica Cuántica I, Mecánica Cuántica II, Mecánica Cuántica Avanzada y Laboratorio de Reología del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) UNT. Docente de carreras de posgrado. Creadora y directora del Laboratorio de Física de Fluidos y Electrorreología de la FACET, en el cual se llevan a cabo tareas de investigación en reología y espectroscopía de impedancia en diversos materiales fluidos. Directora de Proyectos CIUNT desde 1992, Directora Nodo 5 de Proyecto PME 2006, cuenta con publicaciones de trabajos científicos en la especialidad y de enseñanza de la física en revistas internacionales y nacionales. Ha dirigido y dirige tesis de Licenciatura en Física y Doctorales. Actualmente es Directora del Programa PIUNT 26/E 548 titulado "Estudios reológicos, dieléctricos, químicos y biológicos de fluidos con aplicación en biotecnología"

E-mail: [mmechetti@herrera.unt.edu.ar](mailto:mmechetti@herrera.unt.edu.ar)

**Azucena del R. Gómez López**

Se graduó como Licenciada en Física Orientación Aplicada en la Universidad Nacional de Tucumán. Desde 1997 está vinculada al Laboratorio de Física de Fluidos y Electrorreología de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - FACET, donde desarrolla tareas de investigación, habiendo participado en varios proyectos del CIUNT. Fue becaria de dicho organismo y actualmente es investigadora integrante del Programa 26/E548 PIUNT. Es Jefe de Trabajos Prácticos en las Cátedras de "Física Experimental I" y "Mecánica Cuántica" de la FACET.

E-mail: [agomezlopez@herrera.unt.edu.ar](mailto:agomezlopez@herrera.unt.edu.ar)

**Analía M. Cabalín**

Se graduó como Bachiller Universitario en Física en la Universidad Nacional de Tucumán. Actualmente se encuentra finalizando la Licenciatura en Física en dicha casa de estudios. Desde 2005 está vinculada con el Laboratorio de Física de Fluidos y Electrorreología de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología - FACET, donde desarrolla tareas de investigación habiendo participado en varios proyectos del CIUNT. En 2005-2006 fue becaria de dicho organismo. Es Auxiliar docente Graduado en la Cátedra de "Física Experimental II" de la FACET.

E-mail: [amcabalin@herrera.unt.edu.ar](mailto:amcabalin@herrera.unt.edu.ar)