

Comportamiento Reológico de la Miel de Azahar a Altas Velocidades de Deformación

S. GARCIA*, M. BARRACO**, Ma. A. ADRIA*, M. PIULACHS*,
J. RUIZ (colaborador)* y J. Ma. LOPEZ BES*

* Departamento Física Química Aplicada. Facultad de Farmacia,
Universidad de Barcelona. España.

** Departamento de Mecánica de Fluidos. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
Universidad Politécnica de Catalunya. España.

RESUMEN. Se procede a efectuar un estudio, desde el punto de vista reológico, de la miel de azahar, estudiando las modificaciones que, sobre este comportamiento, infieren las variaciones térmicas.

SUMMARY. "Rheological Behavior of Honey of Orange Blossom at High Deformation Rates". A rheological study was conducted on honey of orange blossom, investigating the variations undergone by this rheological model due to environmental influence.

INTRODUCCION

La llamada flor de azahar procede de un árbol de amplio cultivo mediterráneo, el naranjo o *Citrus aurantium* de la familia de las Rutáceas.

La miel que de esta especie se obtiene posee una coloración muy clara, casi transparente, cuando está líquida, aunque blanquecina y granulosa cuando cristaliza, fenómeno frecuente debido a su composición.

De sabor y olor ligeramente perfumados, se prescribe su toma a los efectos de calmante y antiespasmódica y junto a tisanas en los casos de insomnio.

La miel es producida por las abejas a partir del néctar exudado por las flores, al cual añaden invertasa, una enzima que escinde la sacarosa en fructosa y glucosa.

El néctar es, pues, una solución azucarada, constituida por agua absorbida por las raíces de la planta, que arrastra consigo una

parte de los azúcares contenidos en el tejido nectarífero.

Aunque determinaciones analíticas muestran grandes variaciones en la composición de los néctares, en términos medios puede decirse que la composición del mismo es un 80% de agua y un 20% de sacarosa, mientras que la composición media de la miel podría cifrarse en un 35% de glucosa, 40% de fructosa, 15% de agua y un 10% de otras sustancias entre las que destacan los dextranos, sacarosa, proteínas, vitaminas, aceites esenciales, polen, bacterias, etc.

El propósito que acompaña el presente estudio es el análisis de las propiedades del comportamiento reológico (o estudio de la variación entre velocidades y tensiones deformativas), estudiando los cambios y modificaciones que tienen lugar con el aumento térmico.

PALABRAS CLAVE: Miel; Reogramas; Tixogramas.
KEY WORDS: Honey; Rheograms; Tixograms.

MATERIAL Y METODO

Se dispuso para los ensayos de miel de azahar, la cual fue donada por una firma comercial especializada.

Las pruebas reológicas experimentales se llevaron a cabo en un viscosímetro rotacional de cono-plato, tipo Ferranty-Shirley, adaptado a un registrador de la curva de flujo.

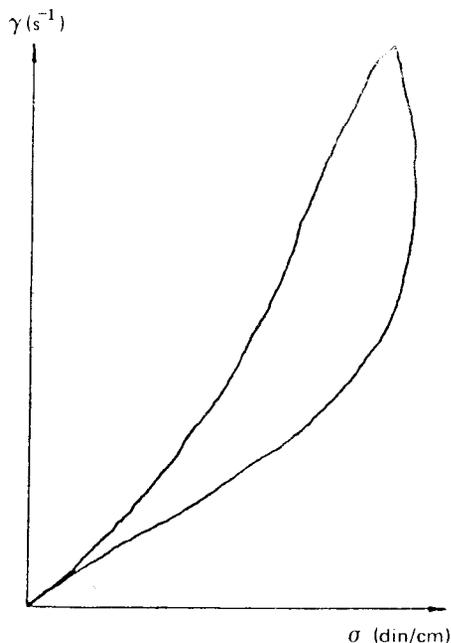


Figura 1. Reograma de miel de azahar a 21,5 °C.

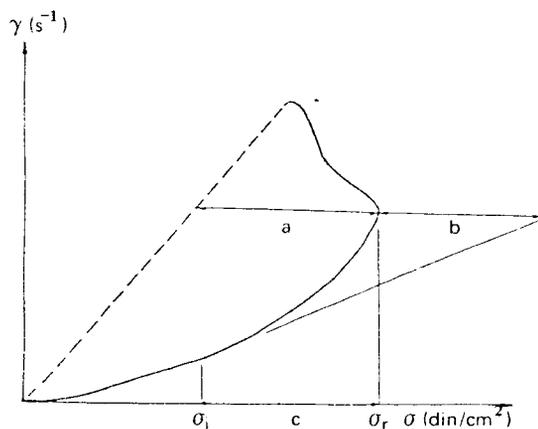


Figura 2. Deducción de parámetros estructurales a partir del trazado reológico. Reograma tipo L.

Para los casos concretos de las muestras estudiadas, se llegó hasta una velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) de 1.000 r.p.m. en forma uniforme, gradual y ascendente, y descendente, desde este valor nulo, en iguales condiciones. El recorrido total se efectuó en un tiempo total de un minuto y las temperaturas de ensayo se incluyeron dentro del intervalo térmico de 21 °C a 65 °C.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los reogramas de las muestras estudiadas presentaron una forma característica por la existencia de variaciones en las tensiones necesarias para producir deformaciones en la muestra, en función del tiempo de actuación de las mismas (Fig. 1).

Puede observarse, por tanto, que hasta un determinado valor de tensión de deformación σ , el comportamiento del fluido es newtoniano. Es decir, a bajos valores de velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) se verifica una relación lineal entre aquellas y las tensiones (σ).

A partir del valor de tensión denominado como σ_i el comportamiento reológico de la miel varía sustancialmente, pasando a ser pseudoplástico hasta un valor tensional σ_r , punto en el cual todo aumento en las tensiones revierte en una disminución en la viscosidad de la miel.

La miel resulta deformada en su estructura por la aplicación de tensiones de cizalla desde el valor σ_i hasta el mencionado valor de σ_r , punto en el cual la ruptura en la estructura molecular de la miel es de tal magnitud que se verifica una disminución en la viscosidad, debida, precisamente, a esta reodestrucción (viscosidad aparente igual a cero) (Fig. 2).

Deducción de parámetros característicos del modelo reológico

A partir de los reogramas obtenidos de las muestras de miel se pasó a deducir una

serie de parámetros que definieran su comportamiento reológico.

De la observación de la Fig. 2 se puede definir el parámetro "c" o diferencia de valores tensionales iniciales del comportamiento pseudoplástico, σ_i , y los valores de tensión de ruptura estructural σ_r . Este valor será indicativo del mayor o menor grado logrado en la uniformidad de las muestras de miel ensayadas.

Así se tiene:

$$c = \sigma_r - \sigma_i$$

Si se considera el concepto de viscosidad aparente (η_{AP}), es decir, la viscosidad que debería poseer un fluido newtoniano cuyo reograma pasara linealmente por el centro de coordenadas y cuyo valor se define como: $\eta_{AP} = \text{tg } \alpha^{-1}$.

Según se puede ver en la Fig. 2, el parámetro designado como "a" representaría la distancia, en el trazado reográfico, entre los valores de tensión de ruptura estructural o σ_r y el mismo valor correspondiente al trazado a velocidades de deformación decreciente.

El parámetro "b" correspondería a la distancia en el trazado reográfico entre la tensión de ruptura, σ_r , y la recta que definiría el modelo de comportamiento newtoniano seguido a bajos valores de σ .

Por ello, la relación establecida entre los parámetros "b" y "c", es decir, b/c , será indicativa de la forma en que la ruptura estructural se lleva a cabo.

El porcentaje de ruptura estructural respecto al comienzo del test reológico vendrá dado por la relación $100 (b/a+b)$.

Puede decirse que la forma presentada por estas curvas que podríamos denominar como de reodestrucción, puede ser englobada como curva tipo L, T o LT (Figs. 2, 3 y 4).

La Fig. 5 presenta la variación de los parámetros estructurales $10.(b/a+b)$, $10 (b/c)$, así como las tensiones de ruptura, σ_r ,

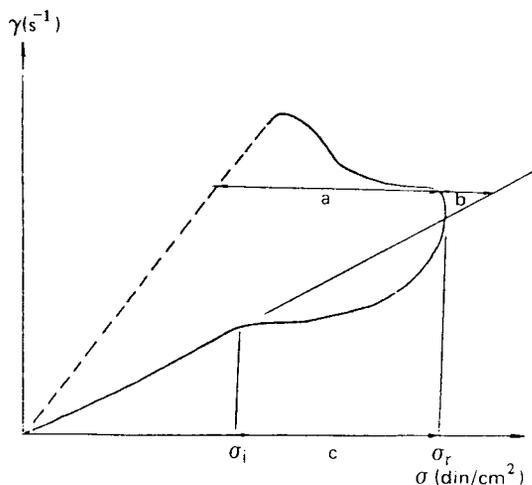


Figura 3. Reograma tipo T.

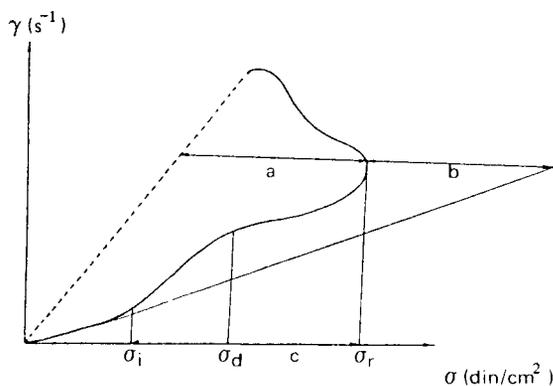


Figura 4. Reograma tipo LT.

y la tensión inicial del comportamiento pseudoplástico, σ_i , con la temperatura en grados centígrados.

Estudio de la rama ascendente reográfica

A todas las temperaturas estudiadas, se observa una primera parte del reograma de carácter marcadamente newtoniano, definiéndose la relación

$$\sigma = K_n \cdot \dot{\gamma}$$

siendo el valor de K_n igual a la viscosidad reducida ($\hat{\eta}$), ofreciendo K_n frente a la variación térmica los siguientes valores:

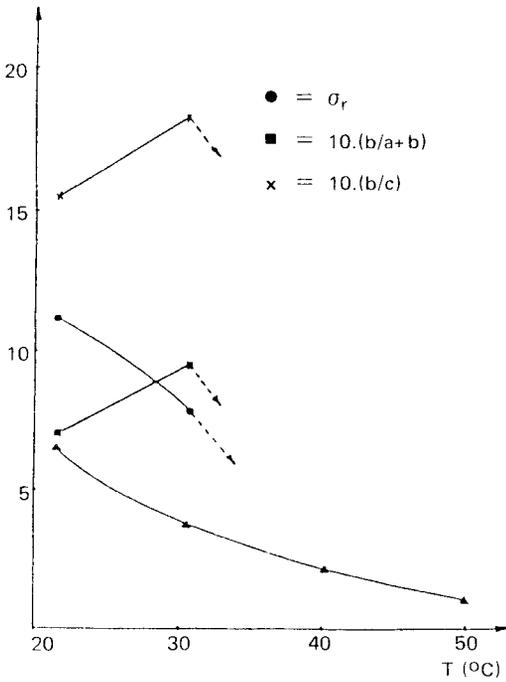


Figura 5. Variación térmica de los parámetros estructurales reológicas.

Temp.	21,5 °C	30,5 °C	40 °C	50 °C
K_n	1,66	0,91	0,35	0,14

Las coordenadas reducidas se han utilizado a los efectos de una mayor facilidad de cálculo, formulándose valores de tensión de deformación y velocidad de deformación reducidos ($\hat{\sigma}$ y $\hat{\gamma}$) según:

$$\sigma = \hat{\sigma} \cdot \frac{N^{\circ} \text{ unidades } \sigma}{N^{\circ} \text{ centímetros}} \cdot K_{\sigma} \cdot K \text{ ampliación}$$

$$\dot{\gamma} = \hat{\gamma} \cdot \frac{N^{\circ} \text{ unidades } \dot{\gamma}}{N^{\circ} \text{ centímetros}} \cdot K_{\dot{\gamma}}$$

siendo los valores de K_{σ} y $K_{\dot{\gamma}}$ iguales a 1053,9 y 5,55 respectivamente.

De los valores de viscosidad reducida hallados, se dedujo el cumplimiento de la relación exponencial que relaciona la viscosidad reducida frente a la temperatura (Fig. 6), mediante la expresión:

$$\hat{\eta} = 50,77 \cdot e^{-0,53 \cdot T}$$

A partir del valor σ_i , el comportamiento de la miel pasa a ser pseudoplástico, verificando la ecuación de Ostwald:

$$\hat{\gamma} = K_s \cdot \sigma^{K_t}$$

siendo definidos los valores de K_s y K_t , en función de la temperatura:

Temp.	21,5 °C	30,5 °C	40 °C	50 °C
K_s	0,13	0,20	4,98	5,30
K_t	1,80	2,08	5,55	1,65

Las variaciones de K_s y K_t con la temperatura se pueden ajustar a funciones polinómicas ortogonales según:

$$K_s = -0,37.T^3 + 14,32.T^2 - 62,87.T + 37,31$$

$$K_t = -185,87.T^3 + 1737.T^2 - 4582.T + 3718$$

En la Fig. 7 se representan las variaciones de K_s y K_t frente a la temperatura.

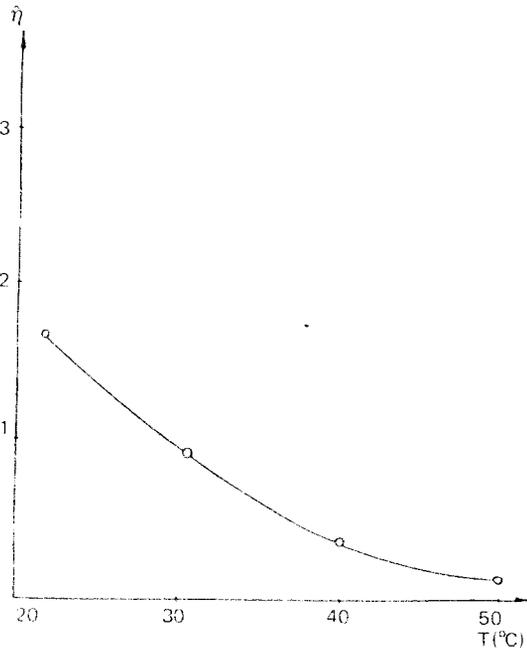


Figura 6. Variación térmica de la viscosidad reducida.

CONCLUSIONES

Habiendo sido estudiado el comportamiento reológico de la miel de azahar se pudo constatar que en una primera zona del reograma, correspondiente a valores bajos de velocidad de deformación, el modelo reológico seguido puede ser definido como newtoniano hasta llegar al valor tensional σ_i , pasando a ser pseudoplástico, siguiendo unas modificaciones estructurales en la muestra.

Este comportamiento se continúa hasta un valor de tensión de deformación σ_r , a partir del cual se verificaba la ruptura y reodestrucción en la miel ensayada.

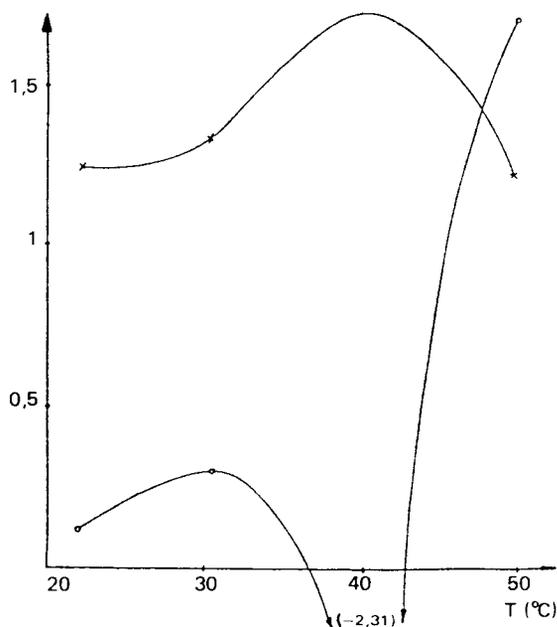


Figura 7. Modificaciones térmicas de K_s y K_t .

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aso, R., T. Watanabe, K. Yamao (1960) *J. Agr. Research* II: 101-8
- Auclair, J.L. (1963) *A. Rev. Ent.* 8: 439-80
- Chauvin, R. (ed.) (1968) "*Traité de biologie de l'abeille*" Masson et Cie. Paris.
- Crane, Eva (1979) "*Honey*". Heinemann. London
- Ferreira, E.L. da S. (1970) "*O mel e seus açucars*". "*Processos actuais de analise*". Univ. Tec. de Lisboa. Instit. Sup. de Agronomía
- Gonnet, M. (1969) *Annals Abeille* 16: 53-67
- Jamieson, C.A. (1954) "*Some factors influencing the crystallization of honey*". Rep. Ia. St. Apiar. 6954: 64-73
- Mulles, H.G. (1978) "*Introducción a la reología de los alimentos*". Ed. Acribia. Zaragoza
- Pérez, B.S. y A.T. Rodríguez (1970) *An. Bromat.* 22: 377-406
- Pourtellier, J. (1964) "*Sugar in honey analyses*". XIX. Int. Beekeep. Congr. 1963
- Pourtellier, J. (1972) "*Caractérisation physico-chimique des miels*". Simposio Internazionale di Apicoltura, Torino. Págs. 91-5
- Scott-Blair, G.W. (1953) "*Foodstuffs: their plasticity, fluidity and consistency*", North-Holland Publishing Co., Amsterdam
- Townsend, G.F. (1971) *J. Apic. Research* 10: 73-7