



# Comportamiento reológico de un alimento en función su contenido en grasa

<b>Apellidos, nombre</b>	Fuentes López, Ana (anfuelo@upvnet.upv.es) Cortés López, Victoria (viccor13@doctor.upv.es) Talens Oliag, Pau (pautalens@tal.upv.es)
<b>Departamento</b>	Tecnología de Alimentos
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València



## 1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a mostrar la importancia que tiene la composición de un alimento, en concreto su contenido graso, sobre su comportamiento reológico. Para ello, evaluaremos el comportamiento de dos yogures batidos con diferente contenido en grasa, un yogur natural entero y un yogur natural desnatado.

## 2 Introducción

La ciencia que estudia la deformación y flujo de los materiales se conoce como reología. Un material se considera un fluido cuando al aplicarle una fuerza se provoca un flujo del mismo, es decir, una deformación permanente. Así, el estudio reológico de un fluido nos permite conocer la manera en que éste responde a un esfuerzo o tensión aplicada. En la práctica, los estudios reológicos se aplican para predecir el comportamiento macroscópico de un fluido bajo unas condiciones de proceso determinadas y también para estudiar de manera indirecta la microestructura del fluido y poder evaluar, por tanto, el efecto de diferentes factores sobre dicha estructura.

Según su comportamiento reológico, los fluidos pueden clasificarse en fluidos newtonianos, donde existe una relación lineal entre el esfuerzo aplicado y el gradiente de velocidad, y fluidos no newtonianos, donde esta relación no es constante. La mayoría de fluidos alimentarios son fluidos no newtonianos<sup>[1]</sup>.

Las mediciones reológicas son importantes en la industria alimentaria como herramienta para la caracterización de las materias primas antes del procesado, para la optimización de los procesos de elaboración y de conservación. Además, debido a la correlación que existe entre los parámetros reológicos con la evaluación sensorial del alimento, la reología puede emplearse como herramienta para establecer nuevas formulaciones o mejorar las existentes.

El comportamiento reológico de los alimentos fluidos está condicionado por diferentes factores, como la viscosidad aparente, velocidad de cizalla, temperatura, contenido de humedad, historia térmica y esfuerzo de cizalla<sup>[2]</sup>. En este sentido, la modificación de estos factores en el alimento determinará las propiedades reológicas del mismo. Esto es conocido en la industria alimentaria, ya que cualquier cambio en la proporción de los ingredientes de un alimento, la eliminación de uno de ellos o la incorporación de nuevos ingredientes debe valorarse no solo desde el punto de vista nutricional, sensorial y de estabilidad, sino de cómo estos cambios afectan a atributos tan importantes como la consistencia, textura, viscosidad,.... Esta valoración se realiza mediante una caracterización completa del comportamiento reológico del producto.

La modelación del comportamiento reológico de un alimento puede realizarse aplicando diferentes modelos, los cuales permiten describir las propiedades de flujo del producto. Entre estos modelos encontramos la Ley de la potencia, Carreau, Casson, Bingham y Herschel-Bulkley<sup>[3]</sup>. La selección de un modelo u otro es determinante para la correcta caracterización del alimento.



### 3 Objetivo

Con este artículo se pretende que el alumno sea capaz de determinar el efecto que tiene la modificación en la composición de un alimento sobre su comportamiento reológico. En concreto, comprobará como el contenido en grasa de un alimento fluido afecta a los parámetros reológicos del mismo.

### 4 Desarrollo

En primer lugar, vamos a describir brevemente el procedimiento para caracterizar el comportamiento de un fluido pseudoplástico. A continuación, aplicaremos el modelo reológico a dos muestras de yogur diferentes con el objetivo de comprobar el efecto que tiene el contenido en grasa del producto sobre los parámetros obtenidos en la caracterización.

#### 4.1 Fundamento

Para estudiar el comportamiento reológico de un fluido es necesario realizar medidas de viscosidad aparente del mismo para diferentes condiciones de esfuerzo cortante ( $\sigma$ ) y velocidad de corte ( $\dot{\gamma}$ ). Las emulsiones o suspensiones presentan a menudo un comportamiento pseudoplástico. Tal comportamiento se caracteriza por una disminución de la viscosidad a medida que el cizallamiento aumenta, es decir, la resistencia a fluir disminuye cuando la velocidad de corte aumenta.

Tal y como se ha mencionado anteriormente, los fluidos pseudoplásticos presentan una relación no lineal entre el  $\sigma$  y  $\dot{\gamma}$ . De todos los modelos que pueden ser utilizados para describir el comportamiento de los fluidos, el modelo más sencillo es el modelo de Ostwald-de-Waele, conocido también como ley de la potencia (Ecuación 1).

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Este modelo es aplicable cuando en el producto se produce una reorganización estructural importante desde gradientes de velocidad bajos, y cuando, además, no se llega al gradiente de velocidad que supone alcanzar el valor asintótico de viscosidad. Estas condiciones se cumplen en la mayoría de alimentos fluidos, por lo que es el modelo más utilizado en la caracterización de alimentos. En este modelo, el parámetro K es el índice de consistencia del producto y n es el índice de comportamiento al flujo y representa la desviación del comportamiento del fluido respecto al comportamiento newtoniano. Es por ello que si el valor de n es 1, se trata de un fluido newtoniano, mientras que, si el valor de n se encuentra entre 0 y 1, se trata de un fluido pseudoplástico<sup>[1]</sup>.

## 4.2 Caso práctico: estudio reológico de dos yogures con diferente contenido en grasa

El yogur se define como el producto de leche coagulada obtenida por la fermentación láctica producida por la acción de las bacterias *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus* [4].

Los productos lácteos obtenidos por coagulación, como es el yogur, son geles de textura débil con tendencia a la sinéresis o desuerado. Con la cantidad natural de sólidos de la leche, el gel formado es extremadamente débil y frágil e impropio para uso comercial. La adición de 2-5% de sólidos lácteos como leche en polvo antes de la fermentación puede remediar esta situación [5]. La modificación de su formulación, la reducción del contenido en grasa o la incorporación de nuevos ingredientes cambia la estructura física y composición química original del gel. Por ejemplo, algunos estudios han demostrado que la incorporación de fibra al yogur permite disminuir la sinéresis y que la reducción en el contenido en grasa tiene un importante impacto en su textura y consistencia, afectado a la sensación en boca [6]. El efecto que tienen todas estas modificaciones puede ser cuantificado a partir de un estudio reológico del producto, lo que permitiría modificar los ingredientes utilizados para obtener un producto con una valoración óptima por los consumidores.

Para evaluar el efecto que tiene el contenido en grasa de un yogur sobre su comportamiento reológico vamos a caracterizar dos yogures batidos de una misma marca comercial. Uno de los yogures es un yogur elaborado con leche fresca pasteurizada y leche desnatada en polvo y posee un contenido en grasa aproximado de 3%. El otro producto es un yogur desnatado, elaborado con leche pasteurizada, desnatada y leche desnatada en polvo y donde el contenido en grasa se ha reducido hasta un 0.1% (0.1g grasa en 100 g de yogur).

En la figura 1 se muestra el valor nutricional de ambos yogures, tal y como aparecen en su etiquetado.

Composición nutricional	Por 100 g
Valor energético (Kcal)	58
Valor energético (KJ)	243
Proteínas (g)	3,2
Hidratos de carbono (g)	4,0
<b>Grasas (g)</b>	<b>2,9</b>
Fibra alimentaria (g)	0
Sal (g)	0,13
Calcio (mg)	120



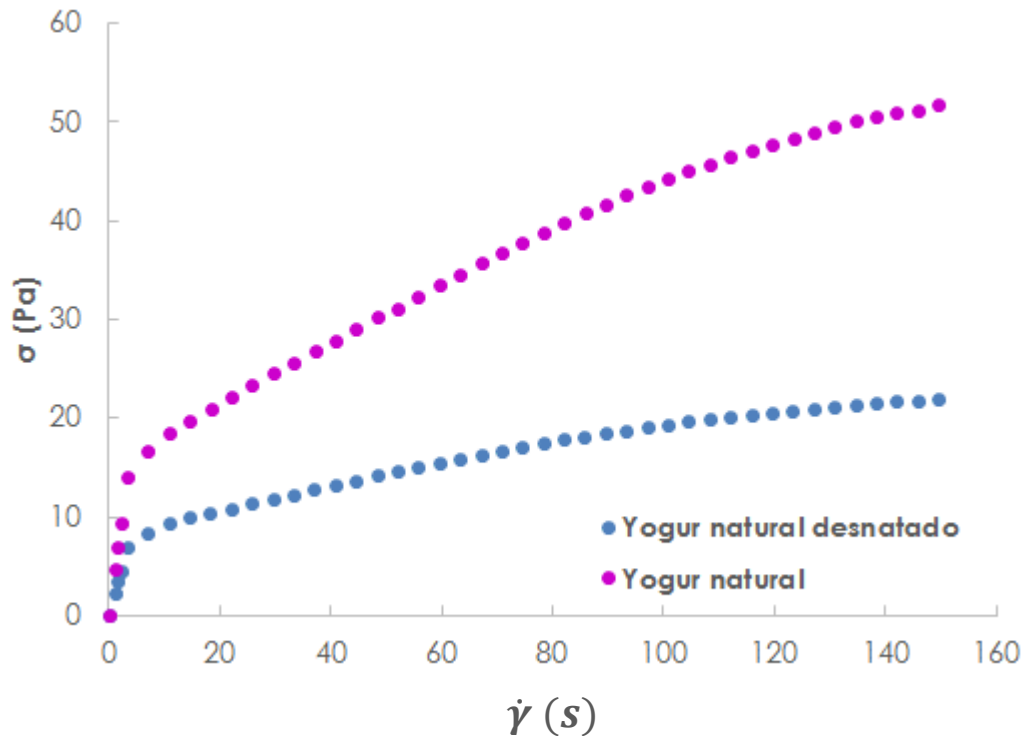
Composición nutricional	Por 100 g
Valor energético (Kcal)	40
Valor energético (KJ)	169
Proteínas (g)	4,2
Hidratos de carbono (g)	4,8
<b>Grasas (g)</b>	<b>0,1</b>
Fibra alimentaria (g)	0
Sal (g)	0,15
Calcio (mg)	132



**Figura 1.** Valor nutricional del yogur natural elaborado con leche entera y del yogur elaborado con leche desnatada

Para llevar a cabo la caracterización reológica de diferentes tipos de yogures se empleará un reómetro de cilindros concéntricos, donde se somete al producto a un gradiente de velocidad desde 0.1 s<sup>-1</sup> a 150 s<sup>-1</sup>.

El equipo nos proporciona los valores de valores de esfuerzo cortante ( $\sigma$ ) para cada gradiente de velocidad ( $\dot{\gamma}$ ). La representación de estos valores nos permite obtener el reograma de ambos tipos de yogur (figura 2).



**Figura 2.** Reograma obtenido para las muestras de yogur natural entero y el yogur desnatado.

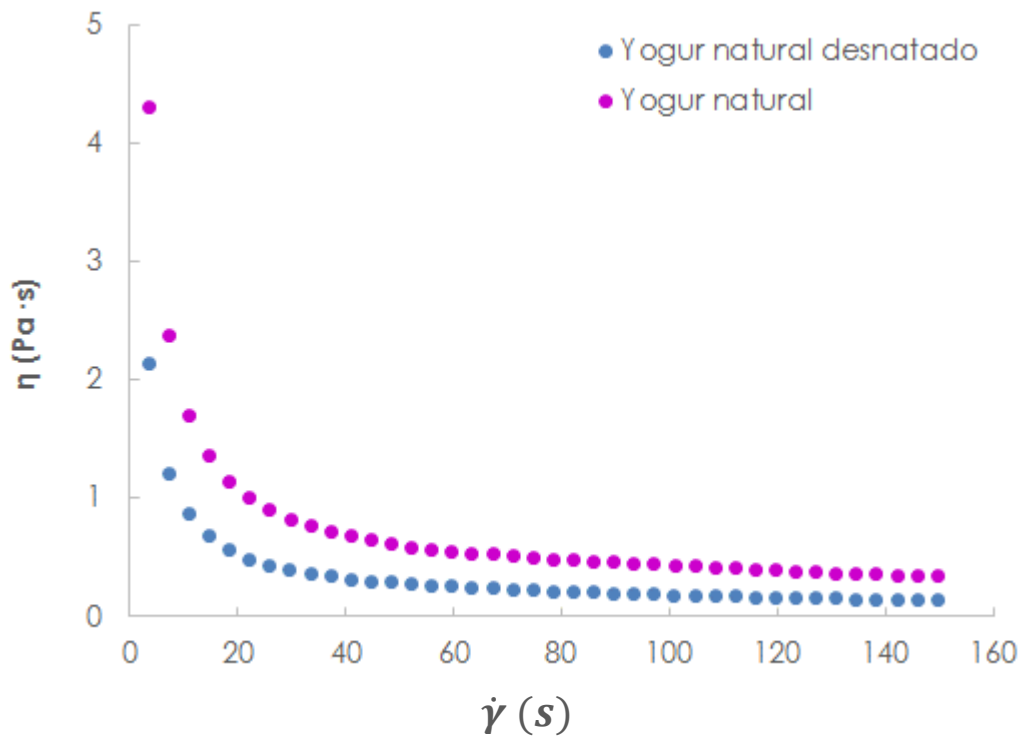
En la figura 3 muestra como varia la viscosidad aparente de ambos yogures en función del gradiente de velocidad generado.

Tal y como se observa en la figura 3, la viscosidad de los yogures analizados disminuye al aumentar el gradiente de velocidad, lo que confirma el comportamiento pseudoplástico del producto.

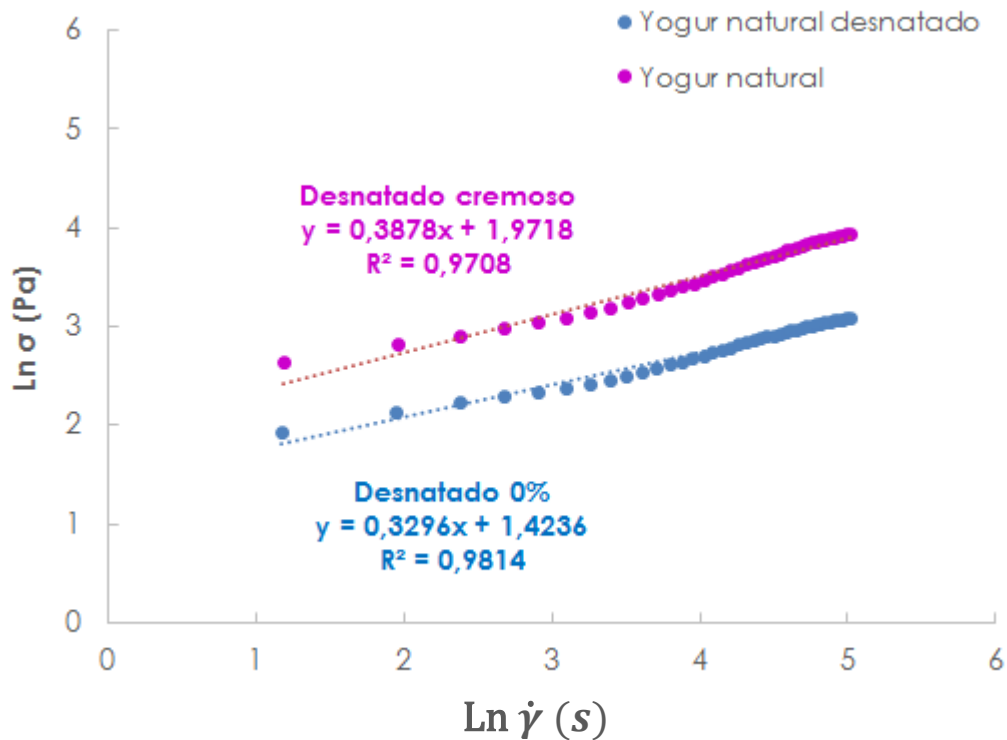
El comportamiento reológico de los fluidos pseudoplásticos puede ajustarse al modelo de Ostwald-de-Waele o ley de potencia (ecuación 1). Para poder realizar el ajuste del comportamiento de nuestros yogures a la ecuación de Ostwald-de-Waele calcularemos en primer lugar el Ln del esfuerzo cortante ( $\sigma$ ) y del gradiente de velocidad ( $\dot{\gamma}$ ). La ecuación 2 permite ver el ajuste realizado

$$\sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \rightarrow \ln \sigma = \ln K + n \cdot \ln \dot{\gamma} \quad (2)$$

La representació de  $\ln \sigma$  frente a  $\ln \dot{\gamma}$  (figura 4) nos permetrà llevar a cabo un correcte ajust de los datos.



**Figura 3.** Representació de los valors de viscositat aparent ( $\eta$  (Pa·s)) fente al gradient de velocitat ( $\dot{\gamma}$ (s<sup>-1</sup>)) para las muestras de yogur.



**Figura 4.** Ajuste de Ostwald-de-Waele para el reograma de los yogures entero y desnatado.

A partir del ajuste presentado en la figura 4 se obtienen los valores de K (índice de consistencia) y n (índice de flujo) para cada uno de los yogures. Los valores obtenidos en las muestras evaluadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Valores de los parámetros reológicos obtenidos en el ajuste de Ostwald-de-Waele.

	K (Pa · s <sup>n</sup> )	n	
<b>Yogur entero</b>	<b>7,184</b>	<b>0,388</b>	$\sigma = 7,184 \cdot \dot{\gamma}^{0,388}$
<b>Yogur desnatado</b>	<b>4,152</b>	<b>0,330</b>	$\sigma = 4,152 \cdot \dot{\gamma}^{0,330}$

En ambos casos, el valor obtenido del índice de flujo (n) se encuentra entre 0 y 1, lo que confirma el comportamiento pseudoplástico del yogur. El valor del índice de consistencia (K), es mayor en el caso del yogur entero de manera que podría afirmarse que la reducción en el contenido de grasa en el producto reduce la firmeza o consistencia del producto.



## 5 Cierre

El yogur se comportó como un fluido no newtoniano de carácter pseudoplástico, con un comportamiento que se ajusta adecuadamente al modelo de Ostwald-de-Waele. El estudio reológico permite determinar como una modificación en la composición del alimento afecta a sus parámetros reológicos, en concreto, una reducción en el contenido en grasa disminuye su índice de consistencia.

## 6 Bibliografía

- [1] Talens, P. (2016) Caracterización del comportamiento reológico de un alimento fluido pseudoplástico. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/68327>
- [2] Steefe, JF. (1996). Rheological Methods in Food Process Engineering. 2nd edition. East Lansing -Freeman Press.
- [3] Chiralt, A.; Martínez-Navarrete, N.; Talens, P.; Moraga, G. (2007). Propiedades físicas de los alimentos. Editorial UPV, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- [4] BOE 042 de 18/02/2003 Sec 1 Pag 6448 a. 6450 - A06448-06450. pdf. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2003/02/18/pdfs/A06448-06450.pdf>
- [5] Castillo, M.; Borregales, C.; Sánchez, MD. (2004). Influencia de la pectina sobre las propiedades reológicas del yogur. Revista de la facultad de farmacia, 46(2), 33-37.
- [6] Crispín-Isidro, G.; Lobato-Calleros, C.; Espinosa-Andrews, H.; Alvarez-Ramirez, J.; Vernon-Carter, EJ. (2015). Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt. LWT-Food Science and Technology, 62: 438-444.