

Esquema de la Lección: Viscosidad

Introducción

Viscosidad es la propiedad de una sustancia que describe como de 'espesa' es y como de rápido fluye. Por ejemplo, las células en el cuerpo humano consisten mayormente en el citoplasma, una sustancia que fluye muy lentamente. Esta propiedad del citoplasma indica que es muy viscosa. La viscosidad de una sustancia dada puede ser afectada por la temperatura - altas temperaturas resultan usualmente en fluidos más rápidos y bajas temperaturas en fluidos más lentos.

Esta práctica demuestra que la **densidad**, que es la masa por unidad de volumen, está relacionada con (pero no igual que) la **viscosidad**, que es la resistencia a fluir. Esta práctica mostrará igualmente que diferentes sustancias tienen diferentes viscosidades y que la viscosidad puede cambiar con la temperatura. Una de las sustancias, melaza, tiene una viscosidad que los científicos piensan que es similar a la del citoplasma de una célula. También demostraremos cómo un objeto moviéndose a través de un medio viscoso como la melaza opone resistencia a las fuerzas de arrastre o fricción.

Objetivos y Nivel

Demostrar la relación entre viscosidad y densidad; viscosidad como una propiedad de fluidos y el efecto de la temperatura en la viscosidad; y las fuerzas de fricción o de arrastre que se oponen al movimiento de un objeto que se mueve a través del fluido.

Apropiada para las clases de ciencias de la escuela intermedia o avanzada. Ver notas para estudiantes avanzados.

Materiales y Equipo

- Agua, aceite vegetal (de maíz), melaza o jarabe ligero de maíz.
- Pipetas o jeringas hipodérmicas (10 mL)
- Vasos de precipitados (50 mL, 80 mL, 200 mL)
- Cuchara pequeña (con cuenco de ~2-3 cm de diámetro)
- Pipetman (1,000 μ l) con puntas. Cronómetro, balanza analítica, termómetro.

Procedimiento

1. La densidad hace referencia a cuanto pesa una sustancia. Porque las sustancias pueden variar en gran medida en tamaño y forma, la densidad se define como la masa por volumen, de tal manera que unas sustancias pueden ser comparadas unas con otras. Podemos medir la densidad en g/ml de agua, aceite vegetal y melaza pesando 1 ml de cada uno en un envase y anotando sus pesos. Si estás usando una balanza de cocina, pesa $\frac{1}{2}$ taza (=118.3 ml) de cada y conviértelo en g/ml (porque la densidad se expresa normalmente en g/ml) dividiendo por 118.3 ml y multiplicando por 28.35 g/oz, si las unidades de la balanza son onzas.

Recuerda sustraer el peso del envase. ¿Son las densidades del aceite vegetal y la melaza iguales, menores o mayores que la densidad del agua? ¿Cuáles de las tres sustancias tiene la menor densidad? ¿Cuál tiene la mayor densidad?

2. Mientras estas midiendo las densidades de los tres fluidos, probablemente notarás que las sustancias son diferentes en cuanto a cómo fluyen. Esta propiedad se conoce como viscosidad.

BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

¿Cuál de las tres fluye con mayor rapidez? Será el fluido que es menos viscoso de los tres. El que fluye más lento de los tres es el más viscoso. ¿Es el fluido más viscoso también el de mayor densidad? ¿Qué sucede con el fluido menos viscoso – es el de menor densidad?

3. Calentar el agua, el aceite vegetal y la melaza en un contenedor con agua caliente de un grifo durante 5-10 minutos. A continuación, repetir las medidas de la densidad pesando 1 mL de cada contenedor en otro contenedor y anotando los pesos. Asegúrate de que cada fluido está templado cuando realizas la medida esta vez.

¿Difiere la densidad de los fluidos templados en comparación con los fluidos fríos? ¿Qué ocurre con su viscosidad? ¿Fue más fácil o más difícil medir los fluidos templados o aquellos a temperatura ambiente? ¿Cuál de ellos mostró la mayor diferencia? ¿Cuál crees que es el efecto de la temperatura sobre la densidad? ¿Y el efecto de la temperatura sobre la viscosidad?

4. Puedes usar un método similar al de un tubo-U o viscosímetro de Ostwald (Amrita Vlab, 2010) para determinar la viscosidad de los fluidos midiendo el tiempo en segundos requeridos por 1 mL de agua, aceite vegetal o melaza para caer desde una pipeta (o jeringa hipodérmica) a un vaso. Nota que el agua caerá muy rápido, por tanto intenta grabarlo con un teléfono móvil e incluye un minutero en la película – quizás esta sea la forma más sencilla para determinar el tiempo (**Figura 1**). Asegúrate de anotar el tiempo requerido para cada fluido.

¿Cuál de los tres fluidos tardó más tiempo? Este es el más viscoso de los tres. ¿Es también el más denso de los tres fluidos? ¿Fue el fluido que tardó el menor tiempo también el que tiene la menor densidad?

5. Estudiantes avanzados pueden calcular la viscosidad del aceite vegetal o melaza relativa al agua a través de los tiempos de flujo, las densidades determinadas anteriormente, y la siguiente ecuación:

$$\eta / \eta_w = \rho t / \rho_w t_w$$

donde

- η es la viscosidad relativa del aceite vegetal o melaza
- η_w es la viscosidad del agua 1 mPa·s (milli-Pascal·segundos) a temperatura ambiente (20°C)
- ρ es la densidad del aceite vegetal o la melaza
- t es el tiempo requerido para que 1 mL de aceite vegetal o melaza transite por la pipeta (o la jeringa hipodérmica)
- ρ_w es la densidad del agua 1 g/mL a 20°C
- t_w es el tiempo requerido por 1 mL de agua para atravesar la pipeta o la jeringa hipodérmica

¿Son las viscosidades del aceite vegetal y la melaza iguales, menores o mayores que la viscosidad del agua? Si las viscosidades difieren del agua, aproximadamente cuánto tiempo menos que o más que el agua? Observa que los valores de tu viscosidad para el aceite vegetal y melaza pueden diferir de aquellos en la Tabla siguiente porque pueden ocurrir errores experimentales. Si tus valores se encuentran en el mismo orden, de menor al de mayor viscosidad, reflejarán correctamente las viscosidades medidas usando un viscosímetro.

¿Cómo está la densidad de una sustancia relacionada con su viscosidad? Esto quizás sea difícil de explicar conociendo sólo las densidades y viscosidades del aceite vegetal y la melaza comparada con el agua – ver Nota 1 más adelante.

BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

6. Calentar el aceite vegetal y la melaza en un recipiente con agua caliente a $\sim 40^{\circ}\text{C}$ y repetir los ensayos de flujo. Anotar los tiempos.

¿Son los tiempos de flujo más largos, más cortos o iguales al de los fluidos a temperatura ambiente? ¿Cuál crees que es el efecto de la temperatura en la viscosidad de los fluidos?

7. Estudiantes avanzados pueden determinar la viscosidad del aceite vegetal y la melaza calientes en comparación con el agua a temperatura ambiente, como se describió en el punto anterior número 5. ¿Es la viscosidad del aceite vegetal templado o de la melaza, la misma, menor o mayor que sus viscosidades a temperatura ambiente?

8. Fuerzas viscosas pueden demostrarse a través del siguiente ejemplo, modificado de (Howard, 2001). Vierte 40 mL de melaza (o jarabe ligero de maíz) en un vaso de precipitados de 50 mL, 80 mL en un vaso de precipitados de 100 mL, y 200 mL en un vaso de precipitados de 250 mL. Pesa los vasos de precipitados y anota los pesos (valor total con la melaza). Inserta una cuchara pequeña con el eje mayor del óvalo de $\sim 2\text{-}3\text{ cm}$ en la melaza del vaso de precipitados más pequeño. Luego, sujetando el mango de la cuchara, levanta rápidamente el vaso con la cuchara (**Figura 2**). Intenta lo mismo con los otros dos vasos de precipitados – deberías poder levantar uno pero no el otro. Determina la cantidad mayor de melaza que puedes levantar con la cuchara añadiendo melaza a uno de los vasos e intentándolo de nuevo. Es importante cuando llesves a cabo este último paso, que tires con la misma velocidad en cada intento.

¿Cambia la cantidad de melaza que se puede recoger en el vaso de precipitados al tirar del vaso con la cuchara más rápidamente?

Después de que hayas determinado la máxima cantidad que puedes levantar usando la cuchara, pesa el vaso de precipitados sin la cuchara en gramos, conviértelo en *kilogramos* multiplicándolo por 10^{-3} , y multiplica por 10 para obtener la fuerza aproximada por la gravedad en *Newtons (N)* (ver **Nota 4**). Este valor es aproximadamente igual a la fuerza viscosa o de arrastre de la melaza en la cuchara y con suerte, una velocidad consistente con la que tu levantaste la cuchara. *Ejemplo publicado con permiso de Sinauer Associates, Inc.*

Ahora, con la cantidad mayor, intenta retirar la cuchara a una velocidad mayor.

¿Qué sucede? ¿Cambia la cantidad de melaza que se puede recoger en el vaso de precipitados al tirar del vaso con la cuchara más rápido?

*¿Qué piensas que va a suceder si intentases este experimento con aceite vegetal? ¿Crees la fuerza viscosa o de arrastre del aceite vegetal es mayor o menor que la de la melaza? (Nota: la fuerza viscosa o de arrastre de una sustancia depende directamente de su viscosidad – ver **Nota 4**.)*

Notas

1. La densidad y viscosidad de una sustancia dada no están siempre correlacionadas. La densidad del aceite vegetal es menor que la del agua, pero el aceite vegetal es más viscoso que el agua. La densidad y viscosidad del agua, el aceite vegetal y la melaza se especifican en la siguiente tabla; las del jarabe ligero de maíz se especifican para facilitar una comparación:

	Densidad a 20°C	Viscosidad a 20°C
Agua	1 g/mL	1 mPa·s
Aceite vegetal (maíz)	0.92 g/mL	65 mPa·s
Melaza	1.41 g/mL	5000-10000 mPa·s
Jarabe ligero de maíz (20 g azúcar/30 mL)	~1.34 g/mL	2000-3000 mPa·s

2. Incrementando la temperatura debería tener un pequeño efecto en la densidad, pero temperaturas más templadas generalmente reducen la viscosidad causando que los fluidos fluyan más rápidamente.

3. **Tópico Avanzado 1:** el número de **Reynolds**, Re , es la proporción entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de fricción que experimenta un objeto moviéndose en un fluido viscoso. Viene dada por:

$$Re = \rho L v / \eta$$

donde

- ρ es la densidad del líquido
- L es la longitud del objeto en la dirección del movimiento
- v es la velocidad del objeto
- η es la viscosidad del fluido

Moviendo la cuchara en un vaso de precipitados con melaza o aceite a una determinada velocidad (por ejemplo 0.5 m/s), puedes calcular el número de Reynolds de la cuchara (Howard, 2001). Valores bajos del número de Reynolds (<1) se esperan para objetos pequeños moviéndose en un fluido viscoso. El número de Reynolds crece a medida que la viscosidad del fluido decrece; es también mayor para los objetos mayores en comparación con objetos pequeños que se mueven en un fluido con idéntica viscosidad. La tabla ilustra el número de Reynolds para objetos de diferente tamaño moviéndose en agua.

	Tamaño del Objeto	Velocidad del Objeto	Densidad del Fluido (kg/m ³)	Viscosidad del Fluido (Pa·s)	Número Reynolds
Trasatlántico	100 m	30 m/s	1000	10 ⁻³	3 x 10 ⁹

BASICS: Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students

Natación humana	2 m	1 m/s	1000	10^{-3}	2×10^6
Bacteria en H ₂ O	2 μ m	25 μ m/s	1000	10^{-3}	5×10^{-5}

Datos de (Howard, 2001). Reproducidos con permiso de Sinauer Associates, Inc.

4. **Tópico Avanzado 2:** a valores bajos del número de Reynolds, las fuerzas que se resisten al movimiento hacia delante de un objeto esférico en un fluido viscoso, o la fuerza de arrastre, F_d , viene dada por la **ley de Stokes**:

$$F_d = -6\pi\eta r v$$

donde

- η es la viscosidad del fluido
- r es el radio de la esfera
- v es la velocidad del objeto

La fuerza de arrastre necesaria para tirar de una esfera (la cuchara) metida en un vaso de precipitados pequeño donde se encuentra un fluido viscoso como por ejemplo la melaza, es la suma de las fuerzas viscosas de la melaza en la cuchara, estimada experimentalmente convirtiendo el peso máximo levantado por la cuchara a una determinada velocidad dada la fuerza (Howard, 2001). A partir de este experimento se puede calcular la viscosidad de un fluido a partir de:

$$F_d(v) = F_{g,max}$$

donde

- $F_d(v)$ es la fuerza a velocidad v
- $F_{g,max}$ es la fuerza debido a la gravedad = masa \times 9.81 m/s^2 (aceleración debido a la gravedad)

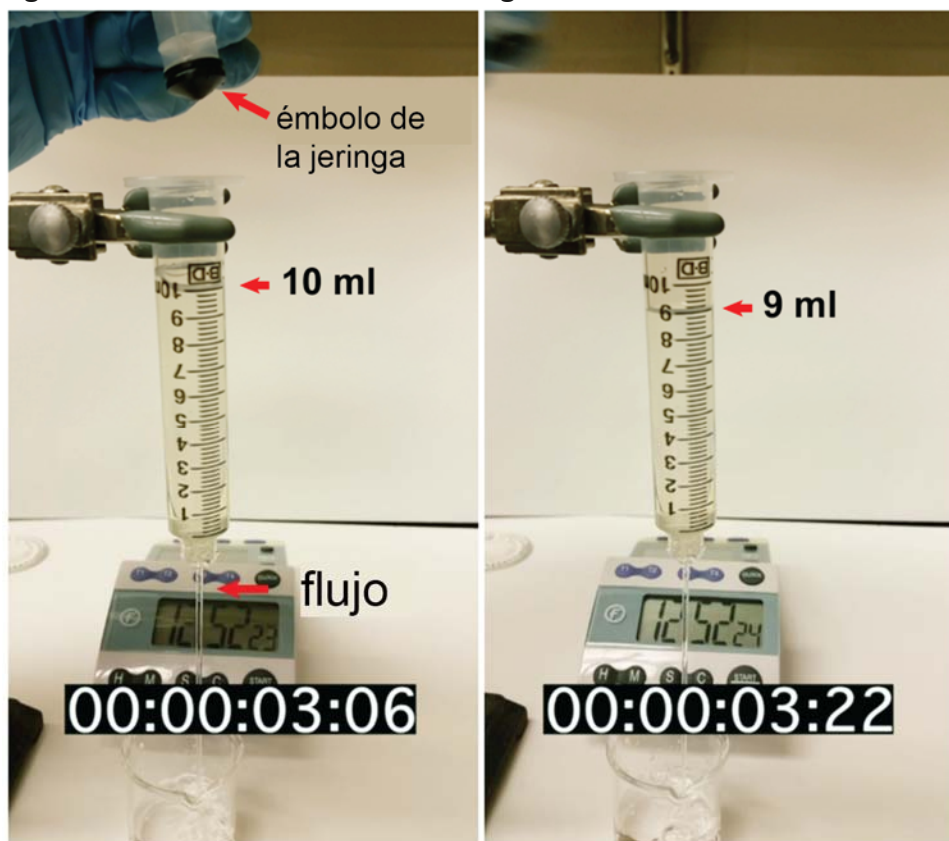
Según la ley de Stokes, $F_d(v) = -6\pi\eta r v$

$$-6\pi\eta r v = F_{g,max}$$

Resolviendo para η , la viscosidad del fluido:

Figuras

Figura 1 Midiendo la viscosidad del Agua



La viscosidad del agua medida usando el flujo a través de una jeringa hipodérmica. La jeringa se rellenó con agua y el flujo se inició tirando del émbolo de la jeringa (flecha izquierda arriba). El flujo del agua de la jeringa (flecha izquierda abajo) se filmó con un teléfono móvil. Dos fotogramas de la secuencia del video muestran el nivel del agua a 10 ml (Flecha izquierda centro) y 9 ml (Flecha derecha centro) (ver **Video 1** en <https://youtu.be/zmFRGPhcPK8>).

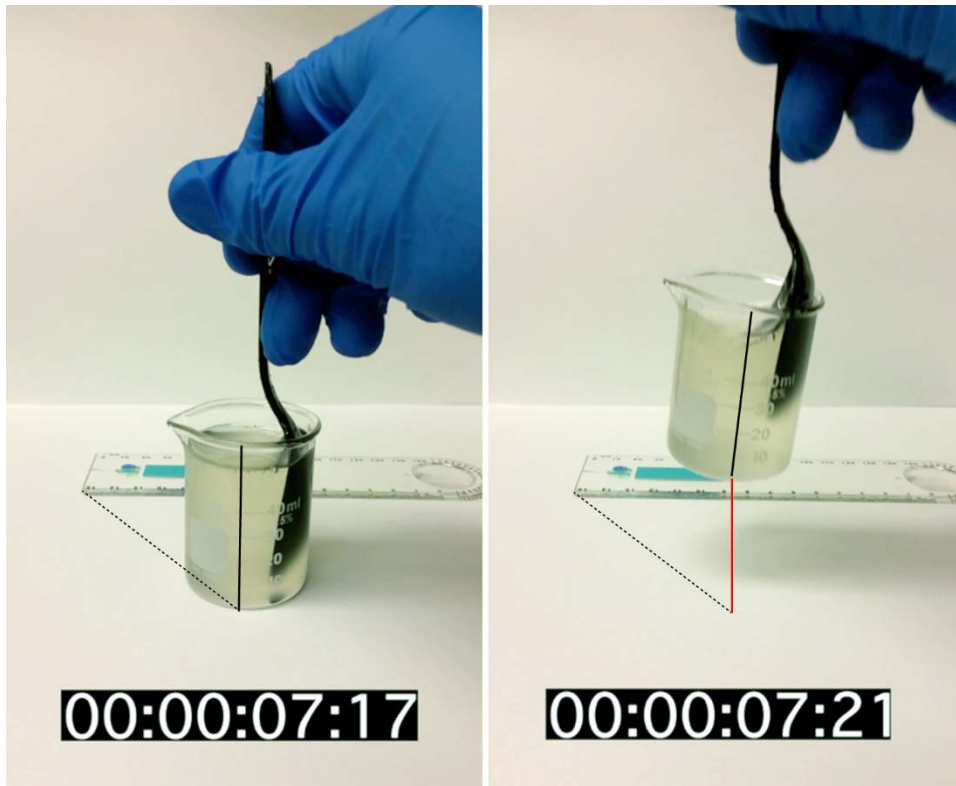
Etiquetas con el tiempo (horas:minutos:segundos:segundos/30) fueron añadidas usando un software para editar videos (ten en cuenta que segundos/30 corresponde a una velocidad de video de 30 fotogramas/segundo para el formato de video usual en Norte y Sur América y Japan, que se denomina NTSC). El tiempo requerido por el agua para descender desde 10 ml to 9 ml fue 16/30 segundos = 0.533 segundos desde el momento indicado en la etiqueta, mientras que el cambio del tiempo en el minuterio fue de 1 segundo.

Errores experimentales en el tiempo de grabación, así como diferencias en el diámetro de la jeringa o la pipeta, y el tamaño del agujero a través del cual atraviesa el fluido, causaran que tus valores de viscosidad difieran de los que se

BASICS: *Biophysics - A Step-by-step Introduction to Concepts for Students*

ilustran en la Tabla. Sin embargo, los valores del agua, del aceite vegetal y de la melaza (o jarabe de maíz) deberían seguir el mismo orden que en la tabla, del menor al mayor.

Figura 2 Levantar un vaso de precipitados con jarabe ligero de maíz con una cuchara por arrastre viscoso



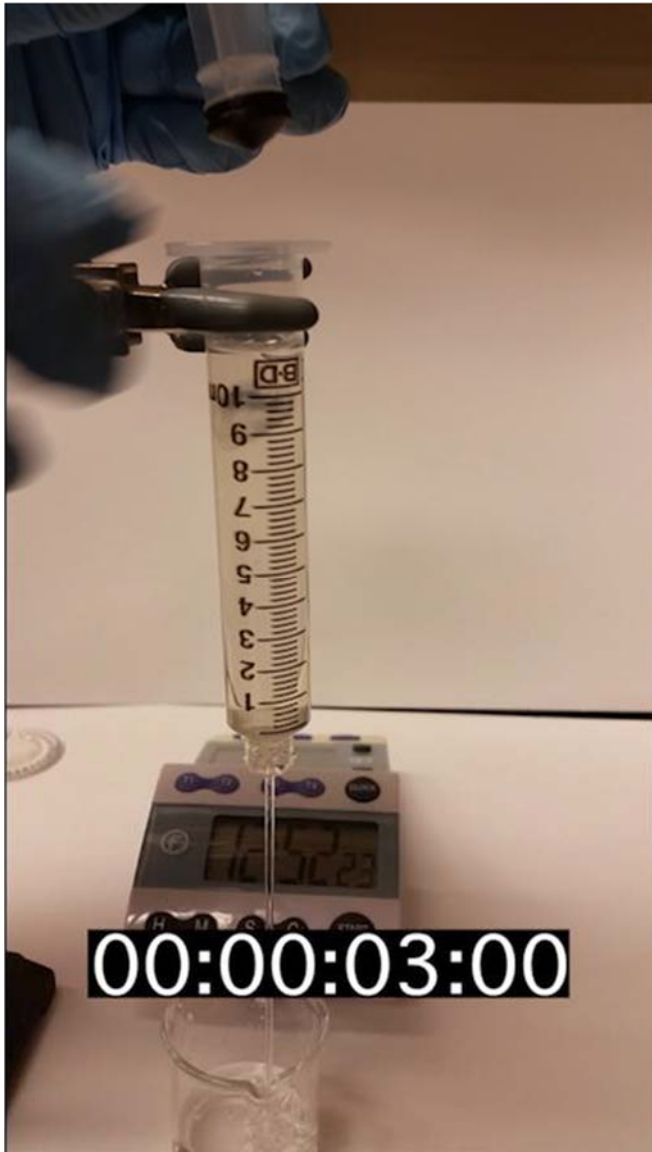
Una cuchara fue insertada en un pequeño vaso de precipitados lleno con ~56 ml of jarabe ligero de maíz (el peso total sin la cuchara = 100 g) y se tiró de ella rápidamente, levantando el recipiente. Las dos imágenes de la secuencia del video ilustran el vaso de precipitados justo antes de ser levantado y a su mayor altura (Ver **Video 2** en <https://youtu.be/mCbHH-S-4cc>).

La distancia que se alcanzó el vaso de precipitados ($4.63 \text{ cm} = 0.0463 \text{ m}$) fue estimada midiendo la altura del vaso de precipitados (5.7 cm , línea negra) y pintando una línea desde el final de la regla hasta el culo del vaso de precipitados (raya punteada), y midiendo la distancia desde el culo del vaso hasta su posición inicial (línea roja).

El tiempo del ascenso fue calculado desde el momento anotado (horas:minutos:segundos:segundos/30) = 4/30 o 0.13 segundos. La velocidad con la que la cuchara fue alzada fue calculada usando la distancia que subió el vaso de precipitados dividida por el tiempo, y resultó ser 0.356 m/s .

Videos

Video 1 Midiendo la viscosidad del agua

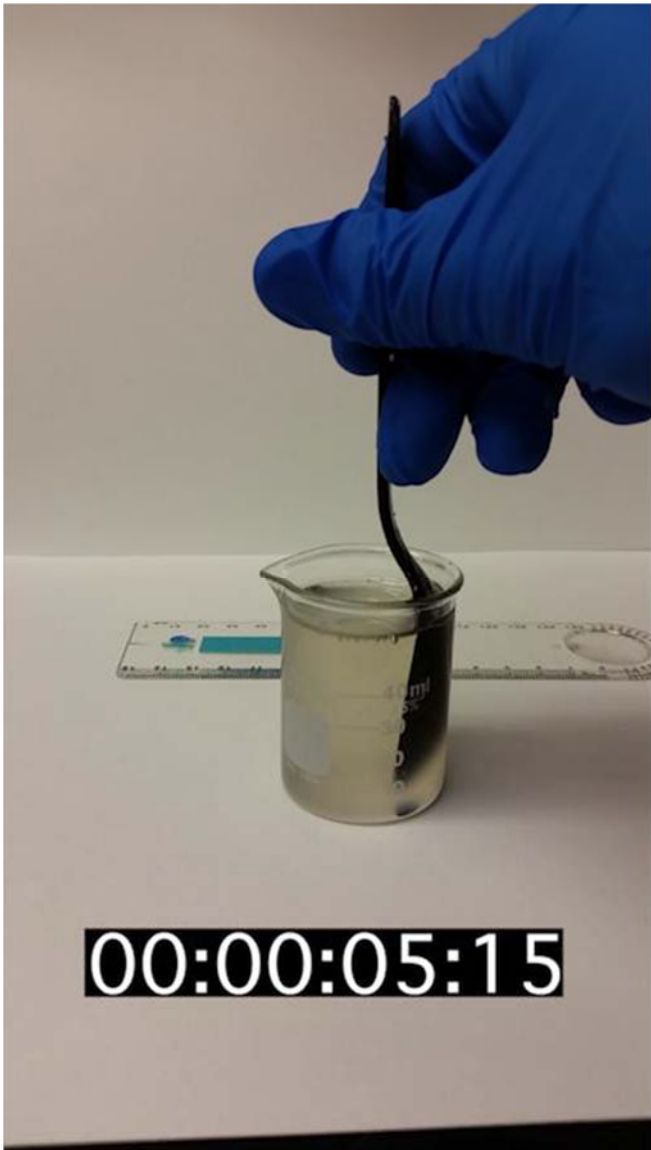


Video ilustrando un ensayo de flujo de agua a través de una jeringa hipodérmica para medir la viscosidad del agua (ir a <https://youtu.be/zmFRGPhcPK8>). Ver **Figura 1** para más información sobre el ensayo. Ensayos similares se realizaron con aceite vegetal y jarabe ligero de maíz.

Las películas fueron realizadas con videos grabados en un teléfono celular en Adobe Premiere Pro exportando una sección grabada del video en formato tiff, y posteriormente los marcos de apertura en ImageJ, recortando y guardando en un fichero con formato *.avi*.

ImageJ es un programa para procesar imágenes disponible en el dominio público desarrollado en el National Institutes of Health (Rasband, 1997-2015) y disponible en <http://imagej.nih.gov/ij/>

Video 2 Levantar un vaso de precipitados con jarabe ligero de maíz con una cuchara por efecto de la viscosidad



Video donde se muestra cómo un vaso de precipitados con jarabe ligero de maíz es levantado gracias a la fuerza de arrastre usando una cuchara (en <https://youtu.be/mCbHH-S-4cc>). Ver **Figura 2** para más información acerca del peso del vaso y como de alto se alzó.

Referencias

Howard, J. 2001 *Mechanics of Motor Proteins and the Cytoskeleton*. Sinauer Associates, Inc.

Amrita Vlab 2010 Viscosity Measurement using Ostwald's Viscometer – Amrita University.
<https://www.youtube.com/watch?v=G53gfwG9a7k>

Rasband, W.S., ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://imagej.nih.gov/ij/>, 1997-2015.

Autores

Adam P Russell & Peter LZ Young
Sharyn A Endow

Duke University Medical Center
Durham, NC
010716

Traducido por Carmen Domene, Kings College London, con contribuciones de Susy Kohout, Montana State University.

Copyright © 2016 by Biophysical Society. All rights reserved.