

Caracterización reológica de un aderezo saludable a base de aceite de canola

Yamila Barral ², María Laura Coronel ², Lucía Garaventa ^{1,2}, Agustina Zangrando ², Susana Santana ²

¹Servicio Geológico Minero (SEGEMAR) - Instituto de Tecnología Minera, Av. Gral. Paz 4554, San Martín, Buenos Aires, Argentina

²Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Buenos Aires, departamento de Ingeniería Química. Centro de Investigación y Desarrollo en Tecnologías Químicas (CTQ) Av. Medrano 951, (C1179AAQ) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

azangrando@frba.utn.edu.ar

Recibido el de octubre de 2016, aprobado el 1 de diciembre de 2016

Resumen

Se ha estudiado reológicamente un aderezo en función de la temperatura. La obtención de los parámetros reológicos es de relevancia para predecir el comportamiento del alimento en condiciones reales. Las emulsiones son termodinámicamente inestables y la temperatura es un parámetro crítico que afecta la estabilidad de las gotas de la fase aceite como la viscosidad de la fase acuosa. Se estudiaron las muestras en condiciones de baja perturbación (ensayos oscilatorios) y en flujo (rotatorio) desde 5°C hasta 30°C. Los resultados oscilatorios indican que el aderezo se comporta como un material visco-elástico sólido con una microestructura tipo gel débil que le brinda cierta estabilidad física. En estado de fluencia se determinó que puede clasificarse como un fluido Pseudoplástico, con Punto de Fluencia y Tixotrópico. Los parámetros disminuyen con el aumento de la temperatura, es decir la estructura interna de la emulsión formada por gotas de aceite y fase continua se debilita.

PALABRAS CLAVE: ADEREZO – PSEUDOPLÁSTICO - PUNTO DE FLUENCIA -TIXOTRÓPICO

Abstract

The rheological properties of a salad dressing were studied in correlation to temperature. The obtention of rheological parameters is important in order to predict the behavior of food in real conditions. Emulsions are thermodynamically unstable and temperature is a critical parameter that affects the stability of the droplets of the oil phase as the viscosity of the aqueous phase. The sample were studied in low disturbance conditions (oscillatory tests) and in flow state (rotational) from 5 °C to 30°C. The oscillatory test results indicate that the dressing behaves as a solid viscoelastic material with a weak gel-like microstructure that provides it with certain physical stability. In flow conditions, it was determined that it can be qualified as a pseudoplastic and thixotropic fluid with yield stress. The parameters decrease as temperature increases, that is to say, the internal structure of the emulsion formed by oil droplets and continuous phase weakens.

KEYWORDS: SALAD DRESSING – PSEUDOPLASTIC - YIELD STRESS - THIXOTROPIC

*Son también autores Pedro Quartino y María Cecilia Rodríguez

Introducción

Varias son las razones para determinar las propiedades reológicas de alimentos. Las mismas son básicas en la ingeniería de procesos para el diseño de plantas, en el cálculo de requerimientos de bombeo; para establecer las dimensiones de tuberías y válvulas; para realizar mezclas; además, se utilizan en el cálculo de operaciones básicas con transferencia de calor, masa y cantidad de movimiento. También se aprovechan para control instrumental de calidad del material crudo previo al procesamiento, de productos intermedios durante la manufactura y de los productos finales después de la producción. Sirven para evaluar la calidad preferida por el consumidor por medio de correlaciones entre las medidas reológicas y pruebas sensoriales. Permiten elucidar la estructura o composición de alimentos y analizar los cambios estructurales que ocurren durante un proceso (Ramírez Navas, 2006).

Por otro lado, es de conocimiento que en la actualidad existe un fuerte cambio de hábito de los consumidores en la tendencia a ingerir alimentos saludables y es por ello que este grupo de investigadores ha desarrollado un aderezo saludable con características diferentes a las ofrecidas en el mercado actual nacional. La composición de dicho producto se puede visualizar en la Tabla 1.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis reológico exhaustivo del producto, sometiendo al mismo a diferentes temperaturas y utilizando equipamiento de alta definición.

Metodología

Muestras estudiadas

El alimento funcional estudiado ha sido desarrollado por los autores responsables de este trabajo. La formulación de la mezcla con la composición ya indicada se realiza a temperatura ambiente, bajo condiciones estériles en campana de flujo laminar horizontal Filtrar-Microfilter modelo FHP/1e, sanitizando previamente los elementos a utilizar y el área de producción. Los componentes se pesan en balanza analítica al 0,01 g y la agitación se realiza en forma estandarizada (tiempo y revoluciones).

Equipamiento utilizado

Las mediciones reológicas se realizaron con un reómetro de esfuerzo controlado AR-G2 marca TA Instruments provisto de un sistema de control de temperatura del tipo Peltier con recirculación de agua. Se empleó una geometría Plato Paralelo de 40 mm de diámetro de acero inoxidable con un *gap* de 1000 μm .

Tareas realizadas y métodos

El aderezo fue almacenado a 4°C y luego se dejó a temperatura ambiente durante 20 minutos antes de cada ensayo. Para eliminar la historia de la muestra se aplicó un *preshear* de 20 Pa durante 30 segundos y luego un descanso de 10 minutos en condiciones de reposo. Las mediciones se determinaron a distintas temperaturas: 5, 10, 15, 20, 25 y 30 °C.

Tabla 1. Composición de la muestra seleccionada

Muestra seleccionada	%p/p
Almidón preparado	48,35
Goma xántica	0,27
Huevo hidratado (yema, clara y agua)	29,37
Componentes secos (sal, azúcar e inulina)	5,93
Aceite de maíz	4,56
Aceite de canola	4,56
Mostaza en polvo	0,23
Jugo de limón	6,39
Ajo en polvo	0,10
Tomillo en polvo	0,10
Coriandro en polvo	0,10
Betacaroteno	0,0045
Total	100

En los ensayos dinámicos oscilatorios (de cuasi-equilibrio), se realizó un barrido de amplitud de deformación (*strain sweep*) de 0,05 a 500 % de strain a una frecuencia constante de 1 rad/s. Luego se aplicó un barrido de frecuencia de 0,1 a 100 rad/s a una deformación constante de 0,1% *strain* (dentro del rango visco-elástico lineal).

Los parámetros obtenidos en las curvas de los ensayos oscilatorios incluyen: Módulo elástico G' , Módulo viscoso G'' , Rango Visco-elástico Lineal (rango de % *Strain* donde G' se mantiene constante), frecuencia angular y % *Strain*. Ver Anexo.

Las curvas de flujo y medida de tixotropía se obtuvieron de la siguiente manera: primero con un incremento de velocidad de corte (*shear rate*) de 0,1 a 100 s^{-1} , luego se mantuvo a 100 s^{-1} durante 1 minuto y finalmente un descenso de 100 a 0,1 s^{-1} .

Para realizar un análisis comparativo-cualitativo de los datos obtenidos se eligió como modelo matemático la ecuación de Herschel-Bulkley (Ver ecuación 1):

$$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

Donde:

τ = *Shear Stress* (Pa)

τ_y = *Yield Stress* (Pa)

$\dot{\gamma}$ = *Shear Rate* (s^{-1})

K= Índice de consistencia (Pa sn)

n= Índice de flujo

En función de los parámetros obtenidos el modelo puede caracterizar un fluido Newtoniano ($\tau_y=0$, $n=1$), un fluido que sigue la Ley de la Potencia ($\tau_y=0$, n =índice de ley de potencia) y un Bingham (τ_y = valor, $n=1$). Otras variantes en los valores de los parámetros describen fluidos Pseudoplásticos ($n<1$) o Dilatantes ($n>1$).

Resultados y Discusión

Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados de los ensayos oscilatorios de Barrido de Frecuencia y de Deformación en función de la temperatura respectivamente.

En el barrido de Frecuencia, la Deformación aplicada está dentro del RVL (Región Viscoelástica Lineal). La perturbación es mínima y reversible, no hay ruptura (o en baja proporción) de la microestructura interna de la emulsión. El análisis se realiza en condiciones de cuasi-equilibrio, sin fluencia, por lo tanto la información obtenida estará directamente relacionada con la fuerza, cohesión y resistencia del sistema emulsión formado por gotas de mezcla de aceites, polímeros estabilizantes, agua y componentes de la formulación.

Se observa que el Módulo elástico G' es mayor al Módulo viscoso G'' en todo el rango de frecuencias estudiado demostrando un carácter predominante viscoelástico-sólido. La forma de las curvas, paralelas entre G' y G'' (ausencia de cruce), es característico de una estructura tipo gel-débil. Según Liu *et al.*, estos resultados podrían deberse a la formación de

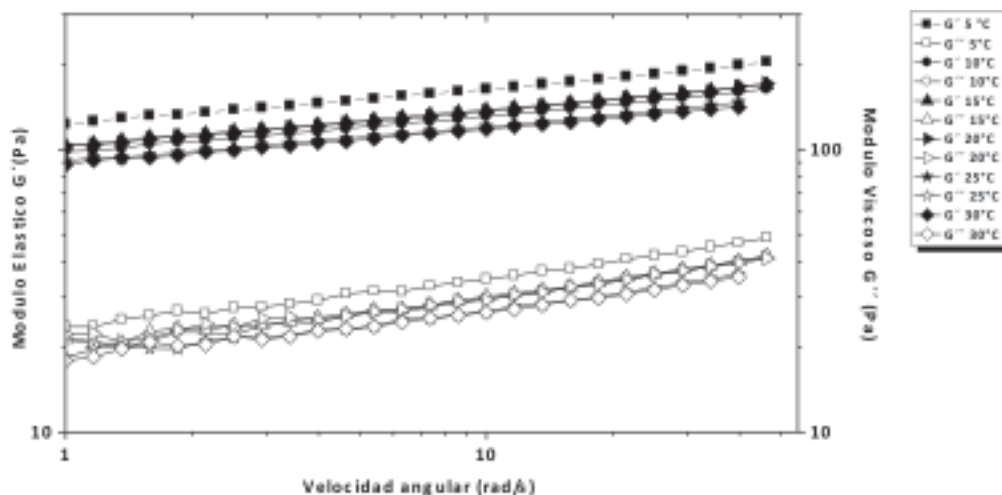


Fig. 1. Barrido de frecuencia

*La denominación de los parámetros reológicos y sus unidades se encuentran en el Glosario.

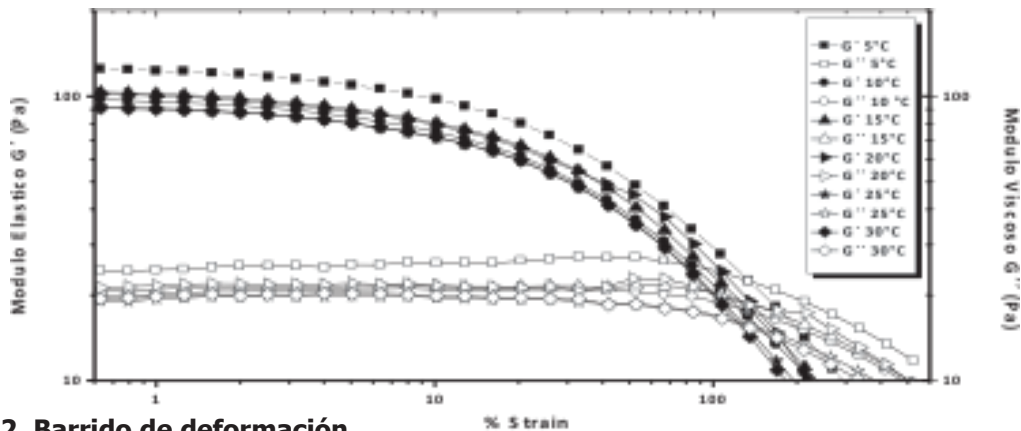


Fig. 2. Barrido de deformación

una red 3D donde las gotas de aceite dispuestas en forma compacta serían las responsables de las propiedades elásticas y de la resistencia a la deformación de la emulsión. En relación a los efectos térmicos, las curvas mantienen su morfología paralela, sin embargo el incremento de temperatura desplaza G' y G'' hacia menores valores. A pesar de que las diferencias no son significativas, dichos cambios evidencian una leve disminución en la fuerza y cohesión interna de la microestructura.

En el Barrido de deformación el módulo elástico G' es mayor al módulo viscoso G'' en la zona del RVL. Se observa nuevamente un desplazamiento de las curvas hacia menos G' y G'' al incrementar el efecto térmico sin cambios en la morfología de las mismas. Se aprecian diferencias en relación al Yield Stress o punto de fluencia en la zona cercana donde $G' = G''$. A partir de allí G'' (representa la parte viscosa o líquida) es mayor a G' (parte

sólida) y se considera el comienzo de fluencia o *creeping* del material. El aumento de temperatura muestra una tendencia descendente en el Yield Stress Oscilatorio (ver Tabla 2).

En la Figura 3 se muestran los resultados de los ensayos rotatorios. El aderezo estudiado presenta un comportamiento reológico *Shear Thinning* o Pseudoplástico donde la viscosidad disminuye con la velocidad aplicada. Los componentes de la formulación se reacomodan y alinean en la dirección del flujo impuesto, por lo tanto la resistencia a la fluencia disminuye (viscosidad).

Se observa que la temperatura desplaza las curvas hacia menores valores de viscosidad y esfuerzo de corte. Los parámetros obtenidos por ajuste mediante el Modelo Herschel-Bulkley se muestran en la Tabla 2. Según los resultados, el índice de flujo calculado "n" aumenta por efecto térmico, por lo tanto la

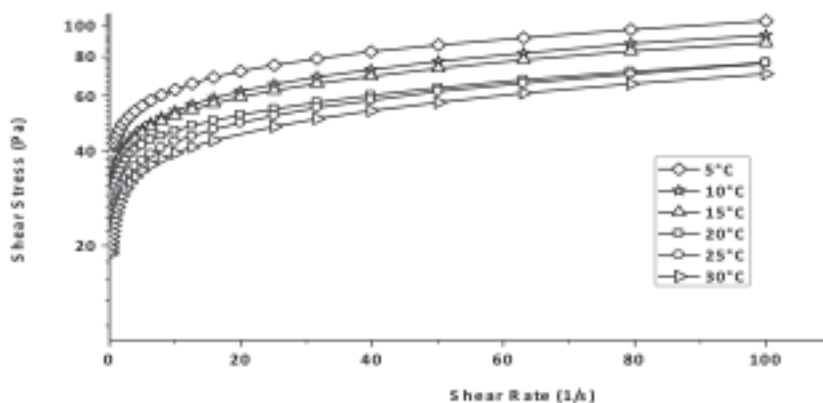


Fig. 3. Curva de flujo

Tabla 2. Resultados de los análisis reológicos

Temperatura (°C)	Ensayo Oscilatorio	Ensayo Rotatorio *				
	τ_y (Pa)**	τ_y (Pa)	K (Pa s ⁿ)	n	R ²	Área Tixotópica*** (log (Pa). s ⁻¹)
5	19,09	20,20	22,70	0,28	0,998	6,43
10	14,90	16,18	18,68	0,30	0,990	5,79
15	15,39	15,44	18,53	0,30	0,990	5,54
20	19,53	14,27	15,86	0,31	0,998	4,47
25	15,5	13,74	13,62	0,32	0,998	4,42
30	13,16	12,40	12,85	0,32	0,997	3,93

*Parámetros determinados por Modelo Herschel-Bulkley

**Determinado por *Onset Point* de curva de G' en el Barrido de Deformación.

***Diferencia del área bajo la curva entre rampa ascendente y descendente.

muestra va perdiendo pseudoplasticidad. Por otro lado presentan *yield stress* (esfuerzo mínimo aplicado para que comience a fluir).

Como se mencionó anteriormente es importante en alimentos, en especial para emulsiones ya que está relacionado con el nivel de estructura interna del material, fuerza y estabilidad ante cualquier perturbación o deformación aplicada. La temperatura disminuye el *yield stress*, es decir, requiere menos energía para destruir la estructura y pasar de una condición de reposo a fluencia.

Finalmente, la viscosidad de la muestra depende tanto de la velocidad (*shear thinning*) como del tiempo. Este fenómeno es conocido como tixotropía y está presente en muchos alimentos. Cualitativamente puede evaluarse por presencia de un *loop* de histéresis entre la curva de flujo ascendente y descendente. El área encerrada entre las mismas es una medida comparativa de este efecto y en este caso el área tixotrópica disminuye con la temperatura. La dependencia con el tiempo para destruir su estructura (rampa de ascenso de velocidad) como para reconstruirla (descenso de velocidad) es menor cuando es sometida a más calor. Podría decirse que va perdiendo cierto carácter y fuerza estructural. Este efecto está en acuerdo con la disminución del *yield stress* mencionado.

Conclusiones

En el presente trabajo se analizaron las pro-

piedades reológicas de un aderezo mediante un reómetro de esfuerzo controlado. Teniendo en cuenta que ciertos ensayos de laboratorio para evaluar estabilidad o vida útil pueden llevar mucho tiempo de medición, este tipo de herramientas es una alternativa viable y de obtención de resultados rápidos durante el desarrollo de la formulación o para estudiar el efecto de otras variables físicas.

En este caso, dentro de los parámetros que pueden afectar la estabilidad de una emulsión, la temperatura es un factor crítico. A nivel comercial, el análisis de esta variable permitiría determinar qué cambios físicos puede sufrir el aderezo cuando es almacenado en góndola de distintas zonas geográficas con distintas temperaturas medias o gran amplitud térmica.

Los ensayos reológicos oscilatorios demostraron que el aderezo presenta propiedades visco-elásticas sólidas ($G' > G''$ en todo el rango de deformación reversible). Estas son las responsables del comportamiento de la microestructura interna en estado de reposo (por ejemplo durante su almacenamiento) o de poca perturbación.

En condiciones de flujo se comporta como un fluido *shear thinning* donde la viscosidad disminuye con la velocidad aplicada. Además sus propiedades son dependientes del tiempo (tixotropía) y presentan un *yield stress* (característica deseada en este tipo de productos). Estos resultados fueron reportados en muchos trabajos de investigación de caracterización

de alimentos como mayonesas y *salad dressings*: Bortnowwska et al. (2014); Goshawk et al. (1998); Liu et al. (2007); Perrechil et al. (2010); Tabilo-Munizaga y Barbosa-Cánovas (2004).

Analizando los resultados tanto en condiciones oscilatorias como rotatorias, se observa que la temperatura genera cambios en la estructura interna de la muestra. La fuerza y resistencia de la red 3D formada por la interacción de las gotas de aceite emulsionadas y la fase restante (estabilizantes, agua y condimentos sólidos) disminuye por efecto térmico. El desplazamiento de las curvas y el decrecimiento de la *yield stress* son evidencia de este efecto.

A través del modelo matemático seleccionado de Herschel- Bulkley se obtuvo un buen ajuste de los datos experimentales.

Glosario de términos de Parámetros Físicos y Reológicos

(G'): Módulo Elástico o de Almacenamiento (Pa)

(G''): Módulo Viscoso o de Pérdida (Pa)

(γ) Strain: Deformación (adimensional: desplazamiento/altura)

Frecuencia angular: (rad/s)

(τ) Shear Stress: Esfuerzo de Corte (Pa)

($\dot{\gamma}$) Shear Rate: Velocidad de corte (s^{-1}).

(τ_y) Yield Stress: Punto de Fluencia (Pa). Es la mínima fuerza que requiere la estructura del material para comenzar a fluir.

Agradecimientos

Se agradece al Servicio Geológico Minero Argentino- Instituto de Tecnología Minera por proveer el uso del reómetro de esfuerzo controlado.

Referencias

- BARNES, H. (2000). A Handbook of elementary Rheology. University of Wales. Cambrian Printers
- BORTNOWSKA, G.; BALEJKO, J.; SCHUBE, V.; TOKARCZYK, G.; KRZEMINSKA, N. y MOJKA, K., (2014). Stability and physicochemical properties of model salad dressings prepared with pregelatinized potato starch. Carbohydrate Polymers, 111, 624-632.
- DEPREE, J. y SAVAGE, G., (2001). Physical and flavour stability of mayonnaise. Trends in Food Science & Technology, 12, 157-163.
- GOSHAWK, J. y BINDING, D., (1998). Rheological phenomena occurring during the shearing flow of mayonnaise. Journal of Rheology, 42 (6), 1537-1553.
- LIU, H., XU, X. y GUO, Sh., (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. Food Science and Technology, 40, 946-954.
- MA, Z.; BOYE, J.; FORTIN, J.; SIMPSON, B. y PRASHER, S., (2013). Rheological, physical stability, microstructural and sensory properties of salad dressings supplemented with raw and thermally treated lentil flours. Journal of Food Engineering, 116, 862-872.
- PERRECHIL, F.; SANTANA, R.; FASOLIN, L.; DA SILVA, C. y CUNHA, R., (2010). Rheological and structural evaluations of commercial italian salad dressings. Ciencia y Tecnología de Alimentos, 30(2), 477-482.
- RAZAVI, S. y KARAZHIYAN, H., (2009). Flow properties and thixotropy of selected hydrocolloids: Experimental and modelling studies. Food Hydrocolloids, 23, 908-912.
- TABILO-MUNIZAGA, G. y BARABOSA-CÁNOVAS, G., (2005). Rheology for the food industry. Journal of food Engineering, 67, 147-156.
- RAMÍREZ NAVAS, J. S., (2006). Fundamentos de Reología de Alimentos <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Fundamentos%20de%20Reologia.pdf>.