

Influencia de la adición de glicerol en la distribución de tamaños de gotas, diámetros medios y estabilidad física de emulsiones O/W ecológicas procesadas con tecnología Microfluidizer

M^a C. Alfaro^{*a}, M. López-Tarruello^a, M^a C. García^a y J. Muñoz^a

^aDepartamento de Ingeniería Química. Facultad de Química. Universidad de Sevilla
c/ P. García González, 1, E41012, Sevilla, Spain

Influence of glycerol addition on the droplet size distribution, mean diameters and physical stability of ecological O/W emulsions processed with Microfluidizer technology

Influència de l'addició de glicerol en la distribució de les mides de gotes, diàmetres mitjans i estabilitat física d'emulsions O/W ecològiques processades amb tecnologia Microfluidizer

RECEIVED: 4 DECEMBER 2017; REVISED: 13 JANUARY 2018; ACCEPTED: 24 JANUARY 2018

SUMMARY

The aim of this work was to investigate the influence of the pressure (0 psi and 15000 psi) and the number of passes (0,1,2 and 3) through a high pressure homogenizer with Microfluidizer technology on the droplet size distribution, mean diameters and physical stability of ecological O/W emulsions. The results with an emulsion formulated with 50 wt% of glycerol in the continuous phase are compared. As dispersed phase a 30 wt% mixture of green solvents, N,N-dimethyldecanamide and α -pinene with a 75/25 mass ratio was used. In addition, an ecological surfactant derived from coconut oil, HLB = 13.

Keywords: Laser diffraction; multiple light scattering; green emulsion; glycerol.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha consistido en investigar cómo influye la presión (0 y 15000 psi) y el número de pasadas (1, 2 y 3) a través de un homogeneizador de alta presión con tecnología Microfluidizer sobre la distribución de tamaños de gota, diámetros medios y estabilidad física de una emulsión ecológica O/W. Se comparan los resultados con la emulsión formulada con un 50% en peso de glicerol en el medio continuo. Como fase dispersa se utiliza un 30% en peso de una

mezcla de disolventes verdes, N,N-dimetildecánamida y α -pineno, en una relación en masa de 75/25. Adicionalmente se emplea un tensioactivo ecológico derivado de aceite de coco, de HLB 13.

Palabras clave: Difracción láser; retrodispersión múltiple de luz; emulsión verde; glicerol.

RESUM

L'objectiu d'aquest treball ha consistit en investigar com influeix la pressió (0 i 15000 psi) i el nombre de passades (1, 2 i 3) a través d'un homogeneitzador d'alta pressió amb tecnologia Microfluidizer sobre la distribució de mides de gota, diàmetres mitjans i estabilitat física d'una emulsió ecològica O/W. Es comparen els resultats amb l'emulsió formulada amb un 50% en pes de glicerol en el medi continu. Com a fase dispersa s'utilitza un 30% en pes d'una barreja de dissolvents verds, N,N-dimetildecánamida i α -pinè, en una relació en massa de 75/25. Addicionalment s'empra un tensioactiu ecològic derivat d'oli de coco, de HLB 13.

Paraules clau: Difracció làser; retrodispersió múltiple de llum; emulsió verd; glicerol.

* Corresponding author: alfaro@us.es

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de emulsiones O/W medioambientalmente amigables formuladas en base acuosa, con disolventes verdes y tensioactivos ecológicos constituye, hoy día, un campo de creciente interés, especialmente en el desarrollo de productos agroquímicos.

Una emulsión es una dispersión de dos líquidos inmiscibles en el que uno de ellos se encuentra disperso en el otro en forma de gotas. Cuando el medio disperso es de naturaleza apolar y el medio en el que se dispersan las gotas (medio continuo) es de naturaleza polar entonces la emulsión se denomina aceite en agua (O/W). Las emulsiones son termodinámicamente inestables por lo que para aumentar su tiempo de vida útil se añaden emulsionantes y estabilizantes^{1,2}. Ahora bien, a veces aun así, las emulsiones sufren procesos de desestabilización como lo son el cremado, la floculación, la maduración de Ostwald o la coalescencia³. Entre los aditivos, el glicerol es una opción. Este aumenta la viscosidad de la fase continua dificultando el movimiento de las gotas y, por ende, retrasando o impidiendo la desestabilización. El glicerol ha sido usado como emulsionante, plastificante o modificador de textura en emulsiones⁴.

En este trabajo se estudian emulsiones que utilizan una mezcla de disolventes verdes, N,N-dimetildecanamida y α -pineno, como fase dispersa. Estudios previos han demostrado que la relación óptima de ambos disolventes es una relación en masa de 75/25, respectivamente⁵. Las dimetilamidas de ácidos grasos (FAD), con aplicaciones en productos agroquímicos⁶, pueden ser consideradas un disolvente verde ya que se obtienen de materias primas renovables y presentan buena biodegradabilidad y baja toxicidad. El α -pineno también puede ser considerado un disolvente verde. Este puede ser obtenido a partir de aceites esenciales y oleorresinas de plantas tales como las coníferas⁷. Como disolventes verdes, ambos juegan un papel muy importante sustituyendo a los disolventes tradicionales, incluso con mayor eficacia⁸, no solo en la industria agroquímica sino también en las industrias química y farmacéutica⁹. Los ésteres etoxilados de glicerina, utilizados en este trabajo como emulsionantes, también pueden ser considerados tensioactivos ecológicos^{10,11}. Además, sus propiedades superficiales e interfaciales han sido previamente estudiadas^{12,13}.

Entre otras variables, el método de emulsificación determinará la distribución de tamaños de partículas, su tamaño medio, sus propiedades reológicas y su estabilidad física. Cuanto más pequeñas las gotas de la emulsión, mayor estabilidad física¹⁴. El uso de homogeneizadores de alta presión por microcanales proporciona tamaños de gota submicrónicos que contribuyen a una mayor estabilidad de la emulsión^{15,16}.

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar la influencia de la presión y del número de pasadas a través de un homogeneizador de alta presión con tecnología Microfluidizer sobre la distribución de tamaños de gota, diámetros medios y estabilidad física de emulsiones O/W ecológicas formuladas con una mezcla de disolventes verdes como fase dispersa y un tensioactivo ecológico

derivado de aceite de coco como emulsionante. Los resultados obtenidos se comparan con el de emulsiones que poseen, además, un 50% en peso de glicerol en el medio continuo. La calidad de las emulsiones se monitoriza combinando técnicas como la reología, la difracción láser y múltiple light scattering.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se han preparado emulsiones O/W con un 30% en peso de fase oleosa y una concentración total de tensioactivo del 3% en peso.

La fase oleosa está constituida por una mezcla de disolventes verdes, N,N-dimetildecanamida (Agnique AMD-10TM) y α -pineno, en una relación en masa 75/25⁵. El AMD-10TM (0.88 g/mL a 25°C) fue suministrado por BASF y el α -pineno (0.84 g/mL a 25°C) por la compañía Sigma-Aldrich. El emulsionante empleado es un tensioactivo derivado de aceite de coco, en concreto un éster de ácido graso de glicerol polietoxilado (HLB= 13) que fue recibido como un regalo de KAO. Su nombre comercial es Levenol C-201. Como aditivo espesante se ha empleado glicerol de la firma Panreac, una concentración de 0, 10, 20, 30, 40 y 50% en peso. También se ha usado agua milli-Q para la preparación de todas las emulsiones.

MÉTODOS

Preparación de las emulsiones

En primer lugar se prepara la mezcla de AMD-10 y α -pineno. Por otro lado, se preparan las fases acuosas a partir de una mezcla de agua, Levenol C-201 y 0 o 50% en peso de glicerol (concentración en la emulsión final). La mezcla se lleva a cabo manualmente utilizando una varilla. A continuación se procesa la emulsión primaria que posteriormente alimentará al equipo de alta presión. Esta emulsión grosera se obtiene en dos etapas:

a) Una etapa en semicontinuo en la que se añade lentamente la fase dispersa a la acuosa (30s) agitando homogeneizando a 4000rpm en un equipo rotor estator Silverson L5M con malla emulsionadora.

b) Una segunda etapa en discontinuo en la que se homogeniza la mezcla a 8000 rpm durante 90s adicionales.

Una vez preparada la emulsión primaria se introduce en un Microfluidizer M110P con una cámara de interacción F12Y a 15000 psi (103,5 MPa) y se varía el número de pasadas: 1, 2 y 3 pasadas

Una vez preparadas las muestras estas se han conservado en una estufa a 25°C.

Distribución de tamaños de gota

Para la determinación de los tamaños medios y distribuciones del tamaño de gotas (DTG) se empleó el analizador de difracción láser Malvern Mastersizer X con lente de 45 mm. Este sistema está basado en el principio de dispersión de luz láser He-Ne emitida a una longitud de onda de 633 nm aproximadamente.

Se llevaron a cabo al menos dos medidas por muestra presentándose los resultados como la media de los mismos.

A partir de la distribución de tamaños de gota se han obtenido los diámetros medios, diámetro medio de Sauter, $D_{3,2}$ y diámetro medio volumétrico, $D_{4,3}$. Estos parámetros se calculan mediante las ecuaciones que a continuación se indican:

$$D_{3,2} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i d_i^3}{\sum_{i=1}^N n_i d_i^2} \quad 1$$

$$D_{4,3} = \frac{\sum_{i=1}^N n_i d_i^4}{\sum_{i=1}^N n_i d_i^3} \quad 2$$

donde d_i es el diámetro de la gota, N es el número total de gotas y n_i es el número de gotas que tienen el diámetro d_i .

Propiedades de Flujo

La caracterización del comportamiento de flujo se ha llevado a cabo mediante un reómetro de esfuerzo controlado modelo Haake Mars, utilizando un sistema sensor Z20, de geometría cilíndrica coaxial y superficie arenada ($Ri=1\text{cm}$ y $Re/Ri=1.085$).

Todos los ensayos se han realizado a 20°C aplicando un protocolo multipaso de control de esfuerzo desde 0,05 a 2 Pa. Para evitar la evaporación de agua se ha utilizado una campana con atmósfera saturada de agua.

Al menos se realizaron dos replicados para cada curva de flujo. La primera medida se realizó a los dos días de preparación de la muestra y posteriormente se siguió su estudio con el tiempo hasta los 53 días.

Estabilidad física

Con el fin de realizar el seguimiento de la estabilidad física y determinar la vida útil de las emulsiones se han realizado medidas de retrodispersión de luz con Turbiscan Lab Expert a una temperatura de 30°C en función de la altura de la muestra. Con los datos recogidos se obtienen perfiles que permiten determinar el proceso de desestabilización de la emulsión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las distribuciones de tamaños de gota como una función del número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión, para la emulsión que no contiene glicerol en el medio continuo envejecida 2 días, se presentan en la Figura 1. A este tiempo de envejecimiento se puede observar cómo al aumentar el número de pasadas la distribución mejora en la zona correspondiente a bajos diámetros medios (baja el diámetro medio de Sauter) y aparece una segunda población de gotas a tamaños mayores como consecuencia de un proceso de recoalescencia inducido por la elevada energía que aplica este homogeneizador^{17,18}. Este resultado es coherente con el comportamiento de flujo mostrado por la emulsión a ese mismo tiempo de almacenamiento (Figura 2). Al aumentar el número de gotas de menor tamaño, la superficie ofrecida es mayor, por lo que al producirse una mayor fricción, la viscosidad aumenta.

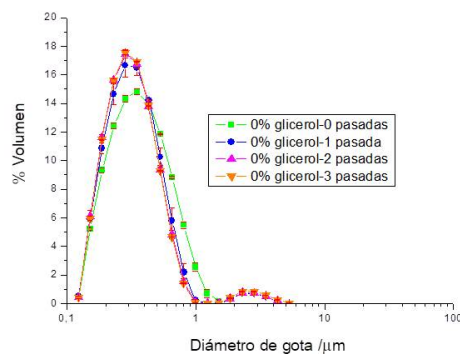


Figura 1. Distribuciones de tamaños de gota como una función del número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión, a los 2 días de envejecimiento, para emulsiones verdes O/W que no contiene glicerol en el medio continuo. Adicionalmente se representa la desviación estándar asociada a cada punto.

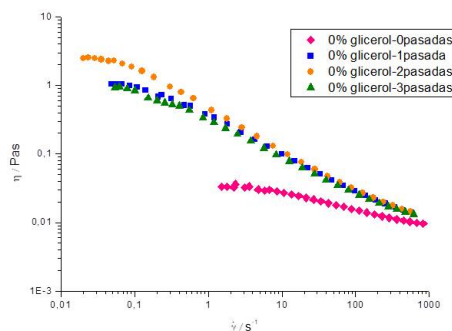


Figura 2. Influencia del número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión por microcanales sobre el comportamiento de flujo de emulsiones verdes O/W que no contienen glicerol en el medio continuo. Tiempo de envejecimiento = 2 días.

En la Figura 3 se muestran los resultados de delta-back-scattering ($\% \Delta\text{BS}$) frente al tiempo como una función del número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión para la emulsión O/W formulada sin glicerol. Se presentan los resultados en modo referencia (se sustrae el primer scan de los sucesivos barridos) porque de esta forma se aprecian mejor los cambios producidos en la muestra. En la mencionada figura se observa que, tras pasar la muestra una vez por el homogeneizador ésta se desestabiliza por cremado y un proceso que conduce a un ligero aumento del tamaño de gotas (floculación o coalescencia). Algo similar sucede cuando el número de pasadas es 2, si bien el aumento del tamaño de gotas parece ser menos pronunciado que en el caso anterior. Si el número de pasadas es 3, el cremado desaparece y es solo el aumento del tamaño el proceso dominante en la desestabilización. La comparación de las distribuciones de tamaños de gota para las distintas pasadas a través del homogeneizador de alta presión de estas emulsiones a los 2 y 53 días de envejecimiento así como de los diámetros medios (Figura 4B), especialmente el diámetro medio volumétrico, más sensible a la agregación de gotas, confirma que el aumento del tamaño de gotas detectado por MLS se debe a un proceso de coalescencia y no de floculación. A modo de ejemplo, en la Figura 4A se presentan las distribuciones de tamaños de gota para 2 pasadas.

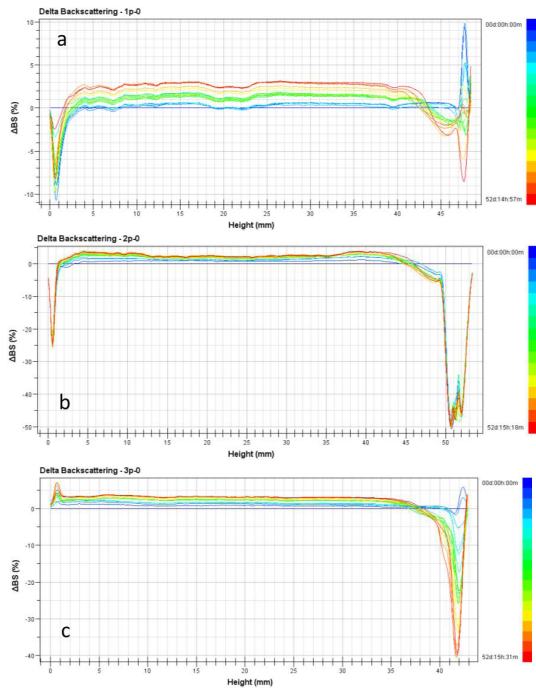


Figura 3. Delta-backscattering frente a la altura de la célula de medida como una función del tiempo de envejecimiento de emulsiones verdes O/W que no contienen glicerol en el medio continuo y que han pasado a) 1 vez b) 2 veces y c) 3 veces por el homogeneizador de alta presión a 15000 psi.

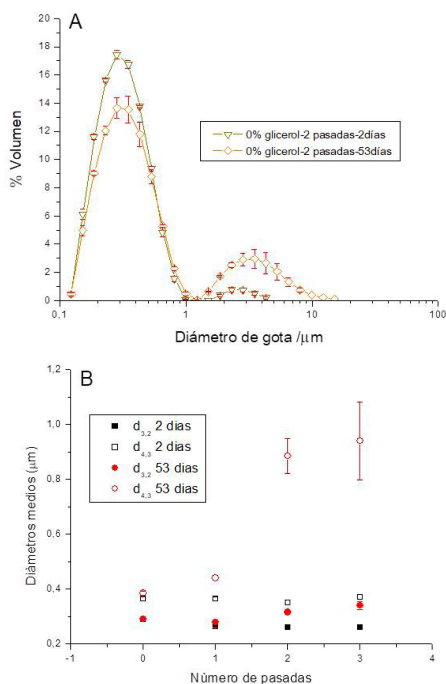


Figura 4. A) Distribuciones de tamaños de gota como una función del tiempo de envejecimiento para emulsiones verdes O/W que no contienen glicerol en el medio continuo y que han pasado 2 veces a través del homogeneizador de alta presión. B) Evolución de los diámetros medios de gota (Sauter y volumétrico) con el número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión para 2 y 53 días de envejecimiento para emulsiones verdes O/W que no contienen glicerol en el medio continuo. Adicionalmente se representa la desviación estándar asociada a cada punto.

Con el objeto de cuantificar el proceso de desestabilización que sufren las emulsiones se ha empleado el Índice de estabilidad de Turbiscan (TSI) el cual se determina mediante la siguiente ecuación¹⁹:

$$TSI = \sum_j |scan_{ref}(h_j) - scan_i(h_j)|$$

donde $scan_{ref}$ y $scan_i$ son los valores del backscattering inicial y el backscattering a un tiempo dado, respectivamente, h_j es una altura dada en la célula de medida y TSI es la suma de todas las diferencias de scan desde la parte inferior a la superior del recipiente que contiene a la muestra. Cuanto menor es el valor de TSI más estable es la emulsión. Un análisis del TSI global con el tiempo de envejecimiento (Figura 5) permite llegar a la conclusión de que la aplicación de 15000 psi a la emulsión que no contiene glicerol, mejora la estabilidad (véase en la figura que la emulsión con 0 pasadas es la emulsión que presenta el valor de TSI más elevado). Adicionalmente se extrae que la emulsión más estable es aquella que ha pasado dos veces por el homogeneizador.

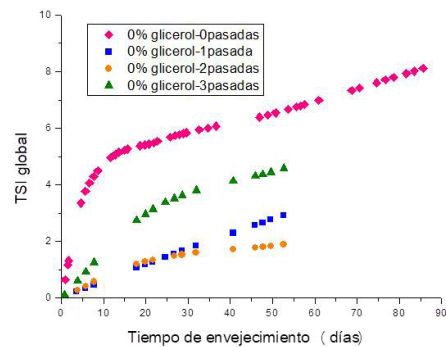


Figura 5. TSI para toda la célula de medida (global) frente al tiempo de envejecimiento como una función del número de pasadas a través de un homogeneizador de alta presión para la emulsión verde O/W que no contiene glicerol en el medio continuo.

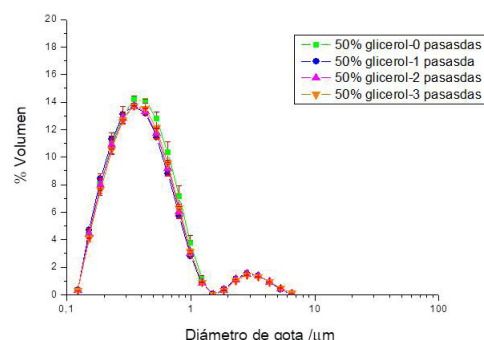


Figura 6. Distribuciones de tamaños de gota como una función del número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión, a los 2 días de envejecimiento, para emulsiones verdes O/W que contienen 50% en peso de glicerol en el medio continuo. Adicionalmente se representa la desviación estándar asociada a cada punto.

Cuando el medio continuo de la emulsión contiene un 50% en peso de glicerol, la aplicación de presión influye de forma totalmente diferente a la que no contiene glicerol. Así, en este caso, a los dos días de

envejecimiento (Figura 6), la aplicación de 15000 psi y el número de pasadas no influye en la distribución de tamaños de gota ni en los valores de los diámetros medios. Este comportamiento concuerda completamente con el encontrado en la curva de flujo (Figura 7) la cual no está influenciada ni por la presión ni por el número de pasadas. Este resultado es de gran interés ya que pone de manifiesto que, al menos a los dos días de envejecimiento, la presencia de glicerol en el medio continuo provoca una alta resistencia de la emulsión a la presión.

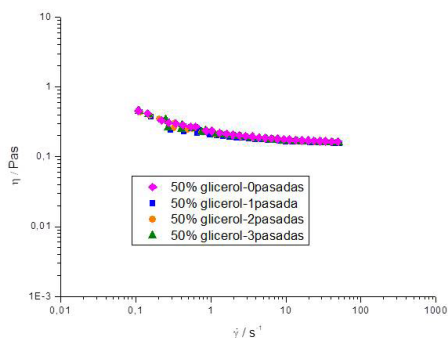


Figura 7. Influencia del número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión por microcanales sobre el comportamiento de flujo de emulsiones verdes O/W que contienen 50% en peso de glicerol en el medio continuo. Tiempo de envejecimiento = 2 días.

Con el tiempo de envejecimiento e independientemente del número de pasadas de la emulsión por el homogeneizador de alta presión se encuentra que la desestabilización por cremado ha desaparecido. En cambio, la muestra sufre un ligero proceso de desestabilización que conduce a un aumento del tamaño de gotas (floculación o coalescencia) (Figura 8). De nuevo, la distribución de tamaños de gota a los 2 y 53 días de envejecimiento y la comparación de los tamaños medios de gota a esos días de almacenamiento (Figura 9B) confirman que el aumento del tamaño de gotas observado por MLS se debe a un proceso de coalescencia y no de floculación. En la Figura 9 A se muestran, a título de ejemplo, las distribuciones a los 2 y 53 días para 2 pasadas.

Un análisis del TSI global (Figura 10) revela que las emulsiones presentan una estabilidad física similar. Se observan ligeras diferencias pero no significativas, siendo la emulsión con 0 pasadas la que tiende a ser ligeramente más estable.

Precisamente el parámetro TSI global ha sido utilizado para comparar la influencia de la presencia o no de glicerol cuando la emulsión es sometida a presión y a diferentes pasadas a través del homogeneizador de alta presión con tecnología Microfluidizer. En la Figura 11 se muestra, a modo de ejemplo, TSI global para las emulsiones más estables que contienen 50% (0 pasadas) y 0% (2 pasadas) en peso de glicerol. En todos los casos, se encuentra que la emulsión que contiene 50% en peso de glicerol es siempre más estable que la que no contiene glicerol.

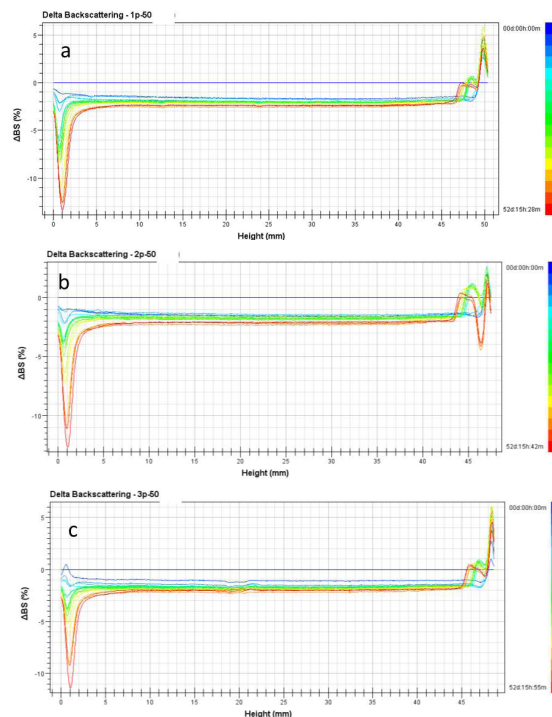


Figura 8. Delta-backscattering frente a la altura de la célula de medida como una función del tiempo de envejecimiento de emulsiones verdes O/W que contienen 50% en peso de glicerol en el medio continuo y que han pasado a) 1 vez b) 2 veces y c) 3 veces por el homogeneizador de alta presión a 15000 psi.

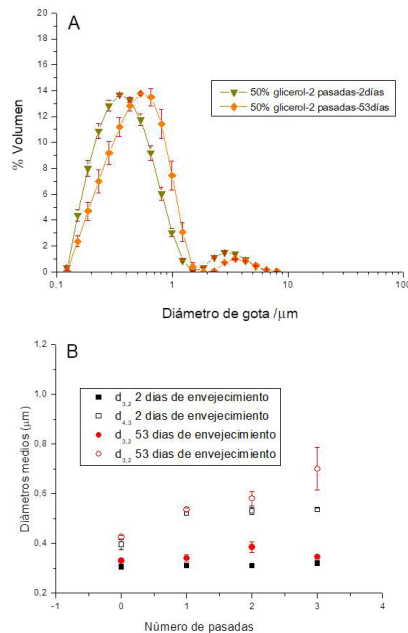


Figura 9. A) Distribuciones de tamaños de gota como una función del tiempo de envejecimiento para emulsiones verdes O/W que contienen 50% en peso de glicerol en el medio continuo y que han pasado 2 veces a través del homogeneizador de alta presión. B) Evolución de los diámetros medios de gota (Sauter y volumétrico) con el número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión para 2 y 53 días de envejecimiento para emulsiones verdes O/W que contienen 50% en peso de glicerol en el medio continuo. Adicionalmente se representa la desviación estándar asociada a cada punto.

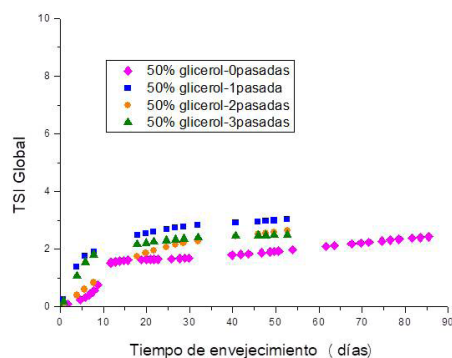


Figura 10. TSI para toda la célula de medida (global) frente al tiempo de envejecimiento como una función del número de pasadas a través de un homogeneizador de alta presión para emulsiones verdes O/W que contienen 50% en peso de glicerol en el medio continuo.

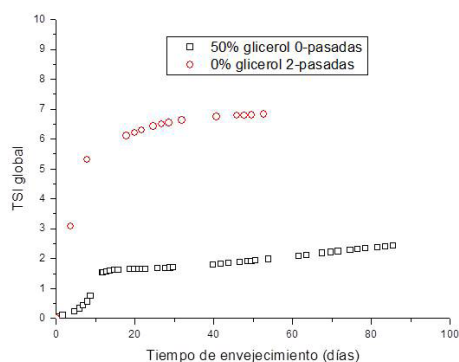


Figura 11. Comparación de TSI para toda la célula de medida (global) para emulsiones verdes O/W que contienen 50% en peso de glicerol (0 pasadas) en el medio continuo y la que no contiene glicerol (2 pasadas). Muestras sometidas a 15000 psi en homogeneizador de alta presión.

CONCLUSIONES

La aplicación de presión (15000 psi) a emulsiones verdes O/W formuladas con una mezcla de N,N-dimetildecanamida y α -pineno como fase oleosa y Leveol-C201 como emulsionante mejora la estabilidad física, tanto más cuanto mayor es el número de pasadas a través del homogeneizador de alta presión por microcanales M110P siendo el óptimo 2 pasadas. De acuerdo con la técnica de multiple light scattering, estas emulsiones sufren un mecanismo de desestabilización por cremado y aumento del tamaño de gotas. Los resultados de difracción láser con el tiempo de envejecimiento apuntan a que el incremento de tamaños observado en múltiple light scattering se debe a un proceso de coalescencia.

Las emulsiones que contienen un 50% en peso de glicerol en el medio continuo no están influidas ni por la presión ni por el número de pasadas a través del homogeneizador M110P a los dos días de envejecimiento, como se deduce de la distribución de tamaños de gota y de las curvas de flujo. El tiempo de almacenamiento provoca un ligero desplazamiento

de las DTGs hacia tamaños mayores apuntando a la existencia de un proceso de coalescencia. La técnica MLS informa que estas emulsiones no se desestabilizan por cremado pudiéndose, pues, concluir que la incorporación de glicerol inhibe este mecanismo. Por el contrario, sigue observándose un ligero aumento del tamaño de gotas que difracción láser señala que es debido a un ligero proceso de coalescencia. El TSI global para todas las emulsiones formuladas con 50% de glicerol es muy similar si bien tiende a ser, aunque no de forma significativa, la emulsión con 0 pasadas a través del homogeneizador la más estable.

Una comparación de los resultados obtenidos con 0% y 50% en peso de glicerol en el medio continuo permite llegar a la conclusión final de que la incorporación de glicerol al medio continuo de estas emulsiones mejora la estabilidad física de las mismas y su resistencia a la aplicación de presión.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la financiación recibida del Ministerio de Economía y Competitividad de España (Proyecto CTQ2015-70700-P) y la Comisión Europea (Programa FEDER).

REFERENCIAS

- Dickinson, E. Introduction to Food Colloids. Oxford University Press, Oxford, 1992
- Tadros, T.F. Rheology of Dispersions. Principles and Applications. Weinheim: Wiley-VCH, 2009
- Walstra, P. Encyclopedia of Emulsion Technology, I. Becher, P. Eed.; Marcel Dekker, New York, 1996
- Mirhosseini, H.; Tan, C.P.; Taherian, A.R. Effect of glycerol and vegetable oil on physicochemical properties of Arabic gum-based beverage emulsion. *Eur. Food Res. Technol.* **2008**, *228*, 19-28.
- Trujillo-Cayado, LA.; Santos, J.; Alfaro, M.C.; Calero, N.; Muñoz, J. A further step in the development of oil-in-water emulsions formulated with a mixture of green solvents. *Ind. Eng. Chem. Res.* **2017**, *55*, 7259-7266
- Höfer, R.; Bigorra, J. Green chemistry-a sustainable solution for industrial specialties applications. *Green Chem.* **2007**, *9*, 203-212.
- Baser, K.H.C; Buchbauer, G. Handbook of Essential Oils. Science, Technology and Applications, CRC Press: Boca Raton, 2010.
- Hernaiz, M.J.; Alcantara, A.R.; Garcia, J.I.; Sinisterra, J.V. Applied biotransformations in green solvents. *Chem. Eur. J.* **2010**, *16*, 9422-9437.
- Kerton, F. M.; Marriott, R. Alternative solvents for green chemistry; Royal Society of Chemistry: London, 2013
- Castán, P.; González, X. Skin properties of glycerin polyoxyethylene esters. *Jornadas Comité Español de la Detergencia*, **2003**, *33*, 325-338.
- Jurado, E.; Vicaria, J.M.; García-Martín, J.F.; García-Román, M. Wettability of aqueous solutions

- of eco-friendly surfactants (ethoxylated alcohols and polyoxyethylene glycerin esters). *J. Surfactants Deterg.* **2012**, *15*, 251-258
12. Trujillo, L.A.; Ramírez, P.; Pérez-Mosqueda, L.M.; Alfaro, M.C.; Muñoz, J. Surface and foaming properties of polyoxyethylene glycerol ester surfactants. *Colloids Surf. A*, **2014a**, *458*, 195-202.
 13. Trujillo, L.A.; Ramírez, P.; Alfaro, M.C.; Ruiz, M.; Muñoz, J. Adsorption at the biocompatible α -pinene–water interface and emulsifying properties of two eco-friendly surfactants. *Colloids Surf. B* **2014b**, *122*, 623-629
 14. McClements, D.J. Food emulsions: principles, practices, and techniques. CRC press: Boca Ratón, 2015
 15. Trujillo, L.A.; Natera, A.; García, M.C.; Muñoz, J.; Alfaro, M.C. Rheological properties and physical stability of ecological emulsions stabilized by a surfactant derived from cocoa oil and high pressure homogenization. *Grasas y Aceites*. **2015**, *66*, e087.
 16. Santos, J.; Trujillo, L.A.; Calero, N.; Alfaro, M.C.; Muñoz, J. Development of eco-friendly emulsions produced by microfluidization technique. *J. Ind. Eng. Chem.* **2016**, *36*, 90-95.
 17. Lobo, L.; Svereika, A. Coalescence during emulsification – 2. Role of small molecule surfactants. *J. Colloid Interface Sci.*, **2006**, *261*, 498–507
 18. Jafari, S.M.; He, Y.; Bhandari, B. J. Production of sub-micron emulsions by ultrasound and microfluidization techniques, *J. Food Eng.* **2007**, *82*, 478-488.
 19. Lesaint, C.; Glomm, W.R.; Lundgaard, L.E.; Sjöblom, J. Dehydration efficiency of AC electrical fields on water-in-model-oil emulsions. *Colloids Surf. A*. **2009**, *352*, 63-69.