

# Influencia de la formulación en la estabilidad de suspoemulsiones arcilla/aceite/agua

## Influence of formulation on the stability of suspoemulsiones bentonite / oil / water

Vivas, Marisabel<sup>3\*</sup>, Briceño, María Isabel<sup>1</sup>; Celis, María Teresa<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio FIRP – Escuela de Ingeniería Química – Universidad de los Andes

<sup>2</sup> Laboratorio de Polímeros y Coloides (POLYCOL) – Escuela de Ingeniería Química – Universidad de Los Andes

<sup>3</sup> Laboratorio de Investigación en Ciencias Básicas e Ingeniería (LICBI) – Universidad Nacional Experimental del Táchira

\*marisabelvm@gmail.com

### Resumen

*Una suspoemulsión es emulsión aceite-agua en la cual partículas sólidas estabilizan las interfases formadas; es decir, actúan como surfactantes. Existen, por lo menos, dos mecanismos de estabilización: adsorción de las partículas en la interfase líquido-líquido, formando una película rígida que impide la coalescencia de las gotas por efectos estéricos; formación de redes o estructuras en el seno de la fase continua que impiden el acercamiento y coalescencia de las gotas, y retarda la sedimentación. El uso de partículas para sustituir o para reforzar a los surfactantes tiene un gran potencial. Entre los beneficios se puede destacar que la presencia de partículas puede extender el tiempo de almacenamiento de una emulsión en forma casi indefinida, lo cual es de particular interés en la fabricación de emulsiones múltiples y en estabilización de gotas de gran tamaño ( $> 100 \mu\text{m}$ ), lo cual es muy difícil de lograr con el uso único de surfactantes. El objetivo de este trabajo es preparar suspoemulsiones estables a partir de sistemas bentonita-agua-aceite, para lo cual se estudia la influencia de algunos parámetros de formulación y composición, tales como concentración de electrolito y surfactante aniónico, temperatura y contenido de aceite, en la estabilidad y viscosidad de emulsiones o/w. Las emulsiones se preparan por adición de la fase aceite a suspensiones de arcilla; en varios casos se encuentra que las propiedades de las emulsiones se relacionan con las propiedades de las suspensiones.*

**Palabras clave:** Suspoemulsiones, formulación, bentonita, o/w, estabilidad.

### Abstract

*A suspoemulsion is an oil-water emulsion in which solid particles behave as interface stabilizers, or as surfactant molecules. There are, at least, two basic stabilization mechanisms: adsorption of particles at the liquid-liquid interface leading to a rigid film formation, or steric barrier that prevents droplets coalescence; formation of a network or structure in the continuous phase that avoids droplets approach and coalescence, and sedimentation delays. The usage of particles as surfactants or co-surfactants have a vast potential; their use may extend emulsions shelf life to almost indefinitely, which is an important key when forming multiple emulsion and when large droplet size emulsions ( $> 100 \mu\text{m}$ ) are involved that otherwise is very difficult to stabilize them only using surfactants. The scope of this paper is to prepare stable clay-kerosene-water suspoemulsions by studying the influence of formulation and composition parameters, such as electrolyte concentration and anionic surfactant, temperature and oil content on the stability and viscosity of O/W emulsions. Emulsions are prepared by addition clay suspensions to the oil phase. It was found that in some cases, the emulsion properties seem to have the same suspension behavior.*

**Key words:** Suspoemulsion, formulation, clay, o/w, stability.

## 1 Introducción

Una suspoemulsión (dispersión sólido-líquido-líquido) es un sistema en el cual partículas sólidas finamente divididas (diámetro  $< 2 \mu\text{m}$ ) se ubican en la interfase entre las gotas de fase dispersa y la fase continua actuando como surfactante. Las mayores aplicaciones de estos sistemas están ubicadas en las industrias de alimentos, cosméticos, farmacéutica, petrolera y agricultura (Tambe y Sharma, 1994, Yan y Masliyah, 1994, Pal, 1999).

Existen al menos dos mecanismos para que un sólido estabilice emulsiones; en el primero, las partículas se adsorben en la interfase y permanecen allí formando una película densa alrededor de las gotas dispersas impidiendo la coalescencia por efectos estéricos (Yan y Masliyah, 1996). La segunda incluye la estabilización adicional cuando las interacciones entre partículas dan lugar a una red tridimensional o estructura en la fase continua que rodea las gotas (Binks y Lumsdon, 2002). Se requiere una energía 1000 veces mayor que la energía térmica debida al movimiento Browniano para remover una partícula coloidal de la interfase; así, los sistemas estabilizados mediante sólidos son muy estables (Yan y Masliyah, 1994, (Binks y Lumsdon, 2002).

Si el ángulo de la línea de contacto aceite-agua-sólido (medido con respecto a la fase acuosa) es menor que  $90^\circ$ , las partículas son hidrofílicas o mojables en agua y tienden a estabilizar emulsiones aceite-en-agua. Por otro lado, si el ángulo es mayor que  $90^\circ$ , las partículas son lipofílicas o mojables en fase aceite y tienden a estabilizar emulsiones agua-crudo (Binks y Lumsdon, 2002). Sin embargo, si las partículas son muy hidrofílicas o muy hidrofóbicas, tienden a permanecer dispersas en la fase acuosa o aceite, respectivamente, resultando en emulsiones muy inestables. Para formar emulsiones estables, las partículas deben permanecer en la interfase para lo cual el ángulo de contacto debe ser cercano a  $90^\circ$  (Binks y Lumsdon, 2000).

La efectividad del sólido como estabilizante de emulsiones es función de varios parámetros. En primer lugar, la fase continua de la emulsión es preferiblemente aquella donde las partículas se dispersan primero. La estabilidad depende de la concentración y tamaño de las partículas, además de su mojabilidad. Se verifica un incremento de estabilidad cuando aumenta la concentración de partículas, debido al aumento de la viscosidad y una disminución del tamaño de gota (Binks y Lumsdon, 2000). La efectividad de las partículas sólidas como estabilizantes está influenciada por la presencia de surfactante, a cualquier concentración de partículas y que se requiere una concentración mínima para estabilizar la emulsión, es decir, para que cubran la interfase y formen una película densa alrededor de las gotas. En cuanto al tamaño de partícula, la estabilidad de la emulsión aumenta fuertemente cuando este disminuye. Sin embargo, existe un límite de tamaño ( $< 5 \text{ nm}$ ) por debajo del cual los efectos Brownianos afectan negativamente la adsorción de las partículas en la interfase, por lo que la estabilidad tiende a disminuir por debajo de este valor crítico (Tambe y Shar-

ma, 1993).

En cuanto al efecto del electrolito, a baja concentración de sal se forman flóculos pequeños que producen estabilización porque se adsorben en la interfase; al aumentar la concentración de sal los flóculos se hacen más grandes y la adsorción se reduce. Cuando esto ocurre la coalescencia de las gotas aumenta. Así la emulsión puede estabilizarse con partículas sólo si estas están ligeramente floculadas (Yan, 1995).

Estas son algunas de las características que se conocen acerca de las suspoemulsiones, pero aún hay mucho por investigar en este campo. Es por esta razón que en el presente se basa en un estudio de las principales variables que afectan le estabilidad de suspoemulsiones bentonita-agua-aceite. En primera instancia se obtuvieron las mejores condiciones de agitación y el tipo de emulsión formada. Las principales variables que afectan la estabilidad de las suspoemulsiones son, en este estudio, la concentración de electrolito y surfactante, la relación agua/aceite (WOR) del sistema, además de la temperatura y el tamaño de gota de la emulsión.

## 2 Metodología Experimental

### 2.1 Materiales y Equipos

Las suspensiones se prepararon con agua destilada y bentonita natural. El electrolito usado es el cloruro de sodio (NaCl). Se utilizó dodecil sulfato de sodio ( $\text{C}_{12}\text{H}_{25}\text{NaO}_4\text{S}$ ) como surfactante aniónico y como fase aceite de las suspoemulsiones querosén filtrado con un EACN de 8,6.

Para el acondicionamiento de la bentonita, se usaron un molino Los Ángeles y un tamiz automático Tyler modelo Ro-Tap® RX94. Las suspensiones y emulsiones se mezclaron con un agitador IKA de Labortechnik modelo RW 200ZM.n, usando una paleta de tipo Rushton. El tamaño de partícula de las suspensiones y el diámetro de gota de las suspoemulsiones se midieron con los analizadores de tamaño de partícula BeckmanCoulter modelo LS 13 320 y Marvern Instruments modelo Mastersizer/E versión 1.2.c, respectivamente. El tipo de emulsión se determinó por medidas de conductividad eléctrica, empleando un conductímetro tipo CD GN. Para las medidas de estabilidad se empleó el TurbiscanClassic MA2000 1.2 y las medidas de viscosidad se realizaron en el reómetro RheometricScientific SR-5000.

### 2.2 Procedimiento Experimental

#### a) Preparación de la bentonita

La bentonita natural se separó de acuerdo a su tamaño triturándola en el molino por 10 min y posteriormente se tamizó en muestras de 100 g. por 15 min. (Bustamante, 2004), separando la bentonita de los platos 4 y 5 del tamiz.

#### b) Preparación de suspensiones

En todos los casos se prepararon 100 g. de suspensión con 3% de bentonita. Inicialmente se disolvieron la sal y el surfactante en agua, posteriormente se adicionó la bentonita agitando durante 5 min con un agitador magnético, y 8 min con el agitador IKA a 300 rpm. El tamaño de partícula se midió a las 24 horas con el BeckmanCoulter. La estabilidad de suspensiones se evaluó mediante un barrido de salinidad de 0 a 1% con suspensiones 1% de DDSS en agua, midiendo el volumen clarificado en función del tiempo durante 200 horas.

### c) Preparación de emulsiones

Todas las emulsiones se prepararon agregando lentamente el querosén a la suspensión (estabilizada por 24 horas) mientras se agita con el IKA a 1100 rpm durante 15 minutos.

### d) Estabilidad de suspoemulsiones

Se evaluó la estabilidad de suspoemulsiones, a temperatura ambiente, mediante un barrido de concentración de NaCl de 0% a 1%, para relaciones agua/aceite 30/70; 50/50 y 70/30 y concentraciones de surfactante de 0% y 1%; tubos de ensayo de 50 ml y midiendo el volumen clarificado durante 335 horas.

La estabilidad de las emulsiones se evaluó adicionalmente usando el TurbiscanClassic MA2000, que realiza un barrido de %Transmitancia en función de la altura del tubo durante 335 horas. Para ello, se realizó un barrido de salinidad, en % p/p (0%; 0,15%; 0,3% y 0,6%) con emulsiones de relación agua/aceite igual a 50/50. En este caso, se estudió adicional a la temperatura ambiente, la estabilidad a una temperatura de 35°C.

El efecto del surfactante sobre la estabilidad se estudió mediante un barrido de salinidad en emulsiones de WOR 50/50, considerando dos concentraciones adicionales de surfactante basadas en su concentración micelar crítica ( $8.10^{-3}$  mol/lit), una menor a la CMC (0,133% p/p) y otra mayor (0,4% p/p). La estabilidad se midió en pruebas de botella y Turbiscan.

### e) Estudio reológico del sistema

Se estudiaron diferentes parámetros que tienen efecto sobre la reología del sistema; además se estudió su variación con el tiempo tomando medidas de viscosidad los días 1 y 15. Los parámetros usados en el reómetro son: geometría de platos paralelos con una separación de 1mm, frecuencia 1,0 rad/s, 25 °C, entre un esfuerzo de 0,1 y 100 Pa.

## 3 Resultados y Análisis de Resultados

### 3.1 Medición de diámetro de partícula

Con la bentonita retenida en los platos 4 y 5 del tamiz

se prepararon suspensiones, obteniéndose un diámetro promedio en el plato 4 de 2,86  $\mu\text{m}$  y en el plato 5 de 2,72  $\mu\text{m}$ . Resultando este valor un diámetro de partícula similar al propuesto en la literatura para la preparación de suspoemulsiones (alrededor de 2 $\mu\text{m}$ )(Tambe y Sharma, 1993).

### 3.2 Estudio de estabilidad de suspensiones

Se evaluó la estabilidad de suspensiones en pruebas de botella. La Fig. 1 muestra la estabilidad de las mismas como volumen clarificado en función del %p/p NaCl. Se puede observar que las suspensiones más inestables son las de 0,6 y 0,9% de NaCl y las más estables son las de 0,15 y 1%. La suspensión más estable se consiguió con un porcentaje igual a 0 % de NaCl, (sin volumen clarificado). Los resultados obtenidos están en acuerdo con lo esperado: la presencia de sal produce una aglomeración o floculación de las partículas lo cual acelera la separación de las fases. (Brito, 1985, Moreno, 2002, Bustamante, 2004).

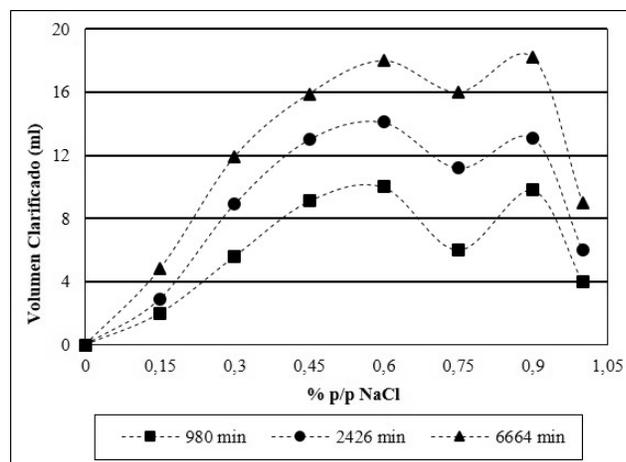


Fig. 1: Estabilidad de suspensiones de bentonita en función del porcentaje en peso de NaCl

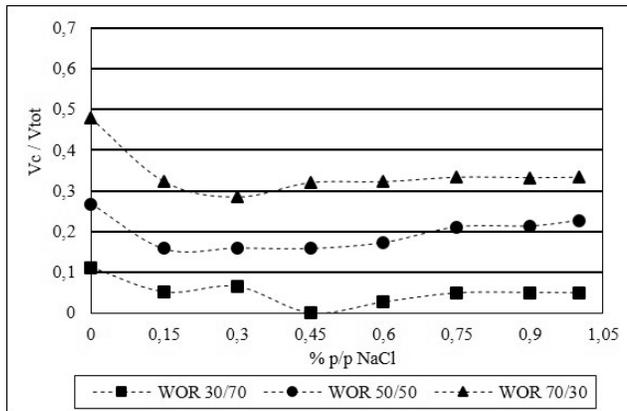
### 3.3 Variables fluo-mecánicas

La emulsión más homogénea que logró incorporar toda la fase oleosa se preparó agitando por 15 min a 700 rpm una emulsión con 70% de aceite. La velocidad de agitación se obtuvo mediante el estudio de estabilidad en pruebas de botella de emulsiones con diferentes WOR para 700 y 1100 rpm. Se observó que la estabilidad aumenta con el porcentaje de aceite y con la velocidad de agitación. Las emulsiones con mayor proporción de fase interna tienen gotas más pequeñas y más próximas, razón por la cual son más viscosas y, por ende, más estables. En todos los casos las emulsiones formadas son o/w, valor de conductividad en el orden de mS.

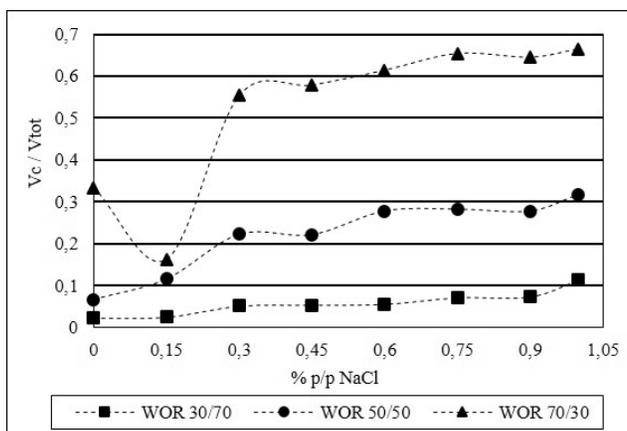
### 3.4 Estabilidad de suspoemulsiones

#### a) Estabilidad en pruebas de botella

En la Fig. 2 se muestra el volumen clarificado en 335 h en función del % p/p de NaCl para suspoemulsiones con diferentes WOR, realizando barridos de salinidad de 0 a 1% de NaCl con 0% y 1% de surfactante.



a.



b.

Fig. 2: Volumen clarificado en función del porcentaje de NaCl para suspoemulsiones con diferentes WOR a un tiempo de vida de la emulsión de 335 h.

a. 0% DDSS. b. 1% DDSS.

Para el barrido de salinidad sin surfactante las emulsiones más estables son las que contienen de 0,15 a 0,45% de NaCl, con un comportamiento similar para cualquier WOR. En el caso de 1% DDSS se observa un comportamiento diferente para cada WOR, las emulsiones más estables son, en apariencia, las de 0 y 0,15% de NaCl, y la más inestable de WOR 70/30, ya que baja concentración de fase interna significa mayor tamaño de gota y menor viscosidad, lo cual favorece la sedimentación rápida de las gotas. El volumen clarificado para todas las suspoemulsiones con electrolito era agua clara, mientras que para 0% de NaCl el

volumen clarificado es una suspensión donde la bentonita sedimenta con el tiempo. Por esta razón se infiere que la bentonita se encuentra atrapada en la interfase de las gotas actuando como surfactante en presencia de NaCl.

Para que una suspoemulsión sea estable debe tenerse como punto de partida una suspensión débilmente floculada (Binks y Lumsdon, 2001), y el electrolito es el agente que crea una ligera floculación de las partículas en la suspensión; por esta razón, las suspoemulsiones con electrolito son más estables. Sin embargo, una concentración muy alta de electrolito puede inducir mayor floculación y es por ello que las suspoemulsiones con mayor concentración de electrolito son también inestables separando mayor cantidad de agua.

Un estudio posterior consistió en evaluar la estabilidad de suspoemulsiones a diferentes concentraciones de surfactante, resultando que la presencia de surfactante afecta la estabilidad de la suspoemulsión, en particular para 0% de NaCl ya que la estabilidad mejora al aumentar la concentración de surfactante (Aveyard, y col. 2002). Se observa que para una concentración de surfactante menor que la CMC, las emulsiones son más inestables.

En la Fig. 3 se muestra el efecto del surfactante sobre la estabilidad de suspoemulsiones para diferentes concentraciones de NaCl. En apariencia, es más estable el sistema sin surfactante. Sin embargo, a estas condiciones no se incorpora todo el aceite a la emulsión en cuanto que una cantidad de surfactante por debajo de la CMC (junto con la arcilla), es suficiente para cubrir toda la interfase generada y emulsificar el volumen total de aceite. Por otro lado, la presencia de surfactante afecta la estabilidad de la emulsión aumentando el volumen clarificado. Este puede deberse a un incremento de la velocidad de sedimentación por el aumento de la diferencia de densidades. Es también posible que, en presencia del surfactante, la fase continua se haga menos viscosa por reducción de floculación de la arcilla en esta fase o porque la arcilla se encuentra preferiblemente en la interfase. En todo caso, la sedimentación no lleva a la coalescencia.

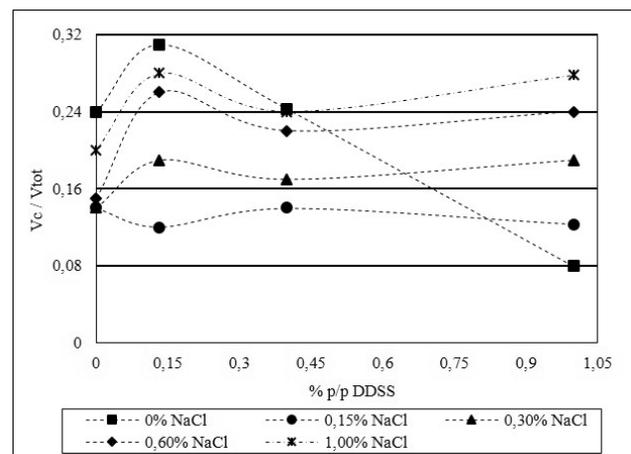


Fig. 3: Volumen clarificado en función de la concentración de DDSS para suspoemulsiones WOR 50/50 y diferentes concentraciones de electrolito. Tiempo 335 h. Pruebas de Botella.

### b) Estabilidad de suspoemulsiones medida en el Turbiscan

Se utilizó el Turbiscan para evaluar la estabilidad asociándola con la transmitancia en función del recorrido de un rayo de luz a través de la longitud del tubo. Se evaluaron las mismas concentraciones de surfactante usadas para las pruebas de botella, con un barrido de salinidad de 0 a 0,6 % de NaCl y un WOR de 50/50.

Se dividió el tubo con la muestra en dos zonas, la zona I está representada por la altura de líquido clarificado tomada a partir de una altura de 6mm, hasta la altura alcanzada por el agua, medida en mm. La zona II corresponde a la altura de emulsión; para esta zona se midió el porcentaje de retrodifusión (backscattering) arrojado por el Turbiscan, como un promedio en el tiempo de vida de la emulsión, mientras mayor sea este valor la muestra es más "oscura" porque refleja mayor cantidad de luz, así que las emulsiones con surfactante poseen menor tamaño de gota lo cual deja menos espacio vacío para el paso del haz de luz y, por ende, se refleja mayor cantidad de ella.

En la Fig. 4 se muestra la altura de líquido clarificado (zona I) en función de la concentración de DDSS para diferentes concentraciones de electrolito. Como se puede observar para emulsiones preparadas sin electrolito la estabilidad se ve afectada por la presencia de surfactante pasando por un mínimo cerca de la CMC, mientras que para suspoemulsiones con sal el surfactante no afecta notablemente su estabilidad, siendo siempre más estables las suspoemulsiones con 0,15% NaCl.

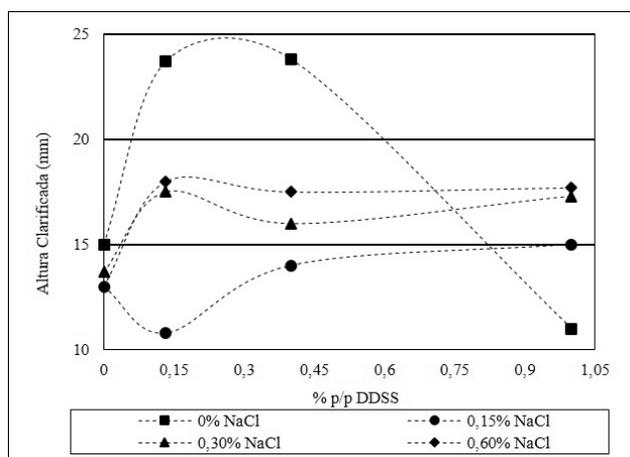


Fig. 4: Variación de la altura clarificada en función de la concentración de DDSS para suspoemulsiones WOR 50/50 a temperatura ambiente y tiempo de 335 h.

Se observa que las tendencias obtenidas son las mismas que para las pruebas de botella, la emulsión más estable es la de 0,15% NaCl en todos los casos excepto para 1% DDSS. Al igual que en las pruebas de botella ocurre una diferencia a esta afirmación con las emulsiones de 0,15% de NaCl que es más estable para 0,133% NaCl.

Para 0% DDSS la estabilidad no se ve seriamente afectada

por la concentración de electrolito; para 0,133% DDSS (cerca de la CMC) existe un máximo de estabilidad en 0,15% de NaCl y para concentraciones de electrolito mayores no se aprecia gran diferencia de estabilidad. En general el sistema presenta un óptimo de estabilidad para una concentración de 0,15% NaCl, igual como se observa en las pruebas de botella. El surfactante por ser mucho más pequeño que las partículas de bentonita puede viajar rápidamente a la interfase mientras su formación y disminuir la tensión superficial, por lo tanto el diámetro de gota es menor que cuando él no está presente; pero una vez formada la interfase la bentonita tiene tiempo para arreglarse de cualquiera de las formas descritas y dar a la emulsión la estabilidad característica que posee.

### c) Variación de la estabilidad de suspoemulsiones con la temperatura

Se realizaron medidas de estabilidad en el Turbiscan a suspoemulsiones de WOR 50/50 y concentración variable de surfactante; dichas emulsiones se mantuvieron a una temperatura de 35°C. La suspoemulsión preparada sólo con arcilla, sin surfactante y sal, se separó por completo a 35°C.

En la Fig. 5 se compara el comportamiento a las dos temperaturas y concentraciones de DDSS (0,133 y 1%). Puede verificarse que no hay diferencias significativas en el comportamiento. Posiblemente, este incremento de temperatura (ambiente a 35°C) no sea suficiente para producir cambios importantes en la estabilidad aunque la suspoemulsión con 0,15% NaCl tiende a ser menos estable a 35°C que a temperatura ambiente.

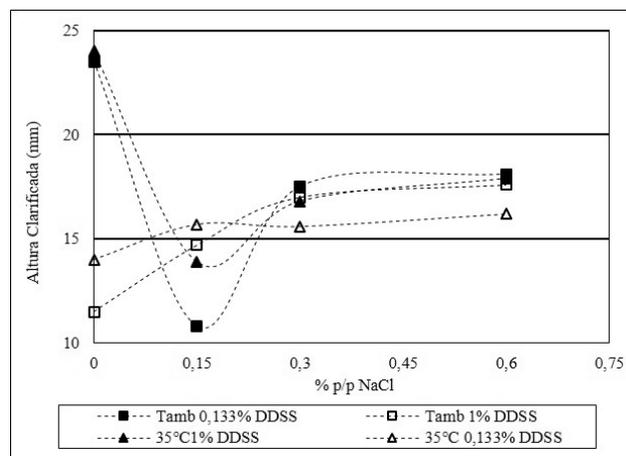


Fig. 5: Altura Clarificada en función de % p/p NaCl para suspoemulsiones WOR 50/50, con concentraciones de surfactante 0,133% y 1% y temperaturas ambiente (25°C) y 35°C.

### 3.5 Tamaño de Gota de la Emulsión

El tamaño de gota de la emulsión se midió para emulsiones de WOR 50/50 y diferentes concentraciones de

DDSS y NaCl. Cabe señalar que las emulsiones preparadas sin surfactante presentaron gotas de tamaños no medibles. En la Fig. 6 se presenta el diámetro Sauter en función del porcentaje de NaCl para diferentes concentraciones de surfactante.

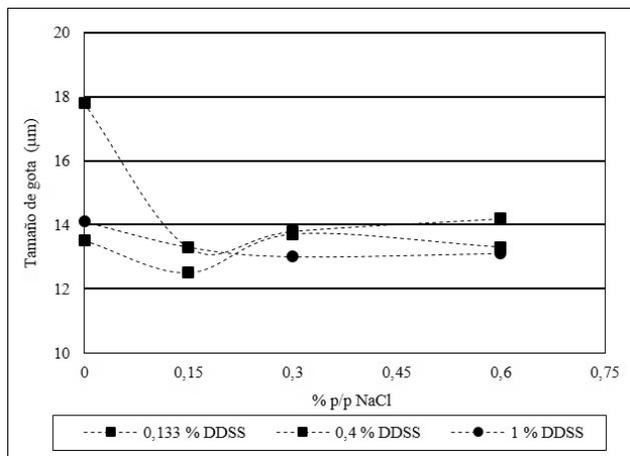


Fig. 6: Tamaño de gota en función del % p/pNaCl a diferentes concentraciones de surfactante

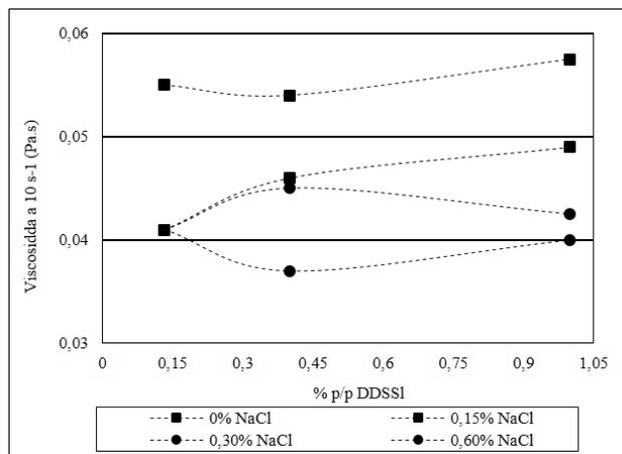
Puede observarse que las emulsiones sin electrolito presentan un mayor tamaño de gota, más pronunciado para la menor concentración de surfactante y no tan notorio a mayor concentración. Por otro lado, el tamaño de gota tiende a disminuir con el contenido de sal para 1% de DDSS, en cuanto que las emulsiones con menor contenido de surfactante presentan un mínimo de tamaño de gota a 0,15%. Estas emulsiones son las más estables en pruebas de botella y en el Turbiscan; así el tamaño de gota es importante en la estabilidad de las suspoemulsiones dado que las gotas pequeñas sedimentan con menor velocidad.

### 3.6 Estudio Reológico

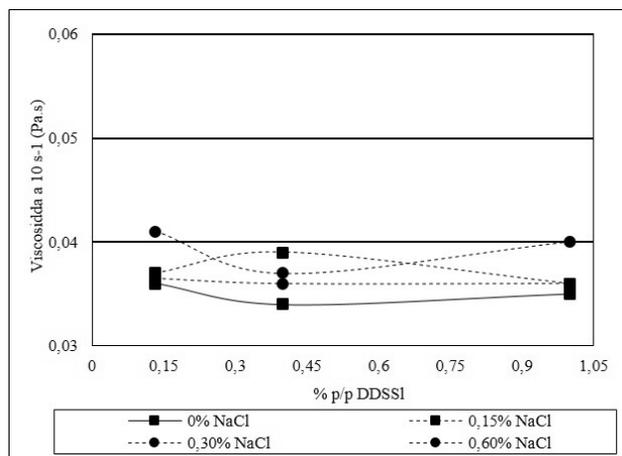
Se realizó el estudio reológico a suspoemulsiones de WOR 50/50 y diferentes concentraciones de surfactante y sal. No fue posible realizar medidas reológicas a suspoemulsiones con 0% de DDSS debido a que las muestras no son homogéneas (aceite sobrante). El comportamiento observado corresponde al de un fluido reofluidizante caracterizado por la disminución de la viscosidad con el aumento del esfuerzo o de la tasa de corte.

En la Fig. 7 se muestra la viscosidad a 100 s<sup>-1</sup> en función del porcentaje de DDSS para 1 y 15 días observando que la viscosidad aumenta con el tiempo para cualquier concentración de electrolito y surfactante, debido posiblemente a floculación de las gotas o al hinchamiento de las partículas de arcilla, ya que estas partículas absorben agua creando una interfase más amplia y difícil de alterar, por ende, más viscosa. Para un día la viscosidad no se ve afectada en gran medida por la concentración de surfactante y electrolito; esta diferencia se acentúa a mayor tiempo. La

diferencia más grande se presenta para emulsiones con 0,15% de NaCl y las más viscosas son las de 0% de NaCl. Comparando la concentración de surfactante las emulsiones menos viscosas son las de 0,133% de DDSS. La viscosidad influye en la estabilidad de la emulsión: a menor viscosidad menor estabilidad.



a.



b.

Fig. 7: Viscosidad a 100 s<sup>-1</sup> en función del porcentaje de DDSS para suspoemulsiones de WOR 50/50.

a. 1 día. b. 15 días

## 4 Conclusiones

La bentonita actúa como estabilizante de emulsiones, aún en ausencia de otros componentes tales como sal y surfactante. Sin embargo, en ausencia de estos dos últimos, no es posible dispersar todo el aceite, por lo menos con el método de emulsificación utilizado. Las suspoemulsiones obtenidas sin sal ni surfactante presentan una gran resistencia a la coalescencia, a pesar del gran tamaño de gota que exhiben. Se piensa que el mecanismo de estabilización más probable es la viscosificación del medio acuoso por la forma-

ción de estructuras tridimensionales de partículas de arcilla, lo cual limita la coalescencia de las gotas.

La bentonita combinada con electrolito y una cantidad de DDSS por debajo de la CMC, es suficiente para preparar suspoemulsiones o/w muy estables, con tamaños de gota promedio inferiores a los 20  $\mu\text{m}$ . El mecanismo de estabilización más probable es la co-adsorción de las partículas de arcilla y surfactante en la interfase, la cual es modulada por la presencia de electrolito.

### Agradecimiento

A los Laboratorios FIRP y LMSSI por la colaboración prestada. Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes, Mérida Venezuela a través del proyecto número I-812-04-08-F.

### Referencias

- Aveyard, R; Binks, B; Clint, J, 2003, Emulsions stabilized solely by colloidal particles. *Advances in Colloid and Interface Science*, pp 100-102.
- Binks, B, 2002, Particles as surfactants – similarities and differences, *Colloid and Interface Science*. 7, pp 21-41.
- Binks, B; Lumsdon, O, 2000, Catastrophic Phase Inversion of Water-in-Oil Emulsions Stabilized by Hydrophobic Silica. *Langmuir*, 16, pp. 2539-2547.
- Binks, B; Lumsdon, O, 2001, Pickering Emulsions Stabilized by Monodisperse Latex Particles. Effect of Particle-Size. *Langmuir*, 17, pp. 4540-4547.
- Brito B, Carlos V Pérez H, Bernabé A, 1985, Emulsiones y Suspensiones Aplicados en el campo de la Farmacia. Fondo Editorial Lola de Fuenmayor. Universidad Santa María. Caracas, Venezuela.
- Bustamante, F, 2004, Caracterización de Suspensiones de Bentonita, Mérida, Venezuela.
- Moreno, P, 2002, Efecto de la Formulación en la Estabilidad y Comportamiento Reológico de suspensiones. Proyecto de Grado, Mérida, Venezuela.
- Pal, R, 1999, Rheology of Blends of Suspensions and Emulsions. *Ind. Eng. Chem.*, 38(12), pp. 5005-5010.
- Pal, R; Yan, Y; Masliyah, J, 1992, Rheology of clay-in-oil suspensions with added water droplets. *Chemical Engineering Science*, 47(5), pp. 967-970.
- Tambe, D; Sharma, M, 1993, Factors controlling the stability of colloid-stabilized emulsions. I. An experimental investigation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 157, pp 244-253.
- Tambe, D; Sharma, M, 1994, The effect of colloidal particles on fluid-fluid interfacial properties and emulsion stability. *Journal of Colloid and Interface Science*, 162, pp. 1-10.
- Tambe, D; Sharma, M, 1994, Factors controlling the stability of colloid-stabilized emulsions. II. A model for the rheological properties of colloid-laden interfaces. *Journal of Colloid and Interface Science*, 52, pp. 1-63.
- Yan, N; Masliyah, J, 1994, Adsorption and desorption of clay particles at the oil-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 168, pp. 386-392.
- Yan, N; Masliyah, J, 1994, Characterization and demulsification of solid-stabilized oil-in-water emulsions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 168, pp. 386-392.
- Yan, N; Masliyah, J, 1996, Effect of pH on adsorption and desorption of clay particles at oil-water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 181, pp. 20-27.
- Yan, N; Masliyah, J, 1993, Solid stabilized oil-in-water emulsions scavenging of emulsion droplets by fresh oil addition. *Colloid and Surfaces*, 75, pp. 123-132.

**Recibido:** 10 de abril de 2011

**Revisado:** 21 de noviembre de 2012

**Vivas, Marisabel:** Ing. Químico. ULA 2007. Ingeniero investigador FIRP ULA 2007-2008. Profesor instructor departamento de Química UNET 2008-2014. Estudiante de especialización en estudios de impacto ambiental UNET 2012-2014.

**Briceño, María Isabel:** Doctorado, Instituto Politécnico de Toulouse, 2001. Profesional Asociado, INTEVEP-PDVSA en el área de manejo de crudos pesados 1983 – 1995, Prof. Asociado, ULA, 1995 – 2009. NANO DISPERSIONS TECHNOLOGY, INC. 2009 – actual. Correo Electrónico: mabel@ula.ve.

**Celis, María Teresa:** Magister en Ingeniería Química. Ph.D. Doctor en Filosofía. Postdoctorado, Universidad del Sur de Florida, U.S.A. Directora del laboratorio de polímeros y coloides. Coordinadora técnica del laboratorio FIRP. Profesor titular de la Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: mariateresa.celis@gmail.com

