

Transiciones de fase en un sistema alquilcarboxilato de imidazolio/querosén/agua

Belgica Bravo, Maira Jiménez, Gerson Chávez, Nelson Márquez, Nacarid Delgado, Milangel Luzardo, Iran Parra, Mariana Collins y Ana Cáceres

Laboratorio de Petroquímica y Surfactantes, Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia.
Maracaibo-Venezuela.

Laboratorio de Desarrollo de Métodos de Análisis, Facultad de Ciencias, Universidad del Zulia.
Maracaibo-Venezuela.

Laboratorio de Instrumentación Analítica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia.
Maracaibo-Venezuela.

Correo electrónico: belgicabravo@gmail.com

Recibido: 11/04/2018

Aceptado: 04-02-2019

Resumen

En este trabajo se determinaron las transiciones de fase de surfactantes de contraíón orgánico de tipo alquilcarboxilato de imidazolio (IMIC_n) en sistemas querosén/agua para su posible aplicación en la industria petrolera. Para IMIC₁₂ se encontró transiciones de tipo WI→WIII→WII y un incremento de la zona WIII con el aumento de la concentración de este surfactante. El estudio de transiciones de fase a través de mapas de formulación estuvo en concordancia con los cambios observados en las medidas de conductividad y tamaño de gota de las emulsiones formadas. Se pudo notar la relación existente entre las variables fisicoquímicas empleadas NaCl/BuOH necesarias para promover las transiciones de fase encontradas. Se trabajó con 0,3%*m/v* como concentración en común para las tres colas estudiadas, observando una disminución de las variables fisicoquímicas empleadas con el aumento de la lipofilicidad del surfactante de contraíón orgánico. Los mapas de conductividad permitieron determinar el cambio del tipo de emulsión de O/W a W/O, para todos los casos.

Palabras clave: Ácidos carboxílicos grasos; surfactante de par iónico; transiciones de fase; variables fisicoquímicas

Phase transitions in imidazolium alkylcarboxylate/kerosene/water system

Abstract

The phase transitions of imidazolium alkylcarboxylates (IMIC_n) on kerosene/water systems for possible application in the oil industry were determined. Transitions of type WI→WIII→WII were found. Expansion of the phase zone with increasing concentration of imidazolium dodecanoate was observed. Results show that is necessary a relationship between physicochemical variables used NaCl/BuOH to promote the phase transitions. A decrease physicochemical variable used with increasing lipophilicity of the organic counterion surfactant using same concentration (0.3% *m/v*) was observed. Through the conductivity maps for these systems was possible to determine the change in the type of emulsion O/W to W/O, for all cases.

Key words: Carboxylic fatty acids, ion-pair surfactant, phase transitions, physicochemical variables.

Introducción

Los surfactantes de contraíón orgánico son sustancias anfílicas que se encuentran formadas en su mayoría por un surfactante aniónico de tipo carboxilato unido a una parte orgánica; tienen como función modificar la tensión superficial de un sistema agua/aire, un ejemplo de esto es la transferencia de protones del ácido a la amina [1-4]. La presencia de un contraíón orgánico reduce la concentración micelar crítica (CMC) en comparación a los contraíones inorgánicos hidrófilos [5-7]. Para determinar

las transiciones de fase es necesario emplear el modelo hipotético propuesto por Winsor [8, 9] que relaciona las interacciones del surfactante con las diferentes fases del sistema. Al ir modificando las variables de formulación, concentración de surfactante, sal, alcohol, temperatura, es posible alterar el balance hidrofílico-lipofílico del sistema y observar el comportamiento de estas moléculas anfifílicas en sistemas surfactante/agua/aceite. Si las interacciones entre el surfactante y la fase acuosa superan las interacciones entre el surfactante y la fase orgánica el surfactante tiene un comportamiento hidrofílico, es decir, WI. Si las interacciones entre el surfactante y la fase aceite superan las interacciones entre el surfactante y la fase acuosa el surfactante tiene un comportamiento lipofílico, porque tiende a solubilizarse en la fase aceite, WII. Por otro lado, Si las tendencias hidrofílicas y lipofílicas se equilibran se obtiene el caso Winsor III, el cual se caracteriza por la formación de una microemulsión que generalmente solubiliza la misma cantidad de agua y aceite

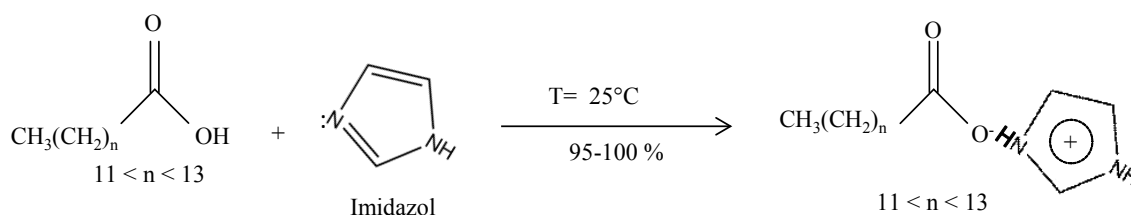
Por lo anteriormente expuesto, se determinaron las transiciones de fase en un sistema alquilcarboxilato de imidazolio/querosén/agua, evaluando el efecto de las variables de formulación tales como: concentración de surfactante, sal (NaCl) y *n*-butanol como co-surfactante, realizando barridos unidimensionales de formulación fisicoquímica, así como también algunas propiedades de las emulsiones formadas, como conductividad y tamaño de gota.

Metodología

1. Preparación de los surfactantes alquilcarboxilatos de imidazolio

Para la preparación de los compuestos alquilcarboxilatos de imidazolio, se utilizaron los ácidos dodecanoico (C12), tetradecanoico (C14) y hexadecanoico (C16) (Merck, 99%), imidazol (Himedia, 99%) como contraión y hexano (Burdick & Jackson, HPLC) como medio de reacción. Para los barridos de formulación, se empleó como fase orgánica querosén de tipo comercial (Fluka, 98,8%), y agua destilada como fase acuosa. Como variables de formulación, se empleó cloruro de sodio (Merck, 99,5%), y *n*-butanol (Scharlau, 99,7%) como co-surfactante.

La obtención de los alquilcarboxilatos de imidazolio se llevó a cabo en proporción equimolar (Esquema 1). 20 mmoles del ácido carboxílico (C12, C14, C16) se disolvieron en 50 ml de hexano, luego se añadió el equivalente de 20 mmoles de imidazol. Esta reacción se mantuvo en agitación constante durante 4 horas a 25°C. El producto obtenido se conservó a bajas temperaturas (0-4°C) para la completa formación de un precipitado blanco. Posteriormente, se filtró al vacío realizando un lavado con hexano frío para eliminar los residuos remanentes.



Esquema 1. Preparación de surfactantes alquilcarboxilatos de imidazolio

2. Barrido de formulación fisicoquímica de los alquilcarboxilatos de imidazolio

Se realizaron barridos unidimensionales para evaluar el efecto de las variables propuestas (concentración del surfactante, concentración de electrolito, concentración de co-surfactante)

Para el estudio del efecto de la concentración de surfactante se utilizó ImiC₁₂ a concentraciones de 0,1% m/v, 0,3 % m/v y 0,5% m/v. Los sistemas se prepararon en el siguiente orden: En cada tubo de ensayo se pesó una masa de 0,001; 0,003 y 0,005 g del ImiC₁₂, luego se solubilizaron en 5ml de fase orgánica (querosén) utilizando el baño ultrasonido, asimismo se adicionaron volúmenes de solución

madre al 10 % m/v de NaCl a fin de evaluar la concentración de sal en el intervalo de (0 a 8 % m/v) completando la fase acuosa con agua y manteniendo la relación aceite/agua igual a 1. Seguidamente, se adicionaron a los sistemas un volumen de *n*-butanol para evaluar el efecto de alcohol en el intervalo de concentraciones de (0,5 a 5% v/v *n*-butanol), los sistemas se agitaron manualmente cada dos horas por 12 horas y se dejaron estabilizar por 48 horas en un baño termostatzado a 25 °C. De la misma manera, se prepararon utilizando la concentración de 0,3% m/v tanto de ImiC₁₄ como de ImiC₁₆ para evaluar el efecto de la cola lipofílica del anfífilo. El comportamiento de fase se evaluó mediante el modelo Winsor construyendo mapas de formulación (% v/v *n*-butanol en función de % m/v NaCl) para observar la transición de fase (Winsor tipo I, II, III) en los sistemas preparados. Para esto se contó con la ayuda de una luz láser y en base a la difusión del haz de luz se corroboró la ubicación del anfífilo en el sistema (fase acuosa u orgánica)

3. Medidas de conductividad de las emulsiones

Para evaluar la inversión de las emulsiones formadas bajo las condiciones trabajadas para los barridos de formulación, se realizaron medidas de conductividad. Luego de la estabilización, estos sistemas se agitaron a una velocidad de 10.000 rpm por 20 segundos utilizando un homogeneizador e inmediatamente se midió la conductividad de las emulsiones respectivas. Con los valores obtenidos se construyeron mapas de (% v/v *n*-butanol en función de % m/v NaCl) en donde se indica bajo qué condiciones de formulación se modifica la emulsión.

3. Medidas de tamaño de gota de las emulsiones

Luego de agitar los sistemas a una velocidad de 10.000 rpm por 20 segundos utilizando un homogeneizador, se tomaron alícuotas de 10µL y se aforó con agua destilada en un balón de 10 mL agitando suavemente. Estas dispersiones, se midieron por duplicado en el espectro UV-Visible (Agilent Technologies, modelo 8453 con arreglos de diodos), en el rango de longitudes de ondas de 190-1100 nm, tomando el intervalo espectral de 350 a 800 nm para la estimación del tamaño de gota. Los valores de diámetro promedio a 400 nm se graficaron en función de la concentración de sal (NaCl) y alcohol (*n*-butanol) a fin de relacionar la variación del tamaño de gota de las emulsiones con la formulación fisicoquímica.

Resultados y Discusión

La presencia de variables como: concentración de surfactante, salinidad en la fase acuosa y alcoholes en sistemas surfactantes/aceite/agua originan un cambio de afinidad del surfactante por modificación de su ambiente fisicoquímico [10-12], otorgándole un comportamiento de fase a estos sistemas. Por lo que en este trabajo se evaluó el efecto de las variables en función del cambio de transición a través del modelo de Winsor a fin de encontrar la caracterización fisicoquímica para estos nuevos sistemas con surfactantes de contraíón orgánico.

En el mapa (A) de la **Figura 1** correspondiente a la concentración de 0,1% m/v de dodecanoato de imidazolío (IMIC₁₂) se puede notar que todos los sistemas preparados a las diferentes concentraciones de sal y alcohol son WI. Con el aumento de la concentración del anfífilo, fue posible obtener transición de tipo WI-WIII-WII. En el mapa (B) donde la concentración de IMIC₁₂ es 0,3% m/v, la transición comienza a partir de 7,2% m/v de NaCl y 3% v/v de *n*-BuOH, en este punto se obtienen sistemas de tipo WIII con volumen de microemulsión muy bajo y traslucidos. Con 8% m/v de NaCl más 2 y 2,5 % v/v de *n*-BuOH se obtuvieron de igual forma sistemas trifásicos de poco volumen de microemulsión. El resto de los sistemas con mayor concentración de *n*-BuOH son WII.

Asimismo, en el mapa (C) la concentración de IMIC₁₂ es de 0,5% m/v y la transición tiene lugar a partir de 4,8% m/v de NaCl y 4,5%v/v de *n*-BuOH. A esta concentración de anfífilo se obtuvo mayor cantidad de sistemas trifásicos que, de la misma manera tenían pequeños volúmenes de microemulsión. No obstante, dichas microemulsiones se podían destacar más que las anteriores por su ligero color azulado. Como se observó, la transición se cerró a medida que se aumentó tanto la concentración de sal como la de alcohol, es decir, el sistemas WII se obtuvo con 8% m/v de NaCl más 4,5 y 5% v/v de

n-BuOH. Como puede notarse, es preciso el uso de sal y alcohol para alcanzar las transiciones de fase, efecto que puede deberse a una posible sinergia entre ambas variables para la obtención de sistemas trifásicos [13-15].

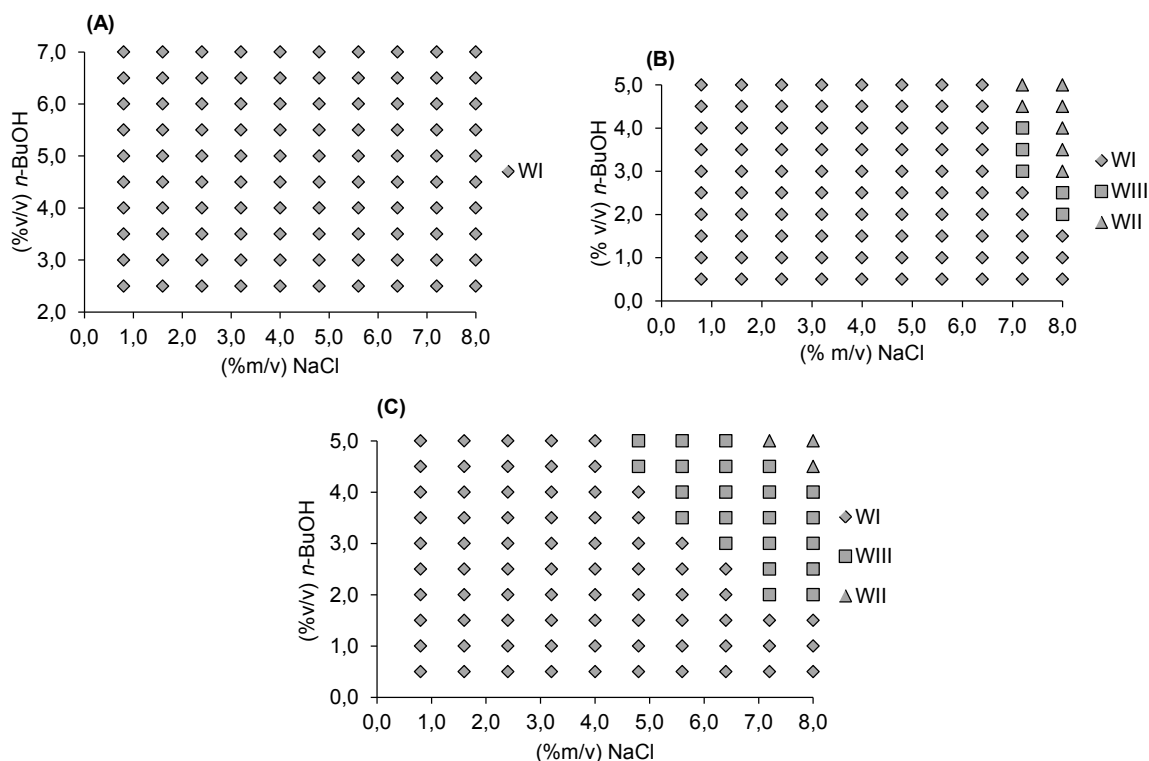


Figura 1. Mapas de formulación de los sistemas IMIC₁₂/querosén/agua/NaCl/*n*-BuOH a diferentes concentraciones de IMIC₁₂ (A) 0,1% m/v, (B) 0,3% m/v, (C) 0,5% m/v

A fin de evaluar el efecto de la longitud de la cadena, se realizaron sistemas con IMIC₁₄ e IMIC₁₆ también a 0,3% m/v bajo las mismas condiciones de variables de formulación, de sal (0,8-8% m/v) y alcohol (0,5-5% v/v). Los mapas que muestran la transición obtenida se observaron en la Figura 2. Se nota que, a partir de 4,8% m/v de sal y 3% v/v de *n*-BuOH comienzan a aparecer los sistemas WIII. Con 5,8% m/v y 6,4% m/v de sal, conteniendo 2,5% v/v de *n*-BuOH también, se observaron sistemas trifásicos hasta 4% v/v de dicho alcohol, mientras que el resto de los sistemas son WII. A concentraciones de 7,2% m/v y 8% m/v de NaCl más 3% v/v y 3,5% v/v de *n*-BuOH son sistemas WIII y partiendo de 4% v/v de *n*-BuOH la transición termina en sistemas bifásicos tipo WII. Cabe resaltar, que esta transición WI-WIII-WII para los sistemas con IMIC₁₂ a 0,3% m/v del mismo comienza a partir de 7,2% m/v de sal y 3% v/v de *n*-BuOH, además son pocos los sistemas trifásicos que se producen.

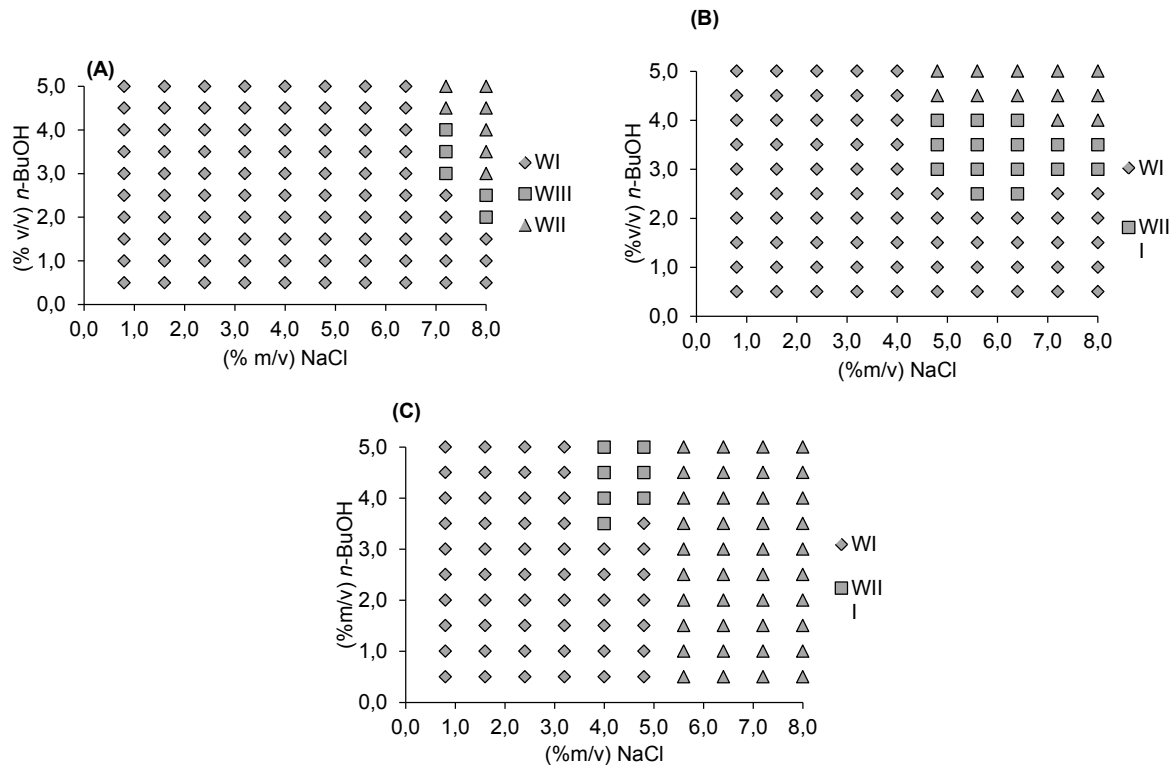


Figura 2. Mapas de formulación de los sistemas IMIC_n/querosén/agua/NaCl/n-BuOH a 0,3 %m/v (A) IMIC₁₂, (B) IMIC₁₄, (C) IMIC₁₆

Se considera entonces, que el aumento de la lipofiliidad del anfifilo IMIC₁₄ permitió la formación de agregados de forma más efectiva, y por ende es necesario una menor concentración de las variables fisicoquímicas empleadas para promover la transición de fase de los sistemas. Para el caso del IMIC₁₆ la transición WI-WIII-WII comienza con 4 %m/v de sal y 3,5 %v/v de n-BuOH. Los trifásicos se mantienen hasta la máxima concentración de alcohol utilizada en este estudio para 5 %v/v, ocurriendo lo mismo con 4,8%*m/v* de sal pero comenzando la transición con 4 %v/v de n-BuOH. Luego el resto de los sistemas preparados aumentando la concentración de sal son del tipo WII. Este comportamiento tanto inusual puede deberse al aumento de la lipofiliidad del anfifilo [13].

El tipo de emulsión presente en los sistemas estudiados se determinó a través de medidas de conductividad. En la Figura 3 se presenta el mapa de conductividad para el IMIC₁₂. El mapa (A) representa el tipo de emulsión de los sistemas preparados con 0,1 % *m/v* de dicho anfifilo y las concentraciones de sal y alcohol que se destacan en el mapa. Los valores encontrados no pasaron de los 50 mS/cm, lo que demostró que todos los sistemas son en este caso tipo O/W. Esto concuerda con lo observado en el mapa de formulación expuesto anteriormente a esta misma concentración de anfifilo en donde todos los sistemas son WI

A medida que se aumenta la concentración de IMIC₁₂ en los sistemas, es posible observar la transición de fase y por ende un cambio en la fase externa de la emulsión formada. En el mapa (B) en donde se utiliza 0,3 % *m/v* de IMIC₁₂, a partir de 7,2 % *m/v* de sal y 4,5 %v/v de n-BuOH se encontraron valores de conductividad en el orden de los μ S/cm, al igual que los sistemas con 8 %*m/v* de sal más 3-5 % *v/v* de n-BuOH, lo que señala emulsiones W/O. El resto de los sistemas son emulsiones tipo O/W con conductividades alrededor de 25 mS/cm. Estos cambios están relacionados con el mapa de formulación obtenido visualmente bajo las mismas condiciones, en donde la transición de fase comenzó a partir de 7,2 % *m/v* de sal y 3 %v/v de n-BuOH. El mapa (C) corresponde a sistemas preparados con 0,5 % *m/v* de IMIC₁₂ y las mismas concentraciones de sal-alcohol que el caso anterior.

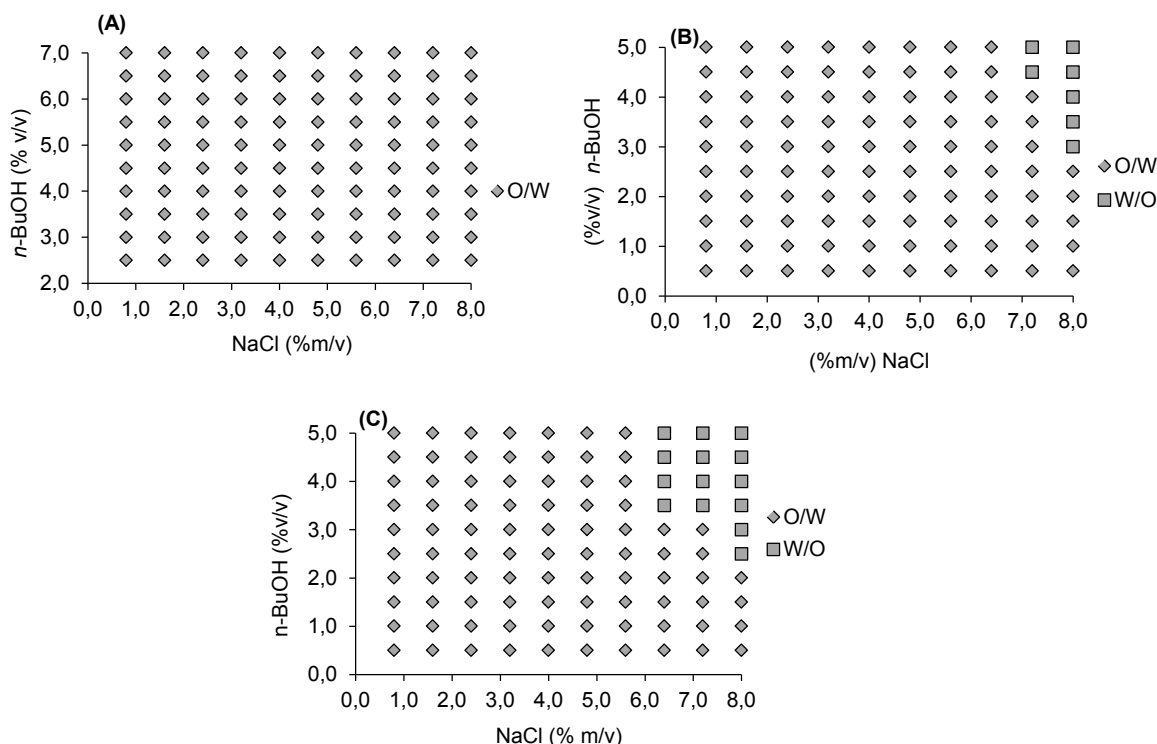


Figura 3. Mapas de conductividad de los sistemas IMIC₁₂/querosén/agua/sal/alcohol a diferentes concentraciones (A) 0,1% m/v, (B) 0,3% m/v, (C) 0,5% m/v

Particularmente, se observó el cambio de emulsión a partir de 6,4 %m/v de sal y 3,5 %v/v de *n*-BuOH. En los sistemas siguientes el cambio se da bajo las mismas condiciones pero con 7,2 %m/v de sal. Con la última concentración de sal utilizada, siendo esta de 8 %m/v el cambio de emulsión se dio con 2,5 %v/v de *n*-BuOH. La conductividad para los sistemas O/W reflejados en el mapa se encontraron alrededor de 30 mS/cm. En vista de que las variables de formulación modifican la afinidad del surfactante por alguna de las fases, es precisamente esta sinergia entre la sal y el alcohol lo que promueve la inversión de la emulsión.

Por otro lado, el aumento de la concentración del anfífilo de contraíón orgánico favorece la formación de agregados, y por tanto, el sistema es capaz de solubilizar dentro de la microemulsión un volumen de cada fase (fase acuosa y orgánica). Debido a que esta nueva especie de moléculas anfífilicas posee un contraíón orgánico como el imidazol, la repulsión entre las cabezas de los grupos carboxilatos se hace mínima favoreciendo su agregación con la concentración del anfífilo, y necesitando menor concentración de electrolito y co-surfactante para promover luego la migración del anfífilo hacia la fase orgánica [16-18]. Al aumentar la longitud de la cadena es necesario un menor porcentaje de sal y alcohol, la sinergia entre ambas variables modifica el ambiente fisicoquímico del sistema promoviendo un cambio de transición de fase. Así, al aumentar el carácter lipofílico de la especie anfífilica, la preferencia por la fase orgánica es mayor, por tanto es necesaria una menor concentración de las variables antes descritas.

El tamaño de gota se puede determinar por varios métodos experimentales basados en fenómenos físicos; la espectroscopia UV-Visible suministra datos útiles de esta medida, interpretándose la información espectral mediante la teoría de Mie, la cual describe el comportamiento de partículas esféricas de tamaño arbitrario por efecto de la dispersión de luz. Realizando una grafica tridimensional del tamaño de gota en función de las variables estudiadas, en este caso NaCl y *n*-BuOH es posible la observación de la influencia que tienen dichas variables en los sistemas preparados y conjuntamente evaluar el efecto al aumentar la concentración de anfífilo y la lipofilidad. En la Figura 4 se observaron los diagramas de superficie de tamaño de gota del IMIC₁₂ a diferentes concentraciones en función de las concentraciones de NaCl y de *n*-BuOH estudiados. Se observó en primer lugar el diagrama de superficie (A) de los

sistemas realizados con 0,1%*m/v* del mismo, junto con las concentraciones sal/alcohol que se destacan. Se puede apreciar, que los valores de tamaño de gota se incrementan hasta llegar a un punto donde se genera un máximo, con un descenso posterior, este incremento revela formulaciones donde no ocurren cambios en el tamaño de gota, debido a que en éstos la transición de fase no se ha llevado a cabo, es decir, en este caso en particular sólo se obtuvieron sistemas WI.

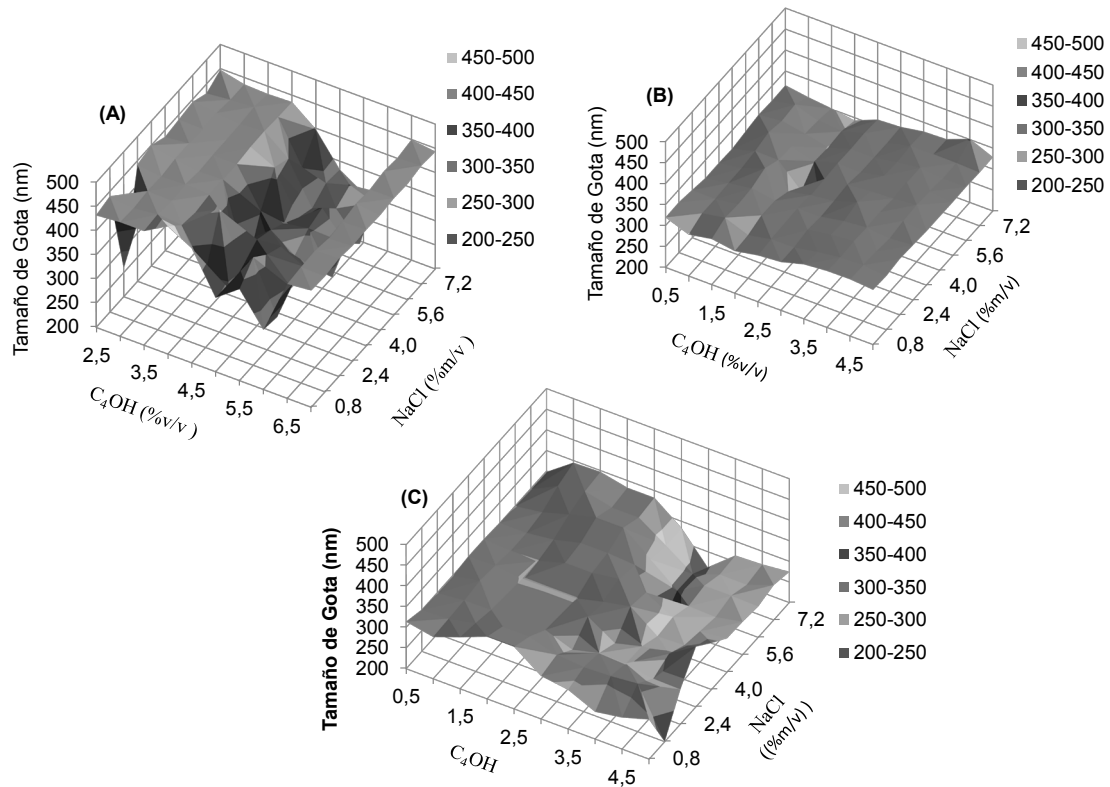


Figura 4. Gráfico de superficie de tamaño de gota del sistema IMIC₁₂/querosén/agua/sal/alcohol (A) 0,1%*m/v*, (B) 0,3%*m/v*, (C) 0,5%*m/v*

Se observó una concordancia con lo presentado a nivel de mapas de formulación y medidas de conductividad, las curvas de tamaño de gota guardan una relación similar con las variables de formulación estudiadas. En donde éstas, tanto en el mapa de formulación visual, como en el de conductividad, demostraron ser sistemas WI, es decir, emulsiones tipo O/W. Para el caso del diagrama (B) en donde la concentración de IMIC₁₂ es 0,3%*m/v* no se observaron cambios significativos en esta propiedad. Sin embargo, el tamaño de gota en este caso es menor alrededor de 350 nm en comparación con la de menor concentración, cuyo valor de tamaño de gota está entre los 450 nm. Esto puede atribuirse, a la rápida separación de los sistemas emulsionados al momento de la agitación. En la Figura 4 (C), en donde la concentración de IMIC₁₂ es de 0,5%*m/v* se observó un tamaño de gota elevado con las menores concentraciones de sal-alcohol. No obstante, al aumentar la concentración de dichas variables, se registró un descenso en el tamaño de gota. Esto se debe precisamente, al aumento de la concentración de anfífilo, lo cual concuerda con lo notado visualmente en los barridos de formulación, siendo a esta concentración en donde se obtuvo mayor cantidad de sistemas trifásicos WIII.

En el caso de los anfífilos IMIC₁₄ y IMIC₁₆ a una concentración de 0,3%*m/v* no se encontraron cambios en el tamaño de gota, a medida que varían las concentraciones de sal y alcohol, esto sugiere que una mayor lipofiliencia implica una menor influencia de dichas variables en el tamaño de gota de los sistemas preparados con esta nueva familia de anfífilos de contraíón orgánico. No obstante, al incrementarse la cadena hidrocarbonada del anfífilo se produce un empaquetamiento micelar más compacto, esto unido a concentraciones salinas que permitan una mayor cantidad de moléculas de anfífilo de contraíón orgánico en la micela, genera una rigidez adicional, por lo que si bien al aumentarse la hidro-

fobicidad se solubiliza eficientemente el aceite, se dificulta un poco más el intercambio micelar, dando como resultado que la variación de tamaño de gota alcanzado en la transición sea menor, a medida que se incrementa la cantidad de átomos de carbonos, lo cual es concordante con la relación inversa sal/alcohol expuesta a lo largo de esta investigación.

Conclusiones

Se sintetizó una familia de tensoactivos basados en sales de alquilcarboxilatos de imidazolio (IMICn), lo cuales producen transiciones de fase de tipo WI→WIII→WII. En estas sales la naturaleza del contraión orgánico influye marcadamente en la transición de fase. Se observó que, un aumento de la concentración del anfifilo favorece la formación de mayor cantidad de sistemas trifásicos debido a una mayor formación de agregados.

Por otro lado, el uso de las variables de formulación, NaCl y *n*-butanol es indispensable para promover la transición de fase, se pudo notar que existe un efecto compensatorio entre ambas, por lo que al aumentar la concentración de NaCl es necesaria una menor concentración de *n*-butanol para el cambio de fase. El estudio de conductividad permitió observar la inversión de la emulsión bajo el efecto de las variables de formulación estudiadas.

Los sistemas con IMIC₁₂ partieron de emulsiones O/W. El tamaño de gota encontrado para estas emulsiones varía según las variables fisicoquímicas y el cambio de fase, obteniéndose emulsiones con tamaño de gotas sub-micrométricas proporcionando gran estabilidad a los sistemas. Las medidas de conductividad y tamaño de gota permitieron determinar el tipo de emulsión formada.

Referencias Bibliográficas

- [1] Alimohammadi M., Javadian S., Gharibi, H., Tehrani-Bagha A., Mohammad R., Aggregation behavior and intermicellar interactions of cationic Gemini surfactants: Effects of alkyl chain, spacer lengths and temperature. *J. Chem. Thermodynamics* Vol. 44, No. 1, (2012), 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2011.08.007>
- [2] Asadov Z., Tantawy A., Zarbaliyeva I., Rahimov R., Synthesis of new surface-active ammonium-type complexes based on palmitic acid for removing thin petroleum films from water surface. *Egypt J. Pet.* Vol. 22, No. 2, (2013), 261-267. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2013.06.005>
- [3] Asadov Z., Rahimov R., Mammadova K., Ahmadova G., Ahmadbayova, S., Effect of organic counterions on the properties of *n*-lauryl diisopropanolamine surfactants. *J. Dispersion Sci. Technol.* Vol. 36, No. 7, (2015), 1022-1028. <https://doi.org/10.1080/01932691.2014.945125>
- [4] Caili D., Mingyong D., Yifei L., Shilu W., Jianhui Z., Ang C., Dongxu P., Mingwei Z., Aggregation behavior of long-chain piperidinium ionic liquids in ethylammonium nitrate. *Molecules.* Vol. 19, No. 2, (2014), 20157-20169. DOI: 10.3390/molecules191220157
- [5] Fameau A., Gaillard C., Marion D., Bakan B., Interfacial properties of functionalized assemblies of hydroxy-fatty acid salts isolated from fruit tomato peels. *Green Chem.* Vol. 15, No. 2, (2013), 341-346. <http://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2013/gc/c2gc36677k#!divAbstract>
- [6] Matsubara H., Onohara A., Imai Y., Shimamoto K., Takiue T., Aratono M., Effect of temperature and counterion on adsorption of imidazolium ionic liquids at air-water interface. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* Vol. 370, No. 1-3, (2010), 113-119. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2010.08.057>

- [7] Fameau A., Zembb T., Self-assembly of fatty acids in the presence of amines and cationic components. *Adv. Colloid Interface Sci.* Vol. 207, No. 1, (2014), 43-64. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.11.017>
- [8] Winsor P., Solvent properties of amphiphilic compounds. Butterworths Scientific Publ. Ltd, London, Vol. 1, (1954), 1396-1415. DOI: 10.1002/ange.19560681521
- [9] Douliez J., Gaillard C., Self-assembly of fatty acids: from foams to protocell vesicles. *New J. Chem.* Vol. 38, No. 11, (2014), 5142-5148. <http://dx.doi.org/10.1039/C4NJ00914B>
- [10] Moradi T., Sohrabi B., Najafi M., Khani V., Adsorption and micellar phase properties of anionic surfactant in the presence of electrolyte and oil at different temperatures. *Fluid Phase Equilibria.* Vol. 337, No. 1, (2013), 370-378. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2012.10.006>
- [11] Hanno I., Centini M., Anselmi C., Bibiani C., Green Cosmetic Surfactant from Rice: Characterization and Application. *Cosmetics.* Vol. 2, No. 4, (2015), 322-341. doi:10.3390/cosmetics2040322
- [12] Rahimov R., Asadov Z., Coconut oil fatty acid ammonium-type salts. *J. Mol. Liq.* Vol. 182, No. 2, (2013), 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2013.03.013>
- [13] Wang J. and Wang H. (Eds.), Aggregation in systems of ionic liquids. In: Zhang S., Wang J., Lu X., Zhou Q. Structures and interactions of ionic liquids, structure and bonding. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. Vol. 151, No. 1, (2014), 39-77. Obtenido de: DOI 10.1007/978-3-642-38619-0_2
- [14] Mrinmoy B., Madhab D., Pabitra N., Sharmistha G., and Tarun K., Imidazolium-based ionic liquids with different fatty acid anions: phase behavior, electronic structure and ionic conductivity investigation. *Phys. Chem. Chem. Phys.* Vol. 16, No. 30, (2014), 16255-16263. Obtenido de: 10.1039/C4CP01324G
- [15] Xiu Y., Xiaoyun F., Qintang L., Xiao C., Chuanyi W., Aggregation behaviors of alkyl ether carboxylate surfactants in water. *J. Mol. Liquids.* Vol. 227, No. 1, (2017), 161-167. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.12.010>
- [16] Vlasta T., Tea, M., Review on properties of solid cationic surfactants. Main applications and perspectives of new cationic surfactants and compounds with cationic assisted synthesis. *J. Dispersion Sci. Technol.* Vol. 38, No. 4, (2017), 515-544. Obtenido de: <https://doi.org/10.1080/01932691.2016.1180992>
- [17] Sahle F., Metz H., Wohlrab J., Neubert R., Polyglycerol fatty acid ester surfactant-based microemulsions for targeted delivery of ceramide AP into the stratum corneum: Formulation, characterization, in vitro release and penetration investigation. *Eur. J. Pharm. and Biopharm.* Vol. 82, No. 1, (2012), 139-150. Obtenido de: <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2012.05.017>
- [18] Samy S., Ismail A., Abdallah I., Surface parameters and biological activity of n-(3-(dimethyl benzyl ammonio) propyl) alkanamide chloride cationic surfactants. *J. Surfact. Deterg.* Vol. 19, No. 3, (2016), 501-510. Obtenido de: <https://doi.org/10.1007/s1174>

