

## 9

## EFECTO DEL DOBLE ENLACE EN LA FORMACIÓN DE MICELAS MEZCLADAS PARA EL SISTEMA 10-UNDECENOATO DE SODIO – DODECANOATO DE SODIO

---

### 9.1 INTRODUCCIÓN

---

En los capítulos anteriores se estableció que la presencia de dobles enlaces en la cadena hidrocarbonada de uno de los componentes causa efectos no previstos en la idealidad de la mezcla de sustancias tensioactivas, originados en la interacción mediante enlaces de hidrógeno entre el agua y los electrones  $\pi$  de los dobles enlaces. Simulaciones computacionales apoyan la explicación de que estas interacciones causan una reducción de la energía libre de la formación de micelas, que es la causa del comportamiento no ideal [1,2].

Se encontró en este laboratorio que una mezcla aniónica-aniónica (oleato de sodio-dehidrocolato de sodio) también muestra un comportamiento que puede ser atribuido a esta interacción [3]. Sin embargo, en este caso, la estructura inusual del componente derivado de sales biliares puede también jugar un rol en la interacción no ideal.

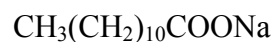
Para elucidar en forma inequívoca el efecto del doble enlace, es necesario eliminar todas las demás posibles causas de no idealidad. A fin de determinar cuánto de la no idealidad observada en el sistema SUD – DTAB correspondía a interacciones entre grupos polares de carga opuesta y cuánto a las interacciones del doble enlace del SUD con el agua, se estudió una mezcla de jabones aniónicos que tienen casi la misma longitud de cadena hidrocarbonada y el mismo grupo polar: **dodecanoato de sodio** (SDD) y **10-undecenoato de sodio** (SUD).

---

Este último surfactante ha sido elegido debido a que fue extensamente estudiado en nuestro laboratorio [1,4-7]. A continuación se presentan sus fórmulas químicas:



**Undecenoato de Sodio**



**Dodecanoato de Sodio**

En una mezcla de dos surfactantes hidrocarbonados teniendo el mismo grupo polar (en este caso, carboxilato) y casi la misma longitud de cadena, pero uno de ellos con un grupo vinilo, es necesario obtener valores del parámetro de interacción micelar  $\beta_M$  para varias mezclas y verificar si esos valores difieren estadísticamente de cero, como lo establece la teoría de soluciones regulares combinada con el modelo de micelización considerado como separación de fases, para micelas mezcladas de homólogos.

Sin embargo, hemos estudiado el efecto de la diferencia de longitudes de las cadenas hidrocarbonadas ( $\Delta n_C$ ) sobre el valor de  $\beta_M$  en micelas de homólogos mezclados [8], lo que se informa en el Capítulo 11 y encontramos que independientemente de la naturaleza del grupo polar, el parámetro de interacción es negativo (es decir, corresponde a una interacción atractiva) y crece con el incremento de  $\Delta n_C$ . En particular, para  $\Delta n_C = 1$  (que es el caso en este capítulo),  $\beta_M = \beta_{M \text{ núcleo hidrocarbonado}} = (-0.129 \pm 0.088)k_B T$  [8]. Consecuentemente, si los valores de  $\beta_M$  obtenidos en el sistema mezclado SUD-SDD difieren significativamente (desde el punto de vista estadístico) de este valor, el efecto debe ser asignado a la interacción del grupo vinilo del SUD con el solvente.

## 9.2 TEORIA

---

La teoría de micelas mezcladas basada en la teoría de soluciones regulares (o teoría de Rubingh) ha sido detallada en el Capítulo 2.

El método de Evans para determinar el grado de ionización micelar y el método para determinar números de agregación por medidas de fluorescencia, fueron detallados respectivamente en los puntos 3.1.2.1 y 3.7 del Capítulo 3.

---

### 9.3 EXPERIMENTAL

El dodecanoato de sodio (SDD) fue obtenido por neutralización de ácido dodecanoico con NaOH. Los demás reactivos como undecenoato de sodio (SUD), ácido dodecanoico, pireno y cloruro de hexadecilpiridinio ( $C_{16}PyCl$ ), fueron obtenidos de Aldrich con pureza mayor al 99% y usados tal como se recibieron.

Para preparar las diferentes muestras, se pesó la cantidad apropiada de cada surfactante y se disolvió en agua bidestilada para producir soluciones concentradas. Entonces se vertió el volumen necesario de cada solución en frascos volumétricos obteniéndose las mezclas correspondientes cuya fracción molar en SUD (sin considerar el agua) varió entre  $\alpha_{SUD} = 0$  (solución de SDD puro), 0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.5; 0.6; 0.7; 0.8; 0.9 y 1 (solución de SUD puro). Usando las CMC de los surfactantes puros de literatura, todas las soluciones se prepararon a una concentración mayor que la predicha por la teoría de soluciones regulares de micelas mezcladas para cada proporción, suponiendo comportamiento ideal.

Las mediciones de conductividad se realizaron con una celda de inmersión y un conductímetro automático Antares II de Instrumentalia, para determinar la CMC se utilizó el procedimiento de  $\Delta\kappa$  detallado en el punto 3.1.1 del Capítulo 3. También se utilizaron las técnicas de solubilización de Sudan Negro B ya que este no se disuelve en medio alcalino, determinando la absorbancia a  $\lambda = 600$  nm con un espectrofotómetro Spectronic 20, y de cambio de fluorescencia y coloración con Rodamina 6G. A continuación se presentan algunas medidas realizadas:

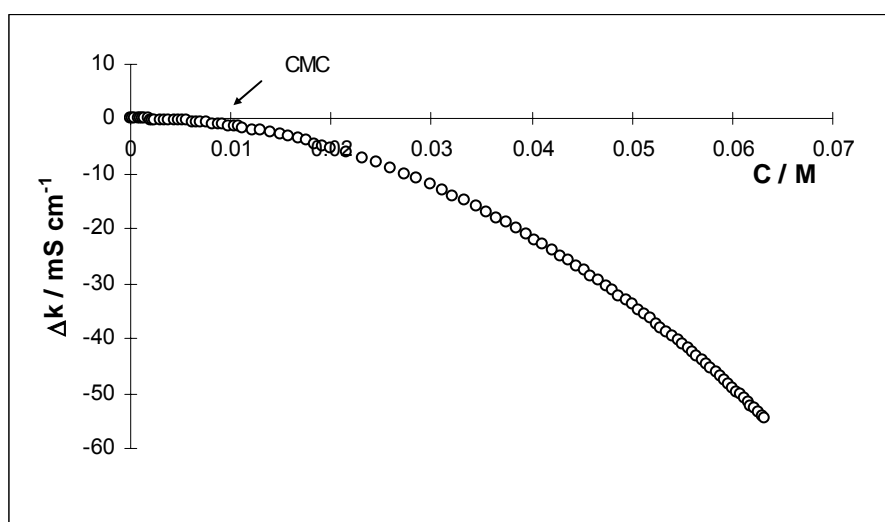
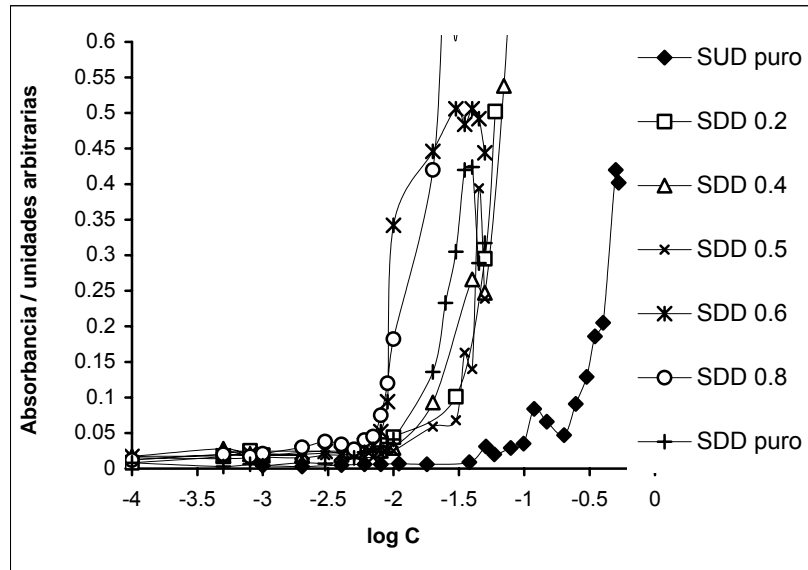
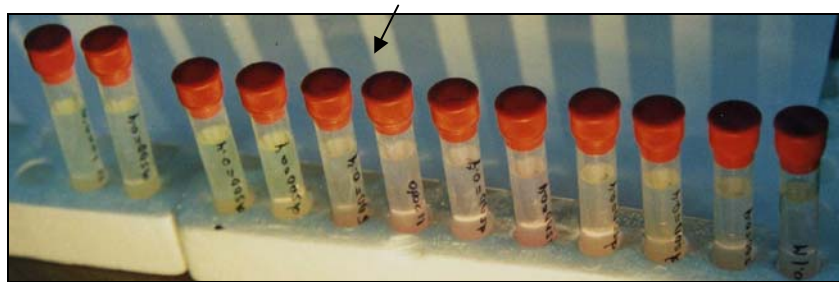


Figura 9.1  $\Delta\kappa$  en función de la concentración molar para  $\alpha_{SUD}=0.7$ .



**Figura 9.2** Medidas de Absorbancia en función del logaritmo decimal de la concentración molar para diferentes proporciones del sistema SUD-SDD. A cada concentración se le agregan unos cristales de Sudan Negro B, se deja estabilizar y luego se determina la absorbancia.



**Figura 9.3** Determinación de la CMC de una mezcla  $\alpha_{\text{SUD}}=0.4$  para el sistema SUD – SDD en agua, mediante el cambio de color y fluorescencia de rodamina 6G. La flecha indica la transición entre soluciones micelares y monoméricas

Los experimentos de fluorescencia estática se llevaron a cabo utilizando un espectrómetro de luminiscencia Perkin-Elmer LS-50B [9]. Se utilizó una cubeta de cuarzo de 10 nm de ancho y una capacidad máxima de 3 mL, que posee un tapón de teflón para evitar procesos de evaporación. El fluorímetro permite trabajar a temperatura controlada ya que puede conectarse a un circuito de agua recirculada en torno a la cubeta de medida. Las rendijas de excitación y de emisión se fijaron a 2,5 nm y la velocidad de barrido se seleccionó en 240 nm/min. En este experimento de fluorescencia estática se ha usado al pireno como sonda fluorescente, mientras que como quencher estático se ha utilizado al cloruro de hexadecilpiridinio ( $\text{C}_{16}\text{PyCl}$ ). La longitud de onda de excitación ( $\lambda_{\text{exc}}$ ) fue seleccionada en 342 nm mientras que el espectro de emisión se recogió desde los 360 hasta los 500 nm. El primer y tercer pico de intensidad del pireno aparecen a 373 y 385 nm respectivamente. El par

pireno/ $C_{16}PyCl$  asegura que el tiempo de residencia del quencher en la micela sea mas largo que el tiempo de vida de la sonda de fluorescencia [10]. Las disoluciones se prepararon siguiendo el procedimiento de Infelta y Grätzel [11] de la siguiente manera: primeramente se añadió un volumen ( $\sim 100 \mu L$ ) de una disolución de pireno en etanol  $2,636 \cdot 10^{-4} M$  a un vial y se evaporó el disolvente con una leve corriente de aire. Una vez que el pireno cristalizó, se agregó la disolución de SUD + SDD a una fracción molar  $\alpha_{SUD}$  conocida y a una concentración 2CMC para asegurar la presencia de micelas mezcladas y la solubilización de las sondas en las micelas. A continuación se añadieron 1,5 mL de la disolución Pireno + SUD + SDD a la cubeta de cuarzo. Esta disolución constituyó la primera medida de intensidad de fluorescencia  $I_0$ , caracterizada por la ausencia del quencher. El resto de la disolución Pireno + SUD + SDD, fue agregado a un vial conteniendo una cantidad conocida de  $C_{16}PyCl$ , formando así la disolución de quencher (Q + Pireno + SUD + SDD); con la que se tituló a la solución contenida en la cubeta de cuarzo y se determinó la fluorescencia luego de cada agregado. Se observó que la intensidad del pireno fue disminuyendo y se registró la intensidad del primer y tercer pico.

La concentración de pireno en la solución es constante alrededor de  $2 \cdot 10^{-6} M$  y la concentración de quencher se varió dependiendo de la fracción molar del sistema, de 0 a  $22 \cdot 10^{-5} M$ . Estos valores dan una relación de concentraciones de  $[pireno]/[micelas\ mezcladas] = 0.01$  y de  $[quencher]/[micelas\ mezcladas] = 0.9$ , asegurando así la distribución de Poisson [11-14]. Aunque el quencher es un surfactante y se espera que se mezcle con las micelas de SUD-SDD, su concentración es baja comparada con la de los dos jabones, por lo tanto se asume que no produce ningún efecto de interacción con la micela [15].

Todas las medidas se hicieron a  $25.00 \pm 0.01 \text{ } ^\circ C$ .

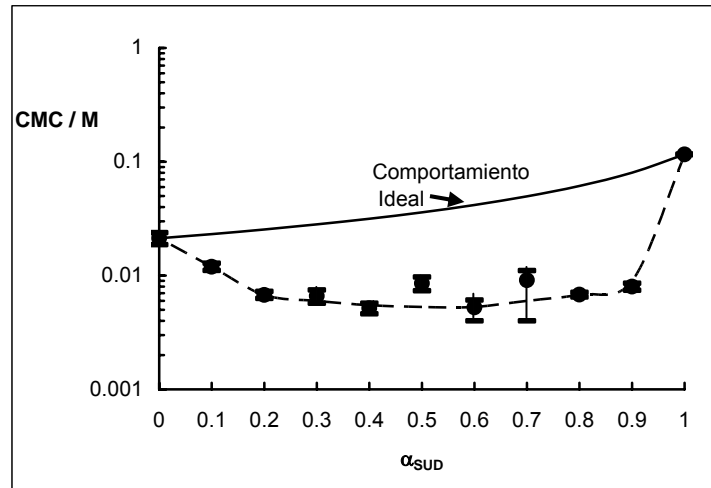
## **9.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

---

### 9.4.1 ANÁLISIS DE LAS MICELAS MEZCLADAS SEGÚN LA TEORÍA DE SOLUCIONES REGULARES

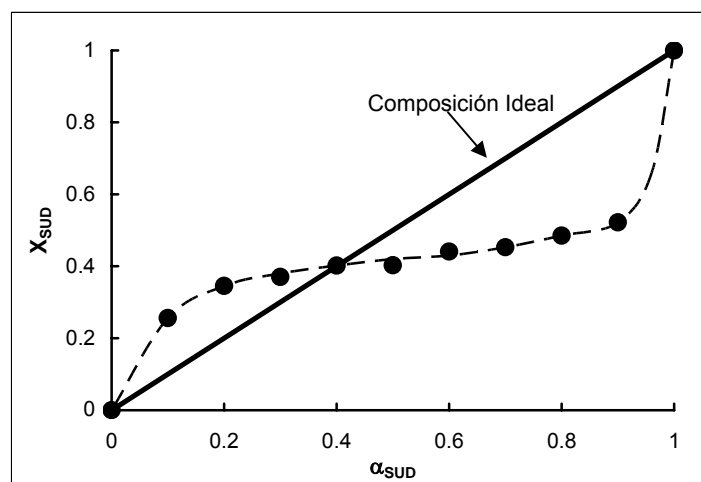
La Figura 9.4 representa los valores obtenidos de CMC en función de la fracción molar de SUD,  $\alpha_{SUD}$ , se puede observar que los valores son inferiores a los que tendría una mezcla ideal.

---



**Figura 9.4** Concentración micelar crítica para el sistema SUD-SDD en función de la composición total de la mezcla de surfactantes, determinadas por medidas de conductividad, solubilización con colorantes y Rodamina 6G.

La Figura 9.5 muestra la composición de las micelas,  $X_{SUD}$ , en función de la composición total  $\alpha_{SUD}$ , calculada por el procedimiento detallado en el punto 2.2 del Capítulo 2. Se puede ver claramente que hay una composición preferencial,  $X_{SUD} \approx 0.35-0.48$ , similar a lo obtenido en el Capítulo 5 para SUD-DTAB con  $X_{SUD} \approx 0.33-0.47$ . Se observa que la proporción más favorable en las micelas resulta la de  $\alpha_{SUD} = 0.4$  con  $X_{SUD} = 0.4$ . Las micelas con  $\alpha_{SUD} < 0.4$  son más ricas en SUD que la solución intermicelar, lo cual no era lo esperado ya que el SUD es más soluble en agua que el SDD. Las micelas con  $\alpha_{SUD} > 0.4$  son más ricas en SDD. Esto indica que hay algún tipo de interacción no prevista en la teoría empleada.



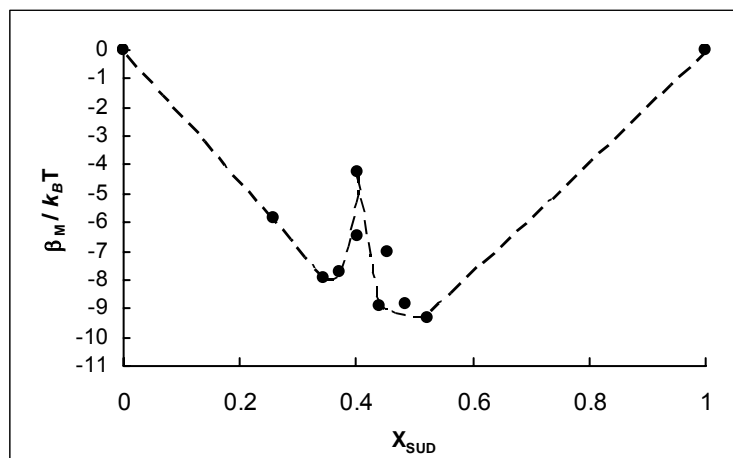
**Figura 9.5** Composición de las micelas mezcladas en función de la composición total de surfactante.

La Figura 9.6 representa el parámetro de interacción  $\beta_M$  en función de la composición de las micelas  $X_{SUD}$ , calculado según el punto 2.2 del Capítulo 2. Todas las mezclas muestran

valores más negativos de  $\beta_M$  que los obtenidos por diferencia de longitud de cadena ( $(-0.129 \pm 0.088)k_B T$ ) [8]. Los valores se encuentran entre los encontrados para sistemas iónicos – no iónicos como la mezcla SDS – poli(oxietileno) (4) dodecileter ( $-3.9 k_B T$ ) [16] y el sistema catiónico decilsulfato de sodio – bromuro de deciltrimetilamonio ( $-13.2 k_B T$ ) [17]. Esto indica comportamiento no ideal. La Figura 9.6 muestra un máximo en  $\beta_M = (-4.22 k_B T)$  en  $X_{SUD} = 0.397$ , parece extraño por estar cerca de la composición preferencial. Sin embargo, de la Figura 9.5 se desprende que la composición de la micela coincide con la composición total del surfactante, es decir, cuando  $X_{SUD} = 0.4$  el sistema se comporta como ideal y  $\beta_M$  debe disminuir. El parámetro de interacción no puede ser cero porque la conformación de los surfactantes en la micela no es la misma que en los surfactantes puros. En las micelas de SDD puro algunas porciones de las cadenas saturadas permanecerán en contacto con el agua y en las micelas de SUD puro, algunos grupos insaturados permanecerán en el medio hidrocarbonado. Estas situaciones están representadas en la próxima Ecuación 9.1 por  $W_{11}$  y  $W_{22}$  ya que el parámetro  $\beta_M$  está relacionado con las interacciones moleculares en la micela mezclada por [18]:

$$\beta_M = N_A(W_{11} + W_{22} - 2W_{12}) \quad (9.1)$$

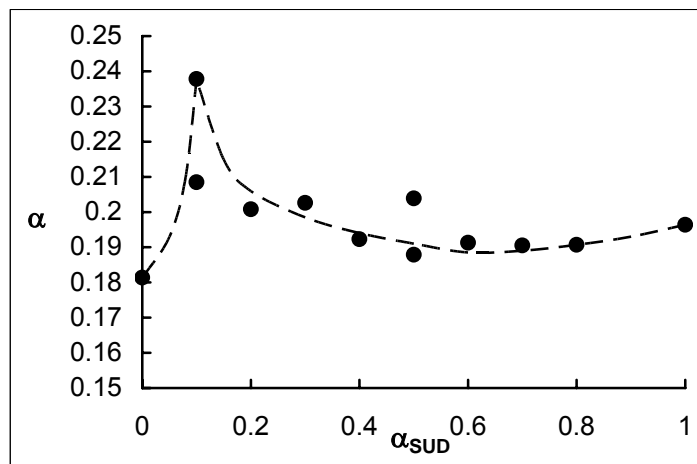
donde  $W_{11}$  y  $W_{22}$  son la energía de interacción entre moléculas en una micela de un surfactante puro y  $W_{12}$  aquella entre las dos especies en la micela mezclada, siendo  $N_A$  el número de Avogadro. En la composición preferencial la micela tendrá cadenas de SDD en todo el medio hidrocarbonado y los grupos vinilos todos en contacto con el agua. Esto significa que  $W_{12}$  es diferente de  $W_{11}$  y  $W_{22}$  y por lo tanto da un valor de  $\beta_M$  máximo, lo cual es similar a lo esperado en mezclas de surfactantes iónicos – no iónicos.



**Figura 9.6** Parámetro de interacción  $\beta_M$  en función de la composición de la micela en la CMC,  $X_{SUD}$ , obtenido por el procedimiento de Rubingh.

El grado de ionización de las micelas,  $\alpha$ , obtenido de la ecuación de Evans, como se observa en la Figura 9.7, es estadísticamente independiente de la composición de la mezcla de surfactantes  $\alpha = 0.206 \pm 0.015$  (con la excepción de la mezcla con  $\alpha_{SUD} \approx 0.1$ ). Entonces, si se considera que el parámetro  $\beta_M$  refleja las dos principales contribuciones a la energía libre de micelización mezclada, la contribución electrostática en la ecuación  $\beta_M = \beta_{M,núcleo} + \beta_{M,elec}$  debe ser cercana a cero. Debe recordarse que  $\beta_M$  es la energía de interacción en exceso entre componentes, entonces un valor de  $\alpha$  independiente de  $\alpha_{SUD}$  indica que la estructura de la capa de Stern no cambia significativamente, por lo tanto, toda no idealidad debe provenir de  $\beta_{M,núcleo}$ .

Una posible explicación de la forma de la Figura 9.7 es que la inclusión de unas pocas moléculas de SUD en las micelas de SDD ( $\alpha_{SUD} \approx 0.1$ ) produce una separación de los grupos carbonilo de la capa de Stern por intercalación de los grupos vinilo, disminuyendo el potencial superficial y aumentando  $\alpha$ , pero a  $\alpha_{SUD} \geq 0.2$ , la capa de Stern de las micelas mezcladas tiene esencialmente la estructura de las de SUD puro, y en consecuencia el valor del grado de ionización se hace prácticamente independiente de la composición.



**Figura 9.7** Grado de ionización en función de la composición de la mezcla.

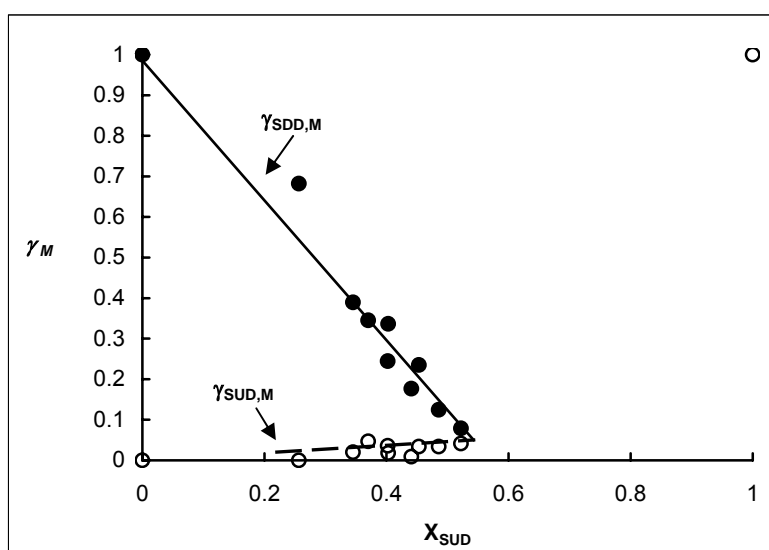
La Figura 9.8 representa los coeficientes de actividad  $\gamma_M$  de los surfactantes en las micelas mezcladas calculados con:

$$\gamma_{SUD,M} = \exp(\beta_M X_{SDD}^2) \quad (9.2)$$

$$\gamma_{SDD,M} = \exp(\beta_M X_{SUD}^2) \quad (9.3)$$



Se puede ver que  $\gamma_{\text{SUD}}$  es casi constante y mucho menor que  $\gamma_{\text{SDD}}$  en las micelas mezcladas, lo que indica que la situación energética de las moléculas de SUD en las micelas no cambia significativamente con la composición. Se puede pensar que en todas las composiciones exploradas los grupos vinilo están en contacto con agua y entonces no cambia significativamente la energía del SUD en las micelas. La disminución de  $\gamma_{\text{SDD}}$  con el aumento de  $X_{\text{SUD}}$  se puede interpretar por la suposición de que el aumento de SUD en las micelas reducirá el contacto entre las cadenas saturadas del SDD y el agua. Como este contacto es energéticamente desfavorable, la reducción del contacto debe aumentar la solubilidad de las moléculas de SDD en las micelas y por eso se reduce su coeficiente de actividad.

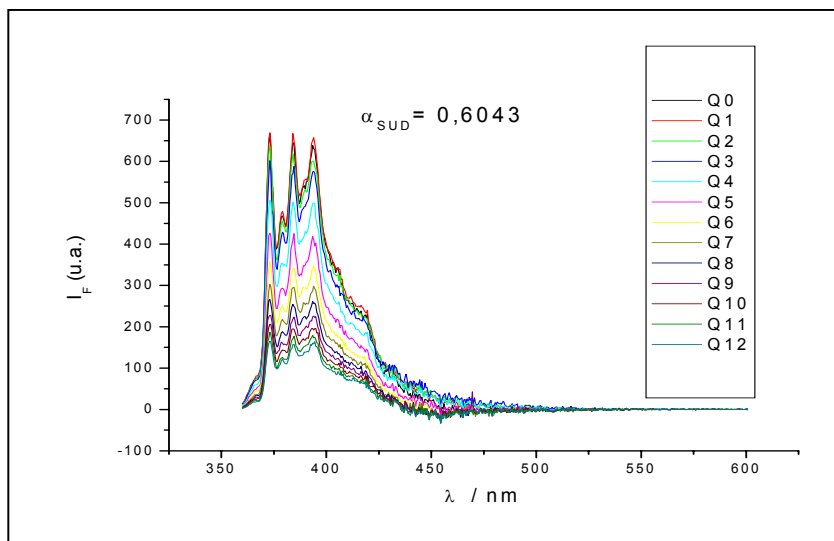


**Figura 9.8** Coeficientes de actividad de los componentes en las micelas mezcladas en función de la composición de las micelas en la CMC, obtenidos por el procedimiento de Rubingh.

Entonces, los valores de  $\beta_M$  obtenidos pueden ser atribuidos al efecto de los enlaces hidrogeno entre el agua y los electrones  $\pi$ . Cabe aclarar que este efecto no es considerado por las teorías de micelas más empleadas en la literatura y que es una verificación directa de la interacción de electrones  $\pi$  con el agua. En general la interacción entre el agua y los electrones  $\pi$  aromáticos está mejor establecida, pero las interacciones con dobles enlaces alifáticos son objeto de controversia.

9.4.2 NÚMERO DE AGREGACIÓN DE LAS MICELAS MEZCLADAS

El estudio de la fluorescencia en estado estacionario se llevó a cabo con el fin de conocer el número de agregación de las micelas mezcladas, N. Para ello se realizaron espectros de emisión de fluorescencia del pireno para distintas disoluciones de: [Pireno + SUD + SDD] a determinadas fracciones molares  $\alpha_{SUD}$ , tanto en ausencia como en presencia de distintas concentraciones de C<sub>16</sub>PyCl. Como ejemplo se presenta en la Figura 9.9 el espectro de emisión de fluorescencia del pireno a  $\alpha_{SUD} = 0,6043$  para distintas concentraciones de quencher.



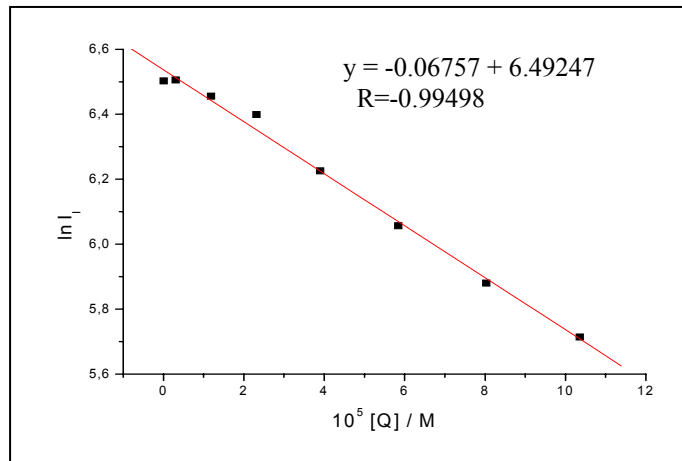
**Figura 9.9** Espectro de emisión de fluorescencia de pireno  $2 \cdot 10^{-6}$  M en disolución acuosa de SUD + SDD postmicelar a  $\alpha_1 = 0,6043$ ,  $[S]_{tot} = 0.0241$  M y a una temperatura constante de 298,15 K. La curva Q0 está medida en ausencia de quencher C<sub>16</sub>PyCl, mientras que las curvas Q1 a Q12 se dan en presencia de C<sub>16</sub>PyCl con un rango de concentraciones de  $0,30 \cdot 10^{-5}$  a  $21,5 \cdot 10^{-5}$  M.

Representando el logaritmo decimal de la intensidad del primer pico de emisión del pireno,  $\ln I^1$ , en función de la concentración de quencher, [Q], se logra calcular N para cada  $\alpha_{SUD}$  a partir de las pendientes de las rectas de ajuste, según la ecuación [12, 14]:

$$\ln I = \ln I_0 - \frac{[Q]}{[micelas\ mezcladas]} = \ln I_0 - \frac{N[Q]}{[S]_{tot}^{mic}} \tag{9.4}$$

teniendo en cuenta que  $[S]_{tot}^{mic} = ([S]_{tot} - CMC)$  es la concentración de tensioactivo total dentro de la micela mixta, con  $[S]_{tot}$  la concentración total de tensioactivo y CMC es la concentración micelar crítica. I y I<sub>0</sub> son las intensidades de fluorescencia medidas en presencia y ausencia de

quencher, respectivamente; [Q] es la concentración de quencher en la micela; [micelas mezcladas] es la concentración de micelas presentes en la disolución y N es el número de agregación. La Figura 9.10 presenta los valores experimentales de  $\ln I^I$  en función de [Q] para un  $\alpha_{SUD} = 0,6043$ , así como el ajuste lineal de los datos. Se presenta a continuación un ejemplo de cálculo del número de agregación para la mencionada proporción.



**Figura 9.10** Representación del logaritmo neperiano de la intensidad de fluorescencia del primer pico del espectro del pireno,  $\ln I^I$ , en función de [Q] para una disolución Pireno + SUD+ SDD posmicelar, donde la [Pireno] =  $2 \cdot 10^{-6}$  M y  $\alpha_{SUD} = 0,6043$ .

$$[S]_{tot}^{mic} = [S]_{tot} - CMC = 0.0241 \text{ M} - 0.0053 \text{ M} = 0.0188 \text{ M y:}$$

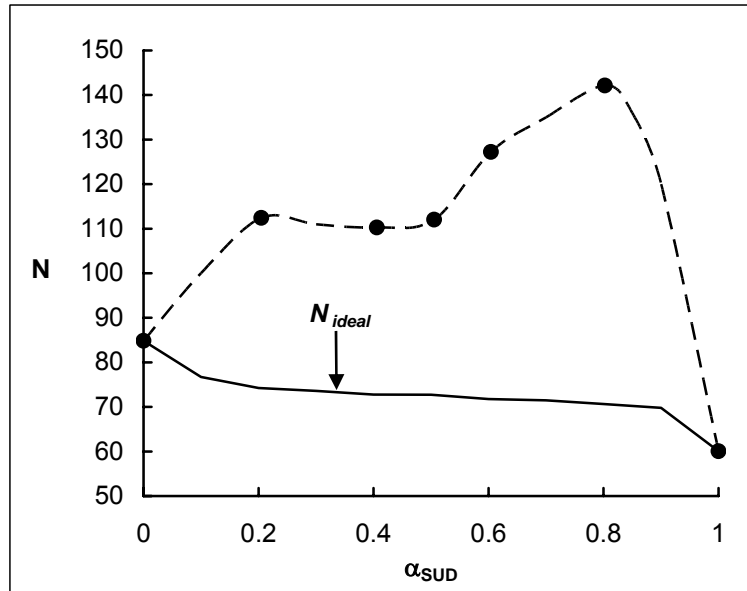
$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = -\frac{N}{[S]_{tot}^{mic}} \tag{9.5}$$

$$-0.06757 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} = -\frac{N}{0.0188 \text{ M}} \rightarrow N = 127 \tag{9.6}$$

El resto de las medidas dieron gráficos similares.

La Figura 9.11 muestra el número de agregación N calculado por las medidas de fluorescencia. Se puede observar que el comportamiento es fuertemente no ideal y más elevado que el esperado; esto es acorde con los valores altamente negativos del parámetro de interacción. El valor obtenido del número de agregación para SDD fue de 84.8; en literatura no se encontraron datos para comparar, pero para dodecanoato de potasio a 25 °C  $N = 39$  [19], o desde 52 (C=5% en peso) a 69 (C=30% en peso) [20]. Tampoco se encontraron datos para el SUD. El valor obtenido para el número de agregación del SUD puro fue de 60.1. El valor

máximo encontrado para estas mezclas fue para  $\alpha_{\text{SUD}} = 0.8$  con  $N=142.5$  que corresponde a  $X_{\text{SUD}} = 0.47$ , es decir la composición de micela alrededor de la cual se encuentra el mínimo valor de  $\beta_M$  que puede verse en la Figura 9.6, lo cual está de acuerdo con la idea de que cuanto más intensa es la interacción atractiva, mayor es el tamaño de la micela.



**Figura 9.11** Número de agregación para las micelas mezcladas a 2 veces la CMC, obtenidos por el método de fluorescencia estático.

El número de agregación ideal,  $N_{\text{ideal}}$ , se calcula como:

$$1/N_{\text{ideal}} = \sum X_i/N_i \quad (9.7)$$

con  $N_i$  el número de agregación de la micela  $i$  pura [21].

## 9.5 CONCLUSIONES

---

Como conclusión general del trabajo se ha verificado que la causa de la no idealidad de la mezcla es la interacción entre los dobles enlaces de uno de los componentes de la mezcla y el agua, ya que la estructura e ionización de la capa iónica de Stern micelar no ha sido modificada; y la no idealidad del sistema es mucho mayor que la esperable de la diferencia de longitudes de cadenas hidrocarbonadas, se presenta un análisis más detallado sobre esta conclusión en el Capítulo 11.

---

Hay una composición preferencial de las micelas que aparece en  $X_{\text{SUD}} \approx 0.33-0.47$ .

En las micelas mezcladas el contacto entre las cadenas hidrocarbonadas del SDD y el agua se reduce cuando aumenta la proporción de SUD en las micelas, dando una mayor estabilidad a éstas.

El grado de ionización de las micelas es casi independiente de la composición, lo cual implica que la contribución electrostática a la energía de interacción intramicelar en exceso es insignificante.

Los números de agregación de las micelas mezcladas reflejan el comportamiento no ideal y se obtienen valores más altos que los esperados teóricamente. El valor máximo obtenido corresponde al mínimo del parámetro de interacción.

El efecto del doble enlace debe ser tenido en cuenta en el análisis del comportamiento de micelas mezcladas. Para analizar teóricamente esta conclusión se realizaron simulaciones computacionales que se han detallado en el Capítulo 8.

## 9.6 PUBLICACIÓN ORIGINADA EN ESTE CAPÍTULO

---

El trabajo expuesto en este capítulo fue publicado en el siguiente artículo:

- **M.B. Sierra**, M.A. Morini, P.C. Schulz, E. Junquera, E. Aicart, “Effect of double bonds in the formation of sodium dodecanoate and sodium 10-undecenoate mixed micelles in water”, *J. Phys. Chem. B*, 111: 11692-11699 (2007).

### AGRADECIMIENTO:

A la Universidad Complutense de Madrid donde se realizó parte del trabajo gracias al Proyecto de Cooperación Interuniversitaria A/ 3263/05 concedido por la Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) que me permitió una estadía de dos meses y medio en Madrid.

---

## 9.7 NOTACIÓN

---

$C$	concentración total de la mezcla
$I$	intensidad de fluorescencia medida en presencia de quencher
$I_0$	intensidad de fluorescencia medida en ausencia de quencher
$k_B$	constante de Boltzmann
$M$	concentración molar: mol/litro
$N$	número de agregación
$N_A$	número de Avogadro
$N_i$	número de agregación del componente $i$
$N_{ideal}$	número de agregación para comportamiento ideal
$[Q]$	concentración de quencher en la micela
$[S]_{tot}$	concentración total de tensioactivo
$[S]_{tot}^{mic}$	concentración de tensioactivo total dentro de la micela mixta
$T$	temperatura absoluta
$W_{ii}$	energía de interacción entre moléculas en una micela de un surfactante puro
$W_{12}$	energía de interacción entre las dos especies en la micela mezclada
$X_i$	fracción molar del componente $i$ en una micela mezclada, sin considerar al solvente

### Letras Griegas

$\alpha$	grado de ionización micelar
$\alpha_i$	fracción molar del componente $i$ en una mezcla de surfactantes, sin considerar al solvente
$\beta_M$	parámetro de interacción intramicelar en micelas mezcladas
$\beta_{M,elec}$	contribución electrostática de la capa de Stern al parámetro de interacción intramicelar en micelas mezcladas
$\beta_{M,núcleo}$	contribución del núcleo hidrocarbonado al parámetro de interacción intramicelar en micelas mezcladas
$\gamma_{i,M}$	coeficiente de actividad del componente $i$ en la micela mezclada
$\Delta\kappa$	diferencia entre la conductividad específica extrapolada desde concentraciones premicelares y la conductividad total
$\Delta n_C$	diferencia de longitudes de las cadenas hidrocarbonadas
$\lambda_{exc}$	longitud de onda de excitación

### Acrónimos

$C_{16}PyCl$	cloruro de hexadecilpiridinio
CMC	concentración micelar crítica
DTAB	bromuro de dodeciltrimetilamonio
SDD	dodecanoato de sodio
SUD	undecenoato de sodio

---

## 9.8 BIBLIOGRAFÍA

---

1. Sierra, M. B.; Morini, M. A.; Schulz, P. C.; Ferreira, M. L. *Colloid Polym. Sci.* (2005), 283, 1016.
  2. Ferreira, M. L.; Sierra, M. B.; Morini, M. A.; Schulz, P. C. *J. Phys. Chem.* (2006), 110, 17600.
  3. Messina, P.; Morini, M. A.; Schulz, P. C. *Colloid Polym. Sci.* (2003), 281, 1082.
  4. Sierra, M. B.; Morini, M. A.; Schulz, P. C. *Colloid Polym. Sci.* (2003), 282, 633.
  5. Sierra, M. B.; Messina, P. V.; Morini, M. A.; Ruso, J. M.; Prieto, G.; Schulz, P. C.; Sarmiento, F. *Colloids Surf., A* (2006), 277, 75.
  6. Rodríguez, J. L.; Schulz, P. C.; Puig, J. E. *Colloid Polym. Sci.* (1999), 277, 1072.
  7. Rodríguez, J. L.; Schulz, P. C.; Pieroni, O.; Vuano, B. *Colloid Polym. Sci.* (2004), 282, 734.
  8. Schulz P. C.; Rodríguez, J. L.; Minardi, R. M.; Sierra, M. B.; Morini, M. A. *J. Colloid Interface Sci.* (2006), 303, 264.
  9. Junquera, E.; Peña, L.; Aicart, E. *Langmuir* (1997), 13, 219.
  10. Malliaris, A.; Lang, J.; Zana, R. *J. Chem. Soc., Faraday Trans. 1* (1986), 82, 109.
  11. Infelta, P.; Gratzel, M. *J. Chem. Phys.* (1979), 70, 179.
  12. Zana, R. *Surfactant Solutions: New Methods of Investigation*; Marcel Dekker Inc.: New York, (1987).
  13. Infelta, P. P. *Chem. Phys. Lett.* (1979), 61, 88.
  14. Turro, N. J.; Yekta, A. *J. Am. Chem. Soc.* (1978), 100, 5951.
  15. Hansson, P.; Jonsson, B.; Strom, C.; Soderman, O. *J. Phys. Chem. B* (2000), 104, 3496.
  16. Rubingh, D. N. In *Solution Chemistry of Surfactants*, Vol. 1; Mittal, K. L., Ed.; Plenum Press: New York, (1979); p 337.
  17. Holland, P. M.; Rubingh, D. N. *J. Phys. Chem.* (1983), 87, 1984.
  18. Rubingh D.N. en Mittal K.L. (ed.) *Solution Chemistry of Surfactants*, vol. I, Plenum, New York, p. 337 (1979)
  19. Mattoon, R. W.; Stears, R. S.; Harkins, W. D. *J. Chem. Phys.* (1948), 16, 644.
  20. Wikander, G.; Johansson, L. B. Å. *Langmuir* (1989), 5, 728.
  21. Bucci, S.; Fagotti, C.; de Giorgio, V.; Piazza, R. *Langmuir* (1991), 7, 824
-