

Algunos materiales, como los ácidos grasos de cadena corta y alcoholes, son solubles en solventes como el agua y el aceite. La parte de hidrocarburo de la molécula es responsable de su solubilidad en el aceite, mientras que el grupo polar -COOH o -OH tiene afinidad suficiente al agua como para jalar una cadena no polar en la solución acuosa. Como resultado se tiene que éstas moléculas están en una interfase aire-agua (o aceite-agua), son capaces de orientar sus cabezas hidrofílicas en la fase acuosa y sus cadenas lipofílicas en la fase vapor o aceite, y por lo anterior se adsorben como una monocapa orientada ( Fig. 14).

Esta adsorción en forma de capa monomolecular o monocapa se llama actividad superficial. Los materiales de superficie activa (o surfactantes) consisten de moléculas que contienen partes polares y no polares. El proceso descrito anteriormente es un proceso dinámico : existe un balance entre la tendencia a adsorberse y a mezclarse completamente debido al movimiento térmico de las moléculas. La tendencia de las moléculas de surfactante a empaquetarse en una interfase favorece la expansión de la interfase; esto debe balancear la tendencia de la interfase a contraerse bajo las fuerzas de tensión superficial.

Los surfactantes tienen muchas aplicaciones : detergentes, pinturas, cosméticos, pesticidas, plásticos, etc. La parte hidrofílica de la mayoría de surfactantes solubles es a menudo un grupo iónico (los iones tienen gran afinidad por el agua), pero es posible tener grupos hidrofílicos no iónicos que también muestran gran afinidad por el agua.

Se clasifican de acuerdo con la carga que lleva la parte activa (o cabeza) de la molécula al ionizarse. Así, en los surfactantes aniónicos la carga es negativa como en el jabón ( $C_{17}H_{35}CO_2^- Na^+$ ), en un catiónico la carga es positiva ( como en  $(C_{18}H_{37})_2N^+(CH_3)_2Cl^-$ ), en un no-iónico no hay carga en la molécula ( como en  $C_{15}H_{31}(OC_2H_4)OH$  ) y, en un anfotérico, la solución se da por la presencia de cargas positivas y negativas en la molécula ( como en  $C_{12}H_{25}N^+(CH_3)_2CH_2CO_2^-$ ).

La tabla III da algunos otros ejemplos.

#### ANIONICOS:

Dodecil sulfato de sodio

estearato de sodio

dodecanato de sodio

#### CATIONICOS

dodecil amina hidrocioruro

hexadeciltrimetil bromuro de amonio NO-

#### IONICOS

oxidos de polietileno

Span (ester de sorbitan Tween

## 2.4. Características de los tensoactivos

### 2.4.1. Definición de adsorción

La propiedad de adsorción de un tensoactivo se debe a su dualidad (polar-apolar) al no lograr satisfacer su doble afinidad ni en un solvente polar, ni en uno orgánico. De modo que si se coloca tensoactivo en una interfase agua-aire o agua-aceite, éste puede orientarse de manera que el grupo polar esté en el agua, mientras que el grupo apolar se ubica hacia la otra fase involucrada, en el aire o en el aceite (Figura 4).

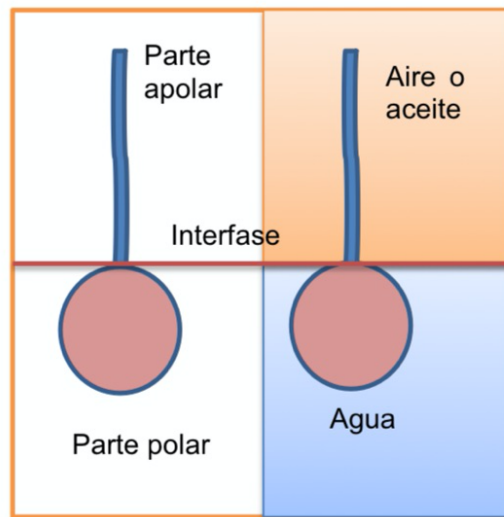


Figura 4. Orientación de la molécula del tensoactivo en la interfase agua-aceite.

El grado de adsorción de un tensoactivo en una interfase depende de la estructura de ésta y de la estructura de las dos fases que intervienen [30, 31]. La adsorción de un tensoactivo en una interfase líquido-líquido o en una superficie gas-líquido, produce una reducción de la tensión superficial de las fases involucradas, de ahí el nombre "tensoactivo".

#### 2.4.2. Definición de asociación

La capacidad de auto-asociación es otra propiedad fundamental de los tensoactivos en solución. El proceso de asociación de las moléculas anfífilas, es un fenómeno físico, razón por la cual, los agregados coloidales pueden cambiar de tamaño o la forma de su microestructura en respuesta a pequeños cambios en la concentración, en el contenido de sal, en la temperatura, pH y presión.

Al aumentar la concentración de un tensoactivo en la fase continua, se produce rápidamente la saturación del área interfacial, de tal modo que el número de moléculas disueltas tiende a aumentar. A partir de cierta concentración, llamada concentración micelar crítica (CMC), el tensoactivo produce estructuras de asociación llamadas micelas (Figura 5) [32].

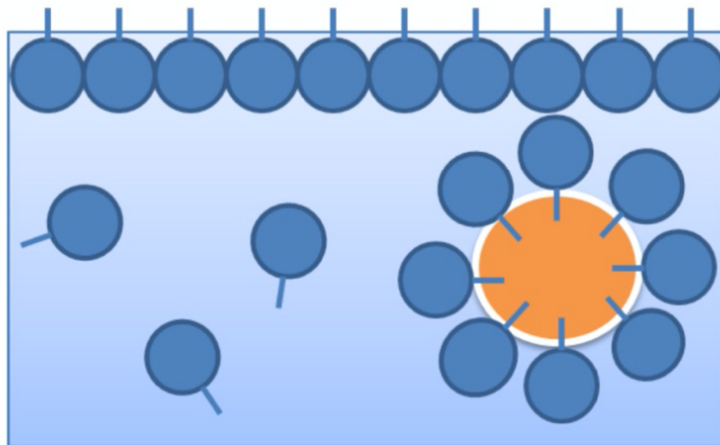


Figura 5. Formación de una micela en un medio acuoso.

El efecto hidrófobo es el factor principal para la formación de micelas en una solución, es decir, desde el punto de vista energético las partes apolares de las moléculas de tensoactivo se juntan quedando fuera de contacto con las moléculas de agua, lográndose la micelanización a la CMC [33].

hidrocarbonada más rápido se alcanza la concentración donde las interacciones entre las moléculas del tensoactivo se vuelven lo suficientemente fuerte como para formar un agregado espontáneamente del tipo micelar y por tanto el valor que tendrá la CMC será menor con respecto a un tensoactivo de cadena hidrocarbonada más corta.

La CMC más que un valor puntual es considerada un rango de concentración, porque corresponde con el inicio de la formación de los agregados moleculares a partir de las moléculas libres en disolución. No obstante, se reporta como valor de la CMC el comienzo del proceso de micelanización.

La CMC se puede definir de igual forma, como la concentración a la cual ocurre el máximo cambio de pendiente en la curva en que se representa una propiedad coligativa ideal en función de la concentración total de anfífilo, debido a que la mayoría de las propiedades físicas de las soluciones de anfífilos cambian drásticamente en la CMC [36], por lo que se puede estimar siguiendo la variación de una propiedad física como la tensión superficial, conductividad eléctrica, presión osmótica, fluorescencia, etc. con la concentración del tensoactivo (Figura 7).

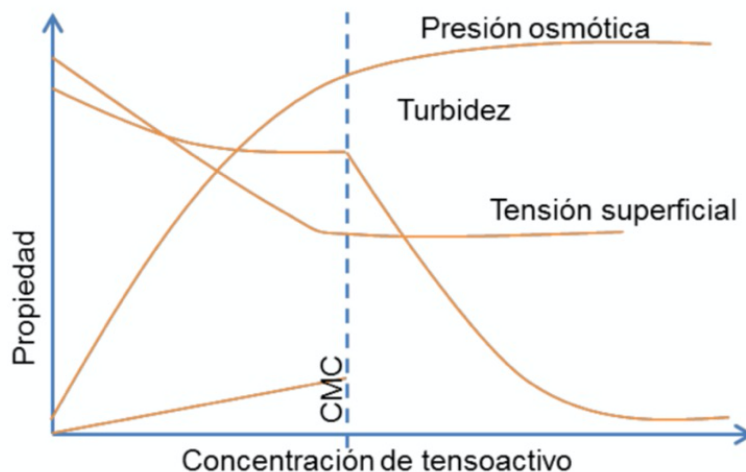


Figura 7. Variación de las propiedades fisicoquímicas en función de la concentración del surfactante.

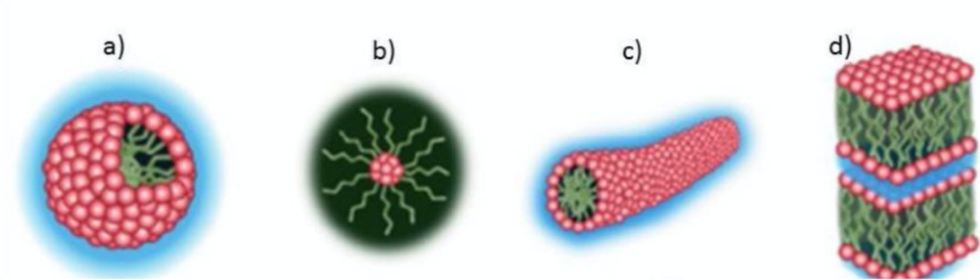


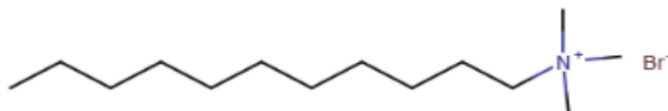
Figura 8. Tipos de micelas: a) Esférica, b) Inversa, c) Cilíndrica y d) Lamelar bicapa.

No todas las sustancias tensoactivas poseen la capacidad de formar micelas, sino solamente aquellas que tienen relaciones óptimas entre las partes hidrófoba (radical hidrocarbonado) e hidrófila (grupo polar) lo que se determina por la magnitud del balance hidrófilo-lipófilo (HLB).

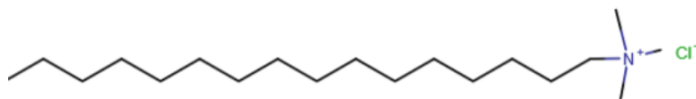
A medida que aumenta la cantidad de tensoactivo en la disolución, para concentraciones mayores a la CMC, simultáneamente con el incremento de la concentración de micelas esféricas van tomando la forma de micelas anisométricas elipsoidales y posteriormente, a una cantidad mayor de tensoactivo se llega a intervalo de concentraciones (CMC II) en la que súbitamente se forman las micelas cilíndricas. Al agregar sal se ha visto que toman una forma de gusano (micelas alargadas gigantes) y a muy altas concentraciones de un contraíón eventualmente se ramifican.

Cabe señalar que para formación de micelas alargadas gigantes no es necesaria la adición de un electrolito, también se logra con el aumento de la concentración del tensoactivo.

Los tensoactivos catiónicos se caracterizan por tener la cabeza o la parte polar con una carga positiva y su contraión una carga negativa. Los tensoactivos que poseen una estructura con derivados del hidróxido de amonio, se les conoce como compuestos de amonio cuaternarios o QUATS, teniendo cuatro grupos unidos a un átomo de nitrógeno, como se muestra en la ilustración 3, conocido como Bromuro de dodecilmetilamonio, y la ilustración 4, conocido como Cloruro de hexadeciltrimetilamonio [13,15]. Son principales antisépticos, acondicionadores y sustantivos de queratina (se fijan sólidamente a la superficie de la piel, de los cabellos y del vello) [17].



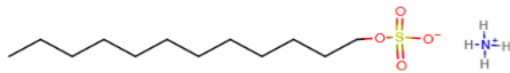
*Ilustración 3. Bromuro de dodecilmetilamonio (DTAB)*



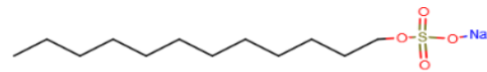
*Ilustración 4. Cloruro de hexadeciltrimetilamonio.*

- **Tensoactivos aniónicos**

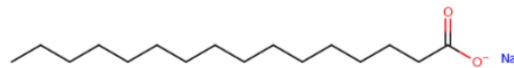
Haciendo una analogía con los tensoactivos catiónicos, este tipo de tensoactivos posee la cabeza cargada negativamente y su contraión positivamente. Los tensoactivos aniónicos más conocidos son los lauril sulfatos y los alquil sulfatos, generalmente en forma de sal de sodio como dodecilsulfato amónico (ilustración 5), y/o el dodecilsulfato sódico (ilustración 6) y entre los carboxilatos el más común es el estearato sódico (ilustración 7)[13,15]. Su uso resalta en detergentes, humectantes y espumantes [17].



*Ilustración 5. Dodecilsulfato amónico*  
 $(CH_3(CH_2)_{11}SO_4NH_4)$



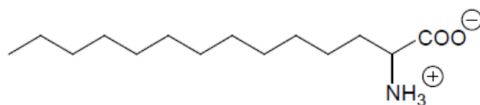
*Ilustración 6. Dodecilsulfato sódico*  
 $(SDS CH_3(CH_2)_{11}SO_4Na)$



*Ilustración 7 Octadecanoato sódico*  
 $CH_3(CH_2)_{16}CO_2Na$

- **Tensoactivo anfóteros**

Se caracteriza por tener en su estructura dos grupos funcionales, uno catiónico ó positiva y el otro aniónico ó negativo (ilustración 8), su parte hidrofóbica se constituye de cadenas largas de carbono y la región hidrofílica con cargas eléctricas parciales o iónicas, que son a fines con el agua [18,19], pueden ser radicales de amonio cuaternario y grupos aniónicos tipo sulfato, carboxilo o sulfato. La naturaleza de la carga varía en función del pH en el que se encuentre, son catiónicos en medio ácido y aniónicos en medio alcalino [17].



*Ilustración 8. Betaina C<sub>14</sub>H<sub>28</sub>NO<sub>2</sub>*

Por otra parte, se ha demostrado que la mezcla de tensoactivos anfóteros con tensoactivos que se disocian (ánionicos o catiónicos) presenta una mejor eficiencia en la remoción de grasas comparándolos con los tensoactivos puros [17, 20, 21]. El uso de este tipo de tensoactivos resulta sumamente apropiado para la formulación de limpiadores de cabello, productos para limpieza en seco, incluso también ha sido considerado como posible descontaminante de partículas orgánicas y metálicas, se ha demostrado que además son menos irritantes a nivel cutáneo y ocular [19,22].

- **Tensoactivos no iónicos**

Por último y no menos importantes en la categoría de los tensoactivos sintéticos están los tensoactivos no iónicos, que poseen zonas polares, pero con carga total nula, permitiendo que la sustancia sea miscible, como se puede ver en la ilustración 9.

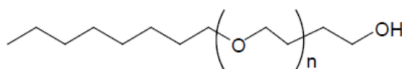


Ilustración 9. Tensoactivo no iónico.

No son ionizables, su parte hidrofílica está constituida por una cadena grasa más o menos larga. Su parte hidrofílica es variable, por ello, este grupo se puede encontrar en sustancias muy lipófilas y otras hidrófilas, así como todas las posibilidades intermedias. De ahí la noción de equilibrio hidrófilo-lipófilo (hydrophilic-lipophilic balance o HLB, ilustración 10) que caracteriza a los tensoactivos no iónicos[17].

El grupo polar debe ser lo suficientemente hidrófilo para que la molécula sea soluble en agua; estructuralmente son cadenas de carbono en donde se encuentran grupos -O- (etoxilo), este grupo es el que le da polaridad a la molécula estableciendo así zonas de carga [14].

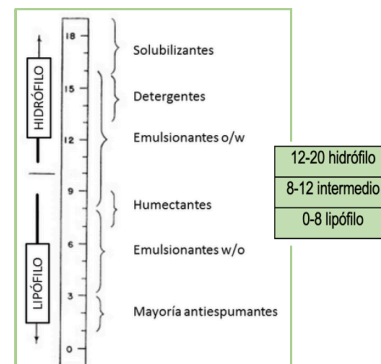


Ilustración10. Clasificación HBL según Griffin[116]

- **Biosurfactantes**

Los biosurfactantes son agentes tensoactivos sintetizados por diversos microorganismos. Poseen propiedades similares a las de los tensoactivos sintéticos, como la reducción de la tensión superficial. Los biosurfactantes presentan altas ventajas en comparación con los sintéticos, como la biodegradabilidad, la baja toxicidad, la baja irritación, la compatibilidad con la piel humana y el medio ambiente.

Diversos microorganismos, como los hongos y las bacterias, muestran la capacidad de producir diferentes tipos de biosurfactantes en función de su composición química y origen microbiano. En las últimas décadas, los biosurfactantes se han convertido en “productos ecológicos”, lo que ha crecido la demanda

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ecológicos y biodegradables: Los biosurfactantes se degradan fácilmente por bacterias y otros microorganismos, por lo que no representan una amenaza significativa para el medio ambiente.</li> <li>➤ Son adecuados para aplicaciones biorremediación y la dispersión de derrames de petróleo [10]</li> <li>➤ Baja toxicidad, los surfactantes sintéticos presentan una mayor toxicidad.</li> <li>➤ Biocompatibilidad y digestibilidad: Son biocompatibles por naturaleza[11]. Gracias a esta propiedad, se aplican a productos farmacéuticos, cosméticos y como aditivos alimentarios funcionarios.</li> <li>➤ Uso de control ambiental: Se pueden utilizar eficientemente en el manejo de emulsiones industriales, el control de derrames de petróleo, la biodegradación y la biorremediación de suelos contaminados.</li> <li>➤ Factores físicos: Los factores ambientales como el pH, la temperatura y la fuerza iónica no afectan a la mayoría de los biosurfactantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La producción a gran escala de biosurfactantes puede ser costosa. Podría solucionarse combinando el proceso de aprovechamiento de sustratos residuales, lo que equilibraría los costos generales. Un medio esterilizado es esencial para la producción de biosurfactantes por lo que su producción a gran escala es bastante difícil y costosa</li> <li>➤ Las cepas bacterianas con sobreproducción son poco frecuentes ya que se encuentran generalmente presentan una actividad muy baja.</li> <li>➤ La mejora del rendimiento de producción se ve obstaculizada por la fuerte formación de espuma.</li> <li>➤ La producción de biosurfactantes requiere más tiempo</li> </ul>

**Tabla 1: Comparación de ventajas y desventajas de los biosurfactantes.**