

# Bio-Detergente derivado de aceite usado de fritura

## *Bio-Detergent oil derivative used frying*

**Torres Ortega Jesús Alfonso<sup>1</sup>, Morales Pedraza Nelly<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia. jatorres@unisalle.edu.co

<sup>2</sup> Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería. Programa de Especialización en Procesos de Alimentos y Biomateriales. Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD. Bogotá, Colombia, nelly.morales@unad.edu.co

## Resumen

En la actualidad la tendencia mundial va hacia un desarrollo sostenible para productos ecológicos como los biosurfactantes que muestran un excelente rendimiento. Los agentes tensioactivos aniónicos pueden ser producidos a partir de materias primas naturales tales como aceites vegetales, principalmente derivados de aceite de palma. El sulfo-metilester es un componente activo en detergentes altamente biodegradables, una ventaja en comparación con los detergentes derivados de la petroquímica, que generan una carga alta de contaminantes en nuestras fuentes hídricas. En este trabajo se propone el estudio de la sulfonación con trióxido de azufre de los ésteres derivados de aceite de cocina usado cuyo componente principal es el aceite de palma. El reactor de película usado para tal fin permite la determinación de las condiciones del proceso a escala piloto. La experimentación permite una mejora de ecuaciones empíricas en el equipo aplicado para este fin y para determinar algunas propiedades fisicoquímicas. La comparación simulada por el mismo proceso con compuestos petroquímicos indica que el modelo puede ser aplicado a cualquier sulfonación, pero ajustando los parámetros y las condiciones específicas, tales como las propiedades fisicoquímicas de los compuestos utilizados, ya que el proceso de sulfonación propuesto en el presente trabajo es uno de los casos más complicados. El desarrollo tecnológico presentado aquí pretende contribuir con las necesidades industriales de promover una industria química verde para la producción de biosurfactantes a partir de aceite de fritura como alternativa sostenible de valor agregado a un desecho industrial.

**Palabras clave:** detergente, sulfonación, metilester, modelamiento, aceite de palma.

## Abstract

Currently, the global trend towards sustainable development for environmental friendly products such as biosurfactants shows an excellent performance. Anionic surface active agents can be produced from renewable natural raw materials such as vegetable oils mainly derived from palm oil. Methyl ester sulfonate is an active component of highly biodegradable detergents, one advantage compared with detergents derived from petrochemicals which generate a high pollutant load. This paper proposes the study of sulfonation with sulfur trioxide of esters derived from waste cooking oil which main component is palm oil. The falling film reactor allows determining the conditions of the process at pilot scale. The experimentation allowed an enhancement of empirical equations in the equipment implemented for this purpose and to determine some physicochemical properties. The comparison obtained for this same process with petrochemicals compounds indicates that the model could be applied to any film sulfonation but adjusting the parameters and specific conditions, such as the physicochemical properties of the compounds used, since the sulfonation process described in this work is one of the more complicated cases. The technological development presented here seeks to contribute with the industrial needs to promote green chemical industry for the production of biosurfactant from waste frying oil.

**Keywords:** detergent, sulfonation, methyl ester, modeling, palm oil.

Recibido: 25/05/2011  
Aceptado: 23/06/2011

## Introducción

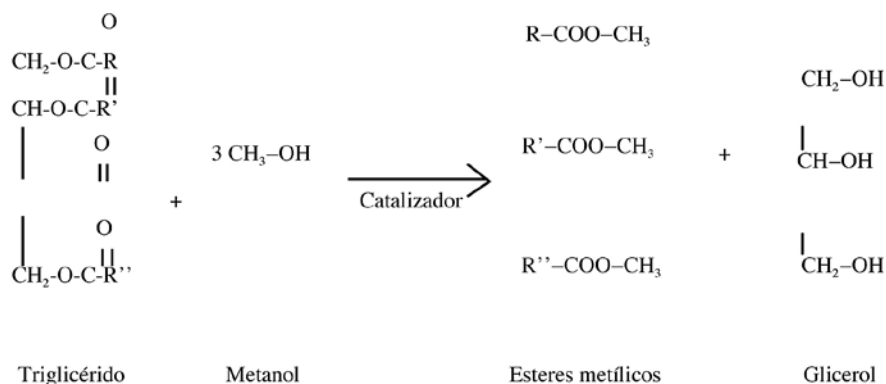
La industria colombiana de palma de aceite se ha limitado a tres aspectos : (i) la extracción de aceite crudo y posterior refinado; (ii) algunas aplicaciones en la industria de agralimentaria para las frituras: la margarina, la mantequilla, la manteca, cremas para usos especiales, helados, galletas y otros; (iii) la exportación, que se lleva más del 50% del aceite producido, [1].

Lo anterior deja ver que debido al potencial del aceite de palma, se ha perdido así la oportunidad de generar industria con distintas aplicaciones oleoquímicas, entre otros la obtención de esteres sulfonados de ácidos grasos, los cuales presentan propiedades similares a los tensioactivos utilizados en la industria de detergentes importados. La producción de surfactantes aniónicos es una actividad de gran importancia en la industria química y de considerable importancia debido a la restricción progresiva en el uso de sustancias fosfatadas. El metil estearato sulfonado (MES) como agente tensioactivo tiene propiedades excelentes con una buena dispersabilidad en agua dura. La aplicación de MES incluyen su uso como un emulsionante para la polimerización, adhesivos, agentes antiestáticos, baños de burbujas, intermediarios químicos, limpiadores, inhibidores de corrosión, dispersantes, espuma, flotación de minerales, germicidas, lubricantes, limpieza de metales, metalurgia (procesamiento y molienda), la recuperación de petróleo, pinturas, fabricación de papel, champús, acondicionadores, uretanos, agentes humectantes, etc. Aunque el ácido sulfometilsteato no es comercializable debido a la inestabilidad causada por su tendencia a la hidrólisis fácil; por el contrario, la estabilidad de los sulfonatos neutralizados permite su almacenamiento y disponibilidad en el mercado (Lyon Co., Stephan, Merck, Prétel & Gamble).

Este estudio tiene como objetivo producir esteres metílicos derivados de la estearina de palma hidrogenada, mediante una catálisis básica, con el propósito de adecuarlos para su uso posterior en la sulfonación de los mismos. Para tal fin, se utilizó un reactor *batch*. Eaton (US Patent 2,352,698) en 1944, con una capacidad de 20 litros, con calentamiento con aceite térmico y agitación mecánica (300 – 500 rpm), por espacio de 2 horas, con controladores de temperatura a 60°C, y reflujo total del metanol, manteniendo una relación molar de 6:1 (estearina de palma hidrogenada/metanol), que es considerada la relación óptima de acuerdo con varias publicaciones científicas y como catalizador se utiliza hidróxido de sodio (0.75% en peso de aceite). La temperatura y presión de la reacción se fijan en 60°C y presión atmosférica. La productividad de la reacción se determinó por cromatografía de gases y espectroscopia infrarroja, arrojando un porcentaje superior a 95% de esteres metílicos obtenidos. Se caracterizó la estearina hidrogenada de palma y también los esteres metílicos obtenidos.

## Materiales y Métodos

Los esteres metílicos son esteres derivados de aceites vegetales o animales donde el grupo sustituyente es un radical metilo. Tienen una importancia relevante en la industria química, ya que son intermedios reactivos para una gran variedad de sustancias como: alcoholes grasos, alfa-sulfo estearatos de metilo, que son precursores químicos para la formulación de detergentes, plastificantes, además de monoglicéridos, alcanamidas, esteres de sucrosa, lubricantes, cosméticos y fármacos [2]; en la actualidad son de gran aplicación como combustible en motores diesel (biodiesel). La producción de ésteres metílicos de ácidos grasos se ha clasificado de acuerdo al método utilizado de la siguiente manera: Catálisis homogénea, catálisis ácida, catálisis básica, catálisis heterogénea y catálisis enzimática. El esquema general de la reacción a partir de triglicéridos se presenta a continuación en la figura.1.



Fuente: [2]

Figura. 1. Esquema de reacción

Tabla 1. Composición en porcentaje en peso (% w/w) de aceites vegetales referenciado en publicaciones.

Longitud de Cadena	Choo et al. (1990) <sup>a</sup>	Ahmad et al. (1998) <sup>a</sup>	Stein and Baumann (1975) <sup>0a</sup>	Groot (1991) <sup>a</sup>	Henkel <sup>b</sup>	Stepan <sup>b</sup>	Procter & Gamble <sup>b</sup>	Cheminthon <sup>b</sup>
< 12	6.3			1.2				
12	44.9	0.6	0.7	59.1	0.28	0.5	-	0.2
14	16	1.2	4	21.9	2.56	2.5	-	1.5
16	10.1	62.3	29.8	8.8	48.36	45	11	65.4
18	22.5	35.5	64.6	9	46.24	52	88	32.2
≥20	0.2	0.4	0.9	-	0.74	-	-	0.7

<sup>a</sup> Estearato de metilo derivado de estearina de palma hidrogenada.<sup>b</sup> Referencia comercial de Palmitato/Estearato de metilo.

La catálisis homogénea y básica utilizada en este trabajo, consiste en mezclar una sustancia inorgánica alcalina mezclada con el alcohol, por lo general hidróxidos o carbonatos de sodio o potasio. El alcohol junto con el catalizador se mezclan con el aceite en un reactor (continuo o por lotes) a una temperatura entre 323 y 353 K (temperatura cercana al punto de ebullición del alcohol); este es el proceso industrialmente más desarrollado y empleado. Con esta tecnología se alcanzan conversiones superiores al 99%. Cuando se utilizan catalizadores alcalinos, el contenido de ácidos grasos libres del aceite debe ser inferior al 0.5% para obtener un máximo de conversión de triglicéridos a ésteres metílicos, ya que dichos ácidos consumen el catalizador formando jabones solubles en el medio reaccionante, lo que genera un aumento en la viscosidad y la formación de geles que dificultan la separación del glicerol.

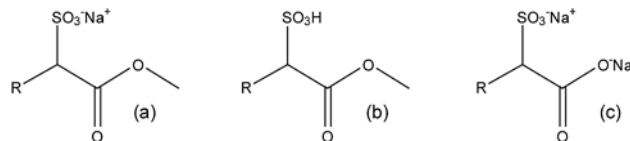
Tabla 2. Propiedades de esteres referenciados en publicaciones científicas o comerciales.

Propiedades	Choo et al. (1990) <sup>a</sup>	De Groot (1991) <sup>a</sup>	Stein and Baumann (1975) <sup>0a</sup>	Henkel <sup>b</sup>	Procter & Gamble <sup>b</sup>	Cheminthon <sup>b</sup>
Valor Ácido	0.28	0.2	1.2	3.8	0.8 Máx.	0.4
Índice de Yodo	19.7	<0.5	0.1	0.19	0.1	0.3
Índice de Saponificación	239.2	240	240	197	252	-
Peso molecular promedio	-	233	-	281	218	279

<sup>a</sup> Metil ester derivado de estearina hidrogenada de palma.<sup>b</sup> Mezcla de metil Palmitato/Estearato Comercial.

El alcohol utilizado debe ser anhidro, puesto que el agua causa hidrólisis de los triglicéridos, incrementando la producción de jabones, además de constituirse en un agente que evita la separación entre la fase oleosa y la de glicerina. Los hidróxidos de sodio y de potasio son los utilizados industrialmente gracias a su bajo costo [3], han realizado estudios donde se han establecido las condiciones óptimas para la obtención de metil ésteres de aceites derivados de la palma africana, utilizando hidróxido de sodio como catalizador, analizando variables como la relación molar aceite/metanol, porcentaje de catalizador, contenido de agua y de ácidos grasos libres, agitación del sistema de reacción y la temperatura. Un estudio similar fue realizado en la Universidad Nacional de Colombia (Ocampo, 2002).

Las mezclas de moléculas orgánicas, ya sea derivada de recursos no renovables, como del petróleo o proveniente de fuentes renovables, como los aceites vegetales, se utilizan actualmente como materias primas en la fabricación de los detergentes domésticos. El proceso de limpieza realizado por los detergentes se describe de la siguiente manera: (i) la humectación del sustrato y la suciedad debido a la reducción de la tensión superficial, (ii) eliminación de la suciedad de sustrato, (iii) la retención de la suciedad en una solución o suspensión estable [4,5]. Por lo anterior, el agente tensioactivo es el componente clave en una formulación detergente. La molécula de un surfactante aniónicos está compuesta de una “cadena” lipófila soluble en aceite (típicamente una molécula orgánica  $C_{12}$ - $C_{14}$ ) y una “cabeza” hidrofílica soluble en agua, como el  $SO_3^-$  (ver Figura 2).

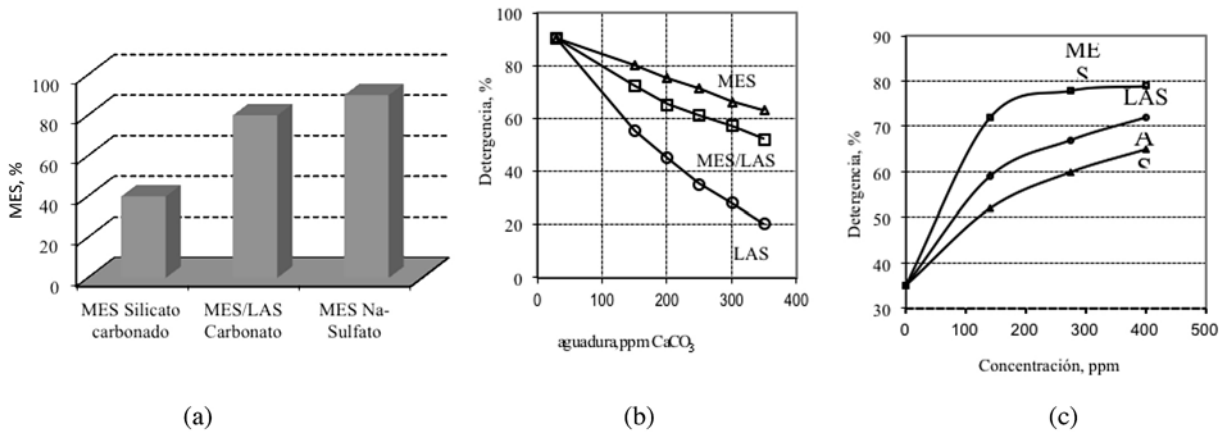


**Figura 2:**  $\delta$ -sulfo metil ester: (a)  $\delta$ -sulfometil ester neutralizado; (b) forma acida  $\delta$ -sulfo metil ester; (c) di-sodio  $\delta$ -sulfo metil ester (di-sal). R representa un sustituyente alquilo C16/18.

Ésteres metílicos derivados de fuentes renovables e incluso de aceites usados son ecológicos y levemente tóxicos. Las plantas caseras de combustible son baratas de construir y operar y cada vez son más comunes a medida que los costos del petróleo sigue aumentando. El proceso es relativamente seguro, con la excepción de manejar el metóxido de sodio (catalizador básico), pero con las precauciones de manipulación adecuada pueden ser seguras. Además, MES se comportan de manera similar a los alquilsulfatos (AS) con longitudes de cadena similares, pero con una mejor estabilidad hidrolítica [6]. Los detergentes basados en cadenas C16/18 como los derivados de aceite de palma, muestran una detergencia superior a los alquilbencensulfonatos (LAS) en la ausencia de agua polifosfatos de alta dureza como se concluye en la Figura 2 b [2], [7].

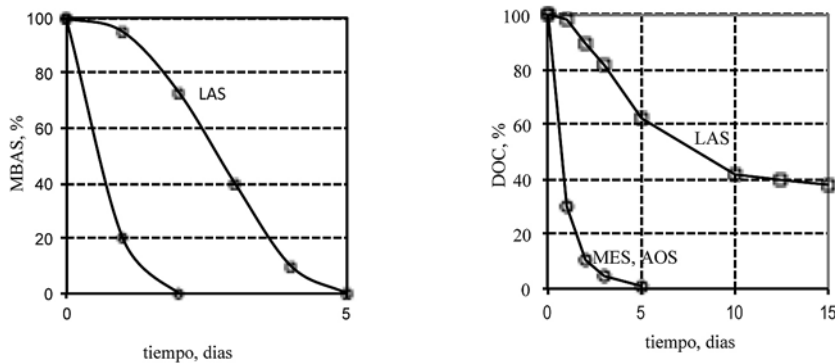
MES poseen una excelente detergencia en agua dura fría y caliente [4], [7], [8], [9], [10], [11], en comparación con el LAS utilizada para el lavado, el LAS se utiliza en preparaciones líquidas y alquilsulfatos etoxilados (AS) utilizados como tensioactivos no iónicos en los champús que se encuentran en los tensioactivos actualmente más ampliamente aceptados por calidad y costos. La velocidad de hidrólisis de los dos tipos de detergentes basados en MES después de un almacenamiento en condiciones de humedad se muestra en la Figura 2. [13]. Algunos estudios sobre la biodegradabilidad muestran que el MES pierde la actividad con azul de metileno en dos días y carbono orgánico disuelto desaparece por completo en cinco días, como se muestra en la Figura 3. Determinación de la concentración de tensioactivos utilizando azul de metileno sustancias activas (MBAS) de prueba en las muestras de detergentes y en la Figura 3b: Prueba de carbono orgánico disuelto (DOC), 30 mg / l de tensioactivo, activo residual 100 mg / L,

resultados similares se observan con alcohol etoxilado sulfatado (AOS) [3].



**Figura 2: (a) Estabilidad de almacenamiento en detergentes, 45°C, 85% RH, 25°C, 65% RH, 2 semanas; (b) Efecto de la concentración de surfactante sobre la detergencia; (c) Tolerancia al calcio de un detergente a-MES/LAS (adaptado de Satsuki, 1994).**

Los MES no muestran acumulación en el medio ambiente por su uso en bajas concentraciones, debido a que su carga orgánica por lavado es menor en comparación con sus competidores en el lavado.



**Figura 3: Biodegradación de algunos surfactantes bajo condiciones de lavado en Japón (adaptado de Satsuki, 1994).**

La figura 4 muestra un diagrama del proceso de sulfonación junto con una etapa adicional (blanqueamiento) que podría ser necesario dependiendo de la materia prima y las características del producto final. Dependiendo del tipo de material orgánico y el ácido orgánico utilizado en la sulfonación algunos pasos adicionales pueden necesitarse antes de la neutralización. Por otra parte, una hidrólisis o etapa de estabilización se requiere para convertir anhídridos formados durante el proceso de sulfonación. Los MES deben ser neutralizados inmediatamente después de una etapa de digestión lenta para evitar que productos secundarios no deseados sean formados en reacciones secundarias.

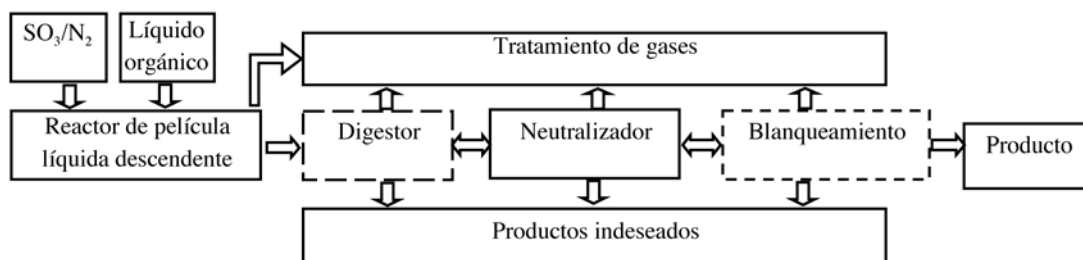


Figura 4: Diagrama de proceso para la sulfonación con  $SO_3$

Un producto estable se obtiene después de una digestión y luego de la etapa de neutralización, la cual puede llevarse a cabo con muchos productos químicos alcalinos como el hidróxido de sodio. La neutralización con soda cáustica diluida es reconocida como exotérmica e instantánea y puede formar gel a temperaturas altas o reacciones no deseadas pueden ocurrir si no hay una alta agitación [6].

## Resultados y Discusión

En la figura 4 se muestran un diagrama del equipo utilizado en la metanólisis de la estearina hidrogenada derivada del aceite de palma. La metanólisis se lleva a cabo en un reactor batch con una capacidad de 20 litros provisto de una chaqueta de calentamiento con aceite térmico y agitación mecánica (300 – 500 rpm), la reacción se sucede por espacio de espacio de 2 horas, con controladores de temperatura y reflujo total del metanol, para lo cual se adaptan dos condensadores de igual longitud (30 cm), uno de espiral y otro de longitud lisa, manteniendo una relación molar de 6:1, que es considerada la relación óptima de acuerdo con el trabajo de Freedman y colaboradores [14]. La temperatura y presión de la reacción se fijan en 60°C y presión atmosférica.

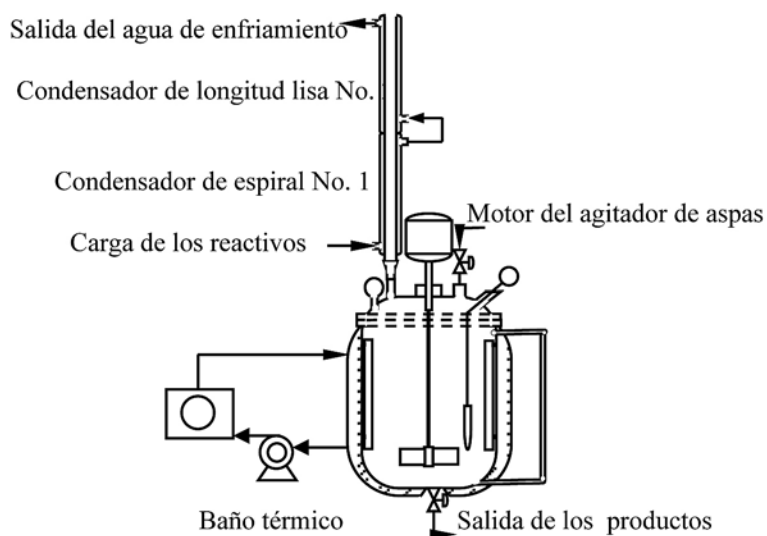
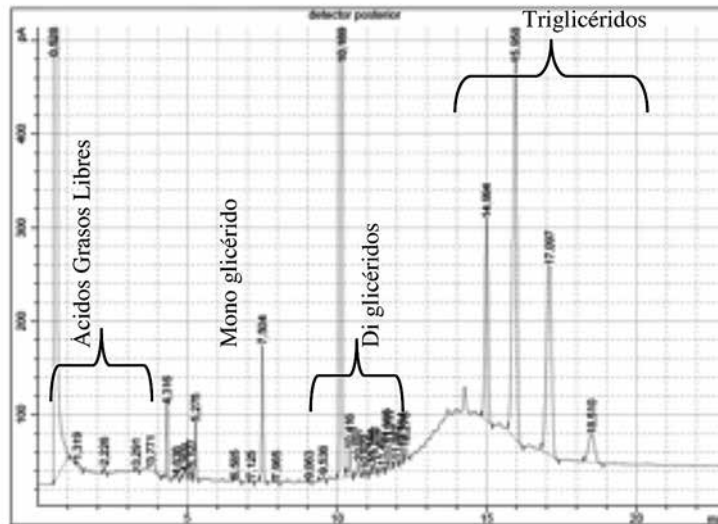


Figura 4: Reactor Batch con reflujo total (Morales & Díaz, 2008).

En la figura 5 se presenta una cromatografía realizada a la estearina de palma hidrogenada, siguiendo la técnica expuesta por Narváez y colaboradores, [15], la cual reporto un 97.24% de triglicéridos y muy bajos porcentajes para digliceridos y ácidos grasos.

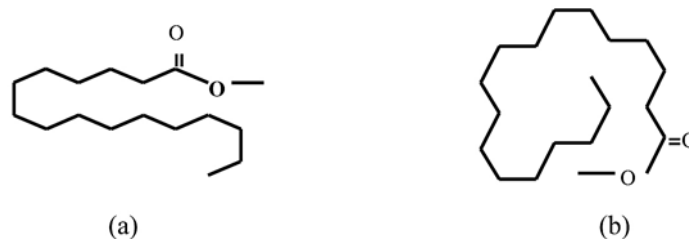




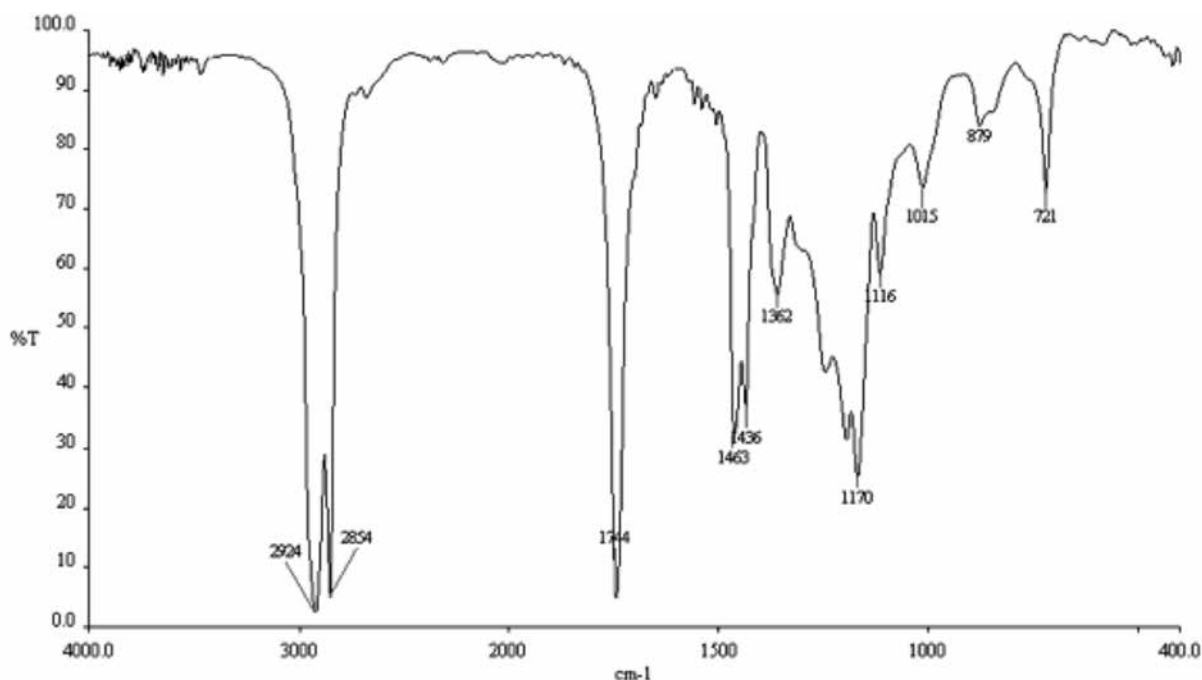
Fuente: [14]

**Figura 5: Cromatografía de gases del aceite**

Como resultado de la transesterificación se obtienen en 2 fases líquidas una mezcla de éster metílico y glicerina junto con metanol y catalizador disueltos en ambas fases. Los productos de reacción se separan en dos partes: una liviana (fase oleosa) que contiene principalmente los esteres metílicos, metanol y pequeñas cantidades de glicerol y catalizador, mientras en la fase pesada (fase glicerinoso) se encuentra principalmente la glicerina obtenida también con metanol y catalizador disuelto.

**Figura 6: Estructura química de los principales esteres encontrados: a) Palmitato de metilo, b) Estearato de metilo.**

Aprovechando la insolubilidad de los esteres metílicos en agua, se lavan por aspersion lenta empleando agua caliente entre 40 – 60°C y se decanta el agua residual hasta pH neutro (6 – 7), con el propósito de remover el glicerol residual, metanol y catalizador presente en la fase oleosa. Luego para retirar el metanol y agua que no han sido separados a través de las etapas de lavado y separación previas, aprovechando las diferencias entre los puntos de ebullición de los compuestos presentes, se acondiciona el mismo reactor para realizar una destilación al vacío (15 in Hg) a una temperatura de 90°C con el fin de mantener la temperatura lo suficientemente baja para prevenir las reacciones indeseables que pueda sufrir la glicerina excedente al someterse a temperaturas superiores a 160°C, tales como la formación de acroleína especialmente en presencia de ácidos minerales o su deshidratación para formar poligliceroles [16].



Fuente: [16]

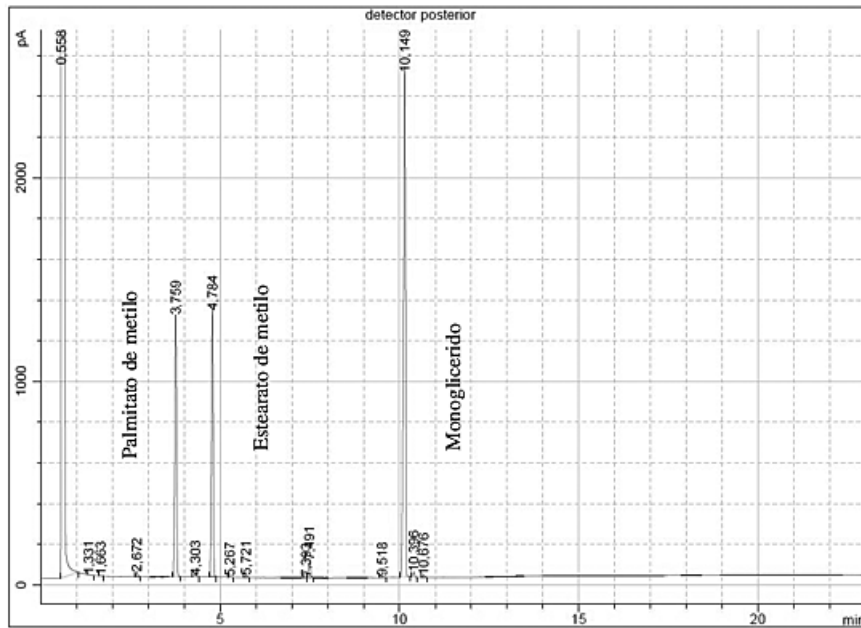
**Figura. 7. Espectro infrarrojo**

Un cromatograma de la mezcla producida por la metanólisis de la estearina de palma hidrogenada en las mismas condiciones se presenta en la figura 8. La cromatografía de gases se realizó en un equipo Agilent 6820. El cromatógrafo estaba equipado con un inyector de columnas capilares, un detector de ionización de llama, una precolumna de sílica fundida (0.3 m Ó 0.53 mm) y una columna capilar SUPELCO SGE HT-5 de aluminio, 12 mm Ó 0.53 mm Ó 0.15  $\mu$ m (SGE Internacional Pty. Ltd., Australia). La técnica seguida es la determinación por cromatografía de gases de alquil ésteres de ácidos grasos, en presencia de mono-, di- y triglicéridos [15], y la concentración de ésteres metílicos fue de 95.05% de esterres y 4.95% de monoglicéridos.

Se determinaron experimentalmente las propiedades densidad, viscosidad y calor específico en función de la temperatura para la mezcla de ésteres producidos. La determinación de la densidad se realizó de acuerdo con el procedimiento establecido en la norma ASTM D-287, empleando un hidrómetro marca FISHER (Fischer Scientific, Rochester, USA), con un intervalo de gravedad específica entre 0.7 – 1.0, entre 40 y 90 °C.

Para medir la viscosidad cinemática de los esterres metílicos se midió siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D-445, empleando viscosímetros capilares Cannon Fenske Routine 50 y 100 (Cannon Instrument Co., State College, USA). La viscosidad absoluta se calculó a partir de los valores de la viscosidad cinemática y la densidad. Las figuras 8 y 9 presentan los datos correspondientes a la determinación experimental y correlación de la densidad y viscosidad de los esterres metílicos obtenidos, los resultados encontrados son coherente con los presentados por otros autores [3].





Fuente: [6]

Figura 8: Cromatograma de la mezcla producida.

El calor específico se obtuvo por calorimetría diferencial de barrido (DSC). Se empleó un DSC 2910 TA Instruments (TA Instruments Co., New Castle, USA). La muestra se estabilizó a  $-30^{\circ}\text{C}$  y luego se llevó hasta  $120^{\circ}\text{C}$ , con una velocidad de calentamiento de  $5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$  y un flujo de nitrógeno de  $20\text{ mL}/\text{min}$ . La amplitud fue de  $1^{\circ}\text{C}$  y el periodo de  $100\text{ s}$ . Antes de realizar la determinación, el equipo se calibró con zafiro. Además de la información referente al calor específico, la calorimetría diferencial de barrido, mostrada en la figura 10, permitió establecer que el aceite de palma presenta un evento asociado a fusión que inicia a  $22.51^{\circ}\text{C}$  y finaliza a  $46.10^{\circ}\text{C}$ , en donde se observaron claramente un pico de absorción de calor, a  $3.99$  y  $39.83^{\circ}\text{C}$ , asociados a la fusión de los esteres metílicos que se encuentran en mayor proporción, el calor de fusión  $DH_{\text{fusión}} = 66354\text{ J}/\text{mol}$ .

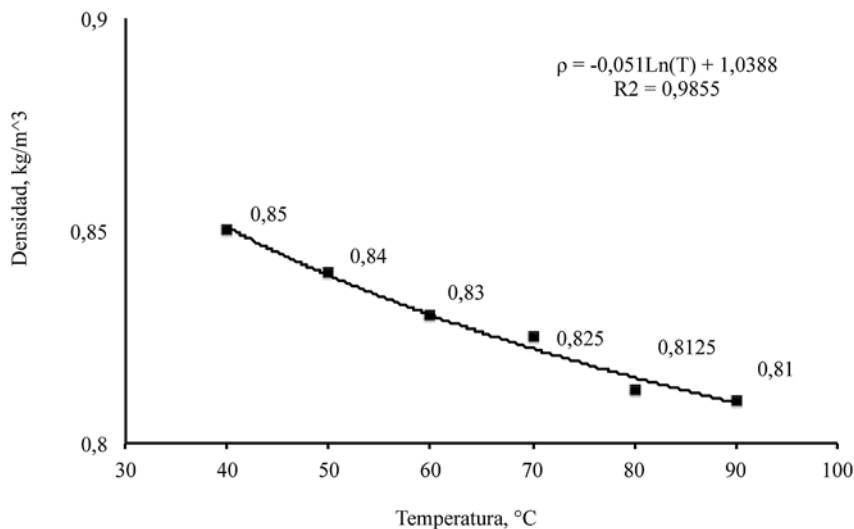
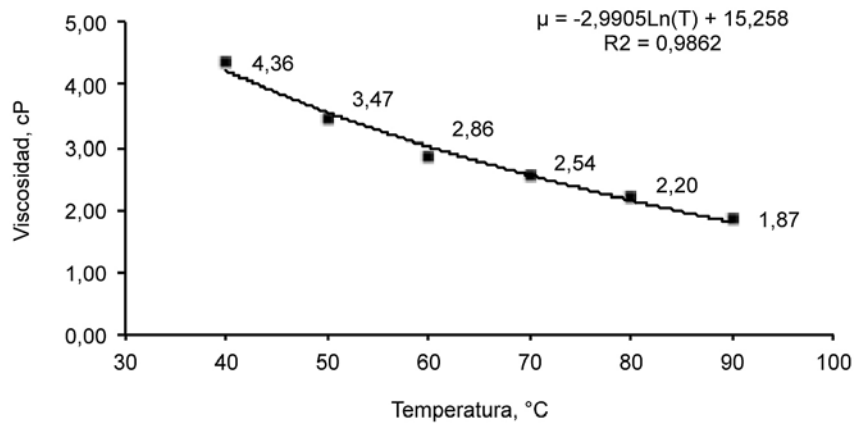


Figura 9: Densidad en función de la temperatura para los esteres metílicos obtenidos ( $40 \leq T \leq 90^{\circ}\text{C}$ ) [6]

**Tabla 9. Caracterización del estearato obtenido.**

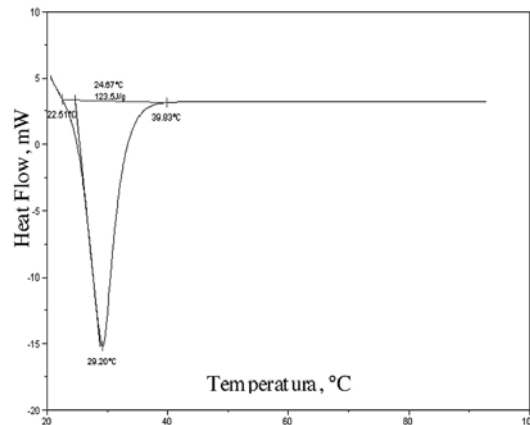
Análisis	Resultado
Ácidos Grasos Libres (% oleico)	0.0
Índice de Yodo	0.61
Humedad (%)	0.008
Punto de fusión (°C)	39
Índice de saponificación (mg KOH/gr muestra)	186,7
Valor ácido (mg KOH/gr muestra)	0.228
Cp (75 – 78 °C) (J/gr°C)	2,18

Fuente: elaboración propia



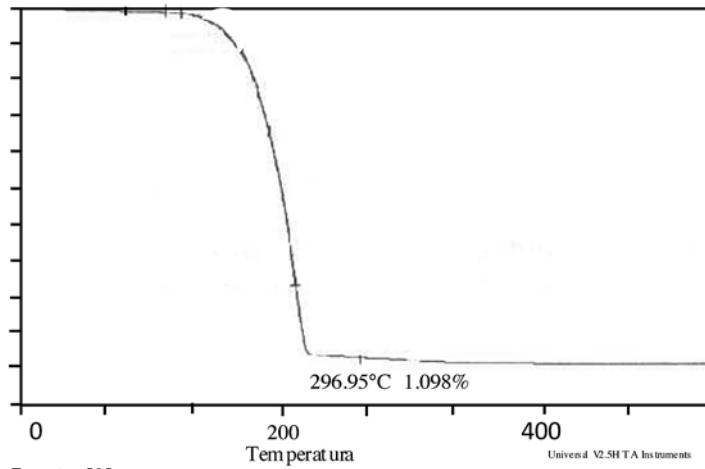
Fuente: [6]

Figura 10: Viscosidad de los esteres en función de la temperatura (40 ≤ T ≤ 90°C).



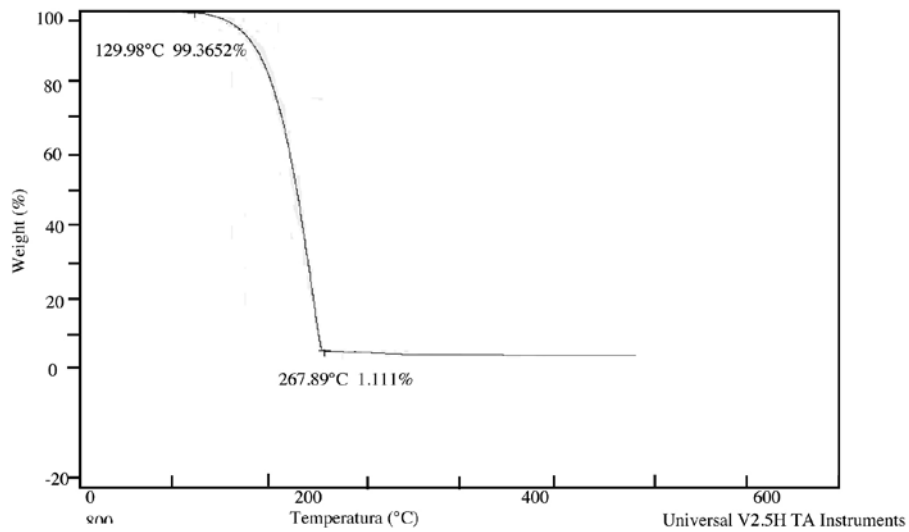
Fuente: [6]

Figura 11: Calorimetría diferencial de barrido para los esteres procesados.



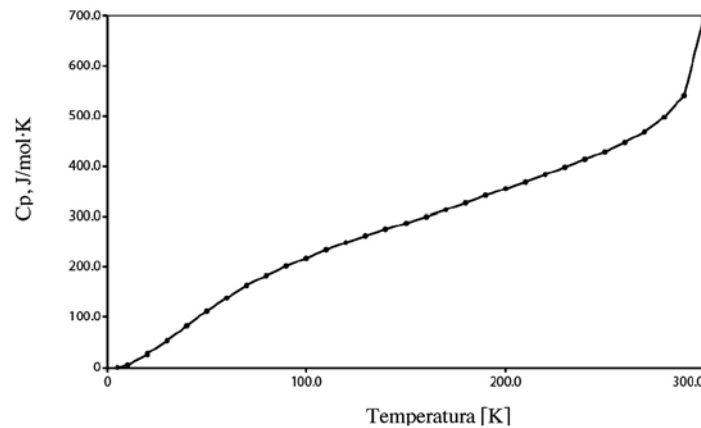
Fuente: [6]

**Figura 12: Análisis Termogravimétrico para los esteres metílicos derivados del aceite de palma RBD.**



Fuente: [6]

**Figura 13.: Análisis termogravimétrico para los esteres utilizados [6].**



**Figura 14: Capacidad calorífica de los esteres producidos.**

## Conclusiones

El proceso se desarrolló en fase líquida. Debido a las características de los compuestos al inicio de la reacción se encuentran dos fases líquidas que con el transcurrir de la reacción se transforma en una mezcla cuasi homogénea debido al efecto emulsificante de los intermedios formados. Al final de la reacción donde la concentración de los intermedios es baja, la mezcla nuevamente se separa en dos fases: una rica en éster y otra en glicerina.

Las variables críticas del proceso para la obtención de esteres de aceites derivados de la palma africana son la relación molar aceite/alcohol, porcentaje de catalizador, contenido de agua y de ácidos grasos libres, agitación del sistema de reacción y la temperatura.

El producto purificado se analizó por cromatografía de gases y la concentración de ésteres metílicos fue superior al 95 %. En general puede concluirse de los análisis realizados que los ésteres obtenidos se ajustan a los requerimientos exigidos para un proceso posterior de sulfonación. La presencia de humedad en el producto no es recomendable por lo que se hace necesario efectuar previamente una destilación al vacío. Se aprecia la presencia de las vibraciones de grupos –OH asociadas con acidez, las cuales suelen aparecer en la región entre 3400 y 3800  $\text{cm}^{-1}$ .

Las propiedades determinadas a los esteres metílicos de interés para estudios posteriores son la densidad, viscosidad, conductividad térmica, difusividad y calor específico en la fase líquida. La información generada brindó herramientas de análisis y fue importante para el diseño del sistema de reacción en el proceso de la sulfonación de los esteres obtenidos de la estearina de palma hidrogenada.

## Referencias Bibliográficas

- [1] Mingorance F. (2007), Producción de aceite de palma en Colombia- Belgica / Europa. "Acercamiento desde una perspectiva de derechos humanos"
- [2] Ullmann F. 1985. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5th edition. VCH Verlagsgesellschaft mbh, A14, A25.
- [3] Choo Y. M., Cheah K.Y., Ma.A.N., Halim A., Ong A. S. H., Conversion of Crude palm kernel oil into its methyl esters on a pilot plant scale. Proceedings of the 1990.AOCS: World Conference on Oleochemicals into the 21st Century, Edited by Thomas H. Apple White. Kuala Lumpur, Malaysia, 292-295.
- [4] Lim, W.H., Ahmad, S. (2001). Surface tension, foaming and detergency properties of mixed alpha-sulphonated methyl esters derived from palm stearin with some commercial surfactants. Journal of Oil Palm Research, 13(1): 75–83.
- [5] Drozd, J.C. (1990). Use of sulfonated methyl esters in household cleaning products. Proceedings of the 1990 AOCS: World Conference on Oleochemicals into the 21<sup>st</sup> Century, Edited by Thomas H. Applewhite. Kuala Lumpur, Malaysia, 256–268.
- [6] Torres, J.A., Narváez, P.C., Sánchez, C.F.J., Ponce de leon Q.L.F. (2005). Obtención de estearato de metilo derivado de la estearina hidrogenada derivada del aceite de palma. Revista Publicaciones e Investigación de laUNAD, 4(2). 150-162.
- [7] Knaggs, E. (2004). Comment on "Optimization of the linear alkyl benzene sulfonation process for surfactant manufacture" and "Sulfonation technology for anionic surfactant manufacture": Falling Film  $\text{SO}_3$  Sulfonation – Laminar or Turbulent Flow Controversy. Organic Process Research and Development, 8(6): 1079–1080.
- [8] Stein W., & Baumann H., (1975). A sulfonated fatty acid and esters: manufacturing process, properties, and applications. JAOCS, 52: 323 – 329.
- [9] Inagaki T. (1990). Development of alpha-sulfonated fatty acid esters. Proceedings of the 1990. AOCS: World Conference on Oleochemicals into the 21<sup>st</sup> Century, Edited by Thomas H. Applewhite. Kuala Lumpur, Malaysia, 269.

- [10] Ismail Z., Ahmad S. (1997). Greentech Engineering SDN, Palm-based anionic surfactants. PORIM Information Series No 48.
- [11] Lim W. H., Ho S. G., (1999). Properties of mixed alpha sulfonated methyl ester derived from palm stearin and polyoxyethylene sorbitan monoester in diluted solution. Proceedings of 1999 PORIM International Palm Oil Congress: Emerging Technologies and Opportunities in the Next Millennium. Kuala Lumpur, Malaysia, 161-176.
- [12] Ahmad S., Siwayanan P., Abd Murad Z., Abd Aziz H., Seng Soi H., (2007). Beyond Biodiesel, Methyl Esters as the route for the production of Surfactants feedstock. INFORM, 18: 216-220.
- [13] Satsuki, T. (1994). Methyl ester sulfonates: A surfactant based on natural fats. Lion Corporation, Fabric Care Research Labs. In: Proceedings of the 3rd World Conference on Detergents: Global Perspectives. Editor: Arno Cahn. AOCs Press. New York, 135–140.
- [14] Freedman B., Pryde E. H., Mounts T. L., (1984). Variables affecting the yields of fatty from transesterified vegetable oils. Journal of American Oil chemist Society, Vol: 61, No: 10, pág. 1638 – 1643.
- [15] Narváez R. P. C., Torres O. J. A., Sánchez C. F. J., Ponce de león Q. L. F., (2005). Determinación por cromatografía de gases de alquil ésteres (metilo y etilo) de ácidos grasos. Revista Publicaciones e Investigación de la UNAD., 57: 58-62.
- [16] Torres, J.A., Díaz, L. & Sánchez, F.J. (2009). Falling film reactor for methyl ester sulphonation with gaseous sulphur trioxide. Ingeniería e Investigación, 29 (3): 48–53.
- [17] Torres, J.A. (2012). Sulfonation/Sulfation processing technology for anionic surfactant manufactures. In: Advances in Chemical Engineering. Nawaz Z. and Naveed S. (eds.), pp. 269–294. Intech, Croatia.

## Patentes

Unites States Patent 2 352,698 Eaton T, James; Wyncole, Volk, Peter W, Procreparing a sulfonated product. 14<sup>th</sup> July 1944.