

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA DE PROCESOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA QUÍMICA



TESIS

**EVALUACIÓN DE LA DETERGENCIA DEL METIL ÉSTER SULFONATO
OBTENIDO A PARTIR DE ACEITE DE COCINA RESIDUAL CON
NANOPARTÍCULAS DE TiO₂**

PRESENTADO POR:

Br. KATHERINE CHALLCO MENDOZA
Br. JUDIT KATERIN JACINTO MAMANI

**PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO QUIMICO**

ASESORA:

Dra. Ing. AMANDA ROSA MALDONADO
FARFAN

CO-ASESOR:

Mgt. URIEL RAUL FERNANDEZ BERNAOLA

FINANCIADO POR:

Programa "Yachayninchis Wiñarinanpaq"-
UNSAAC

CUSCO – PERU

2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: EVALUACIÓN
DE LA DETERGENCIA DEL METIL ÉSTER SULFONATO
OBTENIDO A PARTIR DE ACEITE DE COCINA RESIDUAL
LOW NANOPARTÍCULAS DE TiO2

Presentado por: Katherine Chalco Mendoza DNI N° 74498877
presentado por: Judit Katerin Jacinto Mamani DNI N°: 73497716
Para optar el título profesional/grado académico de Ingeniero Químico

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 5.....%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 22 de agosto de 2025

Amanda Rosa Maldonado Farfan
Firma

Post firma Amanda Rosa MALDONADO FARFAN

Nro. de DNI 23822559

ORCID del Asesor 0000-0002-4870-7078

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: od:27259:485787054

KATHERINE CHALLCO MENDOZA JUDIT KATERIN ... EVALUACIÓN DE LA DETERGENCIA DEL METIL ÉSTER SULFONATO OBTENIDO A PARTIR DE ACEITE DE COCINA RE...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:485787054

Fecha de entrega

22 ago 2025, 10:41 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

22 ago 2025, 10:44 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

EVALUACIÓN DE LA DETERGENCIA DEL METIL ÉSTER SULFONATO OBTENIDO A PARTIR DE ACEITEpdf

Tamaño del archivo

3.3 MB

99 páginas

17.072 palabras

87.861 caracteres

5% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Presentación

Señor Decano y docentes del departamento Académico de la Escuela Profesional de Ingeniería de Química de la Facultad de Ingeniería de Procesos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores Miembros del Jurado.

De conformidad con las disposiciones del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Procesos vigente, presentamos a vuestra consideración la tesis para optar al Título Profesional de Ingeniero Químico, titulada:

“EVALUACIÓN DE LA DETERGENCIA DEL METIL ÉSTER SULFONATO OBTENIDO A PARTIR DE ACEITE DE COCINA RESIDUAL CON NANOPARTÍCULAS DE TiO_2 ”.

La presente tesis tiene como objetivo evaluar la detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual con nanopartículas de TiO_2 , el mismo que tendrá un aporte a la ciencia y tecnología para futuras investigaciones respecto a la valorización de los residuos de aceites de cocina y la influencia de las nanopartículas en la remoción de suciedad.

Esperamos que la información presentada sea de apoyo a posteriores investigaciones; cuyos resultados estamos seguros, contribuirá a la comunidad científica.

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía espiritual, fuente de fortaleza y por iluminar mi mente y corazón.

A mis amados padres Felipe y Ana María, quienes son mi mayor motivación y fuente de inspiración. Su amor incondicional, sus sacrificios y su apoyo inquebrantable han sido el motor para alcanzar mis objetivos. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo. A mis hermanas, por su apoyo y compañía; gracias por estar siempre a mi lado, por sus palabras de aliento y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles.

A Darcy, por su amor, paciencia y comprensión. Gracias por estar a mi lado en los momentos difíciles y por celebrar conmigo cada pequeño logro. Tu apoyo ha sido fundamental en esta etapa de mi vida. A mis queridos abuelos Papa Donato C. y Mama Paulina, cuyos valores, historias y sabiduría han sido fuente de inspiración y superación en mi vida.

A mi amado hijo Pietro que es lo mas preciado que Dios me dio. Para ellos todo mi esfuerzo y dedicación.

Katherine Challco Mendoza

A mis amorosos padres Bartolomé y Sonia, quienes con abundante devoción me guiaron y motivaron en esta hermosa etapa de mi vida. A mis queridos hermanos Yanina y Erick quienes con inagotable cansancio confortaron mi alma en cada paso que daba. A mis amigos por sus consejos, palabras de apoyo y ánimo.

Y a mis queridos abuelos, cuyos frutos son la dicha de mi alma.

Con amor Judit Katerin Jacinto Mamani

Agradecimientos

A Dios, por iluminar nuestro camino, guiar nuestra etapa profesional, brindarnos sabiduría y paciencia en alcanzar nuestros objetivos profesionales. A nuestras familias, por su amor, apoyo incondicional e inspirarnos y alentarnos para realizar esta tesis. A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco – Vicerrectorado de Investigación por financiar la presente tesis, revalorando la investigación y alentándonos a que los instrumentos aprendidos en nuestra etapa de pregrado sean orientados al estudio de la realidad y podamos contribuir al desarrollo de nuestro País. A nuestra asesora, Dra. Ing. Amanda Rosa Maldonado Farfán y co-asesor M.C. Uriel Bernaola, por apoyarnos en el desarrollo del trabajo de investigación y permitirnos trabajar parte de la investigación en el laboratorio de tecnología de nuestra Escuela Profesional de Ingeniería Química.

Al Dr. Antonio Ramiro Bueno Lazo por su amabilidad, paciencia y apoyo para poder desarrollar la parte experimental en el laboratorio de Hidrocarburos de la Escuela Profesional Ingeniería Química.

Al Ing. Julio Lechuga Washington, por permitirnos desarrollar la parte experimental en el Laboratorio de Control de Contaminación.

A la docente Yanet por permitirnos usar el laboratorio de química orgánica y la paciencia y apoyo en el análisis de nuestras muestras resultantes.

Al Dr. Melquiades Herrera Arivilca, jefe del laboratorio de control de calidad en análisis químico y fisicoquímico, por su amabilidad, paciencia y gran apoyo en el análisis fisicoquímico de nuestras muestras iniciales para la ejecución de la parte experimental.

Al Docente Jorge Choquenaira Pari, responsable del laboratorio de Cromatografía de la Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, por su apoyo en brindarnos información para el análisis GC-MS.

Al Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez, encargado del laboratorio Quimilab, por su apoyo incondicional en el análisis de nuestras muestras finales.

A la empresa Productos Derivados Tahuantinsuyo E.I.R.L., a su gerente Mario Huaman y al Ing Darcy E. Surca, jefe de producción, por brindarnos las facilidades del recojo de muestra de aceite de cocina residual.

Índice General

Presentación	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice General	v
Índice de figuras	viii
Índice de Tablas	x
Índice de apéndices	xi
Índice de Acrónimos	xi
Resumen	xii
CAPÍTULO I	1
GENERALIDADES	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.2.1. Definición del Problema	2
1.2.2. Formulación del Problema	3
1.3. Justificación	4
1.4. Objetivos de la investigación	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos Específicos	5
CAPITULO II	6

FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases Teóricas	11
2.2.1. Aceite Vegetal	11
2.2.2. Aceite de Cocina Residual.....	13
2.2.3. Metil Éster	17
2.2.4. Surfactantes	19
2.2.5. Metil Éster Sulfonato.....	21
2.4.6. Nanotecnología.....	28
2.4.7. Nanomateriales	28
2.4.8. Nanopartículas	28
2.4.9. Nanopartículas de dióxido de titanio	29
2.4.10. Nanofluidos	29
2.4.11. Detergente nanofluídico	30
CAPITULO III.....	34
MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1. Lugar de investigación.....	34
3.2. Muestra... ..	34
3.3. Materiales.....	34
3.3.1. Materiales de vidrio y otros.....	34
3.3.2. Reactivos	35
3.3.3. Instrumentos y equipos.....	35
3.4. Métodos.....	36

3.4.1. Recolección del aceite de cocina residual	37
3.4.2. Tratamiento y Caracterización del aceite de cocina residual	37
3.4.3. Síntesis y caracterización de metil éster	41
3.4.4. Síntesis y caracterización del Metil Ester Sulfonato (MES)	44
3.4.5. Diseño experimental	47
3.4.6. Proceso de obtención del detergente nanofluídico	50
3.4.7. Prueba de detergencia del detergente nanofluídico obtenido	54
3.4.8. Caracterización del detergente nanofluídico	55
CAPÍTULO IV.....	60
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
4.1. Caracterización del aceite de cocina residual	60
4.2. Caracterización del metil éster.....	67
4.3. Caracterización de metil éster sulfonato (MES)	73
4.4. Porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato obtenido	75
4.5. Caracterización de los detergentes nanofluídicos obtenidos	85
4.6. Determinación de la concentración y tiempo de sonicación de nanopartículas de TiO ₂ adecuados para lograr la mayor detergencia de la solución MES	87
Conclusiones.....	88
Referencias bibliográficas.....	90
Apéndice	98

Índice de figuras

Figura 1. <i>Formación de triglicérido</i>	11
Figura 2. <i>Hidrólisis de triglicérido</i>	16
Figura 3. <i>Hidrólisis de metil esteres</i>	16
Figura 4. <i>Reacción de transesterificación</i>	17
Figura 5. <i>Mecanismo de transésterificación de un éster</i>	18
Figura 6. <i>Estructura química del dodecil éster sulfato de sodio</i>	19
Figura 7. <i>Estructura del MES donde R es la cadena alifática C12/18</i>	21
Figura 8. <i>Proceso de sulfonación</i>	23
Figura 9. <i>Productos de sulfonación de metil éster</i>	23
Figura 10. <i>Etapas del procedimiento experimental</i>	36
Figura 11. <i>Recolección de aceite de cocina residual</i>	38
Figura 12. <i>Desgomado de aceite de cocina residual</i>	39
Figura 13. <i>Acondicionamiento y reacción de transesterificación</i>	41
Figura 14. <i>Etapas de decantación del metil éster de la glicerina</i>	42
Figura 15. <i>Lavado de metil éster</i>	43
Figura 16. <i>Dosificación de bisulfito de sodio</i>	44
Figura 17. <i>Sulfonación de metil éster</i>	45
Figura 18. <i>Metil éster sulfonato centrifugado</i>	45
Figura 19. <i>Remoción de disal en la paca calefactora a agitación constante</i>	46
Figura 20. <i>Purificación del agua destilada</i>	43
Figura 21. <i>Baño ultrasónico</i>	53

Figura 22. <i>Lavado de muestras de tela con agua destilada con irradiación</i>	50
Figura 23. <i>Equipo de análisis de tensión superficial</i>	51
Figura 24. <i>Medición de la tensión superficial de la muestra de MES</i>	56
Figura 25. <i>Muestras de detergente nanofluídico a las 3 horas</i>	58
Figura 26. <i>Medición de la altura de la espuma de la muestra de detergente nanofluídico</i>	59
Figura 27. <i>Espectro IR del ACR tratado</i>	64
Figura 28. <i>Espectro IR del biodiesel tratado</i>	60
Figura 29. <i>Comparación de espectros IR del aceite de cocina residual tratado y del biodiesel</i> ..	63
Figura 30. <i>Cambio de estructura en la síntesis del metil éster a partir de ACR tratado</i>	64
Figura 31. <i>Espectro IR del metil éster sulfonato</i>	74
Figura 32. <i>Análisis gráfico de los resultados obtenidos de la detergencia</i>	69
Figura 33. <i>Diagrama de Pareto</i>	80
Figura 34. <i>Gráfica de efectos principales</i>	81
Figura 35. <i>Gráfica de interacción de la detergencia</i>	82
Figura 36. <i>Contorno de superficie de repuesta estimada</i>	84
Figura 37. <i>Análisis gráfico de la variación de la estabilidad de la muestra de detergente nanofluídico</i>	79

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición de ácidos grasos libres de los triglicéridos	12
Tabla 2 <i>Composición de ácidos grasos de las muestras de aceite de cocina residual</i>	14
Tabla 3. <i>Especificaciones y propiedades de las muestras del aceite de cocina residual</i>	15
Tabla 4. <i>Propiedades de α-MES en comparación con otros tensioactivos aniónicos</i>	24
Tabla 5. <i>Diseño experimental</i>	49
Tabla 6. <i>Evaluación de la tensión superficial</i>	46
Tabla 7. Evaluación de la estabilidad del detergente nanofluidoico.....	50
Tabla 8. <i>Evaluación de la espumabilidad del detergente nanofluidoico</i>	59
Tabla 9. <i>Perfil de Ácidos grasos del ACR tratado</i>	66
Tabla 10. <i>Resultados del análisis de perfil de metil ésteres</i>	65
Tabla 11. <i>Detergencia de las mezclas de nanopartículas de TiO₂ con solución de metil éster sulfonato</i>	75
Tabla 12. <i>Soluciones MES con mayor poder de detergencia</i>	69
Tabla 13. <i>Efectos de las variables en la detergencia de la solución metil éster sulfonato con ANOVA</i>	79
Tabla 14. <i>Análisis de Varianza para detergencia</i>	83
Tabla 15. <i>Valores de tensión superficial para las muestran con mayor poder de detergencia</i> ...	85
Tabla 16. <i>Valores de estabilidad para las muestran con mayor poder de detergencia</i>	86
Tabla 17. <i>Espumabilidad para muestras con mayor detergencia</i>	87

Índice de apéndices

Apendice A. <i>Resultados de análisis de % de AGL y humedad antes y después del desgomado</i> ..98	
Apendice B. <i>Perfil de ácidos grasos realizado con el equipo GC-MS</i>99	
Apendice C. <i>Perfil de metil ésteres del análisis GC-MS</i>102	

Índice de Acrónimos

ACR: Aceite de cocina residual

NPs: Nanopartículas

NPs de TiO₂: Nanopartículas de dióxido de titanio

UV-Vis: Espectroscopia ultravioleta-visible

FTIR: Espectroscopia infrarojo por transformada de Fourier

MES: Metil éster sulfonato

GC-MS: Cromatografía de gases acoplado a espectroscopia de masas

AGL: Ácidos grasos libres

AGMI: Ácidos grasos monoinsaturados

AGPI: Ácidos grasos poliinsaturados

ME: Metil éster

Resumen

En el presente trabajo de investigación experimental se evaluó la influencia de las nanopartículas de TiO_2 (NPs de TiO_2) y el tiempo de sonicación en la detergencia del metil éster sulfonato (MES) obtenido a partir de aceite de cocina residual (ACR). El ACR fue desgomado, neutralizado con NaOH al 15% y transesterificado con metanol en una relación molar de 1 a 9 obteniéndose metil éster (ME); el cual se sulfonó con NaHSO_3 en una relación molar de 1 a 1.5 para formar MES. Los grupos funcionales del ACR, ME y MES fueron caracterizados mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y los perfiles de composición del ACR (ácido oleico, ácido palmítico, ácido linoleico) y el ME (oleato de metilo, hexadecanoato de metilo, linoleato de metilo) mediante cromatografía de gases acoplado a espectroscopia de masas (GC-MS). Se estudió la influencia de las variables concentración de nanopartículas (0.08%, 0.10% y 0.12%) y tiempo de sonicación (30, 35 y 40 minutos) en la formulación del detergente; aplicando un diseño experimental factorial 3^2 . Los resultados indicaron que la concentración de NPs de TiO_2 y la interacción entre concentración de nanopartículas y tiempo de sonicación presentaron un efecto significativo sobre el porcentaje de detergencia y revelaron que a condiciones de 0.08% TiO_2 y 30 minutos de sonicación, se alcanzó mayor porcentaje detergente (57%); así como, una tensión superficial de 43.3 mN/cm, estabilidad del 96.5% y espumabilidad del 81%. Se determinó el modelo matemático que relaciona las variables de estudio ($R^2=94.24$) al 95% de confianza.

Palabras clave: % de detergencia; Nanopartículas de TiO_2 ; Tiempo de Sonicación; Metil éster sulfonato (MES)

Abstract

In this experimental research work, the influence of TiO₂ nanoparticles (TiO₂ NPs) and sonication time on the detergency of methyl ester sulfonate (MES) obtained from waste cooking oil (WCO) was evaluated. The WCO was degummed, neutralized with 15% NaOH, and transesterified with methanol in a 1:9 molar ratio, yielding methyl ester (ME); which was then sulfonated with NaHSO₃ in a 1:1.5 molar ratio to form MES. The functional groups of ACR, ME and MES were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) and the composition profiles of ACR (oleic acid, palmitic acid, linoleic acid) and ME (methyl oleate, methyl hexadecanoate, methyl linoleate) by gas chromatography coupled to mass spectroscopy (GC-MS). The influence of the variables nanoparticle concentration (0.08%, 0.10% and 0.12%) and sonication time (30, 35 and 40 minutes) on the detergent formulation was studied; applying a 3² factorial experimental design. The results indicated that the concentration of TiO₂ NPs and the interaction between nanoparticle concentration and sonication time had a significant effect on the detergency percentage and revealed that under conditions of 0.08% TiO₂ and 30 minutes of sonication, a higher detergent percentage was achieved (57%); as well as, a surface tension of 43.3 mN / cm, stability of 96.5% and foamability of 81%. The mathematical model that relates the study variables ($R^2 = 94.24$) was determined at 95% confidence.

Keywords: % detergency; TiO₂ nanoparticles; Sonication time; Methyl ester sulfonate (MES)

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

En la industria de detergentes, los agentes tensioactivos o surfactantes cumplen una función muy importante, donde la química de limpieza ha sido una fuerza impulsora en la innovación de detergentes durante muchos años. Los surfactantes son compuestos que reducen la tensión superficial del agua y poseen propiedades humectantes, dispersantes y emulsionantes que permiten eliminar la suciedad de los tejidos (Siwayanan et al., 2021).

Entre la clasificación de surfactantes, el aniónico es el más usado en la industria de los detergentes debido a su bajo costo y fácil aplicación. Derivan principalmente de dos fuentes, la petroquímica y la oleo química (Ortiz, 2016) y el alquil benceno sulfonato lineal (LAS) es el surfactante de origen petroquímico más utilizado en esta industria (Calvo Leon, 2016)

(Permadani & Slamet, 2019a)El metil éster sulfonato (MES) es un tensioactivo aniónico de base oleo química que se sintetiza a partir del aceite vegetal y se utiliza en la aplicación de detergentes (Permadani & Slamet, 2019a). Las ventajas de MES son mayor detergencia a dosis más bajas, estable en agua dura, biodegradable, baja toxicidad oral y en animales, poder espumante y estabilidad similar al detergente comercial. (Maurad et al., 2006).

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. *Definición del Problema*

En la actualidad se intensificó la necesidad de reducir la aplicación de lauril alquilo sulfonato (LAS) (Awogbemi et al., 2021) debido a que los estudios ecotoxicológicos indican que los LAS son potencialmente peligrosos en la fauna acuática (Temara et al. (2001); Huber (1989) citados por Calvo (2016)). También indican que la presencia de LAS en las plantas afecta la permeabilidad celular, alteraciones en procesos fisiológicos (fotosíntesis), germinación y crecimiento de algunas plantas terrestres (SENA, 2014). Por lo tanto, se plantea un desafío para la obtención de surfactantes a base de oleoquímicos, siendo uno de estos oleoquímicos el aceite de cocina residual (ACR) (De Guzmán (2020) citado en Siwayanan et al., 2021)).

(Moya & Moya, 2020) El ACR tiene alta carga orgánica, su carga contaminante es 5000 veces más que el agua residual de alcantarilla y redes de saneamiento por lo que llega a contaminar hasta 40 m³ de agua siendo un potencial contaminante (Moya & Moya, 2020). Su disposición inadecuada tiene efectos negativos en el ambiente; el desecho en desagües genera malos olores, obstrucción, desborde en tuberías y altos costos en redes de tuberías y plantas de tratamiento de aguas residuales; en alcantarillas atrae roedores, daña paisaje visual y produce malos olores; en ríos genera la formación de espuma y la muerte de vida acuática debido a la formación de capas superficiales que dificultan el paso de oxígeno al cuerpo de agua y el incremento de carga orgánica” (Iagua, 2016) .

En este contexto, la síntesis de surfactantes oleoquímicos como es el metil éster sulfonato (MES) a partir de ACR, se presenta como una alternativa eficaz para el reemplazo de LAS.

A su vez en la actualidad la aplicación de las nanopartículas está teniendo un impacto positivo en las propiedades de detergencia de detergentes obtenidos a partir de MES, como es la reducción de la tensión interfacial, mejora las propiedades de detergencia y biodegradabilidad.

Es así que el objetivo de este trabajo es evaluar la detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual con nanopartículas de TiO_2 .

1.2.2. *Formulación del Problema*

Problema general

- ¿Cuál es el porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual con nanopartículas de TiO_2 ?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características del aceite de cocina residual tratado?
- ¿Cuáles son las características del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual?
- ¿Cómo influye la concentración y el tiempo de sonicación de nanopartículas de TiO_2 en el porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato?
- ¿Cuáles son las características de tensión superficial, espumabilidad y estabilidad de los detergentes nanofluídicos obtenidos?

1.3. Justificación

En la industria de los detergentes, uno de los mayores retos es obtener un producto sostenible, de bajo costo, efectivo y amigable con el medio ambiente.

Este estudio beneficiará la sociedad y en específico la comunidad científica; el primero se debe a la valorización de ACR, obtención de un producto biodegradable y también a su uso masivo en la sociedad; y el segundo, se debe a que los resultados de la investigación aportarán valor teórico, es decir aportará una metodología de la obtención de metil éster sulfonato (MES) con NPs de TiO_2 .

Desde el punto de vista ambiental, la obtención de MES a partir de ACR, amplía las opciones de valorización de ACR. La implicación trascendental que va generar esta investigación está relacionada con el avance del estudio de más aplicaciones del MES obtenido a partir de ACR, como es la obtención del MES, el cual es un producto muy diferente a los productos que usualmente se obtienen como es el caso del biodiesel, jabón, entre otros.

Al evaluar la influencia de las NPs de TiO_2 se tendrá un precedente para futuras investigaciones relacionadas a la obtención de detergentes con estas nanopartículas. En específico, se profundizará el estudio de la relación entre la detergencia y las nanopartículas.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual con nanopartículas de TiO₂.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el aceite de cocina residual tratado
- Caracterizar el metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual
- Evaluar la influencia de la concentración y tiempo de sonicación de nanopartículas de TiO₂ en el porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato
- Caracterizar la tensión superficial, espumabilidad y estabilidad de los detergentes nanofluídicos obtenidos.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes

Djohan et al. (2019) realizaron la investigación sobre “Síntesis de detergente líquido ecológico a partir de aceite de cocina usado y nanopartículas de ZnO”. El artículo tuvo como objetivo elaborar detergente con mejor estabilidad, rendimiento y respetuoso con el medio ambiente con la adición de nanopartículas de ZnO al tensioactivo de sulfonato de éster de metilo (MES), sintetizado a partir de aceite de cocina residual (ACR). Este MES se combinó con nanopartículas de ZnO, produciendo detergente nanofluídico. Los ácidos grasos libres (AGL) del ACR se redujeron con la adición de la solución de NaOH. El aceite de cocina purificado se transesterificó con una relación molar aceite-metanol de 1:9. El éster metílico y el ACR producidos se analizaron mediante GC-MS para determinar su composición. La sulfonación se realizó usando bisulfito de sodio en una relación molar de 1: 1.5, en condiciones de 100°C durante 4.5 h, para obtener el tensioactivo MES, el cual se purificó usando metanol en varias concentraciones de 10 %; 20 %; 30 %; 40 % en volumen, la estructura química fue verificado por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FITR). Se utilizó nanopartículas de ZnO, para formular detergente nanofluídico en concentraciones de MES de 10 %; 12,5 %; 15 % en peso. En este trabajo la purificación de MES se realizó usando metanol al 40 % v/v, y obtuvo como resultado un tensioactivo con una tensión superficial de 33,6 dinas/cm; en la investigación se realizó la prueba de eliminación de manchas sin irradiación UV a una concentración de MES del 15 %, donde el resultado fue del 64,97 % y con irradiación UV con el resultado de 82,36 % a una concentración de MES del 15 %, mostrando mejores resultados de detergencia con irradiación UV.

Permadani & Slamet (2019a) Permadani & Slamet (2019a) realizaron el estudio titulado “Desarrollo de detergente nanofluido a base de metil éster sulfonatos surfactantes a partir de aceite de cocina usado y nanopartículas de dióxido de titanio”, realizado en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Indonesia. El propósito de este estudio fue la obtención de un detergente nanofluido ecológico con una estabilidad y rendimientos óptimos. Para la síntesis del detergente nanofluido se realizó la síntesis del tensioactivo metil éster sulfonato (MES) a partir del aceite de cocina residual (ACR) y luego la obtención del detergente. A pH 7 se obtuvo una calidad óptima de MES, con un producto secundario de disal al 4,47%, concentración aceptable para detergentes. Se analizó la prueba de rendimiento del detergente: eliminación de manchas y la degradación de las manchas; los resultados mostraron que a una concentración de carboximetil celulosa (CMC) de 0-1 % y 3-4 %, el rendimiento del detergente tendió a ser constante aproximadamente de 71% y 85%. La concentración de MES del 1,5 % tuvo el mejor rendimiento para la eliminación de manchas y después de la adición de CMC al 4 %, el rendimiento del detergente aumentó alrededor del 14 %. Se mostró que el rendimiento del detergente aumentó en un 11% con reacción fotocatalítica de las nanopartículas de TiO_2 .

Permadani et al. (2018) desarrollaron el estudio titulado “Utilización de aceite de cocina usado como materia prima para la síntesis de tensioactivos de metil éster sulfonatos (MES)” realizado en la Universidad de Indonesia en el Departamento de Ingeniería Química. La mencionada investigación tuvo como propósito obtener un tensioactivo metil éster sulfonato (MES) óptimo a partir de aceite de cocina residual (ACR). Para la síntesis del MES los ácidos grasos libres (AGL) del aceite de cocina residual purificado deben encontrarse por debajo del 2,5%, con esta condición se transesterificó a diferentes concentraciones de metanol con KOH al 1% como catalizador. La sulfonación del éster metílico se llevó a cabo a 100°C por 4,5 h con relación molar de éster metílico y NaHSO₃ de 1:1,5; el producto de la reacción se centrifugó a 1500 rpm por 30 min para separar el sulfonato residual. Luego se hizo la purificación con metanol al 30% a 50°C por 1,5 h y seguidamente el proceso de neutralización con NaOH al 20% a 55°C por 30 min con variaciones de pH. La estructura química del MES se comprobó mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y espectroscopia de masas acoplado a cromatografía líquida (LC-MS). Las propiedades químicas del MES se obtuvieron a partir de su tensión superficial y se determinó con un tensiómetro. La solubilidad del MES en agua fue determinada mediante el tiempo de separación de fases de MES y agua. En los resultados obtenidos para la purificación de ACR se tuvo el cambio de color de un marrón oscuro a un marrón claro y la disminución de AGL de hasta 1,58%, en el análisis de su composición se encontraron en porcentajes altos al ácido palmítico, oleico, linoleico y esteárico. En el proceso de transesterificación se obtuvo un mayor rendimiento, de 94,15%, para una relación aceite purificado y metanol de 1:9. Con el análisis GC-MS el 7-octadecanoato fue el componente con mayor concentración en el éster metílico. El rendimiento de la sulfonación fue de 77,20%.

Slamet & Redjeki (2017)Slamet & Redjeki (2017) desarrollaron el estudio sobre la “Interacción entre el surfactante y la titania en un detergente” el artículo tuvo el propósito específico estudiar la estabilidad del nano fluido y la tensión superficial del tensioactivo. Para ello se hizo la preparación del sistema nanofluido de titania y la preparación del surfactante sulfonato de alquilo primario (PAS). En el primer caso se dispersó titania en un líquido huésped y se agitó por 15 min; luego se disolvió una cantidad de tensoactivo PAS en agua y se agitó por 15 min; seguidamente se mezcló ambas soluciones en proporciones de peso de 1:6, 1:7 hasta 1:12 y se agitó por 30 min y luego se hizo pasar por sonicación por 30 min también. Para conocer la adsorbancia del nanofluido se hizo un análisis UV Vis en 0, 1, 2 y 3h. Se midió la tensión superficial del aquadest (agua ultrapura) puro, aquadest-surfactante, aquadest-nanopartícula y aquadest-nanopartícula-surfactante. La estructura del producto sintetizado se caracterizó por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR). En los resultados del análisis de absorbancia se observó que para todos los casos (relaciones de solución titania-solución surfactante de 1:6 hasta 1:12) la disminución de este parámetro. Se observó que la estabilidad se logró a partir de la relación nanopartícula-tensioactivo de 1:10 en p/p y con esta relación se observó que la absorbancia tuvo una reducción del 3,41 % en 3h, porque se mencionó se logró la estabilidad. Se reportó que el control de un tiempo adecuado de sonicación es importante. En los resultados de la tensión superficial se observó que disminuye con la adición de la nanopartícula (es decir de 80,5mN/m hasta 56,8 mN/m), y se observó una mayor disminución al mezclar la solución de nanopartícula con surfactante (es decir de 56,8 mN/m hasta 31,5 mN/m).

Slamet et al. (2017) desarrollaron la investigación titulada “Síntesis de tensioactivo de sulfonato de éster metílico a partir de aceite de palma crudo como sustancia activa de detergente líquido para ropa”. En el presente trabajo se sintetizaron el surfactante metil éster sulfonato (MES) con nanopartículas de TiO_2 para mejorar la eliminación de suciedad y producir residuos con menor concentración de surfactante, el azul de metileno fue usado como modelo de suciedad. El surfactante MES se obtuvo a partir de aceite de palma crudo (CPO) mediante un proceso que incluía etapas de esterificación, transesterificación, sulfonación, refinación y neutralización. La síntesis del MES se optimizó variando las relaciones molares entre los reactivos en cada etapa. En la etapa de esterificación y transesterificación, se alcanzó una conversión del 99 % utilizando una relación molar de 1:6 entre CPO y metanol. En cuanto a la sulfonación, la relación molar óptima fue de 1:1,5 entre el éster metílico y NaHSO_3 , lo cual permitió obtener un surfactante con la más baja tensión superficial de 35.7 dinas/cm. Se evaluaron distintas combinaciones de surfactante MES y nanopartículas para determinar la fórmula más estable del detergente. Para caracterizar los productos obtenidos y su eficacia, se emplearon diversas técnicas analíticas, tales como espectrofotometría UV-Vis, espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR) y espectroscopia de masas acoplado a cromatografía líquida (LC-MS) y espectroscopia de masas acoplado a cromatografía de gases (GC-MS).

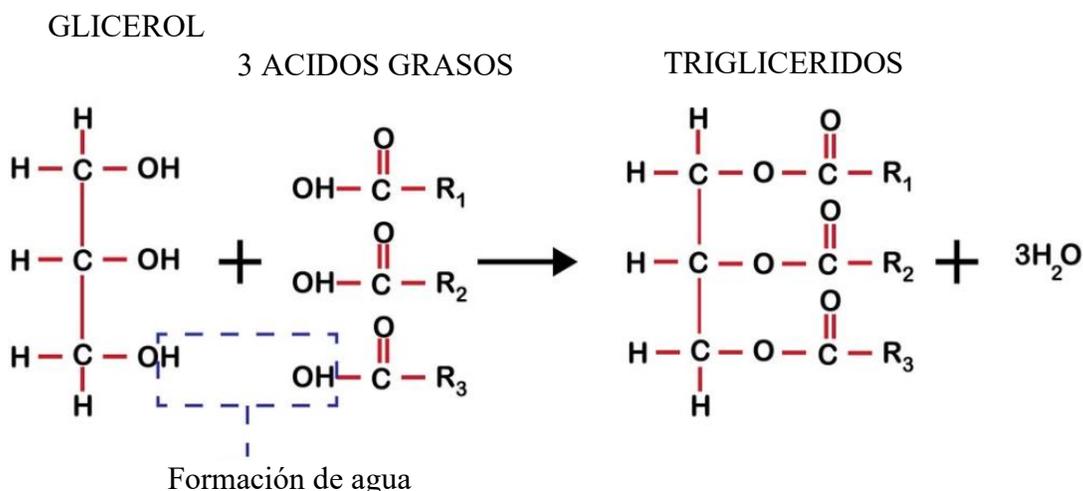
2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aceite Vegetal

El aceite vegetal se define solo a las grasas líquidas a temperatura ambiente (Lázaro, 2018). El aceite vegetal en la mayoría está constituido por 95% de triglicéridos y 5% de Ácidos grasos libres, y otros compuestos en menor porcentaje como esteroides y ceras se caracterizan por ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos no polares. Los ácidos grasos son compuestos carboxílicos terminales de cadena abierta alifática de C₈ a C₂₄ de longitud y pueden ser saturados o insaturados. Los ácidos grasos saturados la mayor parte son grasas debido a que son sólidos a temperatura ambiente como lo son el butírico, caproico, caprílico, cáprico, láurico, mirístico, palmítico, entre otros; los ácidos grasos insaturados son aceites líquidos a temperatura ambiente como los son el miristoleico, palmitoleico, oleico, linoleico, linolénico, araquidónico. En la figura 1 se muestra la reacción de condensación entre la glicerina y tres ácidos grasos formando una molécula de triglicérido y tres moléculas de agua (Cabezas Zábala et al., 2016)

Figura 1.

Formación de triglicérido



(Reaccion quimica de Trigliceridos, 2025) Nota. Recuperado de (Reaccion quimica de Trigliceridos, 2025)

Una muestra de aceite vegetal puro consiste principalmente en ácidos grasos saturados y ácidos grasos poliinsaturados, mientras que el ACR contiene principalmente ácidos grasos saturados y ácidos grasos monoinsaturados (Awogbemi et al., 2019). En la Tabla 1 se muestra los ácidos grasos más importantes constituyentes de los triglicéridos presentes en el aceite de origen vegetal.

Tabla 1

Composición de ácidos grasos libres de los triglicéridos

Ácido Graso	Nº de carbonos	Estructura Química
Láurico	12	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{10}\text{-COOH}$ (coco y semillas de palma)
Mirístico	14	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{12}\text{-COOH}$ (nuez moscada, coco y semillas de palma)
Palmítico (s)	16	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{14}\text{-COOH}$ (animales, casi todos los aceites vegetales)
Esteárico (s)	18	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{16}\text{-COOH}$ (animales, cacao y casi todos los aceites vegetales)
Araquídico	20	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_{18}\text{-COOH}$ (cacahuete)
Palmitoleico	16	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_5\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$ (animales y vegetales)
Oleico	18	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_7\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$ (aceituna y almendra)
Linoleico	18	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$ (aceituna, girasol, soja)
Linolénico	18	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$ (lino)
Araquidónico	20	$\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-(CH=CH-CH}_2\text{)}_3\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_3\text{-COOH}$ (vegetales)
Erúcico	22	$\text{CH}_3\text{(CH}_2\text{)}_7\text{CH=CH(CH}_2\text{)}_{11}\text{COOH}$ (colza, uva)

Nota. Recuperado de (Tejedor, s. f.).

2.2.2. *Aceite de Cocina Residual*

El aceite de cocina residual (ACR) en general, se define como residuos de aceites de cocina. El ACR se genera al cocinar y freír alimentos con aceites vegetales comestibles, que generalmente se desechan en el medio ambiente (Permadani et al., 2018). El grado de uso y el tipo de alimentos fritos originalmente en el aceite afectan sustancialmente sus propiedades y composición de ácidos grasos (Tacias Pascacio et al., 2016a)

a) Composición del aceite de cocina residual

(Panadare & Rathod, 2015) El aceite de cocina utilizado, sufre cambios en su composición fisicoquímica. Por otro lado, se observó que el ACR sufre procesos de hidrogenación y degradación oxidativa durante la fritura a alta temperatura capaces de alterar sus huellas dactilares (Panadare & Rathod, 2015). En la tabla 2 se muestra la composición del aceite de cocina usado y en comparación con un aceite vegetal nuevo, donde: (A) aceite de girasol, (B) margarina de panadería, (C) aceite de girasol, (D) aceite de palma usado para freír pescado y papas, (E) aceite de restaurante y (F) es aceite de palma, usado para freír papas y salchicha. Recuperado de (Awogbemi et al., 2019). Tienen un número menor de ácidos grasos (AG) y en cantidades más pequeñas, el ácido oleico es el ácido más frecuente, apareciendo en todas las muestras registradas, las muestras B, C, D y F tienen más ácidos grasos saturados, mientras que las muestras A y E tienen más ácidos grasos monoinsaturados (AGMI) y ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), respectivamente.

Tabla 2*Composición de ácidos grasos de las muestras de aceite de cocina residual*

Nombre común del ácido graso	Acrónimo	Muestras de aceites de cocina usado					
		A	B	C	D	Mi	F
Ácido oleico	C18:1	0.80	18.02	0.59	0.72	2.74	14.39
Acido Palmítico	C16:0	0.36	43.20	-	-	5.98	40.21
Acido linoleico	C18:2	0.10	-	-	-	33.89	-
Ácido erucido	C22:1	0.26	-	-	-	-	-
Ácido caprilico	C8:0	0.20	0.15	-	-	-	-
Ácido undecilico	C11:0	-	1.85	0.43	-	0.52	-
Acido esteárico	C18:0	-	-	1.14	-	-	-
Acido mirístico	C14:0	-	-	-	-	-	17.04
Acido no adecilico	C19:0	-	-	-	9.76	-	-

b) Propiedades del aceite de cocina residual

Las propiedades de los aceites de cocina residual son dependientes del tipo de aceite de acuerdo a su materia de origen y del tratamiento al que son sometidos (duración de la cocción, temperatura del aceite, exposición al aire, periodo de almacenamiento y el tipo de alimento cocinado), los cuales determinan las características finales del aceite de cocina usado (Tacias Pascacio et al., 2016b). En la tabla 3, se muestra la comparación de propiedades de aceite de cocina usado obtenidos de diferentes orígenes.

Tabla 3

Especificaciones y propiedades de las muestras del aceite de cocina residual

Muestra	Origen de aceite	Toma de muestra	Uso	Uso (días)	pH	Congelación la temperatura (-°C)	Densidad en 20°C (kg/m ³)	Viscosidad a los 40°C (mm ² /s)	Yodo valor (cg/g)	Ácido valor	Molecular peso (g/mol)
A	Aceite de girasol	Restaurante	Pescado y papas fritas	14	5.34	-5.15	920.4	31.381	111.1	2.29	51.94
B	margarina de deposito	Panadería	Donas	14	5.13	4.9	917.18	40.927	54,9	2.87	534.01
C	papel de girasol	-	Papas fritas	14	6.14	-6.3	919.8	43.521	116.7	0.72	55.18
D	aceite de palma	-	Pescado y papas fritas	14	5.73	12.3	904.3	44.254	81.7	0,66	135.66
mi	papel de girasol	Restaurante	Papas fritas	7	6.61	- 3,4	923.2	35.236	110.3	1.44	395.28
F	aceite de palma	-	Patatas fritas y salchicha	14	6.19	14.7	913.4	38.407	54.2	1.13	586.05

Nota. Donde: (A) aceite de girasol, (B) margarina de panadería, (C) aceite de girasol, (D) aceite de palma usado para freír pescado y papas, (mi) aceite de restaurante y (F) es aceite de palma, usado para freír papas y salchicha. Adaptado de (Awogbemi et al., 2019).

Índice de acidez

Se define como la masa en mg de KOH necesaria para neutralizar la acidez libre en 1 gramo de grasa (Inacal, 2016). Mediante este índice se evalúan, esencialmente, los ácidos grasos libres. Este índice es indicativo de la calidad de un aceite o grasa, pudiéndose relacionar tanto con las características de la materia prima utilizada como con el procesamiento. (Tacias Pascacio et al., 2016c)

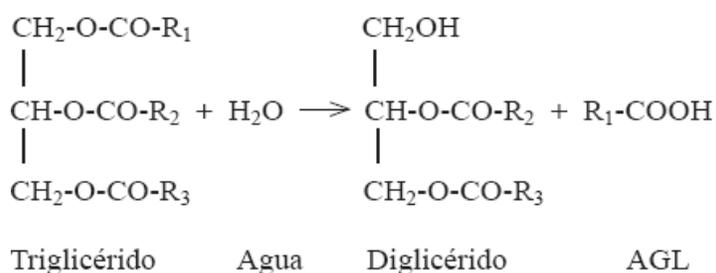
Humedad

La humedad mide el contenido de agua. La presencia de humedad en el aceite usado puede deberse a diversas fuentes, como el contenido de agua de los alimentos cocinados, la condensación durante el enfriamiento del aceite o la contaminación cruzada durante el manejo y almacenamiento del aceite (Navas et al., 2019).

Las temperaturas altas alcanzadas durante la cocción de alimentos junto a la presencia de agua aceleran la descomposición de los triglicéridos, dando la formación de glicéridos y ácidos grasos libres, lo que genera el oscurecimiento de los aceites y los malos olores, esta reacción de descomposición se llama hidrólisis (Tacias Pascacio et al., 2016d), esta reacción se puede apreciar en la figura 2.

Figura 2

Hidrólisis de triglicérido

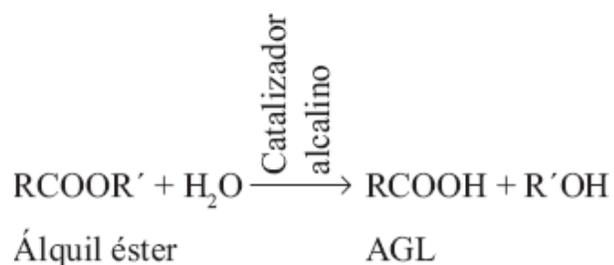


Nota. Obtenido de (Tacias Pascacio et al., 2016d)

En una reacción de transesterificación se puede dar una segunda reacción de hidrolisis con catalizador alcalina, debido a que los productos formados, metil éster, pueden ser convertidos en ACR, esta reacción se puede apreciar en la figura 3 (Tacias Pascacio et al., 2016d).

Figura 3

Hidrólisis de metil esteres



Nota. Recuperado de (Tacias Pascacio et al., 2016d).

Por lo tanto, es fundamental minimizar las reacciones secundarias, como la saponificación y la hidrólisis, durante el proceso de transesterificación alcalina, para asegurar un buen rendimiento y calidad del biodiésel (Tacias Pascacio et al., 2016d).

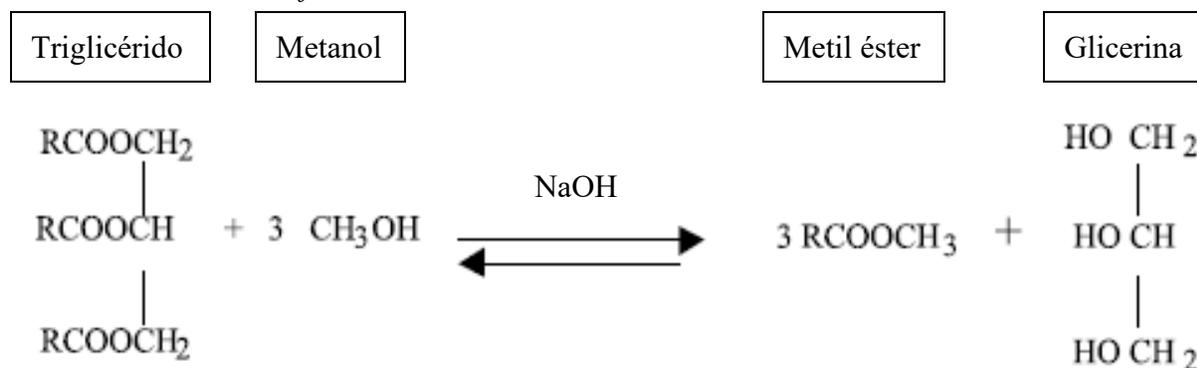
2.2.3. Metil Éster

Los metil éster son derivados de grasas animales y aceites vegetales (Cohen et al., 2010a) se obtienen a través de esterificación y transesterificación de Ácidos grasos libres (AGL) y triglicéridos respectivamente (Adekunle et al., 2020).

La transesterificación o alcoholólisis es una reacción que consiste en tres pasos consecutivos entre una grasa (aceite) y un alcohol donde se generan los esteres metílicos de los ácidos grasos (Caetano et al., 2014), la reacción global se muestra en la figura 4.

Figura 4

Reacción de transesterificación

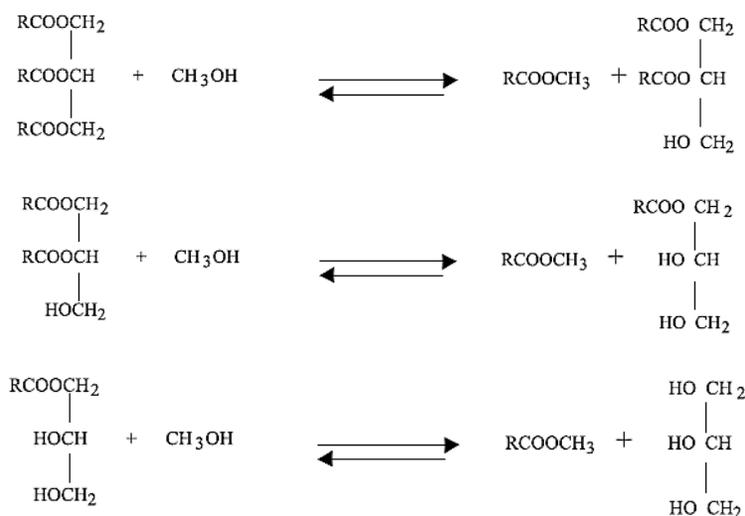


Nota. Recuperado de *Metanólisis de un compuesto grado*, por (Narváez et al., 2004a)

La transesterificación es un resultado de tres reacciones reversibles consecutivas, los mismos se pueden observar en la figura 5 ((Narváez et al., 2004b).

Figura 5

Mecanismo de transesterificación de un éster



Nota. Recuperado de *Etapas de metanolisis de un compuesto grado*, por (Narváez et al., 2004a)

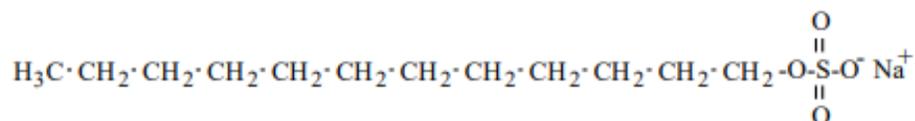
(Alptekin & Canakci, 2008b)(Alptekin & Canakci, 2008a) Debido a que la naturaleza de la reacción es reversible, se necesita la adición en exceso de alcohol para el desplazamiento del equilibrio hacia la formación de productos, lo que asegura la formación de productos (Caetano et al., 2014). Para la obtención de metil ésteres primero se debe determinar el índice de Acidez, si el índice de Acidez es menor a 1 (mg KOH/g) se puede proceder con la transesterificación directamente. La reacción de transesterificación es reversible, y un incremento de reactivos da como consecuencia conversiones altas del producto (Alptekin & Canakci, 2008a). Los índices de Acidez de los aceites vegetales refinados son inferiores a 1 mg KOH/g, luego de su uso este valor puede incrementar. Cuando se tiene un aceite con un gran contenido de AGL estos reaccionan con catalizadores alcalinos dando lugar a la formación de jabones reduciendo la conversión de los aceites vegetales a ésteres, a su vez los jabones formados evitan la descomposición del éster, la glicerina y el agua de lavado al final de la reacción. (Alptekin & Canakci, 2008b)

2.2.4. *Surfactantes*

Según la Real Academia Española la palabra surfactante es un término neologista a partir de 1950, proviene del inglés *Surface active agent*, que traducido significa “agente de actividad superficial” el cual ha sido adaptado para la descripción de compuestos orgánicos que cambian las propiedades superficiales reduciendo la tensión superficial. (Salager & Fernandez, 2004a) Es una molécula anfífila también llamada anfipática, su estructura química se compone de un lado polar, el cual presenta heteroátomos como P, S, N y O, y de la otra parte se presenta un grupo apolar compuesto generalmente por una cadena de hidrocarburo parafínico, ciclo parafínico o aromático. La parte polar también llamado hidrofílica, tiene afinidad con los solventes polares, especialmente el agua, por otro lado, la parte apolar tiene afinidad por solventes orgánicos, como aceites o grasas e hidrocarburos (Salager & Fernandez, 2004a). En la figura 6 se muestra la estructura química, típica de un compuesto anfífilo.

Figura 6

Estructura química del dodecil éster sulfato de sodio



(Salager & Fernandez, 2004). *Nota.* Recuperado de (Salager & Fernandez, 2004).

Los surfactantes se clasifican según el tipo de disociación de su molécula en solución, se clasifica en aniónicos, catiónicos, no iónicos y anfóteros.

a) **Surfactantes aniónicos**

Son aquellos surfactantes que al disolverlos en agua se disocian en un anión anfífilo (molécula aniónica con una cabeza hidrófila y una cola hidrófoba) y un catión que generalmente es un metal alcalino como sodio o potasio. Estos surfactantes son los más producidos y utilizados

en la industria, ya que tienen un gran poder de limpieza y formación de espuma. Entre ellos tenemos a los detergentes como los alquilbenceno sulfonatos (usados en jabones líquidos y detergentes para ropa), Jabones tradicionales, que son sales de ácidos, espumantes, como el lauril éter sulfato (usado en champús, geles de baño y pastas dentales) (Salager & Fernandez, 2004a)

b) Surfactantes no iónicos

En solución acuosa no se ionizan, ya que poseen grupos hidrófilos del tipo alcohol, tiol, éter o éster. Una gran parte de estos surfactantes son alcoholes o fenoles etoxilados. Por orden de importancia industrial vienen justo después de los surfactantes aniónicos, hoy en día su producción está aumentando (Salager & Fernandez, 2004b).

c) Surfactantes catiónicos

Son aquellos que al disolverse en agua, se separan en un catión anfifílico. Estos surfactantes no se usan tanto como los aniónicos, pero son esenciales en aplicaciones como enjuagues, emulsiones asfálticas y otros productos especializados. La mayoría de estos compuestos pertenecen a la familia de los amonios cuaternarios, conocidos por sus propiedades bactericidas y acondicionadoras (Salager & Fernandez, 2004b).

d) Surfactantes anfóteros

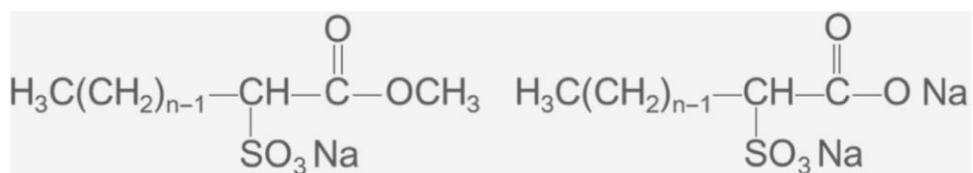
Contienen en la misma molécula un grupo con tendencia aniónica y otro con tendencia catiónica. Su comportamiento depende del pH del medio, ya que en condiciones ácidas predominan como catiónicos y en condiciones básicas como aniónicos. Entre estos surfactantes tenemos a los aminoácidos, betaínas y fosfolípidos. Debido a su alto costo, su uso se limita a aplicaciones específicas, como productos de cuidado personal y formulaciones especiales. Estos surfactantes avanzados tienen propiedades únicas y pueden ofrecer mejoras en estabilidad y rendimiento en diversas aplicaciones (Salager & Fernandez, 2004b).

2.2.5. Metil Éster Sulfonato

(Tobori & Kakuit, 2019) El metil éster sulfonato (MES) es un surfactante aniónico derivado de la sulfonación de ésteres metílicos obtenidos a partir de grasas y aceites naturales, como el aceite de palma (Torres, Suarez, et al., 2008). Su estructura química es la de un éster metílico de ácido graso con un grupo sulfonato en la posición alfa (Tobori & Kakuit, 2019), se caracteriza por poseer una cadena alquílica hidrofóbica y un grupo sulfónico hidrofílico, lo que le confiere propiedades anfipáticas esenciales para su función como agente tensioactivo (Torres, Diaz, et al., 2008). La estructura química es la mostrada en la figura 7, el número de carbonos generalmente en su estructura son de 12 a 18 carbonos. (Torres, Diaz, et al., 2008)

Figura 7

Estructura del metil éster sulfonato y de la sal disódica



(Tobori & Kakuit, 2019) *Nota.* Recuperado de (Tobori & Kakuit, 2019)

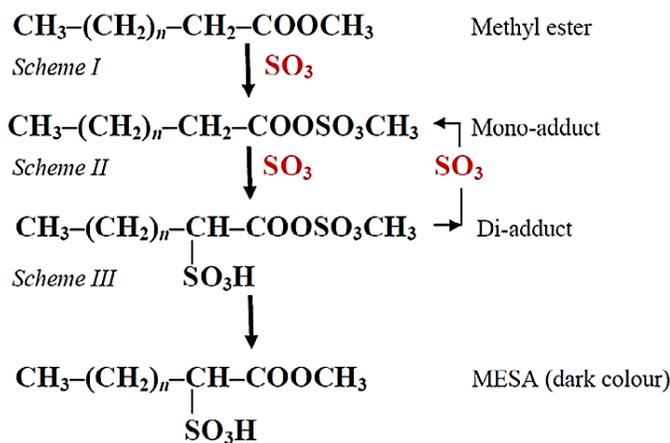
Un sulfonato se caracteriza por la introducción del grupo sulfonato $-\text{SO}_3\text{H}$ a una molécula orgánica por medio de un enlace simple carbono-azufre. Entre los compuestos que se pueden sulfonar se encuentran los hidrocarburos aromáticos: olefinicos, amidas y fenoles, cuyo producto es muy estable. Ejemplos típicos de sulfonaciones son los ataques del trióxido de azufre sobre un anillo bencénico que forma un complejo sigma (Edward, 1976) (Torres, Diaz, et al., 2008).

a) Obtención de metil éster sulfonato

(Permadani & Slamet, 2019b) Se pueden obtener a partir de la sulfonación de ésteres metílicos (Cohen et al., 2001) citado en (Cohen et al., 2008). También pueden ser obtenidos a partir de la ésterificación del ACR con un consecuente proceso de sulfonación (Jin et al., 2016, (Permadani & Slamet, 2019b); Djohan et al., 2019). Debido a que son derivados de materia prima renovable, son sustituto atractivo a sus productos semejantes obtenidos a partir de petróleo (Xu et al., 2017). La formación de α -MES puede lograrse a través de cinco etapas (Siwayanan et al., 2021c).

- Sulfonación de metil éster con SO_3
- Digestión de Ácido sulfónico de éster metílico (MESA)
- Blanqueo de MESA
- Neutralización de MESA
- Secado de pasta α -MES

Los α -MES son obtenidos agregando SO_3 al alfa carbono del metil éster, el proceso de obtención se puede observar en la figura 8; como se observa en el esquema I, la primera molécula de SO_3 se agrega al metil éster formando un intermedio (mono aducto), rápidamente el mono aducto sufre un reordenamiento para formar un di aducto, este componente activa el carbón alfa para la sulfonación con SO_3 , como se puede ver en el esquema II, seguidamente el esquema III se observa la formación de MESA de color oscuro. El MESA digerido se blanquea con metanol y peróxido de hidrogeno, el primero reésterifica el di aducto y el segundo blanquea. El proceso de neutralización se realiza con una base para la formación de pasta de α -MES. El metanol y el agua en exceso se destilan y se obtiene un α -MES seco (Chemiton, 2006 citado en (Siwayanan et al., 2021c).

Figura 8*Proceso de sulfonación*

Nota. Recuperado de (Siwayanan et al., 2021). Donde *Scheme* traducido al español es “Esquema”, Metil éster es “Metil éster”, *Mono adduct* es “Mono-aducto”, *Di-adduct* es “Di-aducto” y *MESA (dark color)* es “MESA de color negro”.

Del proceso de sulfonación no solo se obtiene el α -MES, sino también se obtiene el Ácido graso sulfonato como producto secundario, estos productos se observan en la figura 9 (Sanches, 2004).

Figura 9*Productos de sulfonación de metil éster*

Nota. En la tabla 4 se presentan las propiedades de α -MES en comparación con otros tensoactivos de usos común.

Tabla 4

Propiedades de α -MES en comparación con otros tensioactivos aniónicos

Propiedad	Comparación de surfactantes								
Detergencia	LABS	~	α -MES	~	FAS	~	FAES	~	AOS
Espumabilidad	LABS	~	AOS	~	FAES	~	FAS	~	α -MES
Solubilidad	LABS	>	FAES	>	AOS	>	α -MES	>	FAS
Compatibilidad con piel	α -MES	>	AOS	>	FAES	>	LABS	>	FAS
Sensibilidad a la dureza del agua	FAS	>	FAES	>	LABS	>	AOS	>	α -MES

Nota. LABS (sulfonato de alquil benceno linear), FAES (éter sulfato de alcohol graso), FAS (sulfato de alcohol graso), AOS (sulfonatos de alfa olefina). Recuperado de (Siwayanan et al., 2021b)

b) Propiedades de metil éster sulfonato

Entre las propiedades generales del MES se tiene la espumabilidad, propiedades hidrotópicas, modificación de viscosidad, tolerancia a la dureza del agua y estabilidad de iones metálicos, la dispersión de la cal del jabón y detergencia.

- **Dispersión de la cal del jabón**

En el uso del jabón, las sales de calcio de los Ácidos grasos de larga cadena se retienen en las prendas causando con el tiempo colores grises. En el uso de tensioactivo dispersante de cal se pueden evitar la formación de estos colores grisáceos. El lauril sulfato de sodio es un excelente dispersante de cal, mientras que el éster metílico sulfonato de sodio de sebo tiene un 22% de poder dispersante (Sánchez, 2004).

- **Detergencia**

Es la remoción de suciedad de las superficies sólidas mediante química de superficies. La mayoría de las partículas de suciedad están rodeadas de grasa o aceite. El agua no es capaz de dispersarla o separarla de la superficie a la que están unidas; los tensioactivos o surfactantes si pueden separar las partículas de la superficie o si la suciedad está unida entre sí, también puede separarlos. Mientras sucede esto se forma una capa exterior con interface, es decir se da la formación de glóbulos con una capa exterior polar, que sí es miscible con el agua; ahora los glóbulos individuales con capa exterior polar se repelen por repulsión electrostática, estos glóbulos se dispersan en toda la fase líquida para luego ser desechados con el agua de desecho, la presencia de surfactantes, a veces, no es suficiente para una buena detergencia, debido al cual a veces es necesario una agitación vigorosa. La temperatura también influye de manera importante en la detergencia, debido a que facilita la solubilización del tensioactivo y de la grasa en la solución, por lo que en la detergencia se deben tener en cuenta estos parámetros (químico, mecánico y térmico) (Plata, 2006).

(Cohen & Trujillo, 1999) Satsuki et al., (1992) estudiaron propiedades de detergencia del éster metílico sulfonato de sodio de diferentes longitudes de cadena y los comparó con sulfonato de sodio de cadena lineal (LAS) y lauril sulfato de sodio (AL). Donde MES_{C16} y MES_{C18} tuvieron propiedades de detergencia más altas. En agua a 25°C, 54 ppm ($CaCO_3$) $MES_{C16} > MES_{C18} > LAS > MES_{C14} > AS > MES_{C12}$. En agua a 40°C, 270 ppm ($CaCO_3$) $MES_{C16} = MES_{C18} > MES_{C14} > AS > MES_{C12} > LAS$. Se cree que la tolerancia a los iones de agua dura del MES ayuda en su propiedad de detergencia. (Cohen & Trujillo, 1999) hicieron una comparación en rendimiento del uso de MES de diferentes cadenas carbonadas, donde el MES de 16 carbonos presentó mayor rendimiento en su aplicación en aguas duras, en comparación con otros números

de cadena, mientras los tensioactivos MES entre 16 y 18 carbonos presentan altos rendimientos para aguas moderadamente duras. También nos mencionan que el MES de 16 carbonos puede ser mezclado con LAS en formulaciones de detergentes.

- **Espumabilidad**

Lim et al. en el año 2016 estudiaron la capacidad de formación de espuma y punto Krafft donde se demostró que α -MES tiene muy buena tolerancia a la dureza del agua. Una de las limitaciones distintivas en el uso de sulfonatos de éster α -metílico es su escasa solubilidad en agua, lo que los convierte en productos menos satisfactorios en comparación con los sulfonatos de alquil lineal (LAS)(Cohen et al., 2010b). En la actualidad se están obteniendo tres tipos de MES, el α -MES, β -MES y Φ -MES. La obtención y las propiedades de cada MES también son diferentes. En este estudio nos enfocaremos en el α -MES, respecto a los demás se mencionarán solamente.

- **Tensión superficial**

Dentro de un líquido, las moléculas se encuentran atraídas unas a otras debido a las fuerzas intermoleculares, mientras que, en la superficie del líquido, no hay moléculas por encima, por lo que la atracción neta es hacia el interior por lo que las moléculas tienden a cohesionarse, minimizar su superficie expuesta. La tensión superficial es la fuerza que actúa en la superficie del líquido (Universidad de Granada, s. f.). La energía de esa superficie "S" se llama energía superficial. Cuando se coloca un objeto en un líquido, por ejemplo, un alambre, la superficie libre se deforma y estira, el líquido se resiste a que su superficie aumente, esa resistencia aparece como una fuerza de tensión superficial (Universidad Granada, 2009). La tensión superficial se puede medir experimentalmente utilizando un anillo de alambre rodeado de líquido. Al retirar el anillo se mide con un dinamómetro la fuerza necesaria para romper la

película líquida alrededor del aro. Conociendo esta fuerza (ΔF) y el diámetro del anillo ($2R$), se puede calcular la tensión superficial del líquido mediante la fórmula $\sigma = \Delta F / 4\pi R$ (García, 2016).

Donde:

- σ = tensión superficial (N/m)
- ΔF = incremento de fuerza medida al separar el anillo (N)
- R = radio del anillo (m)

El denominador es “ $4\pi R$ ” debido a que el anillo tiene un perímetro $2\pi R$ y la película de líquido tiene dos caras (interior y exterior). Los surfactantes son moléculas que se colocan en las interfaces (como agua-aire o agua-aceite) y reducen la tensión superficial o interfacial, lo que disminuye la energía libre del sistema. Gracias a esto, permiten que líquidos que normalmente no se mezclan, como agua y aceite, formen emulsiones, donde un líquido queda disperso en forma de pequeñas gotas dentro del otro (Vidal Jiménez, 2016). (Sharma & Arya, 2022) La efectividad de un surfactante está determinada por su capacidad para reducir la tensión superficial. Debido a la presencia de un surfactante, se requiere menos trabajo para llevar una molécula a la superficie y la tensión superficial se reduce. Un buen surfactante puede disminuir la tensión superficial del agua de 72 a 35 mN/m (Sharma & Arya, 2022).

- **Estabilidad**

La estabilidad de una emulsión depende de que esas gotas no se junten ni se separen con facilidad. Para conseguirlo, es clave que la película de surfactantes alrededor de cada gota sea fuerte, que el tamaño de las gotas sea pequeño y uniforme, y que la fase continua (el líquido en el que están dispersas las gotas) tenga suficiente viscosidad para evitar choques frecuentes. También influye la proporción agua-aceite y la temperatura, ya que cambios bruscos pueden romper la emulsión.

En resumen, los surfactantes actúan como “puentes” que mantienen unidas fases inmiscibles y retrasan la separación. Por eso son tan importantes en productos cotidianos como cremas, mayonesas, detergentes o fármacos líquidos, donde la estabilidad de la emulsión es esencial (Vidal Jiménez, 2016)

2.4.6. Nanotecnología

La nanotecnología es un área de investigación dedicada al estudio de nuevos materiales a nivel atómico y molecular. Su objetivo es comprender los fenómenos que ocurren a esta escala, ya que los materiales en tamaño nanométrico presentan propiedades mejoradas en comparación con los mismos materiales en mayor tamaño (Baena et al., 2022). Por las propiedades innovadoras que surgen a nano escala, es posible que los nanomateriales necesiten más información y de diversas clases que la que los nanomateriales necesitan para ser diseñados (Morales, 2014)

2.4.7. Nanomateriales

Cuando las dimensiones de un material se reducen por debajo de los 100 nm, pueden producirse alteraciones drásticas en sus propiedades (Nasrollahzadeh et al., 2019). Los nanomateriales se definen como aquellos materiales cuyo tamaño es inferior a 100 nanómetros en al menos una de sus dimensiones, y siendo más limitantes, aquellos cuyas características inherentes varían de las de sus similares en volumen debido a su tamaño.

2.4.8. Nanopartículas

Son un colectivo de átomos unidos entre sí con un radio promedio entre 1 y 100 nm, es decir, que normalmente consta de $10-10^5$ átomos (Nasrollahzadeh et al., 2019).

2.4.9. Nanopartículas de dióxido de titanio

El dióxido de titanio, TiO_2 , es un semiconductor sensible a la luz que absorbe radiación electromagnética, principalmente en la región UV; además es un óxido anfótero muy estable químicamente, lo que lo hace el fotocatalizador más empleado en la purificación del agua a través de la degradación de moléculas orgánicas. Es empleado como tinte blanco, revestimiento anticorrosivo, detector de gases y protector frente a los rayos UV en artículos cosméticos. El dióxido de titanio ha sido objeto de una gran cantidad de investigaciones durante las últimas décadas debido a sus excelentes propiedades fisicoquímicas y a la creciente demanda de dispositivos con propiedades mejoradas con un fuerte énfasis en las aplicaciones medioambientales. El interés actual se centra en el uso de TiO_2 nano cristalino para el desarrollo de células solares sensibilizadas por colorante, fotocatalizadores para la degradación de contaminantes del agua y del aire, ventanas autolimpiables y energéticamente eficientes, sensores de gas y materiales fotoluminiscentes (Vargas et al., 2011). Las propiedades del TiO_2 dependen significativamente de la fase cristalina, es decir, anatasa, rutilo (Parra et al., 2008). Las NPs de TiO_2 se presentan en tres estructuras cristalinas distintas: rutilo, brookita y anatasa. La fase anatasa se obtiene a bajas temperaturas y es considerada meta estable, mientras que la fase brookita se forma en condiciones de alta presión. Ambas fases se transforman en la fase estable, el rutilo, mediante tratamiento térmico (Castillo & Paucar, 2023).

2.4.10. Nanofluidos

Los nanofluidos son suspensiones diluidas de nanopartículas (≤ 100 nm) en fluidos base como agua, aceites y soluciones de polímeros (Katiyar et al., 2017). Las nanopartículas cambian las propiedades del fluido base cuando se dispersan homogéneamente en el fluido base, dependiendo de sus propias propiedades y de las del fluido base. Las propiedades termofísicas

como la viscosidad, la conductividad térmica y el pH de un nanofluido juegan un papel importante para la estabilización de nanofluidos y sus aplicaciones industriales.

2.4.11. Detergente nanofluídico

Un detergente nanofluídico es un agente de limpieza que utiliza nanopartículas, como las de dióxido de titanio (TiO_2) u óxido de zinc (ZnO), dispersas en un líquido, a menudo una solución tensioactiva, para mejorar su capacidad de limpieza. Estas nanopartículas están diseñadas para mejorar el rendimiento del detergente, por ejemplo, facilitando la eliminación de suciedad y restos de tensioactivos, o incluso degradando contaminantes si el detergente se vierte en el agua.

2.4.12. Técnicas instrumentales

- **Espectrofotómetro infrarrojo con transformada de Fourier**

Los equipos de espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) permiten detectar las vibraciones de los enlaces químicos dentro de una molécula, especialmente en compuestos orgánicos. Las moléculas orgánicas están formadas por diferentes tipos de enlaces, como C=O, C-H, entre otros, y cada tipo de enlace vibra a una frecuencia e intensidad específica, lo que constituye su "huella dactilar" espectroscópica (Mettler, 2025). Los espectrómetros FTIR emiten un haz de luz infrarroja que contiene múltiples frecuencias, el cual pasa por un interferómetro. Allí, la luz es modulada antes de atravesar la muestra. La muestra absorbe las frecuencias que coinciden con las vibraciones de sus enlaces químicos, mientras que el resto de la luz es transmitida al detector. Esta señal inicial es registrada como un interferograma (señal cruda), el cual contiene toda la información espectral, pero en el dominio del tiempo. (Mettler, 2025). El espectrofotómetro mide cuánta luz fue transmitida por la muestra

y con qué intensidad, lo que permite identificar los tipos de enlaces presentes y, en consecuencia, obtener información estructural de la molécula analizada.

- **Cromatografía de gases y espectrometría de masas**

La cromatografía de gases y la espectrometría de masas (GC-MS) es una técnica analítica que combina las capacidades de separación de cromatografía de gases con las propiedades de detección de espectrometría de masas (MS) para obtener una mayor eficiencia. La MS ayuda a fragmentar los componentes e identificarlos en base a su masa. GC-MS ofrece una identificación de muestras mejorada, mayor sensibilidad, una mayor gama de muestras analizables y resultados más rápidos (Technologies, 2020).

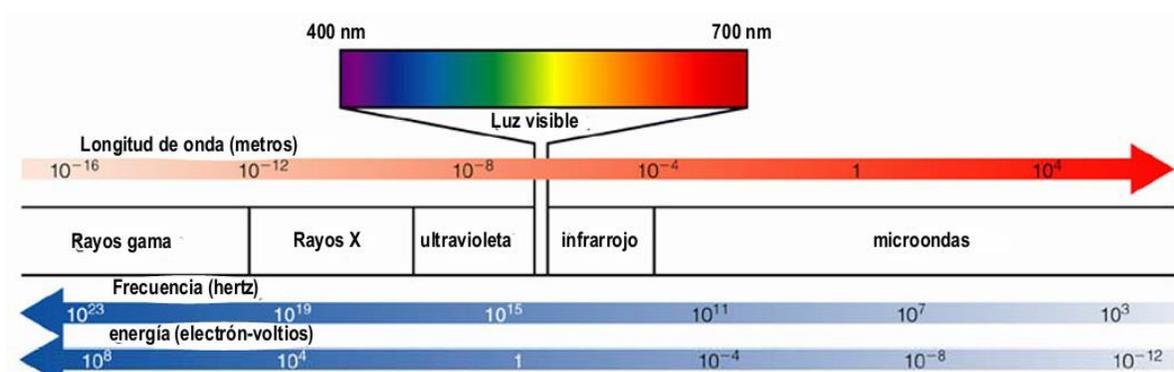
La GC-MS permite realizar análisis y determinaciones cuantitativas de compuestos traza en matrices complejas con elevada eficacia. Esta técnica es apta para utilizarse en la separación de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles. La muestra, inicialmente volatilizada, se introduce en una columna cromatográfica, generalmente de capilar. La elución ocurre cuando un gas inerte fluye como fase móvil, llevando los analitos a través de la columna. Estos analitos se retienen de manera reversible debido a un proceso de adsorción física. Los componentes que se separan son eluidos de la columna y detectados por un espectrómetro de masas (MS), lo que nos proporciona un espectro de masas que muestra la abundancia de diferentes tipos de iones, según su relación masa/carga. Es importante mencionar que el uso de GC-MS se limita a la separación de compuestos con un peso molecular inferior a 1000 y a temperaturas de trabajo que no superen los 400°C (Complutense, 2025).

- **Espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS)**

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma.

El fundamento de la espectroscopía se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas.

En espectroscopía el término luz no sólo se aplica a la forma visible de radiación electromagnética, sino también a las formas UV e IR, que son invisibles. En espectrofotometría de absorbancia se utilizan las regiones del ultravioleta (la región UV define el rango cercano de 195 a 400 nm) y el visible (400-780 nm) como se muestra en la figura 10 (Díaz et al., 2024).

Figura 10*Espectro electromagnético*

Nota. Recopilado de (Díaz et al., 2024)

Transmitancia y Absorbancia

La absorbancia es un concepto más relacionado con la muestra puesto que nos indica la cantidad de luz absorbida por la misma, y se define como el logaritmo de $1/\text{Transmitancia}$, en consecuencia: $A = \log 1/T = -\log T$. Cuando la intensidad incidente y transmitida son iguales, la transmitancia es del 100% e indica que la muestra no absorbe a una determinada longitud de onda, y entonces A vale $\log 1 = 0$ (Díaz et al., 2024)

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación fue del tipo aplicado cuantitativo debido a que se recolectaron y se analizaron datos, se respondieron preguntas y se puso a prueba la hipótesis. Tuvo un alcance explicativo debido a que se estudió la influencia de las nanopartículas y el tiempo de sonicación de TiO₂ en la detergencia del metil éster sulfonato. El diseño fue experimental.

3.1.Lugar de investigación

Las distintas actividades del presente trabajo de investigación se llevaron en la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, en los laboratorios siguientes:

- Laboratorio de Tecnologías de la Escuela Profesional de Ingeniería Química.
- Laboratorio de Hidrocarburos de la Facultad de Ingeniería de Procesos.
- Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas.

3.2.Muestra

- Aceite de cocina residual
- Nanopartículas de TiO₂ adquirida de la empresa Skyspring Nanomaterials, Inc.

3.3.Materiales

3.3.1. *Materiales de vidrio y otros*

- Picnómetro
- Matraz de dos bocas de 500 ml equipado con condensador de reflujo
- Embudo de separación
- Probeta de 250ml, 100ml, 50ml, 25ml, 10ml y 5ml

- Pipetas de 1ml y propipetas
- Vasos de precipitados de 1000ml, 600ml, 500ml, 250ml, 100mL, 50ml y 25ml
- Envase de plástico
- Papel filtro
- pH HC 200447
- Pera de decantación de 100 ml y 250 ml.

3.3.2. Reactivos

- Alcohol 96° MEDIFARM
- Metanol 99%
- Hidróxido de Sodio 99% Merck N° CAS 1310-73-2
- Bisulfito de sodio 99% SIGMA ALDRICH N° CAS 7631-90-5

3.3.3. Instrumentos y equipos

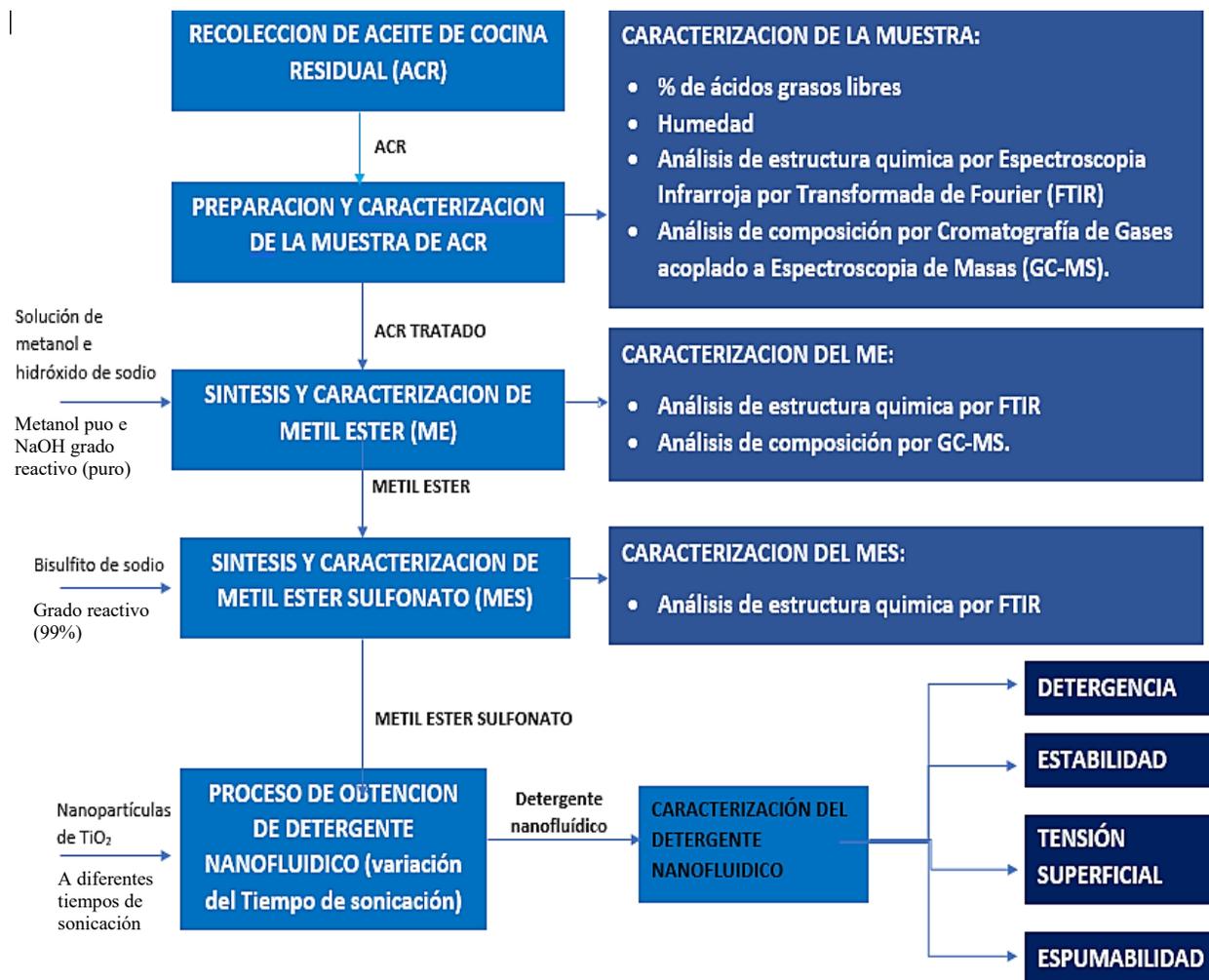
- Balanza analítica Eurotech FSF-A2204B
- Medidor de tensión superficial LAB JACK 10080
- Termómetro digital rango (-50°C -300°C)
- Centrifugadora M-UNIVERSAL MPW-MED INSTRUMENT
- Campana extractora de gases MARCA ESCO MODELO PCR- SRC-2A2
- Agitador magnético con placa calefactora HEIDOLPH MR HEI-ESTÁNDAR
- Agitador magnético con placa calefactora CAT M 6
- Sonicador BRANSON 3510
- Estufa KV45F
- Espectrómetro UV-vis equipo THERMO EVOLUTION 3000
- Purificador de agua WASSERLAB

3.4.Métodos

En la figura 11 se muestra las etapas del procedimiento experimental de la presente investigación para el cumplimiento de los objetivos planteados.

Figura 11

Etapas del procedimiento experimental



Nota. En la síntesis del metil éster, el ACR estuvo en una relación molar con el metanol de 1 a 9, mientras que el catalizador fue del 1% respecto al ACR. En el proceso de obtención del detergente, la sonicación se realizó luego de la mezcla del MES y las NPs de TiO₂.

3.4.1. *Recolección del aceite de cocina residual*

A través de un muestreo simple, se recolectaron 10 litros de aceite de cocina residual (ACR) de la empresa Productos Derivados Tahuantinsuyo E.I.R.L., ubicada en el distrito de San Sebastián, Departamento de Cusco. El ACR recolectado era proveniente de un aceite para fritura con composición de oleína de palma de la marca Crisol, fue utilizado en la empresa para freír maíz chullpi y habas durante 4 horas cada uno, a una temperatura de 150°C. El recojo de la muestra se realizó el 27 de marzo del 2024 a las 8:00 am en las instalaciones de la empresa, se recolectó 20 l de aceite de cocina residual. En la figura 12 se observa la recolección.

Figura 12

Recolección de aceite de cocina residual



3.4.2. *Tratamiento y Caracterización del aceite de cocina residual*

Para el tratamiento del ACR se calentó una muestra de 200 ml en un vaso precipitado de 1000 ml y se utilizó la placa calefactora con agitación de 150 rpm, se calentó hasta 40°C, como se observa en la figura 13, posteriormente se realizó el filtrado por gravedad, como se muestra en la figura 14, esta operación se repitió dos veces, luego de la remoción de impurezas, para la determinación inicial de porcentaje de ácidos grasos libres (% de AGL) una muestra fue llevada al Laboratorio de servicios de Físicoquímica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

Figura 13

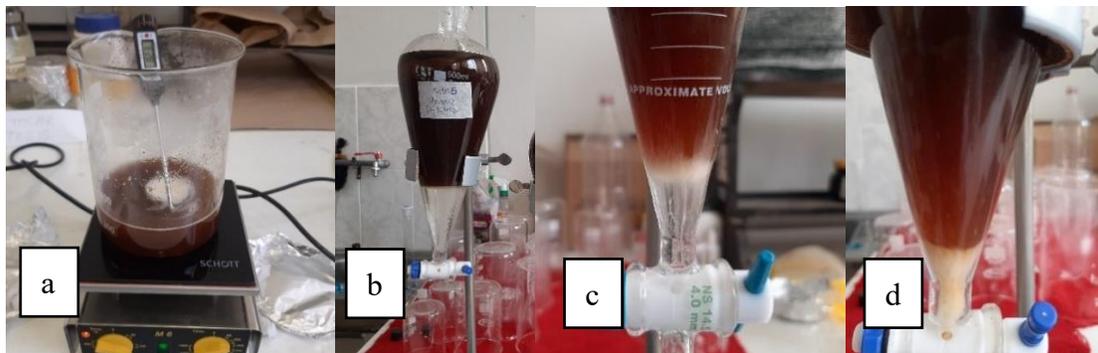
Calentamiento previo a la etapa de filtración

**Figura 14**

Filtración del aceite de cocina residual



Posterior a la remoción de impurezas, el ACR fue calentado hasta 80 °C, se le añadió agua a 80 °C, fue mezclado en un agitador magnético manteniéndose constante la temperatura por 10 min, por las propiedades de solubilidad de la lecitina (goma); los fosfátidos, proteínas y otras impurezas coloidales se separaron por decantación en el agua (Bernardini, 1981). En la figura 15 se puede observar el desgomado y la separación.

Figura 15*Desgomado de aceite de cocina residual*

Nota. La foto “a” muestra el calentamiento del ACR, “b” muestra la decantación inicial luego del desgomado, “c” muestra el proceso de separación de lecitina y fosfátidos del aceite, y en “d” se aprecia la goma disuelta en agua formando esponjas.

Seguidamente se incrementó la temperatura de ACR hasta un rango de 103 a 110°C por 1 hora, manteniéndolo en agitación constante con la finalidad de remover la humedad. La muestra seca fue analizada para determinación de % de ácidos grasos libres (AGL) y % de humedad. El análisis se realizó en el Laboratorio de servicios de Fisicoquímica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. El ACR desgomado fue neutralizado con NaOH. La cantidad de hidróxido de sodio a usar se determinó con el índice de acidez. La ecuación 1 de Hasegawa en el año 1987, muestra la fórmula para la determinación del índice de acidez a partir del % de AGL.

$$IA(\text{Ácido palmítico}) = \frac{\%AGL (PM_{NaOH}) \times 10}{PM_{\text{ácido palmítico}}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- IA: índice de Acidez en referencia de un aceite con alto porcentaje en Ácido palmítico
- % AGL: Porcentaje de Ácidos grasos libres
- PM NaOH: Peso molecular del NaOH, 39.97 g/mol
- PM ácido palmítico: Peso molecular del ácido palmítico, 256.43 g/mol (se utilizó al peso molecular del ácido palmítico debido a que fue el componente en mayor proporción en el ACR tratado)

(Permadani & Slamet, 2019b)(Permadani & Slamet, 2019b)El porcentaje de AGL fue de 1.64 %, con este porcentaje el índice de acidez determinado fue de 2.5580 mg_{NaOH}/g_{aceite}, lo que indicó que para la neutralización de los AGLs se requerían 2.5580mg de NaOH por cada gramo de aceite. El hidróxido de sodio requerido fue disuelto al 15% en agua destilada (Permadani & Slamet, 2019b). Luego la solución de hidróxido de sodio se añadió al ACR filtrado para ser mezclado a agitación constante por un periodo de 15min de acuerdo a lo mencionado en (Permadani & Slamet, 2019b).

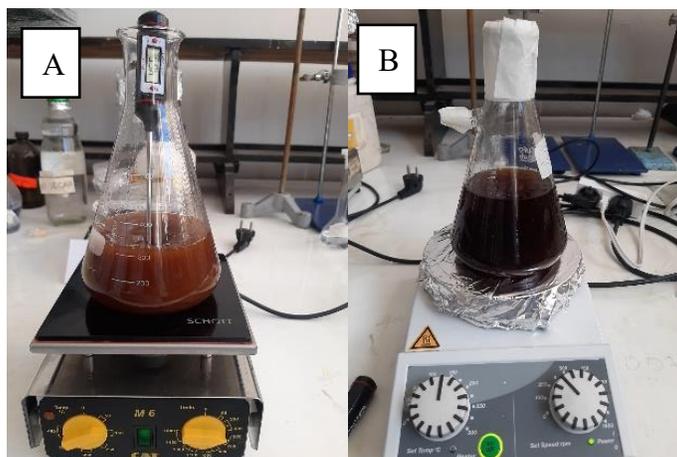
Luego de la neutralización, una muestra de ACR fue enviado al Laboratorio de servicios de Fisicoquímica de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, para el análisis de la presencia de grupos éster con el equipo de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier. A su vez se envió una muestra a un laboratorio externo para análisis de composición, con el equipo Cromatógrafo de Gases acoplado a Espectroscopia de Masas (GC-MS).

3.4.3. Síntesis y caracterización de metil éster

(Permadani & Slamet, 2019) El metil éster se sintetizó mediante una reacción de transesterificación con metanol. Inicialmente se preparó una solución metoxi 1M (solución de metanol e hidróxido de sodio), la solución se agregó al ACR tratado, previamente calentado a 60 °C, la mezcla se mantuvo a 300rpm y temperatura constante de 60 °C por 1 hora. La cantidad de metanol respecto al ACR tratado estuvo en una relación molar de 9 a 1, la cantidad de hidróxido de sodio fue del 1% de p/p respecto al ACR tratado y precalentado a 60°C (Permadani & Slamet, 2019). En la figura 16 se aprecia el acondicionamiento del ACR antes de la reacción de transesterificación.

Figura 16

Acondicionamiento y reacción de transesterificación



Nota. En la imagen A se observa el acondicionamiento del ACR tratado, en la Figura B se observa la mezcla de ACR tratado con solución metoxi.

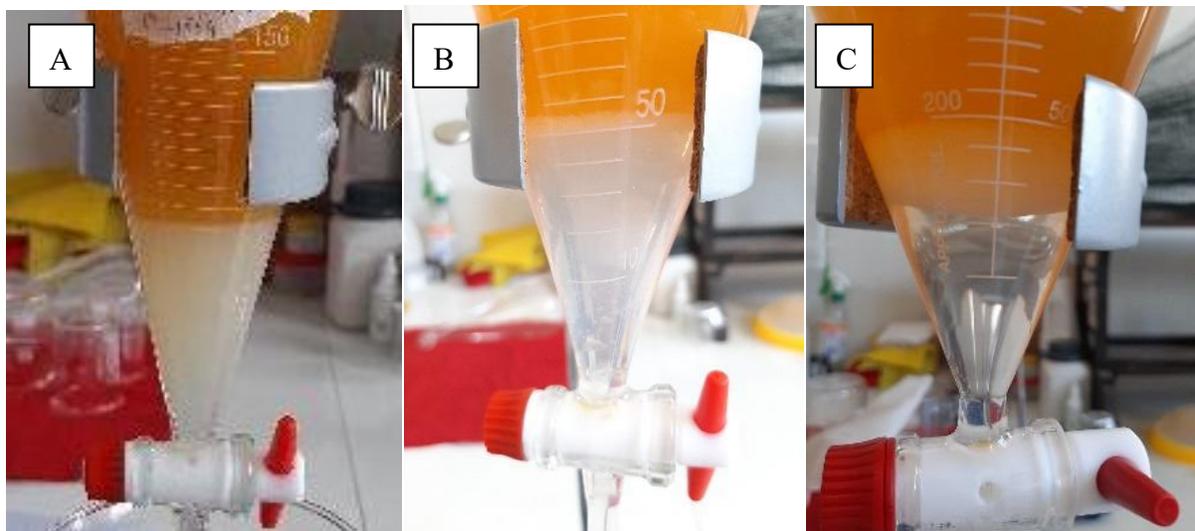
Luego de la reacción, tanto los productos y reactivos se colocaron en una pera de decantación, por un periodo de 18 horas. Por diferencia de densidades se separó el metil éster de la glicerina, tal como se puede observar en la figura 17. En la parte inferior se depositó la glicerina y en la parte superior se posicionó el metil éster. Seguidamente se separó el producto metil éster de la glicerina en una pera de decantación de 250mL. Luego el metil éster fue lavado con agua destilada con el objetivo de eliminar residuos de catalizador, glicerol y metanol, así como de eliminar las posibles trazas de jabones formados en la reacción por aún la presencia de cierto porcentaje de ácidos grasos libres.

Figura 17

Etapas de decantación del metil éster de la glicerina



Para el lavado, se acondiciono 40 ml de agua destilada a 40°C en un vaso precipitado con ayuda de una placa calefactora (Gerpen et al., 2004). La mezcla fue llevada a agitación constante en un agitador magnético por 200 rpm. Luego del mezclado el metil éster fue llevado a una pera de decantación para separar el agua de lavado. El proceso de lavado se repitió tres veces. Para la remoción del agua restante en el metil éster se evaporo el agua removiéndola en una placa calefactora con agitador magnético. en la figura 18 se puede observar las tres etapas del lavado.

Figura 18*Lavado de metil éster*

De la figura 18 se puede observar que en el tercer lavado se aclaró bastante, indicando que se realizó un buen lavado de metil éster, lo que indica que también se removieron las gomas restantes no removidas en la etapa de desgomado. El rendimiento del metil éster luego de la reacción de transesterificación sin lavado se determinó de acuerdo a la Ec. 2 (Alvarez, 2013)

$$\eta(\%) = \frac{V_{\text{Metil éster sin lavado}}}{V_{\text{ACR tratado}}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Para la caracterización del metil éster (ME), se hizo un análisis de la estructura y composición del ME. Una muestra de Metil éster sintetizado fue enviado al Laboratorio Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco para análisis de la estructura química con el equipo de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier. A su vez se envió una muestra a la Unidad de Investigación en Productos Naturales de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, para análisis de composición, con el equipo Cromatógrafo de Gases acoplado a Espectroscopia de Masas (GC-MS).

3.4.4. Síntesis y caracterización del Metil Ester Sulfonato (MES)

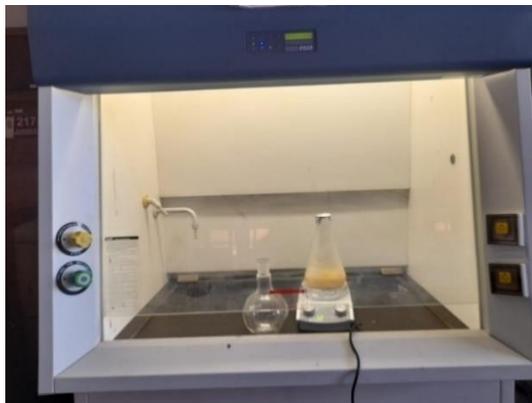
La síntesis de MES se realizó al reaccionar el metil éster con bisulfito de sodio (NaHSO_3) en una relación molar de 1:1.5 respectivamente. En la figura 19 se puede observar la adición de bisulfito de sodio al metil éster.

Figura 19

Dosificación de bisulfito de sodio



La reacción de sulfonación del metil éster se realizó a 100°C a presión atmosférica durante 4,5h. La reacción se llevó a cabo en una campana de extracción de gases. En la figura 20 se muestra la reacción de sulfonación.

Figura 20*Sulfonación de metil éster*

Nota. En la Figura se observa la reacción de la sulfonación del metil éster adicionado con bisulfito de sodio grado reactivo al 99%. La reacción se llevó a cabo en una campana extractora de gases. En el laboratorio de Físicoquímica de la Facultad de Ciencias químicas, matemáticas y físicas de la UNSAAC.

Después de la reacción de sulfonación, el producto obtenido se centrifugó a 2500 rpm por 15 min, con la finalidad de separar el NaHSO_3 no reaccionado, el metil éster sulfonato centrifugado se puede observar en la figura 21. (Permadani et al., 2018).

Figura 21*Metil éster sulfonato centrifugado*

(Permadani & Slamet, 2019b) El metil éster sulfonato se purificó con metanol al 40% (v/v de MES) a 50°C en una placa calefactora por 1,5 h con una velocidad de agitación constante de 350 rpm. (Djohan et al., 2019a). Luego se continuó con la evaporación del metanol en una placa caliente (55-64°C) durante 1 h para eliminar restos de Metanol. La agitación fue constante a 300 rpm. Después de la evaporación se neutralizó la mezcla con NaOH al 20% a 55°C durante 30min hasta obtener un pH neutro. (Permadani & Slamet, 2019b). Finalmente se retiró el exceso de disal, se centrifugó a 2500 rpm durante 15 minutos, la remoción de disal se puede observar en la figura 22.

Figura 22.

Remoción de disal en la placa calefactora a agitación constante



Luego de la neutralización, el MES sintetizado se mezcló con agua ultrapura para separación del metil éster que no reaccionó, la mezcla se preparó al 30% de MES. Para llevar a cabo la operación de mezclado se utilizó el agitador magnético, durante 15 minutos a 250rpm con una temperatura constante de 25°C. La mezcla se llevó a una pera de decantación, el biodiesel por su densidad se posicionó en la parte superior y el agua con MES se posicionó en la parte inferior. Se separó la parte inferior obteniéndose la solución de MES.

Se caracterizó el MES mediante la verificación de sus grupos funcionales mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier.

3.4.5. *Diseño experimental*

Variables

- Variables Independientes
 - ✓ Concentración de NP de TiO₂ (% p/p)
 - ✓ Tiempo de sonicación (min)
- Variable dependiente
 - ✓ Detergencia (%)

En la tabla 5 se muestra la Operacionalización de las variables.

Tabla 5

Operacionalización de las variables

Variable	Tipo de variable	Definición	Escala	Nivel	Unidad
Concentración de NP de TiO₂	Cuantitativa continua	Concentracion de las nanoparticulas de TiO ₂ , usado para la elaboracion del detergente nanofuidico	Numérico	0.08%	%(p/p)
				0.1%	
				0.12%	
Tiempo de sonicacion	Cuantitativa continua	Tiempo de sonicacion de las muestras de detergente nanofluidico	Numérico	30	minutos
				35	
				40	
Detergencia	Cuantitativa continua	Poder de remocion de manchas del detergente nanofluidico	Numérico	1-100%	porcentaje

La tabla 6 muestra los niveles de cada una de las variables

Tabla 6

Variables independientes y niveles

Variables Independientes	Niveles		
Concentración de TiO₂ (% p/p)	0.08	0.10	0.12
Tiempo de sonicación (min)	30	35	40

Para la evaluación de la influencia de la concentración de NPs de TiO₂ y el tiempo de sonicación en la detergencia del metil éster sulfonato, la metodología siguió un diseño experimental factorial de 3², esto permitió la combinación de todas las variables independientes con todos los niveles. Por lo tanto, se desarrollaron 9 experimentos además de 1 réplica por cada uno de las muestras; realizando un total de 18 experimentos. El diseño permitió la combinación de todas las variables independientes con todos los niveles para la evaluación de la concentración de NPs de TiO₂ y tiempo de sonicación, en la influencia de la detergencia del MES. Al contar con diferentes niveles para cada variable independiente, se pudo analizar su influencia individual y las interacciones entre ellas.

En la tabla 7 se presenta el procedimiento experimental.

Tabla 7

Procedimiento experimental

N°	Concentración de TiO ₂ , %	Tiempo de sonicación, min	% de detergencia	% de detergencia (Réplica)
1	0.08	30		
2	0.08	35		
3	0.08	40		
4	0.10	30		
5	0.10	35		
6	0.10	40		
7	0.12	30		
8	0.12	35		
9	0.12	40		

Con los datos obtenidos para la tabla 7 se procedió a su análisis estadístico. El análisis estadístico se realizó usando el Software Statgraphics centurión 18-X64 que consistió en:

- Determinar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente.
- La significancia de las variables mediante la prueba ANOVA
- El modelo matemático que representa a las variables en estudio

La hipótesis planteada con un nivel de significancia (α) de 0.05 para el experimento es:

H_0 = hipótesis nula: La concentración y tiempo de sonicación de NPs de TiO_2 no influyen significativamente en el porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual.

- $P > 0.05$ se acepta
- $P < 0.05$ se rechaza

H_1 = hipótesis alterna: La concentración y tiempo de sonicación de NPs de TiO_2 influyen significativamente en el porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual.

- $P < 0.05$ se acepta
- $P > 0.05$ se rechaza

De estas dos hipótesis se desea que la probabilidad explicada por el modelo sea mayor a la probabilidad no explicada; de este modo aceptar la hipótesis alternativa (H_1), así como tener un valor $p \leq \alpha$ para cada término del modelo.

3.4.6. Proceso de obtención del detergente nanofluídico

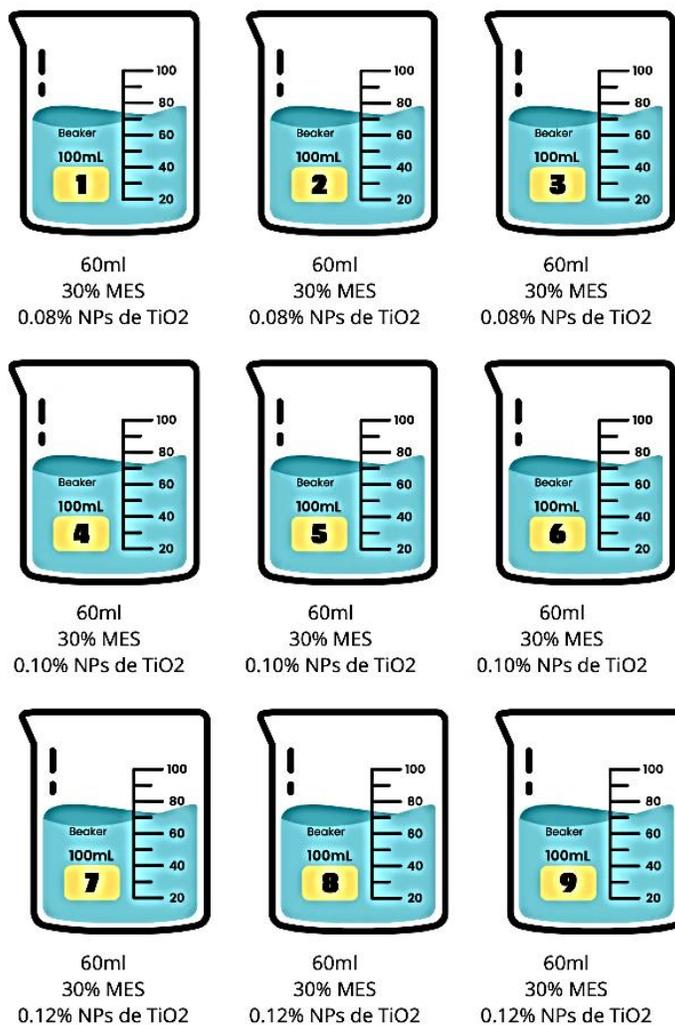
Para el proceso de obtención del detergente nanofluídico se comenzó con la preparación del agua ultrapura seguidamente se continuo con el proceso de obtención de detergente nanofluídico. El agua ultrapura se obtuvo por filtración del agua destilada en el sistema de purificación de agua marca Wasserlab, Autwomatic Plus, el agua ultrapura obtenida fue del tipo I. En la figura 23 se muestra la purificación del agua destilada

Figura 23*Purificación del agua destilada*

Seguidamente se preparó metil éster sulfonato (MES) al 30% (v/v) diluyéndolo en agua ultrapura. Para la obtención del detergente nanofluídico se añadieron tres diferentes concentraciones de nanopartículas de TiO_2 en la solución MES al 30% a diferentes tiempos de baño ultrasónico. De acuerdo con la Tabla 7, se prepararon un total de nueve muestras distribuidas en tres grupos. En tres vasos de precipitado de 100 ml se prepararon detergentes nanofluídicos con soluciones de MES con una concentración de 0.08 % de nanopartículas de TiO_2 ; en otros tres vasos, soluciones de MES al 0.10 % de nanopartículas de TiO_2 ; y en los tres restantes, soluciones MES al 0.12 % de nanopartículas de TiO_2 . Gráficamente se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Preparación de las nueve muestras



Nota. Cada muestra cuenta con un volumen de 60ml, y esta disuelta al 30% MES, las tres primeras muestras están disueltas al 0.08% NPs de TiO₂, las siguientes tres se encuentran disueltas al 0.10% de NPs de TiO₂, las últimas tres muestras se encuentran a 0.12% de NPs de TiO₂.

Posteriormente, cada una de las nueve muestras se llevaron a agitación magnética por 15 min a 300 rpm, luego del mezclado las muestras se llevaron a un equipo de baño de ultrasonido para homogenizar el mezclado tal como se puede apreciar en la figura 25. El baño de ultrasonido se realizó para tres tiempos, para 30min, 35min y 40min de baño de ultrasonido. Tres muestras (de 0.08%, 0.10%, 0.12%) se llevaron a 30min, tres muestras (de 0.08%, 0.10%, 0.12%) se llevaron a 35min y finalmente las otras tres muestras (de 0.08%, 0.10%, 0.12%) se llevaron a 40min de baño ultrasónico, el procedimiento gráfico se puede observar en la figura 26.

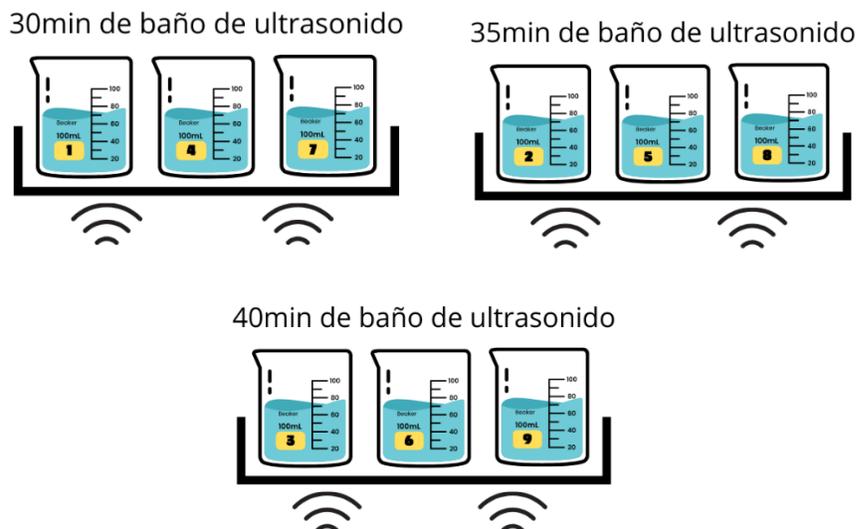
Figura 25

Baño ultrasónico del detergente nanofluidico



Figura 26

Baño ultrasónico para las nueve muestras



3.4.7. Prueba de detergencia del detergente nanofluídico obtenido

Para determinar el porcentaje de detergencia del detergente nanofluídico se analizó el porcentaje de remoción de manchas. Para ello se simuló la suciedad empapando una tela de algodón blanca del tamaño de área de 4x4 cm en una solución de azul de metileno a una concentración de 2 ppm por un periodo de 4 h. (Djohan et al., 2019a).

En un vaso de precipitado de 100 ml se añadieron 50 μ l de detergente nanofluídico y 60 ml de agua ultrapura. La mezcla se homogenizó utilizando un agitador magnético durante 1 minuto. Posteriormente, se tomó una alícuota de 10 ml para su análisis por espectroscopía UV-Vis, del laboratorio de Hidrocarburos de la escuela profesional de Ingeniería Química, la cual se denominó “blanco” de la muestra.

Seguido del análisis del blanco, en la solución restante del vaso de precipitado se sumergió la tela ya empapada en azul de metileno y procedió a realizar el lavado de la tela que se llevó a cabo durante 15 minutos en un agitador magnético a 70 rpm, bajo irradiación con lámpara

UV-Vis. Finalizado el lavado, se extrajo una segunda muestra del agua de lavado para su análisis mediante UV-Vis.

Los análisis se realizaron con el Espectrofotómetro UV-Vis, con una longitud de onda de 652 nm. Obteniendo por diferencia entre la muestra en blanco y el resultado obtenido después de lavar la tela, se utilizó la ecuación 3, ecuación tomada de (Djohan et al., 2019a) :

$$\% \text{ de detergencia} = \frac{M_{abs1} - M_{abs2}}{M_{abs1}} \quad (\text{Ec 3})$$

En donde:

- M_{abs1} : Absorbancia de la muestra después del lavado
- M_{abs2} : Absorbancia de la muestra antes del lavado

3.4.8. Caracterización del detergente nanofluídico

Luego de la evaluación de los resultados obtenidos. Se caracterizó a los detergentes nanofluídicos que presentaron mayor poder de detergencia, en las propiedades fisicoquímicas: tensión superficial, estabilidad y espumabilidad.

Tensión superficial

La determinación de la tensión superficial se hizo mediante el método del anillo Du-Nouy (Djohan et al., 2019b). El equipo de anillo Du Noy consistió en un anillo de platino - iridio de 1.95 cm de diámetro unido por un hilo a un tensiómetro analógico, el instrumento utilizado se observa en la figura 27. La medición de la tensión superficial se realizó en el laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Para la determinación de la tensión superficial, se añadió un poco de muestra en una placa Petri, seguidamente se sumergió el con el uso del equipo de

Anillo Du Nouy se determinó la tensión superficial de la muestra. Primero se hizo una calibración en el equipo, seguidamente con sumo cuidado se sumergió el anillo en la muestra, seguidamente se empezó a subir el anillo con ayuda de la manilla del tensiómetro hasta la separación entre la muestra y en anillo, la fuerza que actuó sobre el anillo justo antes de que se rasgue la película líquida correspondió a la tensión superficial del líquido muestra, como se muestra en la figura 28.

Figura 27

Equipo de análisis de tensión superficial



Figura 28

Medición de la tensión superficial de la muestra de MES

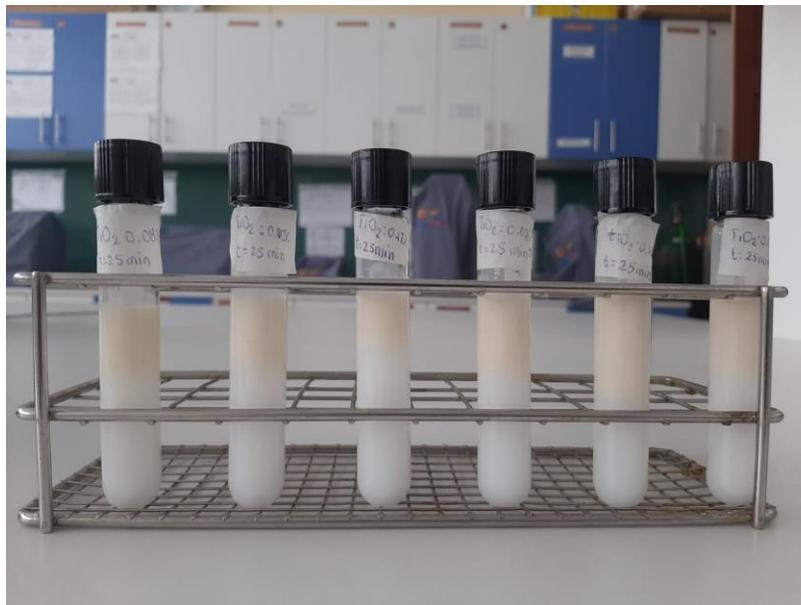


Estabilidad

La estabilidad se midió al observar la tasa de sedimentación de las nanopartículas en la solución MES. La medición de la estabilidad se realizó a las 0h y 3h de la mezcla de las nanopartículas y la solución MES al 30%. Luego de la mezcla de las nanopartículas con la solución MES al 30% en el agitador magnético, la mezcla fue llevada a homogenizarse en el equipo de baño ultrasónico. Al término de la homogenización, se obtuvo una muestra de la solución de nanofluido de MES con NPs de TiO_2 , la solución obtenida tenía un color blanquecino, por lo tanto, se diluyó en agua ultrapura, luego de la dilución, una muestra, fue llevada para análisis de estabilidad en el equipo de Espectrometría Ultra Violeta en la Facultad de Ingeniería de Procesos en el laboratorio de Hidrocarburos, la tasa de deposición se evaluó a 360nm de número de onda (Djohan et al., 2019c). Seguidamente las soluciones de nanofluido de MES con NPs de TiO_2 se dejaron en reposo por un periodo de 3h, luego de las 3h se sacó una muestra a 10cm de profundidad de la superficie de la muestra. La segunda muestra se volvió a diluir y se llevó para lectura en el Espectrofotómetro UV en las mismas condiciones que para el tiempo 0h, como se muestra en la figura 29. La lectura en el espectrofotómetro se realizó en celdas de cuarzo.

Figura 29

Muestras de detergente nanofluídico a las 3 horas.



Siguiendo la metodología del análisis de muestras de la tensión superficial, se evaluó la estabilidad de los mejores resultados de detergencia del MES.

Espumabilidad

Se evaluó la espumabilidad, tomando como referencia una agitación de 1 minuto de cada muestra y tomando la altura inicial de la espuma y la altura final después de 10 minutos. (Maurad et al., 2017). En la figura 30 se muestra la medición de la altura de la espuma, después de agitar durante 1 minuto.

Figura 30

Medición de la altura de la espuma de la muestra de detergente nanofluídico.



Para determinar el porcentaje de espumabilidad se utilizó la siguiente formula:

$$\% \text{ de espumabilidad} = \frac{L_{\text{inicial (despues de la agitacion)}} - L_{\text{final(despues de 10 minutos)}}}{L_{\text{final (despues de 10 minutos)}}} \times 100\% \quad (\text{Ec. 4})$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del aceite de cocina residual

Los resultados de la caracterización del aceite residual se muestran en la tabla 8.

Tabla 8

Características del aceite de cocina residual

% Humedad	Acidez (mg KOH/g)	% AGL (equivalente)
0.51%	4.64 ¹	2.32%

¹El valor en mg KOH/g fue calculado estimando que 1% de AGL equivale aproximadamente a 2 mg KOH/g según NTP 209.005 Ed. 2016.

En el estudio de Murcia Ordoñez et al. (2013), se evaluó aceite usado en seis ciclos de fritura, reportando un contenido de 0.0899% de humedad y 1.87 mg KOH/g, equivalente a 0.935% de AGL. Por su parte, para un aceite considerado de desecho, se obtuvieron valores de 0.1046% de humedad y 9.193 mg KOH/g, correspondientes a 4.5965% de AGL. Al comparar estos datos con los obtenidos en la presente investigación, se observa que la muestra analizada presenta un mayor contenido de humedad, aunque un menor contenido de AGL.

Asimismo, en el trabajo de Ramírez (2018), se documentaron niveles de humedad que oscilan entre 0.08% y 0.24%, y valores de AGL entre 0.16 y 0.54 mg KOH/g, equivalentes a 0.08% a 0.27% de AGL. Estos valores son considerablemente más bajos que los obtenidos en esta investigación, tal como lo indico la USDA (<2%) (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) también (Campomanes, 2023), lo que sugiere que el ACR evaluado se encuentra en un estado avanzado de degradación.

La comparación con las investigaciones antes mencionadas permite concluir que el aceite recolectado presenta una mayor proporción de humedad y AGL, lo cual podría estar asociado a factores como el tipo de alimento frito, su contenido de agua y la frecuencia de uso del aceite sin recambio o filtrado adecuado. En particular, se destaca que la presencia de humedad en los alimentos puede favorecer reacciones de hidrólisis de los triglicéridos, incrementando así los niveles de AGL. Esta relación ha sido confirmada por Tacias Pascacio et al. (2016d), quienes señalan que la presencia de agua en el medio de fritura acelera el deterioro del aceite al promover la formación de compuestos de descomposición como los AGL.

En conjunto, estos hallazgos respaldan que las condiciones de uso del aceite, incluyendo la presencia de humedad y la reutilización prolongada, influyen significativamente en su composición química y grado de deterioro, afectando su calidad y seguridad para el consumo. En la Tabla 9. se muestra una comparación de porcentajes de humedad y % de AGL en los diferentes estudios.

Tabla 9

Comparación de porcentaje de humedad y ácidos grasos libres (AGL) entre diferentes estudios

Estudio / Fuente	Tipo de aceite	% Humedad	AGL (mg KOH/g)	% AGL (equivalente)
En esta investigación	ACR (aceite recolectado)	0.51	4.64*	2.32
Murcia y Ordoñez et al. (2013)	Aceite usado (6 usos)	0.09	1.87	0.94
Murcia y Ordoñez et al. (2013)	Aceite de desecho	0.10	9.193	4.61
Ramírez (2018)	Aceites diversos (fritura)	0.08–0.24	0.16–0.54	0.08–0.27

*El valor en mg KOH/g fue calculado estimando que 1% de AGL equivale aproximadamente a 2 mg KOH/g.

Los resultados del proceso de desgomado del aceite de cocina residual (ACR) se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10

Comparación de los valores de % de AGL y % de humedad antes y después del desgomado del ACR

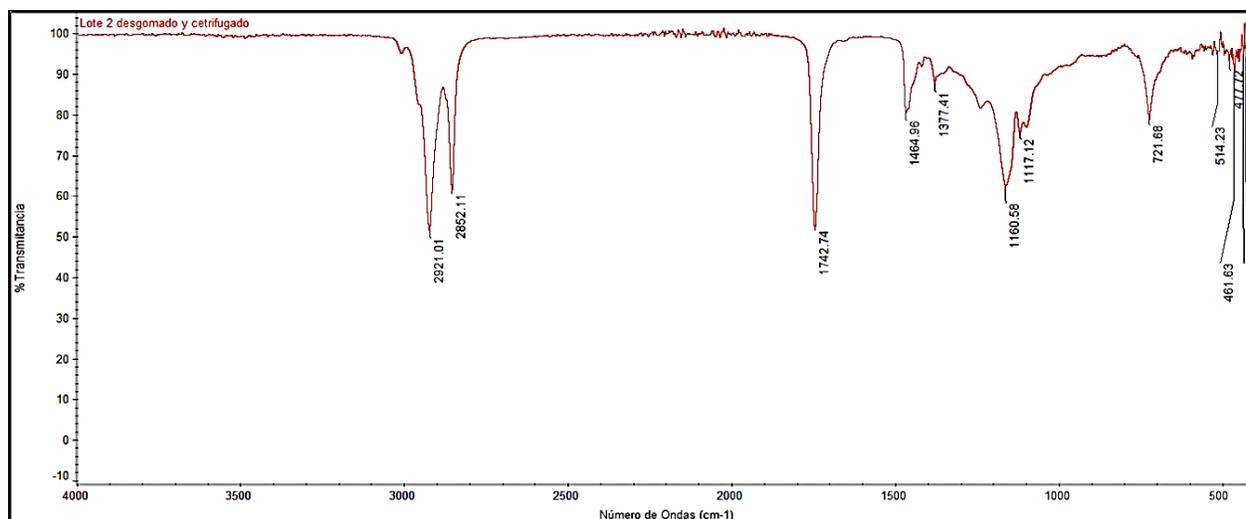
Parámetro	Antes del desgomado	Después del desgomado	Variación
% Ácidos grasos libres (AGL), %	2.32	1.64	disminuyó en 30%
% Humedad, %	0.51	0.38	disminuyó en 25%

Como se observa en la tabla 10, el proceso de desgomado aplicado al aceite de cocina residual (ACR) permitió una reducción significativa en el contenido de ácidos grasos libres (de 2.32% a 1.64%) y en la humedad (de 0.51% a 0.38%). Estos resultados respaldan la eficacia del tratamiento, dado que, de acuerdo con Pino (2021), los fosfolípidos presentes en el aceite, como la lecitina, contienen en su estructura química ácidos grasos que pueden ser eliminados durante el desgomado. El análisis detallado se encuentra en el Apéndice A.

El espectro FTIR del aceite de cocina residual (ACR) presentada en la figura 31 muestra dos bandas características a 2852.11 cm^{-1} y 2921.01 cm^{-1} , correspondientes a los modos de estiramiento simétrico y asimétrico del grupo metileno ($-\text{CH}_2$), respectivamente. Asimismo, se observa una banda intensa en 1742.74 cm^{-1} , atribuida al estiramiento asimétrico del enlace carbonilo ($\text{C}=\text{O}$), característico de los grupos carboxilo (Pavia et al., 2013). Por otro lado, la banda registrada en 1285 cm^{-1} se asocia al estiramiento del enlace $\text{C}-\text{O}$, propio de estructuras carboxílicas (Bootdee et al., 2012). La presencia de estas bandas confirma la existencia de grupos funcionales carboxilo, típicos de los ácidos grasos presentes en el aceite.

Figura 31

Espectro IR del ACR tratado



Nota. El ACR fue analizado en el laboratorio de Orgánica de la Facultad de Ciencias.

Los resultados del análisis mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS) para el aceite de cocina residual tratado (ACR) se presentan en la tabla 11 y en el Apéndice B. En el perfil obtenido, se identificaron varios ácidos grasos saturados e insaturados, entre los cuales predominan tres compuestos principales: ácido oleico (C18:1) con un 46.41%, seguido por el ácido palmítico (C16:0) con 31.72%, y el ácido linoleico (C18:2) con 12.53%.

Este perfil indica que el ACR tratado mantiene una composición típica de aceites vegetales de origen común como el aceite de soya o canola, caracterizados por un alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados (principalmente oleico) y ácidos grasos saturados como el palmítico. La presencia dominante del ácido oleico, un ácido graso monoinsaturado, es favorable desde el punto de vista de estabilidad oxidativa y valor nutricional, ya que este tipo de compuestos es menos propenso a la oxidación térmica en comparación con los poliinsaturados.

El ácido linoleico, un ácido graso poliinsaturado esencial, representa una fracción considerable del total (12.53%), lo que sugiere que, a pesar del uso y tratamiento, aún conserva componentes con valor biológico. El ácido esteárico (C18:0), un ácido graso saturado, también aparece con una concentración relevante (5.96%), lo cual es coherente con los perfiles de degradación térmica de aceites durante procesos de fritura prolongados.

En menor proporción, se identificaron ácidos grasos de cadena corta y larga como el láurico (0.18%), mirístico (0.59%), linolénico (0.42%) y eicosenoico (0.20%), así como dos compuestos no identificados con fórmulas moleculares $C_{20}H_{36}O_2$ y $C_{18}H_{36}O_2$, que podrían corresponder a productos de degradación térmica o de reacciones de oxidación secundaria.

Estos resultados evidencian que el ACR tratado aún conserva una composición rica en ácidos grasos aprovechables, aunque sufre ciertas modificaciones asociadas a la exposición térmica durante el uso. El predominio de ácidos grasos insaturados, especialmente el oleico, sugiere que el aceite mantiene propiedades potenciales para aplicaciones en biodiésel o en procesos industriales posteriores al tratamiento adecuado del residuo.

Tabla 11*Perfil de Ácidos grasos del ACR tratado*

Nombre del Ácido graso	% en la muestra (áreas relativas)
Ácido láurico (C12:0)	0.18
Ácido mirístico (C14:0)	0.59
Ácido palmítico (C16:0)	31.72
Ácido palmitoleico (C16:1)	0.15
Ácido margárico (C17:0)	0.14
Ácido esteárico (C18:0)	5.96
Ácido oleico (C18:1)	46.41
Ácido cis-11-octadecenoico (C18:1)	0.89
Ácido linolaidico (C18:2)	0.20
Desconocido C ₂₀ H ₃₆ O ₂	0.17
Ácido linoleico (C18:2)	12.53
Descocnocido C ₁₈ H ₃₆ O ₂	0.46
Ácido linolénico (C18:3)	0.42
Ácido 11-eicosenoico (C20:1)	0.20

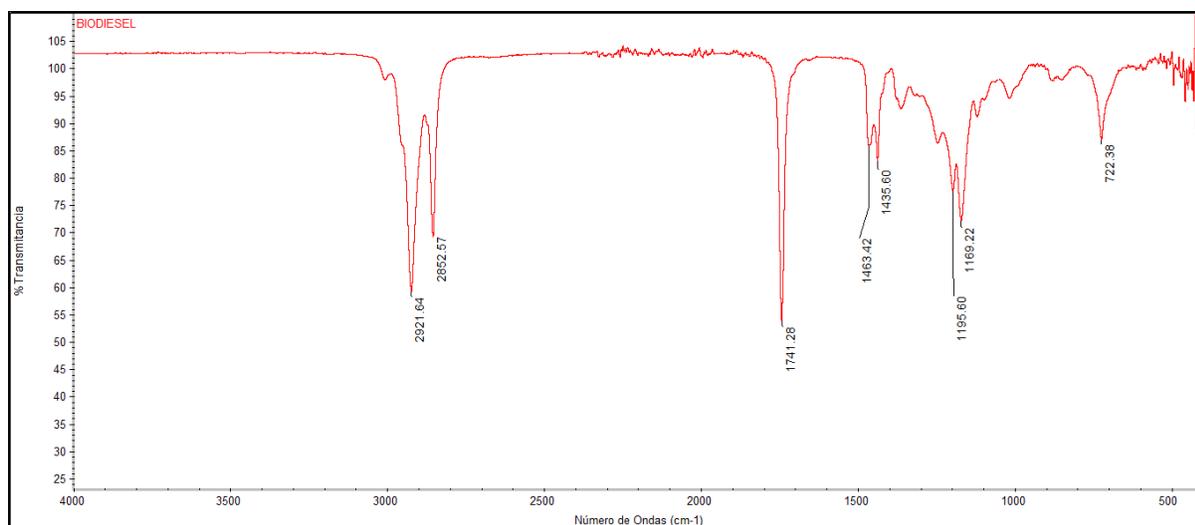
De los resultados obtenidos se obtuvo que los Ácidos grasos de mayor porcentaje correspondieron a: Ácido oleico con 46.41, y ácido palmítico con 31.72% y Ácido linoleico con 12.53%.

4.2. Caracterización del metil éster

Los resultados obtenidos mediante espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) para el ME sintetizado se presentan en la figura 32, mientras que la comparación entre el espectro del aceite de cocina residual tratado (ACR) y el del metil éster se muestra en la figura 33. El espectro FTIR del metil éster muestra señales características de esta clase de compuestos. Las bandas observadas a 2921.64 cm^{-1} y 2852.57 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de estiramiento asimétricas y simétricas de los grupos metileno ($-\text{CH}_2$). Una banda intensa en 1741.28 cm^{-1} se asigna al estiramiento del grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$), típico de los ésteres, mientras que las bandas alrededor de 1195.60 cm^{-1} y 1169.22 cm^{-1} corresponden a los modos de estiramiento del enlace $\text{C}-\text{O}$, confirmando la formación del metil éster (Pavia et al., 2013). La banda en 722.38 cm^{-1} se relaciona con la vibración de flexión del grupo $-\text{CH}_2$ en cadenas largas, característica común en lípidos.

Figura 32

Espectro IR del ME tratado



Nota. El ACR fue analizado en el laboratorio de Orgánica de la Facultad de Ciencias Químicas, físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.

La figura 33 compara los espectros del ACR tratado y del metil éster obtenido. Se observa que las bandas correspondientes a los grupos $-\text{CH}_2$ y $-\text{CH}_3$ son similares en ambos espectros, lo cual es esperable dado que ambos compuestos contienen estas unidades estructurales. Sin embargo, se evidencian diferencias significativas en la región de los enlaces éster, lo cual refleja el cambio estructural que ocurre durante la transesterificación.

En la Figura 34, estas diferencias se muestran con mayor detalle, observándose un cambio en la intensidad y la forma de las bandas asociadas al grupo carbonilo y al enlace C–O.

Figura 33

Comparación de espectros IR del aceite de cocina residual tratado y del biodiesel

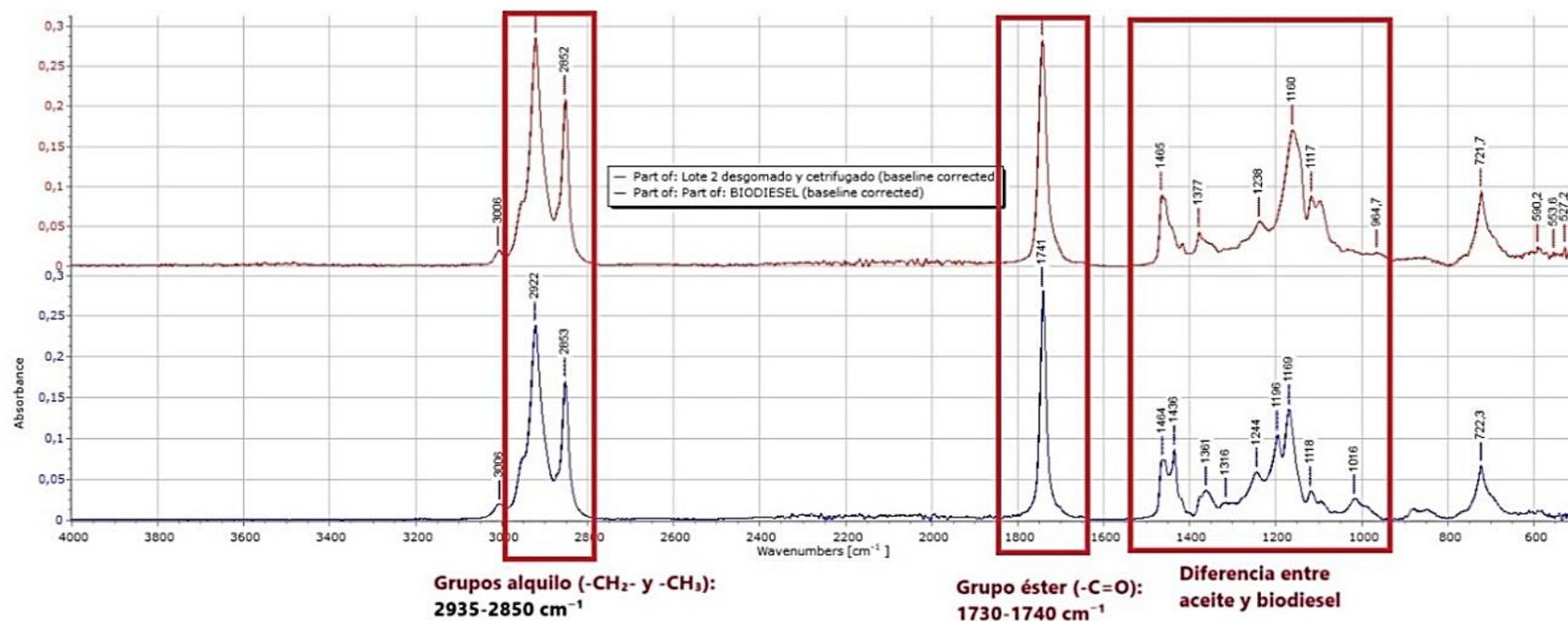
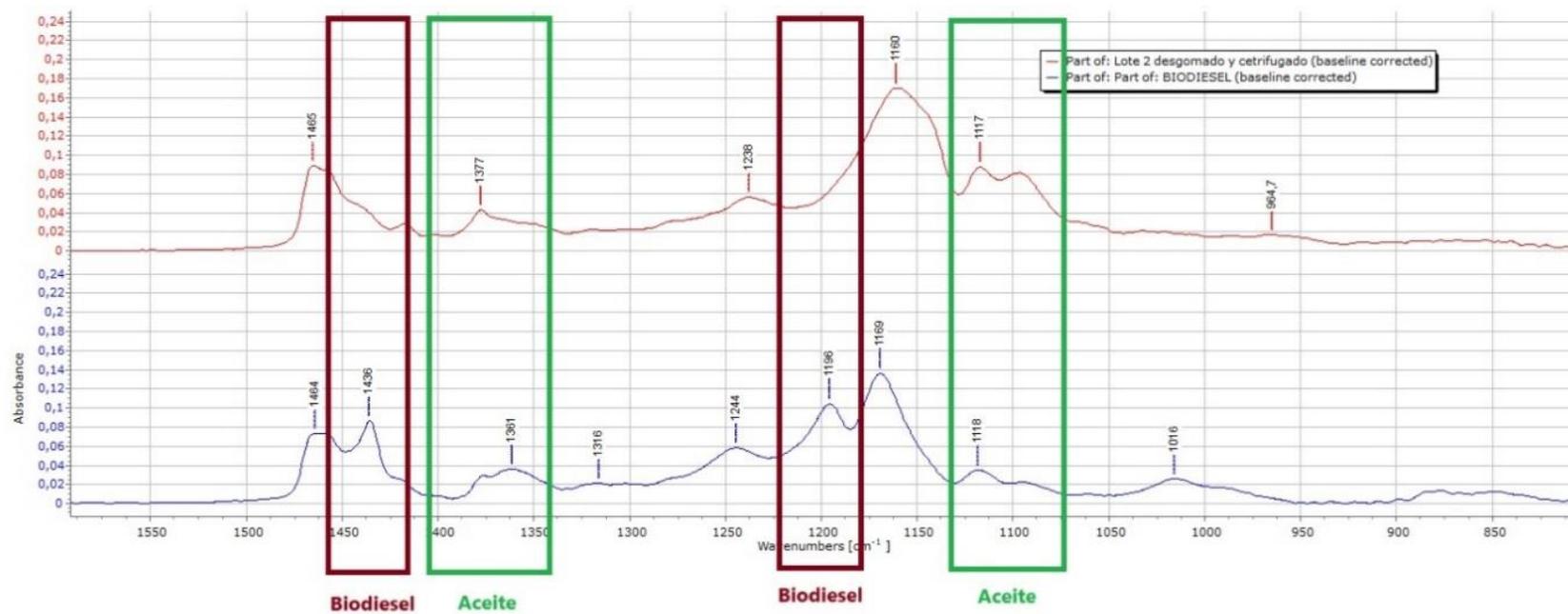


Figura 34

Cambio de estructura en la síntesis del metil éster a partir de ACR tratado



Según Mahamuni & Adewuyi (2009), las bandas en el rango de $1425\text{--}1447\text{ cm}^{-1}$ y $1188\text{--}1200\text{ cm}^{-1}$ son características del biodiésel, mientras que los intervalos de $1370\text{--}1400\text{ cm}^{-1}$ y $1075\text{--}1111\text{ cm}^{-1}$ son propios de los aceites. Por lo tanto, la presencia de bandas dentro de los rangos característicos del biodiésel confirma la conversión exitosa del ACR tratado en metil ésteres.

Por otro lado, el perfil de metil ésteres obtenido mediante análisis GC-MS se presenta en la Tabla 12 (ver Apéndice C para el informe completo). Se identificaron diversos ésteres metílicos, de los cuales tres compuestos predominan en la mezcla: el oleato de metilo (47.66%), el hexadecanoato de metilo (30.22%) y el linoleato de metilo (12.85%). Este perfil es característico de aceites vegetales con alto contenido en ácidos grasos insaturados, y es deseable para biodiésel debido a sus propiedades de fluidez y buen rendimiento energético.

Tabla 12*Análisis de perfil de metil ésteres*

Metil Ester	Composición (%)
Dodecanoato de metilo	0.15
Tetradecanoato de metilo	0.55
Hexadecanoato de metilo	30.22
9-Hexadecenoato de metilo	0.17
Ácido Hexadecanoico, 15-metil-, metil éster	0.11
Octadecanoato de metilo	6.05
Oleato de metilo	47.66
11-Octadecenoato de metilo	0.88
Linolelaidato de metilo	0.20
Linoleato de metilo	12.85
Linolenato de metilo	0.94
11-Eicosenoato de metilo	0.22

El predominio del oleato de metilo, un éster del ácido oleico (monoinsaturado), es especialmente favorable, ya que proporciona al ME mejor estabilidad oxidativa y buen comportamiento a bajas temperaturas. La presencia del hexadecanoato de metilo (éster del ácido palmítico, saturado) aporta mayor punto de inflamación, mientras que el contenido de linoleato de metilo (poliinsaturado) podría contribuir positivamente a la fluidez del combustible, aunque puede reducir ligeramente su estabilidad a la oxidación.

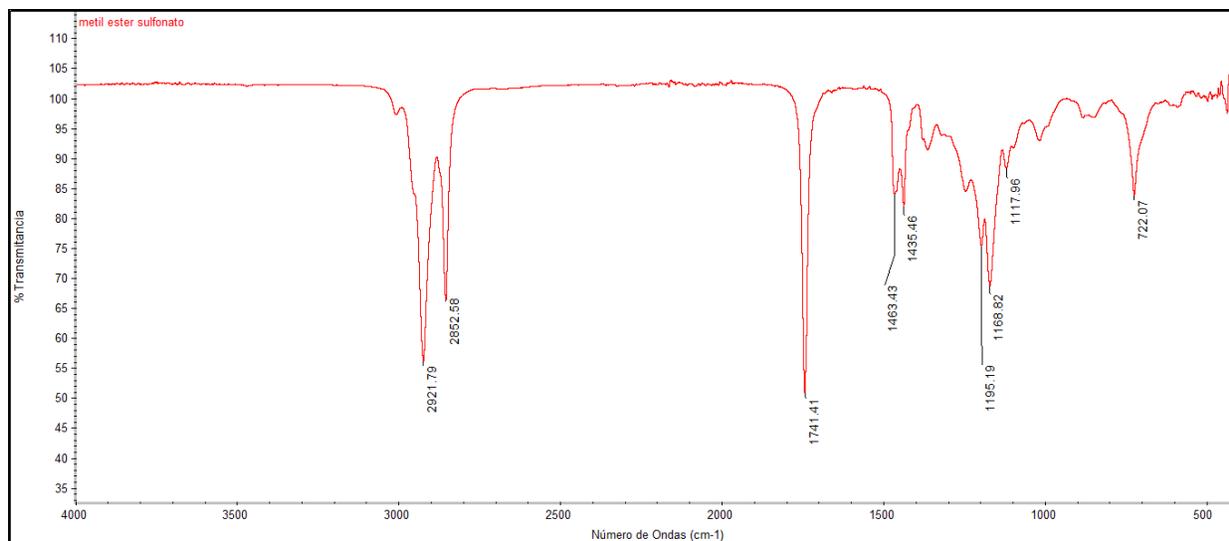
En conjunto, los resultados de los análisis FTIR y GC-MS confirman la formación efectiva de ME a partir del ACR tratado, mostrando un perfil adecuado tanto estructural como composicional, acorde con lo reportado en la literatura para metil ésteres de origen vegetal.

4.3. Caracterización de metil éster sulfonato (MES)

El espectro FTIR del metil éster sulfonato (MES) se presenta en la Figura 35. Esta muestra bandas de transmitancia en 2921.79 cm^{-1} y 2852.58 cm^{-1} , las cuales corresponden a las vibraciones de estiramiento simétrico y asimétrico del grupo metileno ($-\text{CH}_2$). Estos valores son consistentes con los reportados por Djohan et al. (2019), quienes observaron bandas en 2922.50 cm^{-1} y 2853.07 cm^{-1} , así como por Permadani et al. (2018), quienes indicaron valores en 2922 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} para dichas vibraciones.

Asimismo, se identifica una banda prominente en 1741.41 cm^{-1} , atribuida al grupo carbonilo ($\text{C}=\text{O}$) del éster, muy cercana a la señal reportada por Djohan et al. (2019) en 1741.78 cm^{-1} . Esta banda confirma la presencia de la estructura de éster propia del metil éster de ácido graso, el cual constituye la base del MES.

En cuanto a la presencia del grupo sulfonato ($-\text{SO}_3^-$), se observan bandas en el rango de 1195.56 a 1169.11 cm^{-1} , lo que concuerda con los datos de Djohan et al. (2019) y Permadani et al. (2018), quienes ubicaron este grupo funcional en el intervalo de 1195 – 1117 cm^{-1} . Específicamente, en este estudio se detectaron bandas a 1195.19 cm^{-1} y 1168.82 cm^{-1} , lo cual confirma la sulfonación del metil éster. Finalmente, se registra un pico en 722.07 cm^{-1} , atribuido al enlace $\text{S}-\text{O}$, característico del grupo sulfonato. Esto también ha sido reportado por Djohan et al. (2019) y Permadani et al. (2018). Además, Babu et al. (2015) indica que una señal fuerte alrededor de 1158 cm^{-1} corresponde a la vibración de estiramiento del grupo sulfonato, reforzando la evidencia de su presencia.

Figura 35*Espectro IR del metil éster sulfonato*

En conjunto, la presencia de las bandas asociadas al grupo carboxilo (C=O y C–O), pertenecientes al metil éster de ácido graso, junto con las señales del grupo sulfonato ($-\text{SO}_3^-$) y del enlace S–O, confirman la formación estructural del metil éster sulfonato (MES). Por lo tanto, estos resultados espectroscópicos ratifican la síntesis exitosa del MES a partir del ACR tratado.

El espectro FTIR del metil éster sulfonato, presentado en la Figura 31, muestra bandas de transmitancia en 2921.79 cm^{-1} y 2852.58 cm^{-1} , valores muy similares a las bandas en 2922.50 cm^{-1} y 2853.07 cm^{-1} atribuidas a la vibración del grupo CH_2 , según Djohan et al. (2019). De manera similar, Permadani et al. (2018) señala que las bandas en 2922 cm^{-1} y 2851 cm^{-1} corresponden a las vibraciones simétrica y asimétrica del grupo CH_2 .

Asimismo, en la Figura 35 se observa una banda en 1741.41 cm^{-1} , muy cercana a la reportada por Djohan et al. (2019) y Permadani et al. (2018) en 1741.78 cm^{-1} , asociada al enlace C=O.

Por otro lado, la presencia de bandas en el rango de 1195.56-1169.11 cm^{-1} indica la existencia del grupo sulfonato, de acuerdo con Djohan et al. (2019). Permadani et al. (2018) también reporta la presencia de este grupo en la región de 1195-1117 cm^{-1} . En el espectro IR de la Figura 31, se identifican bandas en 1195.19 cm^{-1} y 1168.82 cm^{-1} , confirmando la presencia del grupo sulfonato.

Finalmente, se detecta un pico en 722.07 cm^{-1} , correspondiente al grupo S–O, en concordancia con lo señalado por Djohan et al. (2019) y Permadani et al. (2018). Además, Babu et al. (2015) indican que un pico fuerte a 1158 cm^{-1} evidencia la vibración de estiramiento del grupo sulfonato.

4.4. Porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato obtenido

Los resultados de la absorbancia del blanco y de la muestra con la suciedad de azul de metileno se reemplazaron en la ecuación 3; tal como se puede ver en los siguientes cálculos:

Muestra 1:

$$\% \text{ de detergencia (Muestra)} = \frac{0.0197 - 0.0087}{0.0197} = 56\%$$

$$\% \text{ de detergencia (Replica)} = \frac{0.0197 - 0.0083}{0.0197} = 58\%$$

Las detergencias para las muestras del dos al ocho se obtuvieron de la misma forma.

En la tabla 13 se muestra los resultados de los cálculos para las nueve muestras.

Tabla 13

Detergencia de las mezclas de nanopartículas de TiO₂ con solución de metil éster sulfonato

Nº	Concentración de TiO ₂ , %	Tiempo de sonicación, min	% de detergencia	% de detergencia (Réplica)
1	0.08	30	56.00	58.00
2	0.08	35	53.00	36.00
3	0.08	40	33.00	40.00
4	0.10	30	15.00	26.00
5	0.10	35	24.00	31.00
6	0.10	40	44.00	44.00
7	0.12	30	2.00	2.00
8	0.12	35	14.00	14.00
9	0.12	40	30.00	30.00

(Montgomery & Runger, 2014) Se calculó la media y la desviación estándar experimental de cada grupo. La media se determinó con la ecuación 5 y la desviación estándar con la ecuación 6 (Montgomery & Runger, 2014).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$s = \frac{|x_1 - x_2|}{\sqrt{2}} \quad (\text{Ec. 6})$$

Para un tratamiento más adecuado de los resultados, se calcularon las medias de los nueve tratamientos utilizando la ecuación 5 y los resultados se presentan en la tabla 14.

Tabla 14

Determinación de la media

N°	TiO ₂ (%)	Tiempo (min)	Media detergencia (%)	Desviación estándar (%)
1	0.08	30	57.0	1.41
2	0.08	35	44.5	12.02
3	0.08	40	36.5	4.95
4	0.10	30	20.5	7.78
5	0.10	35	27.5	4.95
6	0.10	40	44.0	0
7	0.12	30	2.0	0
8	0.12	35	14.0	0
9	0.12	40	30.0	0

Según los resultados obtenidos en la tabla 14, el rendimiento de detergencia del metil éster sulfonato varia en cada experiencia, el cual oscila entre 2 % y 57%, para las muestras 7 y 1 respectivamente.

Para evaluar las características de tensión superficial, estabilidad y espumabilidad del MES, se identificó los 4 mejores resultados de detergencia, mostradas en la tabla 15.

Tabla 15*Soluciones MES con mayor poder de detergencia*

Nº	Concentración de TiO ₂ , %	Tiempo de sonicación, min	Detergencia, %
1	0.08	30	57.0
2	0.08	35	44.5
3	0.08	40	36.5
6	0.10	40	44.0

Djohan et al., (2019) indican que cuando el lavado de una suciedad se realiza con nanopartículas, la detergencia incrementa debido a la degradación de suciedad. Los resultados obtenidos por Permadani & Slamet, (2019) también mostraron mejores resultados en la prueba de degradación de la mancha se realizó con la ayuda de lámparas de mercurio, las nanopartículas de TiO₂ tienen la capacidad de degradar cuando obtiene la inducción de fotones (exposición a la luz), obteniendo 82.18% de rendimiento del detergente a la concentración de MES de 1.5%, la presencia de la lámpara de mercurio en la prueba de degradación de manchas, generó la excitación de electrones del TiO₂, lo que produjo radicales OH⁺, que tienen la capacidad de degradar las manchas (en esta investigación se usó el azul de metileno), se tiene referencia de que el azul de metileno tiene también la capacidad de degradar impurezas orgánicas como bacterias, virus y hongos.

Los resultados de la evaluación de la significancia de las variables independientes (Concentración de las NPs de TiO₂ y tiempo de sonicación) sobre la variable dependiente (porcentaje de detergencia) se muestran en tabla 16.

Tabla 16

Efectos de las variables en la detergencia de la solución metil éster sulfonato con ANOVA

Efecto	Estimado	Int. confianza	V.I.F
Promedio	28.667	+/- 15.8001	-
A:C	-30.67	+/- 17.30	1.0
B:t	10.33	+/- 17.30	1.0
AA	0.00	+/- 29.97	1.0
AB	24.25	+/- 21.19	1.0
BB	6.00	+/- 29.97	1.0

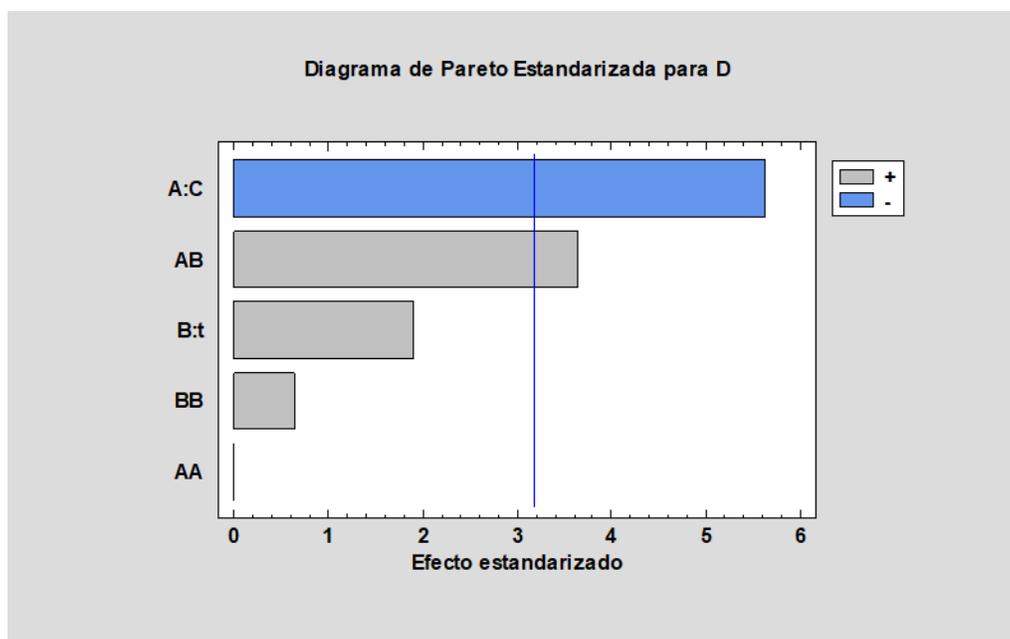
Nota. Donde A: concentración de NPs TiO₂, B: tiempo de sonicación, AA: interacción de la concentración de NPs de TiO₂, AB: interacción de concentración de NPs de TiO₂ -tiempo de sonicación y BB es la interacción del tiempo de sonicación, V.I.F : factor de inflación de varianza.

La estimación del efecto de la concentración de NPs de TiO₂ indica que al elevar la concentración de las NPs de TiO₂ de 0.08% a 0.12% el porcentaje de detergencia disminuye y el efecto de la interacción de las dos variables (tiempo de sonicación y concentración de NPs de TiO₂) aumenta el porcentaje de detergencia.

El estudio del efecto de las variables en la detergencia se muestra en el diagrama de Pareto de efecto estandarizado en la figura 36.

Figura 36

Diagrama de Pareto de efecto estandarizado para la detergencia del detergente nanofluidico.



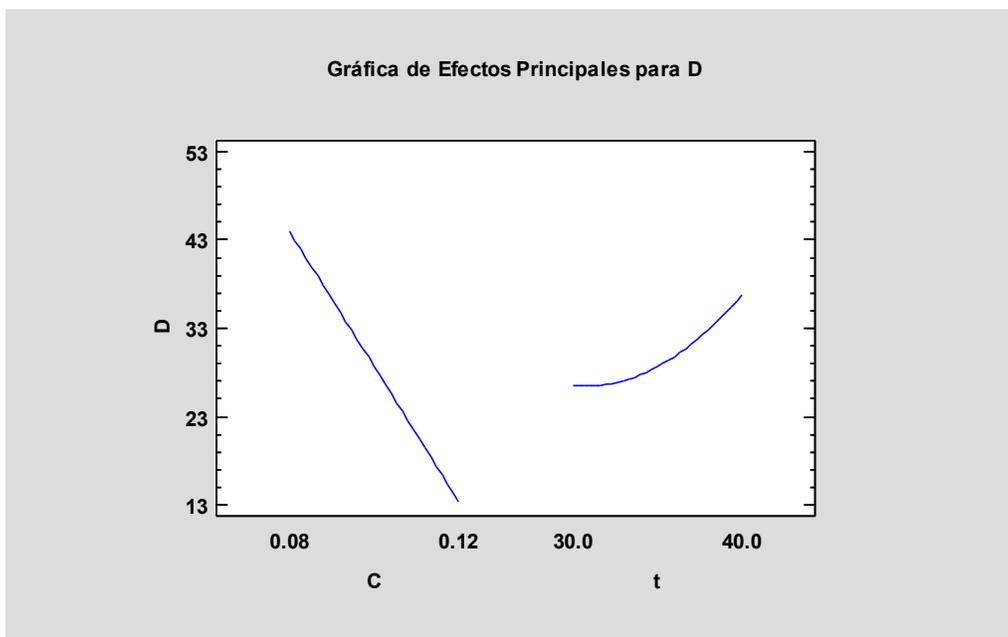
Nota: Donde A: concentración de NPs de TiO_2 , B: tiempo de sonicación, AA: interacción de la concentración de NPs de TiO_2 , AB: interacción de concentración de NPs de TiO_2 -tiempo de sonicación y BB es la interacción del tiempo de sonicación.

En el diagrama Pareto se observó los efectos de las variables en la detergencia. Los efectos se muestran de mayor a menor. Donde la variable concentración de NPs de TiO_2 es la variable con mayor efecto, mientras que la interacción entre las variables independientes concentración de nanopartículas de TiO_2 y tiempo de sonicación es la segunda con mayor efecto, y la variable tiempo de sonicación es la tercera con efecto apreciable.

En la figura 37 se observa la gráfica de efectos principales.

Figura 37

Gráfica de efectos principales



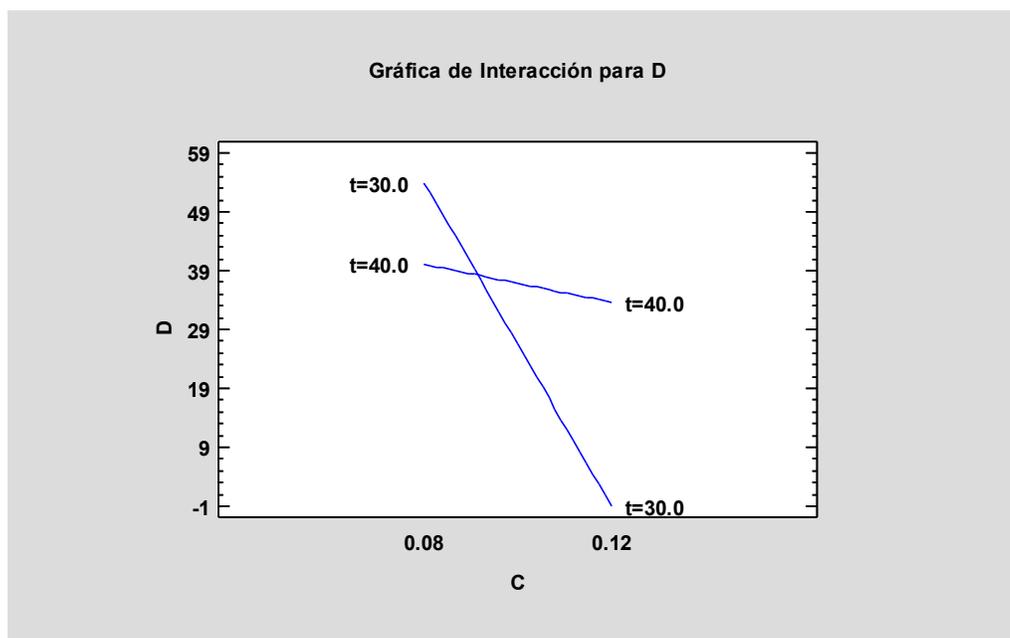
Nota: Nota: Donde D: detergencia, C: concentración de NPs de TiO₂, t: tiempo de sonicación.

En la figura 37 de los efectos principales para la detergencia, se observa que el aumento de la concentración de NPs de TiO₂ de 0.08 % a 0.12 % afecta en la disminución del poder de detergencia del detergente nanofluídico y un aumento en el tiempo de sonicación de 30 min a 40 min influye en el aumento del poder de detergencia.

En la figura 38 se observa como la interacción de las variables independientes influye en la variable dependiente detergencia.

Figura 38

Gráfica de interacción de la detergencia



De la Figura 38 se observa que a la menor concentración de NPs de TiO₂ y menor tiempo de sonicación se presencia la mayor detergencia, mientras que a mayor concentración y al menor tiempo se observa la menor detergencia, mientras que para la mayor concentración y para el mayor tiempo se observa que la detergencia es mayor también que para un menor tiempo.

Los resultados del análisis de varianza se muestran en la tabla 17

Tabla 17

Análisis de Varianza para detergencia

Fuente	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:C	1410.67	1	1410.67	31.79	0.0110
B:t	160.167	1	160.167	3.61	0.1536
AA	0.00	1	0.00	0.00	1.0000
AB	588.063	1	588.063	13.25	0.0357
BB	18.0	1	18.0	0.41	0.5694
Error total	133.104	3	44.3681		
Total(corr.)	2310.0	8			

Nota. Donde A: concentración de NPs TiO₂, B: tiempo de sonicación, AA: interacción de la concentración de NPs de TiO₂, AB: interacción de concentración de NPs de TiO₂ -tiempo de sonicación y BB es la interacción del tiempo de sonicación, V.I.F: factor de inflación de varianza.

El análisis de varianza determinó que las variables significativas son la concentración de NPs TiO₂ y la interacción de concentración de NPs de TiO₂ y el tiempo de sonicación y; debido a que sus valore “p” son menores a 0.05 con un 95% de confianza. Por tanto, sí se demostró la hipótesis alternativa, es decir que la concentración de NPs TiO₂ y la interacción de concentración de NPs de TiO₂ y el tiempo de sonicación influyen significativamente en la detergencia.

El modelo de regresión de los datos experimentales se muestra en la ecuación 7.

$$D (\%) = 640.542 - 5010.42C - 19.4917t + 0.00C^2 + 121.25Ct + 0.18t^2 + 0.12t^2 \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

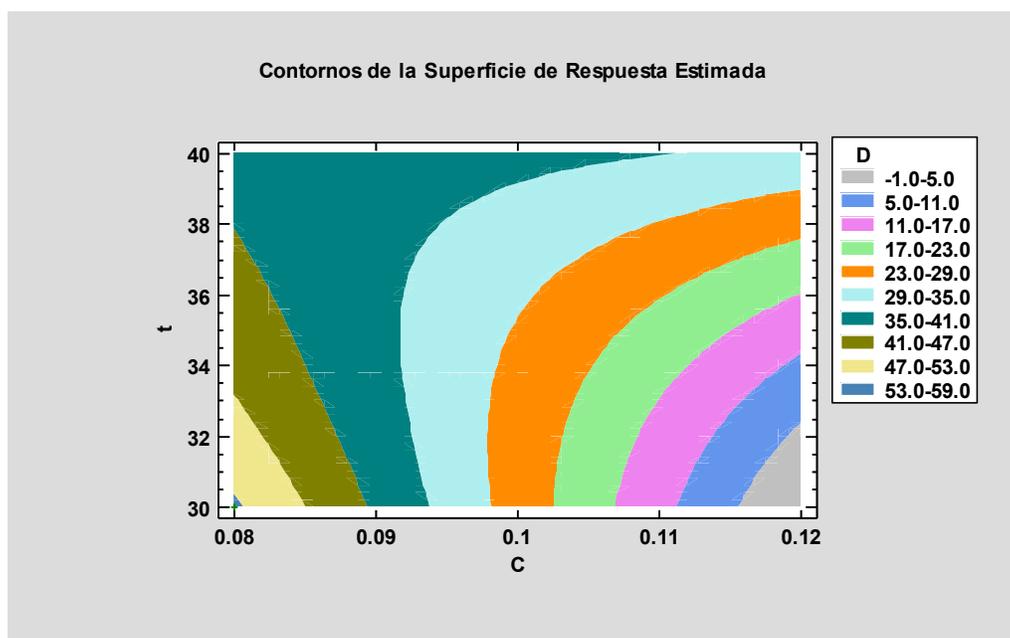
- D: Detergencia
- C: Concentración de NPs de TiO₂
- t: tiempo de sonicación

Indicando $R^2 = 94.24\%$ por el modelo de regresión, por tanto, significa que el modelo de regresión es ajustable a los datos experimentales y puede ser utilizado para evaluar la detergencia al variar las variables independientes en el rango de estudio.

La superficie de respuesta muestra gráficamente el modelo de regresión para la variable de detergencia, mostrada en la figura 39.

Figura 39

Contorno de superficie de repuesta estimada



De acuerdo a la gráfica de superficie estimada se observa las regiones de menor a mayor detergencia, siendo el área de color azul en la parte inferior izquierda la región con mayor detergencia.

4.5. Caracterización de los detergentes nanoflúidicos obtenidos

a) Tensión superficial

En la tabla 18, se muestran los resultados de las tensiones superficiales obtenidas como también la tensión superficial del agua ultrapura.

Tabla 18

Valores de tensión superficial para las muestras con mayor poder de detergencia

Nº	Concentración de TiO ₂ , %	Tiempo de sonicación, min	Tensión superficial, mN/m
1	0.08	30	43.3
2	0.1	30	43.5
3	0.12	35	41.0
6	0.12	40	45.0
	-	Agua, mN/m	-
10	-	65.0	-

De acuerdo a la Tabla 18, para la muestra 1 comparando la tensión superficial del agua ultrapura disminuyó de 65 mN/m hasta 43.3 mN/m, para la muestra 2 disminuyó hasta 43.5 mN/m, hasta 41 mN/m para la muestra 3 y hasta 45 mN/m para la muestra 5, siendo la muestra 1 la muestra con menor tensión superficial.

La sinergia entre un nanofluido y el tensioactivo MES aumenta la tensión superficial del nanofluido, las partículas de TiO_2 perturban la fuerza de cohesión de las moléculas del agua, también la adición del surfactante MES al agua, reducirá la tensión superficial debido a la presencia de los grupos hidrofóbicos e hidrofílicos.

Slamet & Redjeki, 2017 disminuyeron la tensión superficial del agua de 80.5 mN/m a 32.7 mN/m con surfactante PAS del palma y redujeron 31.5 mN/m con la mezcla de NPs de TiO_2 - PAS de palma-agua.

b) Estabilidad

En la tabla 19 se muestran los resultados de Estabilidad analizados para las muestras

Tabla 19

Resultados de la estabilidad para las muestras con mayor poder de detergencia

Nº	Concentración de TiO_2 , %	Tiempo de sonicación, min	Estabilidad %
1	0.08	30	96.5
2	0.08	35	94.3
3	0.1	40	33.1
6	0.12	40	65.6

Según la tabla 19, el mejor resultado se obtuvo para la muestra 1 con un 96.5% a una concentración de 0.08 % de NPs TiO_2 y 30 minutos de sonicación y el menor resultado para la muestra 3, con un 33.1%. Los resultados obtenidos por Djohan et al., 2019 fue de 88.22% de estabilidad a una concentración de MES al 15%, lo que indica que la estabilidad es el resultado de la interacción entre las nanopartículas de ZnO (nanopartículas de estudio de Djohan et al 2019) y el MES que tiene moléculas hidrofílicas e hidrofóbicas.

c) Espumabilidad

En la Tabla 20 se muestra los resultados obtenidos de la espumabilidad para las muestras con mayor detergencia. Los valores se obtuvieron reemplazando los resultados en la ecuación 4.

Tabla 20

Resultados de espumabilidad para muestras con mayor detergencia

N°	Concentración de TiO ₂ , %	Tiempo de sonicación, min	Espumabilidad, %
1	0.08	30	81
2	0.08	35	76
3	0.1	40	77
6	0.12	40	72

De acuerdo a la Tabla 20 se observa que la muestra 1, muestra el mayor porcentaje de espumabilidad con un 81%, mientras que la muestra 6 muestra un resultado baja con un 72%.

4.6.Determinación de la concentración y tiempo de sonicación de nanopartículas de TiO₂ adecuados para lograr la mayor detergencia de la solución MES

De acuerdo al análisis de los resultados del estudio estadístico en la evaluación de la influencia de las NPs de TiO₂ y del tiempo de baño ultrasónico, se identificó que la muestra 1, con 0.08% de NPs de TiO₂ y 30 minutos de tiempo de sonicación muestra la mayor detergencia con un resultado de 57%, mientras que la menor detergencia correspondió a la muestra 7 con un 2% de detergencia a las condiciones de 0.12% de NPs de TiO₂ con 30min de sonicación. El análisis estadístico indica que un aumento en la concentración de NPs de TiO₂ disminuye la detergencia del MES debida muy probablemente a la saturación de NPs de TiO₂ y que el efecto de la interacción de las variables de concentración de NPs de TiO₂ y tiempo de sonicación, aumenta el porcentaje de detergencia del MES.

Conclusiones

1. Se logró obtener el porcentaje de detergencia del metil éster sulfonato obtenido a partir de aceite de cocina residual con nanopartículas de TiO_2 , obteniéndose un 57 % de detergencia a una concentración de 0.08% de nanopartículas de TiO_2 y a tiempo de sonicación de 30 minutos.
2. Se trató el aceite de cocina residual (ACR). Su estructura química fue analizada mediante espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR); mientras su perfil de ácidos grasos por cromatografía de gases y espectroscopía de masas (GC-MS), obteniéndose al ácido oleico como componente con mayor porcentaje con un 46.41%.
3. A partir del ACR tratado se sintetizó el metil éster y a partir de éste, se sintetizó metil éster sulfonato (MES). El MES fue caracterizado con FTIR para análisis de su estructura química, donde se presenció al grupo sulfonato en los picos 1195.19 a 1168.82 cm^{-1} y la presencia del enlace S-O en el pico 722.07 cm^{-1} , confirmándose la formación del metil éster sulfonato.
4. A partir del MES obtenido, con la adición de nanopartículas de TiO_2 se obtuvo el detergente nanofluídico. Donde la concentración de nanopartículas de TiO_2 y la interacción de las variables, concentración de nanopartículas de TiO_2 y tiempo de sonicación tuvieron una influencia significativa en la detergencia del MES.
5. Los detergentes nanofluídicos obtenidos fueron caracterizados. Obteniéndose el detergente nanofluídico con mejores resultados a una concentración de 0.08% de nanopartículas de TiO_2 y tiempo de sonicación de 30 minutos, tensión superficial de 43.3mN/m, estabilidad de 96.5% y espumabilidad de 81 %.

Recomendaciones

1. Para garantizar una transesterificación eficiente, es fundamental reducir el contenido de ácidos grasos libres (AGL) del aceite de cocina residual a valores inferiores al 2%. Este tratamiento previo asegura una conversión adecuada en metil ésteres.
2. Se recomienda mayores estudios con niveles de concentración de nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2) alrededor del 0.08% y tiempos de sonicación alrededor de 30 minutos para una adecuada dispersión de las nanopartículas en la mezcla y maximizar así la eficiencia del detergente nanofluído.
3. Se recomienda realizar estudios de biodegradabilidad para evaluar su impacto ambiental.
4. Se recomienda el estudio de las propiedades del óxido de calcio y de la zeolita para su posible aplicación en los detergentes nanofluídicos para la mejora de su propiedad de detergencia.

Referencias bibliográficas

- Adekunle, A. S., Oyekunle, J. A. O., Oduwale, A. I., Owootomo, Y., Obisesan, O. R., Elugoke, S. E., Durodola, S. S., Akintunde, S. B., & Oluwafemi, O. S. (2020). Biodiesel potential of used vegetable oils transesterified with biological catalysts. *Energy Reports*, 6, 2861-2871. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.10.019>
- Alptekin, E., & Canakci, M. (2008a). FARKLI HAMMADDELERDEN ÜRETİLEN METİL ESTER VE GLİSERİNİN BAZI ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ. En *Fak. Der. J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ. Cilt* (Vol. 23, Número 3).
- Alvarez, A. J. (2013). *Obtención de biodiesel a partir de aceites usados en casa habitación de la comunidad del Refugio* .
- Awogbemi, O., Kallon, D. V. Von, Aigbodion, V. S., & Panda, S. (2021). Advances in biotechnological applications of waste cooking oil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2021.100158>
- Awogbemi, O., Onuh, E. I., & Inambao, F. L. (2019). Comparative study of properties and fatty acid composition of some neat vegetable oils and waste cooking oils. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 14(3), 417-425. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctz038>
- Baena, L. M., Tamayo, J. A., & Benites, A. J. (2022). *Manufactura y gestión del ciclo de vida del producto (PLM)*.
- Bernardini, E. (1981). *TECNOLOGIA DE ACEITES Y GRASAS*.
- Cabezas Zábala, C. C., Hernández Torres, B. C., & Vargas Zárata, M. (2016). Fat and oils: Effects on health and global regulation. *Revista Facultad de Medicina*, 64(4), 761-768. <https://doi.org/10.15446/revfacmed.v64n4.53684>

- Caetano, N. S., Silva, V. F. M., Melo, A. C., Martins, A. A., & Mata, T. M. (2014). Spent coffee grounds for biodiesel production and other applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 16(7), 1423-1430. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0773-0>
- Calvo, A. R. (2016). *Toxicidad y biodegradabilidad de detergentes comerciales y de su tensioactivo base* [Maestría]. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Calvo Leon, A. R. (2016). *Toxicidad y biodegradabilidad de detergentes comerciales y de su tensioactivo base*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Campomanes, D. M. (2023). *Caracterización de aceites residuales de cocina para la producción de biodiésel en la ciudad de Barranca*. Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión .
- Castillo, B., & Paucar, S. (2023). *INHIBICIÓN DE BACTERIAS E. COLI CON NANOPARTÍCULAS DE TIO₂ A DIFERENTES TEMPERATURAS EN LA DESINFECCIÓN DE AGUAS DE POZO PARA CONSUMO HUMANO*.
- Cohen, L., Roberts, D. W., & Pratesi, C. (2010a). Φ -sulfo fatty methyl ester sulfonates (Φ -MES): A novel anionic surfactant. *Chemical Engineering Transactions*, 21, 1033-1038. <https://doi.org/10.3303/CET1021173>
- Cohen, L., Soto, F., & Luna, M. S. (2001). Sulfoxylated methyl esters as potential components of liquid formulations. *Journal of Surfactants and Detergents*, 4(2), 147-150. <https://doi.org/10.1007/s11743-001-0167-3>
- Cohen, L., & Trujillo, F. (1999). Performance of sulfoxylated fatty acid methyl esters. *Journal of Surfactants and Detergents*, 363-365. <https://doi.org/10.1007/s11743-999-0090-7>
- Complutense, U. (2025). *Cromatografía de Gases-Masas (GC-MS)*. <https://cai.ucm.es/ciencias-tierra-arqueometria/tecnicas-geologicas/tecnicas/cromatografia-de-gases-masas-gc-ms/38/>

- Díaz, N. A., Ruiz, J. A. B., Reyes, E. F., Cejudo, A. G., Novo, J. J., Peinado, J. P., Meléndez-valdés, F. T., & Fiñana, I. T. (2024). Espectrofotetría : Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. *Elsevier*, 1-8.
- Djohan, G., Ibadurrohman, M., & Slamet. (2019a). Synthesis of eco-friendly liquid detergent from waste cooking oil and ZnO nanoparticles. *AIP Conference Proceedings*, 2085. <https://doi.org/10.1063/1.5095053>
- Garcia, A. F. (2016). *Tensión superficial en los líquidos*.
- Gerpen, J. Van, Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., & Knothe, G. (2004). *Biodiesel Production Technology: August 2002--January 2004*. <http://www.osti.gov/bridge>
- Hasegawa, Hiroshi. (1987). *Laboratory manual on analytical methods and procedures for fish and fish products*. Marine Fisheries Research Department, Southeast Asian Fisheries Development Center.
- Iagua. (2016, junio 2). *Los vertidos de aceite perjudican la salubridad de nuestros ríos*.
- Inacal. (2016). 209.005. *Acidez Libre _ TOAZ.INFO.pdf* (p. 9).
- Jin, Y., Tian, S., Guo, J., Ren, X., Li, X., & Gao, S. (2016). Synthesis, Characterization and Exploratory Application of Anionic Surfactant Fatty Acid Methyl Ester Sulfonate from Waste Cooking Oil. *Journal of Surfactants and Detergents*. <https://doi.org/10.1007/s11743-016-1813-z>
- Katiyar, A., Harikrishnan, A. R., & Dhar, P. (2017). *Influence of temperature and particle concentration on the pH of complex nanocolloids*. <https://doi.org/10.1007/s00396-017-4132-7>
- Lázaro, M. (2018). *Alteraciones de los aceites vegetales durante la fritura*.

- Lim, Y. S., Stanimirova, R. D., Xu, H., & Petkov, J. (2016). Sulphonated Methyl Ester a promising surfactant for detergency in hard water conditions. *Household and Personal Care Today*. <https://www.researchgate.net/publication/313722197>
- Maurad, Z. A., Ghazali, R., Siwayanan, P., Ismail, Z., & Ahmad, S. (2006). *Alpha-Sulfonated Methyl Ester as an Active Ingredient in Palm-Based Powder Detergents*. 9(2), 161-167.
- Maurad, Z. A., Idris, Z., & Ghazali, R. (2017). Performance of palm-based C16/18 methyl ester sulphonate (MES) in liquid detergent formulation. *Journal of Oleo Science*, 66(7), 677-687. <https://doi.org/10.5650/jos.ess16190>
- Mettler, T. (2025, junio 12). *Mejore las reacciones químicas con la espectroscopia FTIR en tiempo real e in situ*.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied Statistics and Probability for Engineers* (Wiley, Ed.; 6.^a ed.).
- Morales, J. (2014). *SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE TIO₂* (p. 81).
- Moya, M., & Moya, J. (2020). Biodegradation of waste used cooking oil by lipolytic fungi: An in vitro study. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 36(2), 351-359. <https://doi.org/10.20937/RICA.53054>
- Murcia Ordoñez, B., Carlos Chaves, L., Rodríguez-Pérez, W., Andredy Murcia, M., & Rocío Alvarado, E. (2013). Biodiesel de aceite residual de cocina Caracterización de biodiesel obtenido de aceite residual de cocina Characterization of Biodiesel obtained from waste cooking oil. En *Rev. Colomb. Biotecnol* (Número 1).
- Narváez, P. C., Sánchez, F. J., Torres, J. A., & Ponce de León, L. F. (2004a). Fatty acid methyl esters production: chemical process variables. *Ingeniería e investigación*, 55, 41-50.

- Nasrollahzadeh, M., Sajadi, S. M., Sajjadi, M., & Issaabadi, Z. (2019). Chapter 1 - An Introduction to Nanotechnology. En M. Nasrollahzadeh, S. M. Sajadi, M. Sajjadi, Z. Issaabadi, & M. Atarod (Eds.), *Interface Science and Technology* (Vol. 28, pp. 1-27). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00001-8>
- Navas, J., Torres, P., & Ramirez, F. (2019). Efectos de la humedad en aceites usados y su reciclaje en la industria energética. *Ingeniería y Medio Ambiente*.
- Ortiz, P. M. S. (2016). Surfactantes producidos a partir de derivados de la Biomasa. *FIRP SC307-R*, 2.
- Panadare, D. C., & Rathod, V. K. (2015). *Applications of Waste Cooking Oil Other Than Biodiesel : A Review*. 12(3), 55-76.
- Parra, R., Góes, M. S., Castro, M. S., Longo, E., Bueno, P. R., & Varela, J. A. (2008). *Reaction Pathway to the Synthesis of Anatase via the Chemical Modification of Titanium Isopropoxide with Acetic Acid*. 16, 4969-4976.
- Permadani, R. L., Ibadurrohman, M., & Slamet. (2018). Utilization of waste cooking oil as raw material for synthesis of Methyl Ester Sulfonates (MES) surfactant. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 105. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/105/1/012036>
- Permadani, R. L., & Slamet. (2019a). Development of nanofluid detergent based on methyl ester sulfonates surfactant from waste cooking oil and titanium dioxide nanoparticles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 509(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/509/1/012120>
- Plata, L. U. (2006). *Los alfa-sulfo metil esterres propiedades y aplicaciones*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Ramirez, T. (2018). *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE ACEITES Y GRASAS RESIDUALES POTENCIALES PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES*.

Reaccion quimica de Trigliceridos. (2025). https://es.123rf.com/photo_186387511_reacción-química-de-formación-de-triglicéridos-ilustración-vectorial.html

Salager, J. L., & Fernandez, A. (2004a). *SURFACTANTES*.

Salager, J. L., & Fernandez, A. (2004b). *Surfactantes*.

Sánchez, A. (2004). Some Oleochemistry Applications in Soaps and Detergents. *PALMAS*, 25, 383-400.

Satsuki, T., Umehara, K., & Yoneyama, Y. (1992). *Performance and Physicochemical Properties of α -Sulfo Fatty Acid Methyl Esters*.

SENA. (2014). *INSTRUCTIVO PARA EL ENSAYO DE TÓXICIDAD AGUDA CON SEMILLAS DE LECHUGA*.

Sharma, A., & Arya, S. K. (2022). Chapter 11 - The potential of biosurfactant for improving the bioavailability of nutrient for beneficial plant-associated microbes. En Dr. Inamuddin & C. O. Adetunji (Eds.), *Applications of Biosurfactant in Agriculture* (pp. 181-226). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822921-7.00013-1>

Siwayanan, P., Ban, Z. H., Zhang, X., & Parthiban, A. (2021a). Sulfonato de éster metílico graso α -sulfo: una revisión de la química, las tecnologías de procesamiento, el rendimiento y las aplicaciones en detergentes para ropa. *Journal of Surfactants and Detergents*, 24(3), 1-15. <https://doi.org/10.1002/jsde.12509>

- Slamet, Ibadurrohman, M., & Wulandari, P. P. (2017). Synthesis of methyl ester sulfonate surfactant from crude palm oil as an active substance of laundry liquid detergent. *AIP Conference Proceedings, 1904*. <https://doi.org/10.1063/1.5011915>
- Slamet, & Redjeki, A. S. (2017). Interaction between surfactant and titania in a detergent nanofluid system. *AIP Conference Proceedings, 1904*. <https://doi.org/10.1063/1.5011920>
- Tacias Pascacio, V. G., Rosales Quintero, A., Torrestiana Sánchez, B., Tacias Pascacio, V. G., Rosales Quintero, A., & Torrestiana Sánchez, B. (2016c). EVALUACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE GRASAS Y ACEITES RESIDUALES DE COCINA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL: UN CASO DE ESTUDIO. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 32*(3), 303-313. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.05>
- Technologies, A. (2020). *Aplicaciones de cromatografía de gases y espectrometría de masas (GC-MS)*. <https://es.alwsci.com/news/gas-chromatography-mass-spectrometry-gc-ms-a-51882870.html>
- Tejedor, A. S. (s. f.). *Química Orgánica Industrial*. <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-02.php>
- Tobori, N., & Kakuit, T. (2019). *Sulfonato de éster metílico*.
- Torres, J., Diaz, L., & Sanchez, F. (2008). *Estudio cinético de la sulfonación de ésteres metílicos derivados de la estearina de palma*. 9, 88-95.
- Torres, J., Suarez, O., Narváez, P., & Sanchez, F. (2008). Sulfonation of methyl esters derived from palm oil. En *Revista Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria* (Vol. 9, Número 2).
- Universidad de Granada. (s. f.). *FENÓMENOS DE SUPERFICIE: TENSION SUPERFICIAL Y CAPILARIDAD*.

- Universidad Granada. (2009). *MEDIDA DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL DE LÍQUIDOS*.
- Vargas, M., Ochoa, Y., Fernandez, Y., Mosquera, P., & Rodriguez, J. (2011). Nanoparticles of TiO₂ , anatase phase , synthesized by chemical methods. *Redalyc*, 186-201.
- Vidal Jiménez, L. V. (2016). 11 - Microencapsulated bioactive components as a source of health. En A. M. Grumezescu (Ed.), *Encapsulations* (pp. 455-501). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804307-3.00011-9>
- Xu, H., Thomas, R. K., Penfold, J., Li, P. X., Ma, K., Welbourne, R. J. L., Roberts, D. W., & Petkov, J. T. (2017). The impact of electrolyte on the adsorption of the anionic surfactant methyl ester sulfonate at the air-solution interface: Surface multilayer formation. *Journal of Colloid and Interface Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2017.10.064>

Apéndice

Apéndice A. Resultados de análisis de % de AGL y humedad antes y después del desgomado



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS
 Av. de la Cultura 1100, Pabellón "C" Of. 106 1er. piso - Telefax: 224831 - Apartado Postal 921 - Cusco Perú



UNIDAD DE PRESTACION DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO
 DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS

Nº0118-24-LAQ

SOLICITANTE : JUDIT KATERIN JACINTO MAMANI

MUESTRA : ACEITES DE COCINA RESIDUAL

1.- FILTRADA SIN SECAR

2.- DESGOMADO FILTRADO

FECHA : C/17/04/2024

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO:

	1	2
Humedad %	0,51	0,38
Acidez % (Ac. Palmítico)	2,32	1,64

Métodos: AOAC 926.12, AOAC 939.05

Cusco, 18 de Abril 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
 LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO

Apéndice B. Perfil de ácidos grasos realizado con el equipo GC-MS



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES

Informe de resultados

Solicitante:	Katherine Chalko Mendoza Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Muestra:	1 muestra de aceite
Análisis:	Composición de ácidos grasos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.
Fecha de entrega de Resultados:	02 de mayo de 2024

RESULTADOS

En la página 2 a 3 del presente informe.

Atentamente,

Dr. Billy Cabanillas Amado
Unidad de Investigación en Productos Naturales LID-Laboratorio 209
e-mail: rosario.rojas@upch.pe
<https://investigacion.cayetano.edu.pe/catalogo/productosnaturales/uiipn>
Teléfono: 51-1-3190000 Anexo 233227

Página 1 de 3

Av. Honorio Delgado 430, San Martín de Porres 15102
Central Telefónica: (511) 319-0000 2402
Facultad de Ciencias e Ingeniería

Reporte de resultados

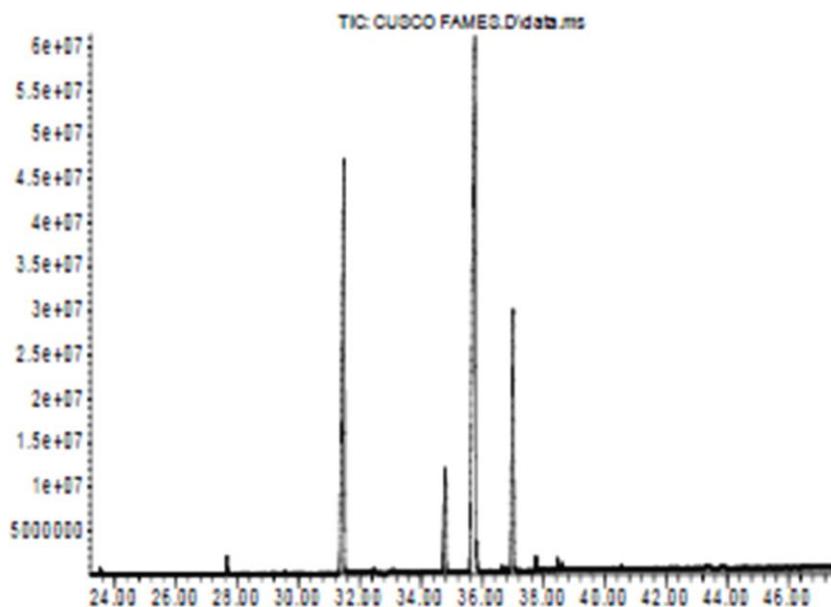
Código de muestra: Aceite de cocina residual

Se identificaron 14 compuestos que comprenden el 100% de la composición total

Número	Nombre del compuesto (NIST 08.L)	t _r (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	ácido láurico (C12:0)	23.53	0.18
2	ácido mirístico (C14:0)	27.66	0.59
3	ácido palmítico (C16:0)	31.49	31.72
4	ácido palmitoleico (C16:1)	32.46	0.15
5	ácido margárico (C17:0)	33.09	0.14
6	ácido esteárico (C18:0)	34.79	5.96
7	ácido oleico (C18:1)	35.75	46.41
8	ácido cis-11-octadecenoico (C18:1)	35.81	0.89
9	ácido linoláidico (C18:2)	36.64	0.20
10	Desconocido C ₂₀ H ₃₆ O ₂	36.78	0.17
11	ácido linoleico (C18:2)	37.00	12.53
12	Desconocido C ₁₈ H ₃₀ O ₂	37.75	0.46
13	ácido linolénico (C18:3)	38.45	0.42
14	ácido 11-eicosenoico (C20:1)	38.60	0.20

Cromatograma de GC-MS:

Abundance



Time-->

Condiciones cromatográficas:

Columna: Zebron 810021zb/7MG-G037-10, 250 °C: 100 m x 250 µm x 0.2 µm

Rampa de temperatura: Comienza en 100 °C, luego 4°C/min hasta 240°C por 20min.

Tiempo de corrida: 60 min

Inyección: 2 µL

Split: 20:1

Gas portador: He

Flujo: 1ml/min

Detector: Espectrómetro de Masa marca Agilent Technologies modelo 5975C

Apéndice C. Perfil de metil ésteres del análisis GC-MS

UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES

Informe de resultados

Solicitante:	Katherine Chalco Mendoza Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Muestra:	1 muestra de metil éster
Análisis:	Composición de ácidos grasos mediante cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.
Fecha de entrega de Resultados:	09 de mayo de 2024

RESULTADOS

En la página 2 a 3 del presente informe.

Atentamente,

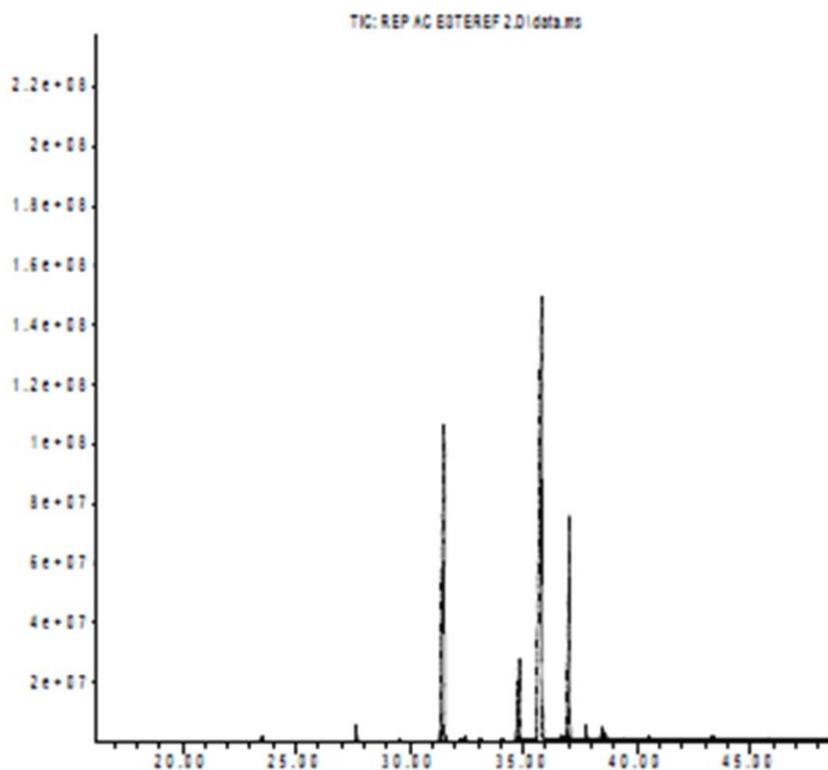
Dr. Billy Cabanillas Amado
Unidad de Investigación en Productos Naturales LID-Laboratorio 209
e-mail: rosario.rojas@upch.pe
<https://investigacion.cayetano.edu.pe/catalogo/productosnaturales/uijn>
Teléfono: 51-1-3190000 Anexo 233227

Reporte de resultados

Código de muestra: Aceite de cocina residual

Se identificaron 14 compuestos que comprenden el 100% de la composición total

Número	Nombre del compuesto (NIST 08.L)	t _r (min)	% en la muestra (áreas relativas)
1	Dodecanoic acid, methyl ester	23.51	0.15
2	Tetradecanoic acid, methyl ester	27.66	0.55
3	Hexadecanoic acid, methyl ester	31.52	30.22
4	9-Hexadecenoic acid, methyl ester	32.46	0.17
5	Hexadecanoic acid, 15-methyl-, methyl ester	33.08	0.11
6	Octadecanoic acid, methyl ester	34.83	6.05
7	Oleic acid, methyl ester	35.80	47.66
8	11-Octadecenoic acid, methyl ester	35.85	0.88
9	Linolelaidic acid, methyl ester	36.65	0.20
10	Linoleic acid, methyl ester	37.03	12.85
11	Linolenic acid, methyl ester	38.46	0.94
12	11-Eicosenoic acid, methyl ester	38.61	0.22

Cromatograma de GC-MS:

Time (min) -->

Condiciones cromatográficas:

Columna: Zebron 810021zb/7MG-G037-10, 250 °C: 100 m x 250 µm x 0.2 µm

Rampa de temperatura: Comienza en 100 °C, luego 4°C/min hasta 240°C por 20min.

Tiempo de corrida: 60 min

Inyección: 2 µL

Split: 10:1

Gas portador: He

Flujo: 1ml/min

Detector: Espectrómetro de Masa marca Agilent Technologies modelo 5975C