



Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Posgrado en Ciencias en Energía Renovable

ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES DEL BIODIÉSEL Y SU
USO EN LA DETERMINACIÓN DE UN ÍNDICE DE
CALIDAD

Tesis que presenta
KARLA AÍDA GÓMEZ RODRÍGUEZ

En opción al título de
MAESTRA EN CIENCIAS EN ENERGÍA RENOVABLE

Mérida, Yucatán, México

2021

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.

POSGRADO EN CIENCIAS EN ENERGÍA RENOVABLE



DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de investigación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma: _____

Karla Aída Gómez Rodríguez

Mérida, Yucatán, México a 25 de octubre del 2021

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.

POSGRADO EN CIENCIAS EN ENERGÍA RENOVABLE



RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de Karla Aída Gómez Rodríguez titulado **estimación de propiedades del biodiésel y su uso en la determinación de un índice de calidad**, fue realizado en la Unidad de Energía renovable del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. bajo la dirección del(a) Dr. Juan Carlos Chavarría Hernández y codirector Dr. Carlos González Figueredo (ITESO), perteneciente al Programa de Posgrado en Ciencias en Energía Renovable de este Centro.

Atentamente

Dra. Cecilia Hernández Zepeda
Directora de Docencia

Mérida, Yucatán, México, a 25 de octubre del 2021

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de esta investigación con número de apoyo: 753119

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., por permitirme y darme las facilidades de poder realizar mis estudios de posgrado.

Agradezco inmensamente a mi director de tesis el Dr. Juan Carlos Chavarría Hernández por su apoyo moral y académico en el desarrollo de mis estudios de posgrado.

A mi codirector, el Dr. Carlos González Figueredo y a mis asesores, el Dr. Luis Felipe Barahona Pérez, y el Dr. Aaron Mendez por sus observaciones y contribuciones hechas a mi trabajo de tesis.

A MI FAMILIA Y A MI ESPOSO POR SU APOYO INVALUABLE EN TODO ESTE TIEMPO QUE REALICÉ MIS ESTUDIOS DE POSGRADO.

Índice

Introducción	1
CAPÍTULO 1	3
1.1 Especificación de calidad para el biodiésel	5
1.1.1 Punto de obstrucción de filtro en frío	6
1.1.2 Punto de nube	7
1.1.3 Punto de escurrimiento	7
1.1.4 Viscosidad	7
1.1.5 Densidad	8
1.1.6 Número de cetano.....	8
1.1.7 Punto de inflamación.....	8
1.1.8 Estabilidad a la oxidación.....	9
1.1.9 Calor de combustión	9
1.1.10 Índice de yodo	9
1.2 Modelos de predicción de propiedades	10
1.2.1 Modelos de la literatura para el punto de obstrucción de flujo en frío	10
1.2.2 Modelos de la literatura para el punto de nube	12
1.2.3 Modelos de predicción para punto de escurrimiento.....	13
1.2.4 Modelos predictivos para viscosidad	14
1.2.5 Modelos predictivos de densidad.....	15
1.2.6 Modelos de predicción de número de cetano.....	16
1.2.7 Modelos de predicción para punto de inflamación	17
1.2.8 Modelos de predicción de estabilidad a la oxidación (OS)	18
1.2.9 Modelos de predicción de calor de combustión	19
1.2.10 Modelos de predicción para el índice de yodo	20
1.3 Influencia de la termodinámica en las propiedades del biodiésel	21
1.3.1 Nucleación.....	23
1.3.2 Crecimiento cristalino.....	24
1.4 Impacto de la composición de los FAMES en las propiedades del biodiésel	25

Hipótesis	29
Objetivos	29
Objetivo general	29
Objetivos específicos	29
CAPÍTULO 2	30
2.1 Base de datos de las propiedades de los FAMES del biodiésel.....	30
2.1.1 Base de datos de valores experimentales de propiedades del biodiésel	31
2.2 Propuesta de modelos para predicción de propiedades	33
2.3 Optimización de parámetros	34
2.4 Análisis estadísticos	35
2.5 Reoptimización de modelos de la literatura y validación de ecuaciones propuestas ...	35
2.6 Cálculo de la incertidumbre de los métodos seleccionados.....	36
2.7 Estrategia para valorar la calidad del biodiésel mediante un índice	37
CAPITULO 3	40
3.1 Propuesta de modelo basado en el método de contribución de grupos (MCG) para la determinación de propiedades de flujo en frío.....	40
3.2 Propuesta de modelos empíricos.....	42
3.2.1 Propuesta de correlación para estimar el punto de obstrucción de filtro en frío....	47
3.2.2 Propuesta de modelo predictivo para punto de nube.....	49
3.2.3 Propuesta de modelo para punto de escurrimiento	51
3.2.4 Propuesta de modelo predictivo para estimar viscosidad	52
3.2.5 Propuesta de modelo predictivo para estimar densidad	54
3.2.6 Propuesta de modelo predictivo para número de cetano	56
3.2.7 Propuesta de modelo predictivo para punto de inflamación	57
3.2.8 Propuesta de modelo predictivo para estabilidad a la oxidación	59
3.2.9 Propuesta de modelo predictivo para calor de combustión	61
3.2.10 Propuesta de modelo para predecir índice de yodo.....	62
3.3 Validación de los modelos.....	64

3.3.1 Índice general de la calidad del biodiésel.....	68
CONCLUSIONES	71
PERSPECTIVAS	73
BIBLIOGRAFÍA	74
ANEXO	94

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Esteres metílicos de ácidos grasos más comunes.....	3
Tabla 1.2. Especificaciones de calidad de acuerdo a normativa estadounidense, europea y mexicana del biodiésel [5].....	5
Tabla 1.3. Límite de especificación por zona de clima templado de acuerdo con EN 590.....	6
Tabla 1.4. Límite de especificación por zona de clima ártico de acuerdo con EN 590.....	6
Tabla 1.5. Punto de fusión de los FAMES más comunes de un biodiésel [19, 56].	11
Tabla 2.1. FAMES más comunes en biodiésel de diferente origen y que son considerados en este trabajo.....	31
Tabla 2.2. Listado de las propiedades y datos de biodiésel y métodos considerados para la construcción de modelos predictivos.....	32
Tabla 2.3. Criterios regulatorios de valores límites para el desarrollo de índice de calidad del biodiésel.....	38
Tabla 3.1. Valores calculados para los grupos que constituyen los FAME.	41
Tabla 3.2. Comparación de errores de los resultados del modelo de MCG contra modelos de literatura para estimación de CFPP.....	41
Tabla 3.3. Comparación de errores obtenidos con el modelo de CFPP propuesto y con modelos selectos tomados de la literatura.	48
Tabla 3.4. Comparación de errores obtenidos con el modelo propuesto y con los modelos tomados de la literatura para calcular el CP del biodiésel.	50
Tabla 3.5. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de PP del biodiésel.	51

Tabla 3.6. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de viscosidad del biodiésel.....	53
Tabla 3.7. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de densidad del biodiésel.	55
Tabla 3.8. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de NC del biodiésel.....	56
Tabla 3.9. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de FP del biodiésel.	58
Tabla 3.10. Comparación ajustes obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de OS del biodiésel.....	60
Tabla 3.11. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de HHV del biodiésel.	61
Tabla 3.12. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de IV del biodiésel.	63
Tabla 3.13. Resultados de validación de ecuaciones propuestas (58-67) contra los métodos reportados de la literatura (reoptimizados).	64
Tabla 3.14. Interpretación de los resultados para la Ecuación 68.....	69
Tabla 3.15. Composición biodiésel de Jatropha.....	69
Tabla A1. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad CFPP.....	94
Tabla A2. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad CP.....	97
Tabla A3. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad PP.....	101
Tabla A4. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad viscosidad	104
Tabla A5. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad densidad.....	107
Tabla A6. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad NC.....	109
Tabla A7. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad FP.....	112
Tabla A8. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad OS.....	115
Tabla A9. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad HHV.....	118
Tabla A 10. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad IV.....	121

Índice de Figuras

Figura 1.1. Mecanismo de cristalización de ésteres de ácidos grasos (biodiésel) [56].	24
Figura 2.1. Metodología general del proyecto de investigación.	30
Figura 2.2. Diagrama de flujo para optimización.	34
Figura 3.1 Efecto de la composición de los saturados en el CFPP del biodiésel para 66 muestras.	44
Figura 3.2. Efecto de la composición de los saturados en el CP del biodiésel para 65 muestras.	45
Figura 3.3. Efecto de la composición de los saturados en el PP del biodiésel para 60 muestras.	46
Figura 3.4. Resultados de CFPP calculados (ec. 58) vs datos experimentales (Tabla A1).	49
Figura 3.5. Resultados de CP calculados (ec. 59) vs datos experimentales (Tabla A2).	50
Figura 3.6. Resultados de PP calculados (ec. 60) vs datos experimentales (Tabla A3).	52
Figura 3.7. Resultados de μ calculados (ec. 61) vs datos experimentales (Tabla A4).	54
Figura 3.8. Resultados de densidad calculada (ec. 62) vs datos experimentales (Tabla A5).	55
Figura 3.9. Resultados de NC calculado (ec. 63) vs datos experimentales (Tabla A6).	57
Figura 3.10. Resultados de FP calculado (ec. 64) vs datos experimentales (Tabla A7).	59
Figura 3.11. Resultados de OS calculada (ec. 65) vs datos experimentales (Tabla A8).	60
Figura 3.12. Resultados de HHV calculado (ec. 66) vs datos experimentales (Tabla A9).	62
Figura 3.13. Resultados de IV calculada (ec. 67) vs datos experimentales (Tabla A10).	63
Figura 3.14. Gráficas de validación de modelos propuestos para 10 datos adicionales: (a) CFPP, (b) CP, (c) PP, (d), μ , (e) ρ , (f) NC, (g) FP, (h) OS (i) HHV y (j) IV.	67

Lista de Abreviaturas

CP	Punto de nube (Cloud Point)
CFPP	Punto de obstrucción de filtro en frío (Cold Filter Plugging Point)
FA	Ácido graso (Fatty Acid)
FAME	Ester metílico de ácido graso (Fatty Acid Methyl ester)
FP	Punto de inflamación (Flash Point)
HHV	Calor de combustión (High Heating Value)
IV	Índice de yodo
LCSF	Factor de compuestos saturados sobre el largo de cadena (Long Chain Saturated Factor)
MI	Monoinsaturados
NC	Número de cetano
OS	Estabilidad a la oxidación
PP	Punto de fluidez (Pour Point)
PI	Polinsaturados
Ref.	Referencia
RMSE	Raíz del error cuadrático medio (Root Mean Squared Error)
SAT CC	Saturados de cadena corta
SAT CM	Saturados de cadena media
SAT CL	Saturados de cadena larga
μ	Viscosidad
ρ	Densidad

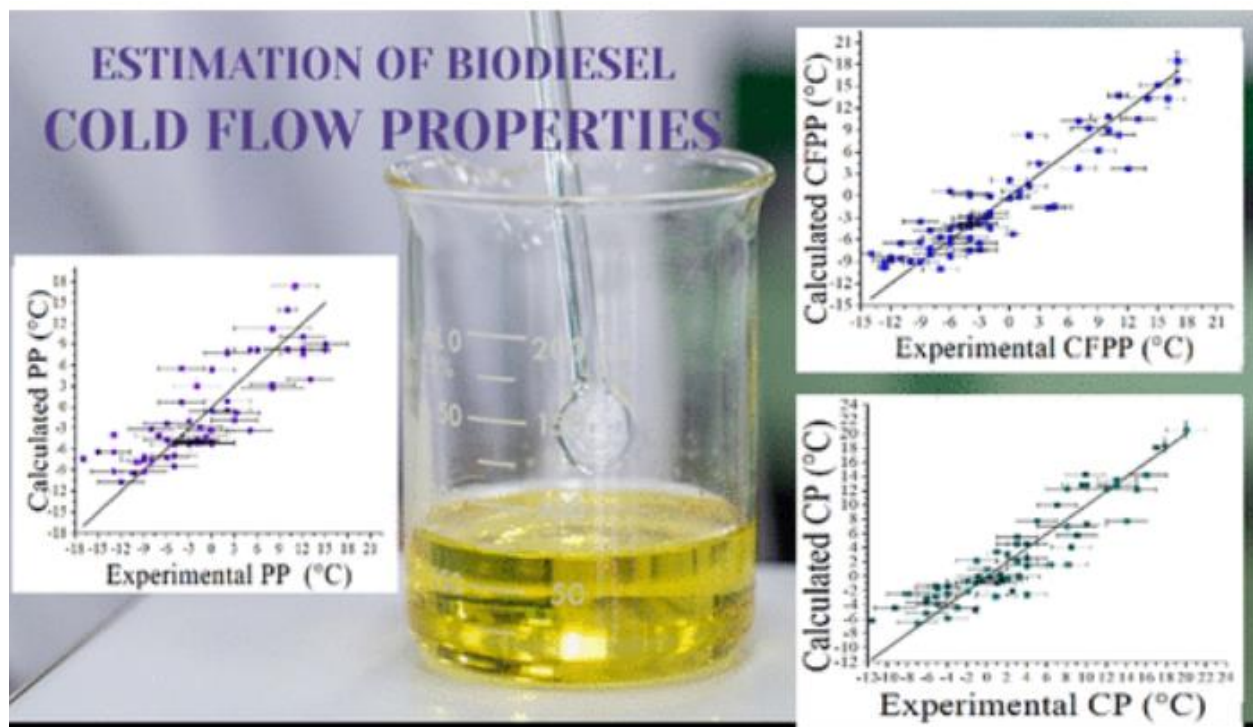
Resumen

La calidad del biodiésel debe medirse y conocerse antes de su comercialización. Sin embargo, en ocasiones no se dispone del equipo analítico necesario o no se dispone de muestra suficiente para su determinación en trabajos de investigación. Por lo tanto, en este trabajo se desarrollaron correlaciones empíricas para estimar las siguientes propiedades del biodiésel: punto de obstrucción de flujo en frío, punto de nube, punto de fluidez, densidad, número de cetano, punto de inflamación, estabilidad a la oxidación, poder calorífico, viscosidad e índice de yodo. Para el desarrollo de cada modelo se utilizaron 60 datos experimentales extraídos de la literatura, más 8 datos adicionales de biodiésel para su validación. Los resultados obtenidos con los modelos propuestos se compararon con los de ecuaciones altamente referidas reportadas en la literatura para estimar las propiedades consideradas. El coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RMSE) fueron los parámetros estadísticos utilizados para evaluar el ajuste de los modelos a los datos experimentales. Los resultados sugieren que los modelos propuestos son más precisos que los modelos comparados para las diez propiedades estudiadas. Además, se desarrolló una propuesta de índice para determinar la calidad general del biodiésel.

Abstract

The quality of biodiesel must be measured and known before it is marketed. However, sometimes the required measurement equipment is not available, or there is not enough sample for its determination in research works on obtaining biodiesel from raw materials such as lipids from microalgae. Therefore, in this work empirical correlations were developed to estimate different properties such as Cold Flow Pugging Point, Cloud Point, Pour Point, Density, Cetane, Flash Point, Oxidation Stability, High Heating Value, Viscosity, and Iodine Value. 60 experimental data taken from the literature were used for the development of each model, plus 8 additional biodiesel data for its validation. The results obtained with the proposed models were compared against those of highly referred equations reported in the literature to estimate the considered properties. The coefficient of determination (R^2) and the root mean squares error (RMSE) were the statistical parameters used to evaluate the fit of the models to the experimental data. The results suggest that the proposed models are more accurate than the compared models for the ten properties studied. Additionally, an index proposal was developed to determine the general quality of biodiesel.

Publicación de artículo con la siguiente referencia:



Gomez-Rodriguez, K.A., Chavarria-Hernandez, J.C., and Martinez-Tapia, G.E. (2021). Estimation of Cold Flow Properties of Biodiesel from Fatty Acid Composition. *Energy & Fuels* 35, 1442–1448. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c03237>.

Introducción

El biodiésel es considerado como una de las alternativas importantes para solucionar el problema de la alta demanda de los combustibles fósiles y reducir los niveles de contaminación especialmente de especies azufradas.

Debido a sus ventajas ambientales y económicas, el biodiésel ha ganado mucha atención en décadas recientes como sustituto potencial para el diésel a base de petróleo. Por esto, su producción incrementó un 700% entre el 2005 al 2015 [1], alcanzando una producción global de 48.3 mil millones de litros en 2019 [2] y aunque la producción disminuyó un 2.4% durante el 2020, se estima que la producción mundial de biodiésel alcanzará un valor de 60.7 mil millones de litros para 2022 [2,3]. Por su parte, México tiene una capacidad de producción de 4.2 millones de litros [4] con potencial de expansión en los próximos años.

Se sabe que la calidad del biodiésel está determinada por la composición de los ácidos grasos de la materia prima de partida [5]. Por otro lado, los métodos de análisis establecidos por instancias federales para la evaluación de los parámetros de calidad del biocombustible (en el caso de México, la Secretaría de Energía), tienden a ser en muchos casos, laboriosos, tardados, caros, y destruyen la muestra. Tal es el caso de los procedimientos descritos en los lineamientos que establecen las especificaciones de calidad del biodiésel puro, así como de otros biocombustibles [6].

La comercialización y el uso del biodiésel depende de sus características fisicoquímicas, las cuales se encuentran determinadas por límites de especificación mínimos y máximos dependiendo de la normativa de cada región. Por ejemplo, las propiedades de flujo en frío determinan el comportamiento del biodiésel principalmente en climas templados y fríos, [7], pudiendo, en algunos casos, presentar un bajo desempeño en comparación del petrodiesel [8, 9]. Adicionalmente, otras propiedades como la densidad, viscosidad, número de cetano, punto de inflamación, calor de combustión, estabilidad a la oxidación e índice de yodo brindan información sobre el desempeño que tendrá el biodiésel.

En relación con estas propiedades, sería de gran utilidad contar con metodologías para estimarlas de una manera sencilla y confiable, ya que se ha visto en diferentes reportes de la literatura científica, que algunas propiedades presentan incertidumbres muy altas en su estimación, a través de correlaciones o ecuaciones empíricas, o bien, fueron desarrolladas a partir de un número limitado de muestras. Adicionalmente, es importante encontrar un balance en la

composición que permita que un biodiésel cumpla satisfactoriamente con los estándares de calidad exigidos por las normas correspondientes, el cual podría involucrar a la ingeniería genética para la modificación de la capacidad de producción de ácidos grasos de determinadas especies.

Por lo que, este trabajo está enfocado en el desarrollo de modelos para estimar diferentes propiedades del biodiésel, las cuales son: punto de nube, punto de escurrimiento, punto de obstrucción de filtro en frío, densidad, viscosidad, número de cetano, punto de inflamación, calor de combustión, estabilidad a la oxidación e índice de yodo. Una estimación de estas propiedades de una manera sencilla y con buen nivel de precisión podría sustituir en algunos casos la determinación experimental, considerando que estas determinaciones suelen ser lentas y costosas, y no siempre accesibles para las instituciones y empresas involucradas en el tema. Adicionalmente, a partir de los modelos desarrollados, se realizará una propuesta de índice general para la determinación de la calidad de un determinado biodiésel, en función de su perfil lipídico.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

La mitigación del cambio climático y la seguridad energética, se han convertido en los principales motores para la investigación de fuentes de energía alternas. Por otra parte, sabemos que el diésel juega un rol importante en el desarrollo industrial de la mayoría de los países, siendo uno de los principales combustibles en la industria del transporte.

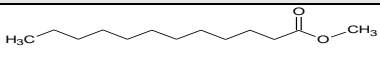
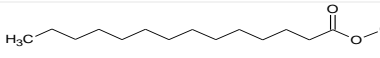
Por ello, el biodiésel constituye una alternativa muy importante al diésel de petróleo, que se puede producir comercialmente a través de la transesterificación de aceites vegetales y grasas animales con alcohol y catalizador alcalino o ácido [5, 6].

El biodiésel es definido por la norma ASTM D6751-20a como un combustible compuesto de ésteres metílicos de ácidos grasos (FAME) de cadena larga conocido también como B100. Es considerado energéticamente eficiente, se puede usar en la mayoría de los motores diésel con o sin modificaciones ya que ayuda a lubricar el motor, disminuyendo el desgaste de sus piezas [10, 11]. Sin embargo, el biodiésel es empleado generalmente diluido en petrodiésel. Las diluciones ampliamente usadas y para las que existen especificaciones de calidad se encuentran en un rango de 6% a 20% [12].

Por otro lado, las propiedades de este biocombustible derivado de orígenes diversos, difieren entre sí debido a la variación en la composición de ácidos grasos [13]. Para ello, los ésteres metílicos de ácidos grasos en el biodiésel se pueden dividir en saturados e insaturados, y los insaturados pueden dividirse a su vez en monoinsaturados o poliinsaturados [7].

Son cinco los FAMEs que típicamente dominan la composición del biodiésel [14], los cuales se pueden observar en la Tabla 1.1 sombreados en color gris.

Tabla 1.1. Ésteres metílicos de ácidos grasos más comunes.

Nombre común	Abreviación	Fórmula molecular	Estructura molecular
Metil laurato	12:0	C ₁₃ H ₂₆ O ₂	
Metil tetradecanoato	14:0	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	

Nombre común	Abreviación	Fórmula molecular	Estructura molecular
Metil miristioleato	14:1	C ₁₅ H ₂₈ O ₂	
Metil palmitato	16:0	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	
Metil palmitoleato	16:1	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	
Metil octadecanoato	18:0	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	
Metil oleato	18:1	C ₁₉ H ₃₆ O ₂	
Metil linoleato	18:2	C ₁₉ H ₃₄ O ₂	
Metil α-linolenato	18:3	C ₁₉ H ₃₂ O ₂	
Metil araquidato	20:0	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	
Metil eicosenoato	20:1	C ₂₁ H ₄₀ O ₂	
Metil docosanoato	22:0	C ₂₃ H ₄₆ O ₂	
Metil erucato	22:1	C ₂₃ H ₄₄ O ₂	

Otra ventaja del biodiésel es que cuando se usa como combustible para vehículos, puede ofrecer considerables reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). A través del análisis del ciclo de vida realizado por diferentes autores, se ha encontrado que para el biodiésel B100, las emisiones netas de CO₂ son más bajas que las del diésel proveniente de petróleo [15-17]. Por ejemplo, de acuerdo con un análisis de ciclo de vida realizado por el Laboratorio Nacional de Argonne del departamento de energía de Estados Unidos, se encontró que las emisiones para el biodiésel a base de soya son hasta 74% más bajas que las del diésel de petróleo [15]. Otro estudio llevado a cabo por el Departamento de Energía y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [18], concluyó que el biodiésel basado en soya, canola, sebo, mostaza o aceites usados reducen las emisiones de dióxido de carbono netas en 78% comparado con el diésel proveniente de petróleo.

Sin embargo, a fin de poder emplearse en motores a diésel, el biodiésel debe cumplir con estrictas especificaciones de calidad para garantizar un rendimiento sin problemas [19]. Para ello se aplican diferentes técnicas analíticas a fin de verificar que cumpla con los estándares de calidad correspondientes.

1.1 Especificación de calidad para el biodiésel

Los estándares establecidos para regular la calidad del biodiésel en el mercado se basan en una variedad de factores que varían de una región a otra, como la disponibilidad de materia prima, las características de los estándares de combustible diésel existentes en cada región, el tipo de motor diésel en la región y las regulaciones de emisiones que rigen esos motores.

En el caso de Estados Unidos se tiene que cumplir con las especificaciones ASTM D6751-19; en la Unión Europea la norma EN 14214 [20] y en el caso de México, el lineamiento de la Secretaría de Energía para la calidad del biodiésel. En la Tabla 1.2, se detallan los límites permisibles de las propiedades de calidad para este biocombustible.

Tabla 1.2. Especificaciones de calidad de acuerdo a normativa estadounidense, europea y mexicana del biodiésel [5].

Propiedad	Unidad	ASTM D6751-19	EN 14214	Lineamiento SENER
Viscosidad cinemática a 40°C	mm ² /s	1.9 – 6.0	3.5. – 5.0	1.9 – 6.0
Punto de inflamación	°C	130 mínimo	>101	93
Densidad	kg/m ³	-	860 – 900	-
Número de cetano	-	47 mínimo	51 mínimo	47 mínimo
Punto de nube	°C	A reportar	-	-
Punto de escurrimiento	°C	-	-	-
Punto de obstrucción de filtro en frío	°C	-	-	-
Estabilidad a la oxidación	h	3 mínimo	6 mínimo	3 mínimo
Índice de yodo	g I ₂ /100g I ₂	-	120 máximo	-

Como se puede observar en la Tabla 1.2, la normatividad nacional e internacional no establece especificaciones de calidad máximas o mínimas a las propiedades de punto de nube, punto de escurrimiento y punto de obstrucción de flujo en frío, mejor conocidas como propiedades de flujo en frío. En las normas para diésel y para biodiésel, ASTM D975 y ASTM D6751, se menciona que no es posible fijar estos valores. En cambio, estas especificaciones deben ser preestablecidas entre el comprador y el proveedor del combustible para el uso previsto y las temperaturas ambientales a las cuales será sometido.

Sin embargo, la norma europea EN 590 coloca el combustible diésel en dos grupos destinados a entornos climáticos específicos. Para las zonas climáticas "templadas", el estándar define seis

clases de la A la F, como se establece en la Tabla 1.3 y para las zonas climáticas "árticas", el estándar define cinco clases de 0 a 4, de acuerdo con la Tabla 1.4.

Tabla 1.3. Límite de especificación por zona de clima templado de acuerdo con EN 590.

Propiedad	Clase A	Clase B	Clase C	Clase D	Clase E	Clase F	Unidad
Punto de obstrucción de flujo en frío	+5	0	-5	-10	-15	-20	°C

Tabla 1.4. Límite de especificación por zona de clima ártico de acuerdo con EN 590.

Propiedad	Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Unidad
Punto de obstrucción de flujo en frío	-20	-26	-32	-38	-44	°C
Punto de nube	-10	-16	-22	-28	-34	°C

Por lo que cada país en Europa adopta una clase de las Tablas 1.3 y 1.4 de acuerdo con sus condiciones climáticas. Por ejemplo, Francia, solicita diésel clase A para verano, clase E para invierno y clase F para períodos de frentes fríos extremos [21].

Y debido a que el biodiésel tiene ciertas limitaciones técnicas a bajas temperaturas [19], las propiedades de flujo a baja temperatura del biodiésel deben tenerse en cuenta al operar motores de encendido por compresión en climas de temperatura moderada o baja durante los meses de invierno [11].

A continuación, se describirán brevemente las propiedades estudiadas en el presente trabajo, y para las cuales fueron desarrollados modelos predictivos.

1.1.1 Punto de obstrucción de filtro en frío

De acuerdo al método ASTM D6371-17a, el punto de obstrucción de filtro en frío o Cold Filter Plugging Point (CFPP) es definido como la temperatura más alta, expresada en múltiplos de 1 °C, a la cual un volumen determinado de combustible no pasa a través de un dispositivo de filtración estandarizado en un tiempo específico cuando se enfría en las condiciones preestablecidas. El CFPP de un combustible es adecuado para estimar la temperatura más baja

a la cual un combustible ofrecerá un flujo normal en ciertos sistemas de motor [22]. Principalmente el resultado de la medición de esta propiedad se usa fuera de Norteamérica, siendo fundamental en Europa, midiéndose a través de la norma europea EN 116 y generalmente se considera un indicador más directo y confiable de operabilidad a baja temperatura que el punto de nube y el punto de fluidez [23].

1.1.2 Punto de nube

De acuerdo con el método ASTM D2500-17a, el punto de nube Cloud Point (CP), es la temperatura de una muestra líquida cuando se vuelve observable la producción de un grupo pequeño de cristales al enfriarse en las condiciones prescritas. Su medición es importante porque de acuerdo con su definición, se relaciona con la temperatura a la que los cristales comienzan a precipitarse del combustible en uso. El biodiésel tiene un CP más alto que el combustible diésel a base de petróleo [24].

1.1.3 Punto de escurrimiento

El punto de escurrimiento o Pour Point (PP), es definido como la temperatura más baja a la que el combustible se vuelve semisólido [25] y pierde sus características de flujo al no poder bombearse; por lo tanto, es una medida del punto de gelificación del combustible. [19-20] El PP siempre es más bajo que el CP [26].

1.1.4 Viscosidad

La viscosidad (μ) es una propiedad física que es usada ampliamente en modelos de combustión, diseño-operación-control de procesos, y calidad del combustible [27], la cual puede ser medida bajo el método ASTM D445. La viscosidad connota la fluidez y también afecta la calidad de la atomización del combustible en motores diésel. Cuando un combustible tiene mayor viscosidad, este bloqueará los elementos de la bomba y tenderá a formar gotas grandes que conducirán a una atomización de combustible deficiente y un bajo rendimiento del motor, y a la emisión de

gases de escape. Los de menor viscosidad, por el contrario, provocarán fugas de combustible y harán que la presión del combustible aumente más lentamente dentro de la bomba [28].

1.1.5 Densidad

La importancia de la medición en la densidad (ρ) radica en que se requiere para ajustar con precisión la entrega de volumen preciso a los sistemas de inyección para suministrar una combustión adecuada [1, 24, 27]. Existen múltiples métodos de medición, siendo los más usados los métodos ASTM D4052 y ASTM D1298 [29].

1.1.6 Número de cetano

El número o índice de cetano ofrece una medida de las características de la autoignición del combustible. De acuerdo al método para medir esta propiedad, ASTM D613, el número de cetano (NC) es determinado a una velocidad constante en un motor de prueba de ignición de compresión de tipo cámara de precombustión [30]. Siendo un indicador que considera las características de ignición de un combustible en un cilindro que afecta el nivel de ruido, el rendimiento del motor y las emisiones de escape [5].

1.1.7 Punto de inflamación

La temperatura de inflamación (FP), que puede analizarse por ASTM D93, es una propiedad clave para determinar condiciones de manejo, transporte y almacenamiento del biocombustible [5]. Se define como la temperatura mínima a la cual el combustible volátil se enciende momentáneamente cuando entra en contacto con una llama o chispa a una presión de 101.325 kPa. [31].

1.1.8 Estabilidad a la oxidación

La estabilidad a la oxidación (OS), es determinada por el estándar americano D2274 o el europeo EN 14112. Este último se basa en la determinación conductimétrica de los productos de degradación volátiles generados por la oxidación inducida térmicamente de los aceites [32], determinándose el período de inducción que se produce por el deterioro de la grasa.

Los productos de oxidación en biodiésel pueden tomar la forma de ácidos o polímeros que, si están en una concentración lo suficientemente alta, pueden causar depósitos en el sistema de combustible y provocar obstrucción del filtro y mal funcionamiento del sistema de combustible [33].

1.1.9 Calor de combustión

El calor de combustión o HHV (High Heating Value), medido bajo el estándar ASTM D240 es la cantidad de calor liberado durante la combustión de una cantidad unitaria (un gramo) de combustible para producir H₂O y CO₂ bajo condiciones controladas de presión y temperatura. Esta propiedad caracteriza el contenido energético del combustible y, por lo tanto, su eficiencia [5].

1.1.10 Índice de yodo

El índice de yodo (IV) es un parámetro que se utiliza para determinar el grado de insaturación (número de dobles enlaces) en una molécula de aceite. Se determina midiendo la cantidad de yodo en gramos que reacciona mediante su adición a los dobles enlaces carbono-carbono, ya que cada doble enlace consume una molécula de yodo [34], y es determinado por el estándar europeo EN 14111.

1.2 Modelos de predicción de propiedades

Para cada propiedad fisicoquímica mencionada en la sección anterior, existe una diversidad de modelos disponibles en la bibliografía y que están basados principalmente en alguno de los siguientes enfoques: estructura molecular (dobles enlaces y longitud de la cadena de los FAMES), composición de ácidos grasos, métodos de contribución de grupos, enfoques termodinámicos o enfoques empíricos [5]. Sin embargo, en muchos casos, los modelos se validaron utilizando un número relativamente bajo de datos experimentales [35].

1.2.1 Modelos de la literatura para el punto de obstrucción de flujo en frío

Estudios anteriores han intentado determinar la relación que existe entre el CFPP y el perfil de ácidos grasos del biodiésel. Sin embargo, la mayoría de los modelos propuestos son válidos solo para ciertas materias primas [19].

El CFPP está críticamente influenciado por los ácidos grasos saturados de cadena larga, mientras que los ésteres insaturados tienen efectos poco significativos sobre él, de acuerdo a Sajjadi *et al.* [5]. En consecuencia, el CFPP del biodiésel generalmente se correlaciona con la longitud de la cadena de los compuestos saturados.

Basado en este supuesto y partiendo de diez muestras de biodiésel producidos a partir de aceites vegetales, Ramos *et al.* [36] definieron un factor para la predicción de CFPP para FAMES derivados de Palma, Oliva, Maní, Colza, Uva, Girasol, Almendra y Maíz. Este factor toma en cuenta la cantidad individual de FAMES saturados de C16:0 a C24:0 a la cual los autores llamaron Long Chain Saturated Factor (LCSF), que indica la influencia del largo de la cadena, y reportaron una buena correlación ($R^2 = 0.96$) con sus datos experimentales empleando las siguientes ecuaciones:

$$\text{CFPP } (^\circ\text{C}) = 3.1417 \cdot \text{LCSF} - 16.477 \quad (1)$$

$$\text{LCSF} = 0.1(\text{C16:0}) + 0.5(\text{C18:0}) + 1(\text{C20:0}) + 1.5(\text{C22:0}) + 2(\text{C24:0}) \quad (2)$$

Los ésteres insaturados no están incluidos en el modelo de las ecuaciones 1 y 2 porque los puntos de fusión de estos compuestos son mucho más bajos en comparación con los de los compuestos saturados, tal como se indica en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Punto de fusión de los FAMEs más comunes de un biodiésel [19,37]

FAME	Punto de fusión, °C
C16:0	28.5
C16:1	-34.1
C18:0	32.9
C18:1	-20.2
C18:2	-43.1
C18:3	-52.0
C20:0	54.5
C22:0	54.0
C24:0	59.5

El modelo propuesto por Sarin *et al.* [38], se basa en la composición de ácidos grasos disponibles en 21 mezclas diferentes de biodiésel de palma con jatropha y pongamia que contienen ácido palmítico en un rango de 0 a 45%, reportando un coeficiente de $R^2 = 0.863$ en la Ecuación 3:

$$\text{CFPP (}^\circ\text{C)} = 0.511(\text{C16:0}) - 7.823 \quad (3)$$

Por otra parte, Escobar [39] propuso la Ecuación 4 para estimar el CFPP:

$$\text{CFPP (}^\circ\text{C)} = -24.897 + 5.479(\Sigma\text{C16:0} - \text{C24:0})^{0.5} \quad (4)$$

Escobar [39] utilizó una base de datos de 40 muestras de biodiésel de diferentes orígenes, reportando un valor de R^2 de 0.9434.

En una investigación más reciente, Alviso *et al.* [35] propusieron un modelo de regresión lineal usando una técnica de programación genética (Ecuación 5), para esto los autores utilizaron 30 muestras de biodiésel de diferentes orígenes para obtener datos de CFPP.

$$\text{CFPP(K)} = 259.051 + 0.72834(\text{C16:0}) + 0.5(\text{C18:0}) + 7.71255(\text{C20:0}) \quad (5)$$

En la investigación de Alviso *et al.* [35] se evaluó y se comparó el modelo con otras regresiones disponibles en la literatura, incluyendo las ecuaciones de Ramos *et al.* [36] y Sarin *et al.* [38], encontrando que su propuesta a partir de programación genética fue mejor, teniendo un RMSE 33.6%, menor que el de otras predicciones.

Si bien los modelos anteriores se basan en la composición de compuestos saturados, en su trabajo, Park *et al.* [40] desarrollaron una correlación enfocada en la composición de insaturados de 21 muestras de biodiésel mezclados de palma, colza y soya cuya Ecuación es la siguiente:

$$\text{CFPP } (^{\circ}\text{C}) = -0.4880X + 36.0548 \quad (6)$$

Donde X es el contenido en porcentaje peso de los ácidos grasos insaturados en el biodiésel.

Aunque los estudios anteriores intentaron determinar la relación entre la composición de FAME y CFPP, algunos de los modelos propuestos son válidos solo para ciertas combinaciones de materias primas.

1.2.2 Modelos de la literatura para el punto de nube

El segundo parámetro para la medición de las propiedades de flujo en frío es el punto de nube o CP. Como esta propiedad es el desencadenante del efecto negativo en la inyección de combustible, su predicción es muy significativa [41].

En una investigación realizada por Sarin *et al.* [41] se presenta un modelo de predicción de CP basado en la composición del biodiésel, sobre todo en el contenido del saturado C16:0, en donde se contemplaron 21 muestras derivadas de palma, jatropha y pongamia, mezcladas entre sí a diferentes proporciones. Este modelo se encuentra representado en la Ecuación 7, para el cual sus autores reportan un R² de 0.963.

$$\text{CP } (^{\circ}\text{C}) = 0.526(\text{C16:0}) - 4.992 \quad (7)$$

Por otra parte, la investigación de Agarwal *et al.* [42] fue enfocada en usar el método de regresión lineal para determinar la importancia relativa de la composición de los FAMES que afecten las propiedades del biodiésel.

Sus resultados muestran que su Ecuación, propuesta a través del método de regresión lineal, predice con buena precisión el CP de 10 muestras de biodiésel derivados de aceites vegetales como: soya, girasol, cártamo, mostaza, linaza, maní, jatropha, palma, haba de la india y mahua, reportando un R^2 de 0.8913. Su modelo, mostrado en la Ecuación 8, contempla los saturados C16:0 y C18:0 y los insaturados C18:1, C18:2, C18:3 y C22:1.

$$\text{CP } (^{\circ}\text{C}) = -40.278 + 0.514(\text{C16:0}) + 0.6364 (\text{C18:0}) + 0.38363(\text{C18:1}) + 0.35362(\text{C18:2}) + 0.26341(\text{C18:3}) - 0.58623(\text{C22:1}) \quad (8)$$

Mientras tanto, Alviso *et al.* [35] proporcionaron una Ecuación simple con pocos términos para predecir esta propiedad cuya expresión es la siguiente:

$$\text{CP (K)} = 268.444 + 0.2(\text{C16:0}) + 0.666 (\text{C18:0}) \quad (9)$$

Alviso *et al.* [35] compararon su modelo contra el reportado por Agarwal *et al.* [42] (ec. 8) cuyos RMSE, de acuerdo con la evaluación de Alviso *et al.* [35], fueron de 6.34 (ec. 9) y 8.51 (ec. 8), teniendo una mejora del 34.2%.

1.2.3 Modelos de predicción para punto de escurrimiento

El PP es una medida del punto de gelificación del combustible, también conocido como punto de escurrimiento, por lo que nos brinda información de la temperatura a la que el combustible ya no se puede bombear al motor, siendo más bajo que el CP [42].

Al igual que en la sección de modelos de predicción para CP, Sarin *et al.* [41] propusieron una Ecuación para la estimación de valor de PP, representada en la Ecuación 10, cuya R^2 reportada

es de 0.863, dando énfasis el saturado C16:0, en donde se contemplaron 21 muestras derivadas de palma, jatropha y pongamia.

$$PP (^{\circ}C) = 0.571(C16:0) - 12.24 \quad (10)$$

Así mismo, Agarwal *et al.* [42] ofrecen una Ecuación para la predicción del valor de PP desarrollada a partir de un análisis basado en redes neuronales artificiales, cuya Ecuación es la siguiente:

$$PP (^{\circ}C) = -30.324 + 0.667(C16:0) + 0.4065(C18:0) + 0.11791(C18:1) + 0.23225 (C18:2) + 0.17162(C18:3) - 0.48149(C22:1) \quad (11)$$

En esta Ecuación se contemplan saturados e insaturados, para la cual sus autores reportaron un R² de 0.9809.

Alviso *et al.* [35] propusieron un modelo para estimar el PP, el cual se representa en la siguiente Ecuación:

$$PP(K) = 267.303 + 0.3(C16:0) + 0.505(C18:0) - 0.1(C18:2) - 0.1(C18:3) \quad (12)$$

Este modelo fue desarrollado con 17 muestras de biodiésel de origen comestible y 21 de no comestible reportando un RMSE de 6.99.

1.2.4 Modelos predictivos para viscosidad

Alviso *et al.*[35], propusieron un modelo para estimar la viscosidad, utilizando la programación genética, en el cual utilizaron 46 datos de muestras de biodiésel, de los cuales 19 son de origen comestible y 27 de origen no combustible, para obtener la Ecuación 13, cuyo RMSE es de 7.77.

$$\mu = 4.264 + 0.0275(C18:0) + 0.004(C18:1) - 0.00218(C18:2) - 0.0695(C22:1) \quad (13)$$

Por otra parte, Agarwal *et al.*[42] desarrollaron la Ecuación 14 basada en la composición de 6 FAMEs con 10 muestras de biodiésel de diferente origen, usando el método de regresión lineal, obteniendo un R² de 0.94.

$$\mu = -4.395 + 0.077(C16:0) + 0.1172(C18:0) + 0.1012(C18:1) + 0.08128(C18:2) + 0.08222(C18:3) + 0.10377(C22:1) \quad (14)$$

Otra propuesta basada en composición de FAMEs, es la desarrollada por Barradas *et al.* [43] en la Ecuación 15, quien utilizó 98 muestras obteniendo un R² de 0.9903.

$$\mu = 2.7251 + 0.12579(C8:0) - 0.38892(C10:0) + 0.00446(C12:0) + 0.006446(C14:0) + 0.01904(C16:0) + 0.00905(C18:0) + 0.02349(C18:1) + 0.01363(C18:2) + 0.00745(C18:3) + 0.063153(C20:0) + 0.00597(C20:1) + 0.03667(C22:1) \quad (15)$$

1.2.5 Modelos predictivos de densidad

Ramírez *et al.* [27] evaluaron 351 datos de biodiésel, en función de su temperatura, para desarrollar la Ecuación 16, considerando el peso molecular y el número insaturaciones del biodiésel, obteniendo un AAD de 0.43%.

$$\rho = 1.069 + \frac{3.575}{pm} + 0.0114N - 7.41 \times 10^{-4}T \quad (16)$$

En donde pm, es el peso molecular, N el número de insaturaciones, y T la temperatura expresada en K.

Pratas *et al.* [29] correlacionaron la Ecuación 17 para 10 muestras de biodiésel:

$$\rho = bT(K) + a \quad (17)$$

En donde a y b son constantes determinadas a partir del ajuste para cada FAME, T es la temperatura en K y ρ es la densidad calculada para el FAME. Los autores reportaron valores de AAD entre 0.003% y 0.24% para los 7 FAMEs usando 102 datos experimentales a varias temperaturas.

Por otra parte, Giakoumis *et al.* [44] desarrollaron un método de determinación de densidad, a través de la Ecuación 18, enfocado en la composición de FAMEs de 23 muestras de biodiésel, reportando un R^2 de 0.945.

$$\rho = 923 - 1.01(C12:0) - 0.99(C14:0) - 0.54(C16:0) - 0.62(C18:0) - 0.7(C16:1) - 0.44(C18:1) - 0.37(C18:2) - 0.24(C18:3) \quad (18)$$

1.2.6 Modelos de predicción de número de cetano

Alviso *et al.* [35] desarrollaron un modelo predictivo, Ecuación 19, para el número de cetano basado en la composición de FAMEs usando 45 muestras de biodiésel, reportando un RMSE de 6.39,

$$NC = 58.445 + 0.266(C14:0) - 0.101(C18:0) - 0.143(C18:2) - 0.21(C18:3) + 0.24(C20:2) \quad (19)$$

Piloto Rodríguez *et al.* [45] propusieron por su parte la Ecuación 20, partiendo de datos de 48 muestras de biodiésel obteniendo un R^2 de 0.9191.

$$NC = 56.15 + 0.07(C12:0) + 0.1(C14:0) + 0.15(C16:0) - 0.05(C16:1) + 0.23(C18:0) - 0.03(C18:1) - 0.19(C18:2) - 0.31(C18:3) + 0.08(C20:1) + 0.18(C22:1) - 0.1(\Sigma\text{Otros}) \quad (20)$$

Similarmente, Bamgboye *et al.* [46] desarrollaron la Ecuación 21 alcanzando un R^2 de 0.88 a partir de 9 muestras de biodiésel.

$$NC = 61.1 + 0.088(C12:0) + 0.133(C14:0) + 0.152(C16:0) - 0.101(C18:0) - 0.039(C16:1) - 0.243(C18:2) - 0.395(C18:3) \quad (21)$$

Del mismo modo, Giakoumis *et. al.* [44] obtuvieron la Ecuación 22 con 45 muestras, reportando un R^2 0.896.

$$NC = 55.87 + 0.0747(C12:0) + 0.098(C14:0) + 0.164(C16:0) + 0.176(C18:0) - 0.05(C16:1) + 0.001(C18:1) - 0.14(C18:2) - 0.273(C18:3) \quad (22)$$

Con un enfoque distinto, Ramírez Verduzco *et. al.* [47] desarrollaron la Ecuación 23, basándose en el peso molecular y el número de insaturaciones (N_{DB}) del FAME, usando 21 muestras, reportando un AAD (desviación promedio absoluta) de 5.25%.

$$NC = -7.8 + 0.302 \cdot M_i - 20N_{DB} \quad (23)$$

1.2.7 Modelos de predicción para punto de inflamación

Alviso *et. al.* [35] desarrollaron un modelo predictivo con base en programación genética, usando 43 muestras de biodiésel, reportando un RMSE de 6.4, obteniendo la Ecuación 24:

$$FP (^{\circ}C) = 176.318 - 1.727(C18:0) - 0.4574(C20:1) + 0.1(C18:0 * C18:3) \quad (24)$$

Por otra parte, Agarwal *et. al.* [42] con la información de 10 muestras de diferente origen, propusieron la Ecuación 25 basada en la composición de FAMEs de biodiésel, reportando un R^2 de 0.3455.

$$FP (^{\circ}C) = 205.226 + 0.083(C16:0) - 1.727(C18:0) - 0.5717(C18:1) - 0.3557(C18:2) - 0.467(C18:3) - 0.2287(C22:1) \quad (25)$$

Con un enfoque distinto, Su *et al.* [48] propusieron un modelo basado en el número de carbonos (N_C) de los FAMES y el promedio ponderado de los dobles enlaces (N_{DB}), reportando un error ARD (desviación relativa promedio) de 1.81, usando 21 muestras, representado por la Ecuación 26:

$$FP(^{\circ}C) = 23.352N_C + 4.854N_{DB} \quad (26)$$

Bajo este mismo concepto, Carareto *et al.* [49] propusieron la Ecuación 27 a partir de datos de 12 muestras de biodiésel, obteniendo un $R^2 = 0.9753$.

$$FP(K) = 251.2 + 13.97N_C - 0.1198N_C^2 - 19.9N_{DB} \quad (27)$$

Similarmente, Pinzi *et al.* [50] desarrollaron una Ecuación a partir de 18 mezclas de biodiésel considerando el grado de insaturación (UD) y el largo de cadena (LC) reportando un R^2 de 95.94 con las ecuaciones 28-30:

$$LC = \Sigma(N_c \cdot C_n) \quad (28)$$

$$UD = (1\%MU + 2\%DU + 3\%TU)/100 \quad (29)$$

$$FP(^{\circ}C) = 1008.48 - 136.166 LC + 142.578 UD + 5.14811 LC^2 - 10.6906 LC UD + 9.26352UD^2 \quad (30)$$

Dónde C_n es el porcentaje en peso (% p/p) de cada FAME, MU es el porcentaje de los componentes de FAMES monoinsaturados, DU de los di-insaturados y TU de los FAMES tri-insaturados.

1.2.8 Modelos de predicción de estabilidad a la oxidación (OS)

Se han propuesto también diferentes correlaciones para calcular la OS del biodiésel. Park *et al.* [40] propusieron la Ecuación 31 para calcular la OS de 21 mezclas de biodiésel de palma, colza y soya, en función del contenido del ácido linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3):

$$OS = \frac{117.9295}{(C_{18:2} + C_{18:3})} + 2.5905 \quad (31)$$

Sin embargo, Park *et al.* [40] no reportaron un valor de error para su Ecuación.

Serrano *et al.* [51] usaron 68 datos experimentales y desarrollaron la Ecuación 32 para calcular la OS del biodiésel en función de la cantidad de poliinsaturados. Los autores reportaron un R² de 0.91 y un RMSE de 2.3.

$$OS = 49 (\Sigma \text{Poliinsaturados})^{-0.5} \quad (32)$$

Por su parte, Escobar [39], desarrolló la Ecuación 33 con 40 datos experimentales, reportando un R²= 0.9843.

$$OS = -5.615 \cdot \ln(\Sigma \text{Poliinsaturados}) + 28.347 \quad (33)$$

1.2.9 Modelos de predicción de calor de combustión

Fassinou [52] desarrolló la Ecuación 34 para la determinación del HHV, enfocándose en las fracciones masa de carbón, hidrógeno y oxígeno del FAME, utilizando 60 muestras de biodiésel, reportando una AAD de 1.82.

$$HHV = 35.03C + 121.64 - 12.54O \quad (34)$$

Ramírez *et al.* [47], usando 22 valores experimentales desarrollaron la Ecuación 35, a partir del peso molecular y el número de dobles enlaces, reportando una AAD de 0.21%.

$$HHV = 46.19 - \frac{1794}{M_i} - 0.21N_B \quad (35)$$

Giakoumis *et al.* [44] propusieron un modelo (Ecuación 36) para la estimación de HHV a través de la composición de FAMEs del biodiésel, usando 23 muestras de diferentes orígenes obteniendo un R² de 0.5052.

$$\begin{aligned} \text{HHV} = & 39,839.54 - 1159.62(\text{C12:0}) + 24.96(\text{C14:0}) + 14.03(\text{C16:0}) + 1.71(\text{C18:0}) \\ & -52.32(\text{C16:1}) + 1.51(\text{C18:1}) + 2.78(\text{C18:2}) + 8.27(\text{C18:3}) \end{aligned} \quad (36)$$

1.2.10 Modelos de predicción para el índice de yodo

Gopinath *et al.* [53] desarrollaron la Ecuación 37 utilizando 10 muestras de diferentes biodiésel, obteniendo un R² de 0.978.

$$\text{IV} = 35.9 - 0.212(\text{C16:0}) + 0.660(\text{C18:0}) + 0.448(\text{C18:1}) + 1.23(\text{C18:2}) + 1.73(\text{C18:3}) \quad (37)$$

Knothe [54], desarrolló la Ecuación 38 con base en el peso molecular y el número de insaturaciones a partir de 13 muestras de biodiésel. Sin embargo, el autor no reporta error para su modelo.

$$\text{IV} = 100 \times \frac{253.81 \times N}{M_i} \quad (38)$$

Kyriakidis *et al.* [55] con el fin de desarrollar un procedimiento de correlación adecuado entre el IV y los porcentajes de FAMES, propusieron la Ecuación 39 en dónde fueron consideradas 56 muestras de biodiésel.

$$\text{IV} = x(\Sigma\text{MU}) + y(\Sigma\text{DU}) + z(\text{TU}) \quad (39)$$

En dónde MU, DU y TU son la sumatoria de la cantidad de monoinsaturados, di-insaturados y tri-insaturados respectivamente. “x”, “y”, y “z” son coeficientes que deben determinarse para cada tipo de aceite. Estos coeficientes deben incorporar los efectos del número de dobles enlaces, en donde los valores usuales son: 1 para “x”, 2 para “y” y 3 para “z”. Adicionalmente, los autores no reportan error para la Ecuación 39.

1.3 Influencia de la termodinámica en las propiedades del biodiésel

Los líquidos tienen una temperatura característica a la cual se solidifican, conocida como su punto de congelación. En cambio, los sólidos presentan una temperatura a la cual se funden para convertirse en un líquido, conocido como punto de fusión [37]. Diversas investigaciones [19, 32] han encontrado que el punto de fusión de un biodiésel, aumenta con la longitud de la cadena de los FAMES saturados y disminuye con el aumento de los dobles enlaces de los FAMES insaturados, tal y como se puede observar en la Tabla 1.5.

Se requiere de ciertas condiciones para que los triacilgliceroles del sistema graso comiencen a cristalizar y éstas son el subenfriamiento o la sobresaturación [56, 57].

La sobresaturación depende de:

1. La temperatura de la solución.
2. La concentración del soluto en la solución.

En una mezcla homogénea de muchos componentes con diferentes puntos de fusión, la cristalización se rige por la solubilidad de los componentes en la mezcla. Los componentes de bajo punto de fusión actúan como solvente, mientras que los componentes de alto punto de fusión actúan como soluto [35, 36].

A cualquier temperatura por debajo del punto de fusión del soluto, la cristalización solo ocurrirá si el soluto está sobresaturado en el solvente a esa temperatura [58, 59], de acuerdo a la siguiente Ecuación:

$$\text{Sobresaturación} = \ln \beta_i = \frac{C_x}{X_x} \quad (40)$$

Dónde:

$\ln \beta_i$: Sobresaturación.

C_x : Fracción en solución en sobresaturación.

X_x : Fracción soluble en saturación.

Por lo anterior, una solución está sobresaturada si la actividad de un componente disuelto "X" es mayor que la actividad de una solución saturada, es decir, una solución en la que los cristales y

el soluto están en equilibrio termodinámico. Entonces existe una diferencia de potencial químico $\Delta\mu$ entre el material sobresaturado y el cristalino. Así que este $\Delta\mu$ es igual al de una solución saturada [60]. Para una solución ideal, la diferencia de potencial químico está dada por la Ecuación 41:

$$\Delta\mu = R_G T \ln \frac{c_X}{X_X} \quad (41)$$

Dónde:

$\Delta\mu$: Diferencia de potencial químico sólido-líquido

R_G : Constante de gas

T : Temperatura absoluta.

Por otro lado, el grado de subenfriamiento se define como la diferencia entre la temperatura a la que un FAME cristaliza y la temperatura de fusión promedio de sus especies lipídicas constituyentes [61].

$$\text{Subenfriamiento} = T_f - T_s \quad (42)$$

Dónde:

T_f : Temperatura de fusión del FAME.

T_s : Temperatura de enfriamiento o calentamiento del sistema.

Para promover la cristalización, las moléculas de combustible poseen fuertes interacciones intermoleculares. La fuerza termodinámica generalmente se crea cuando la temperatura del líquido es inferior a su punto de fusión.

La cristalización ocurre a través de dos etapas principales asociadas que se conocen como nucleación y crecimiento de cristales [61].

1.3.1 Nucleación

Una vez alcanzado el subenfriamiento o la sobresaturación suficiente para que ocurra la cristalización, se alcanza un estado metaestable, en el cual se debe pasar barreras de energía para comenzar a formar los primeros centros de nucleación [62].

La energía libre del sistema disminuye a medida que se transforma de líquido a sólido. Al mismo tiempo, la creación del sólido en el líquido genera una interfaz sólido-líquido, con una energía específica de superficie libre del núcleo en formación. Los embriones se forman y desaparecen hasta que se alcanza un radio estable. Esta energía es representada matemáticamente por la Ecuación de Gibbs-Thomson. En la Ecuación 43, se puede observar el cambio de energía libre para una sustancia pura asociada con nucleación homogénea, como resultado de una combinación de cambios en área y volumen de los embriones de nucleación, siendo [61]:

$$\Delta G_n = A_n \delta - V_n \frac{\Delta \mu}{v_m^s} \quad (43)$$

Donde:

ΔG_n : Diferencia de energía libre de Gibbs asociada a la formación de un embrión de nucleamiento.

δ : Energía libre de superficie por unidad de área.

$\Delta \mu$: Diferencia de potencial químico sólido-líquido.

A_n : Superficie de área de un núcleo.

v_m^s : Volumen molar del sólido.

V_n : Volumen de un núcleo.

Por otro lado, la formación de los primeros cristales lleva a una disminución en la diferencia del potencial químico de subenfriamiento (directamente proporcional con la diferencia de energía libre de Gibbs) [63]. A medida que la temperatura disminuye en el sistema, la viscosidad aumenta, disminuyendo la difusión molecular y aumentando el crecimiento cristalino [61].

1.3.2 Crecimiento cristalino

Una vez que se establece la nucleación, los cristales comienzan a crecer [61]. El crecimiento continuo ocurre hasta que se forma una red de cristales con puntos de fusión altos dentro del líquido. Cuando se reduce la temperatura, el número de cristales aumenta y el tamaño crece gradualmente entre 0.5 mm y 1.0 mm [7].

De acuerdo con lo anterior, a bajas temperaturas el fenómeno de cristalización detiene el flujo del biodiésel, lo que conduce a la falta de combustible en el motor, lo que en consecuencia causa problemas de arranque de los vehículos ya que el material solidificado obstruye las líneas y filtros de combustible [16, 32, 37]. La exposición prolongada del combustible a temperaturas de CP o inferiores hace que los cristales crezcan y formen redes entrelazadas. Con la disminución de la temperatura, se forman más sólidos y el material se acerca al PP, tal y como se aprecia en la Figura 1.1. La temperatura deficiente del PP deteriorará la capacidad de flujo del combustible, lo que conducirá a fallas en la operación del motor [26].

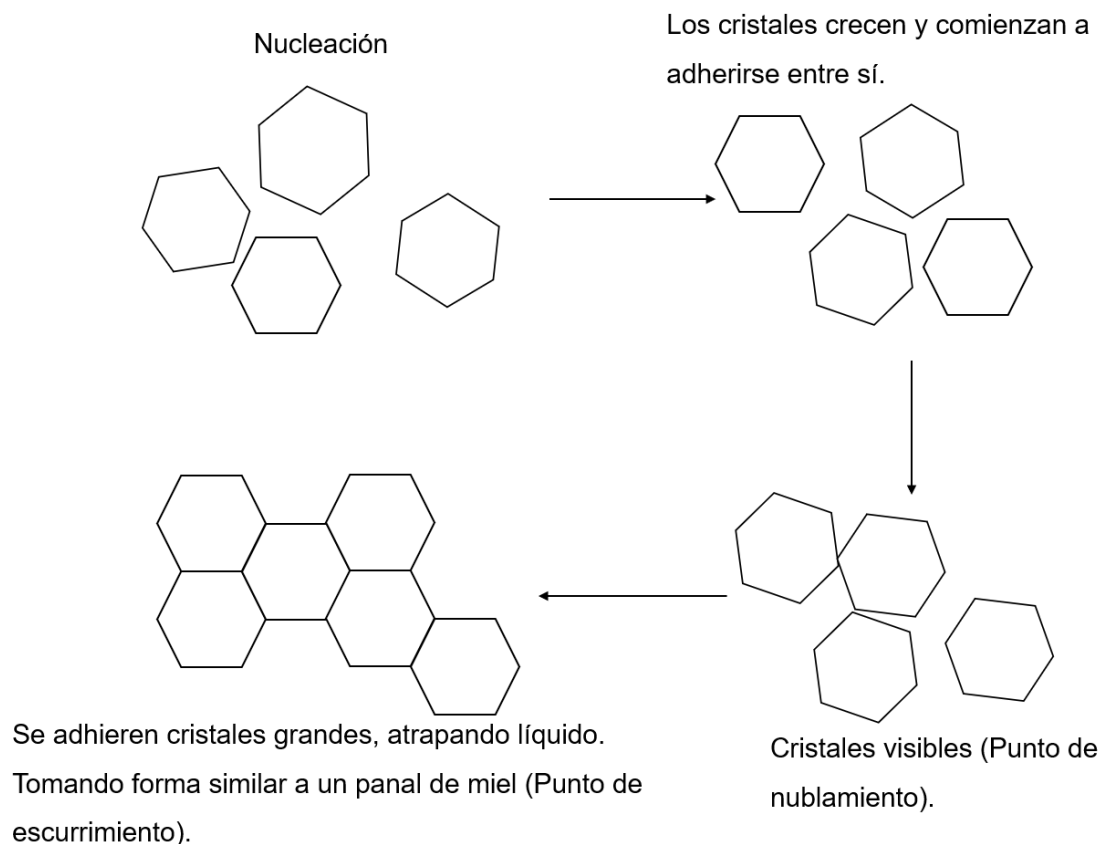


Figura 1.1. Mecanismo de cristalización de ésteres de ácidos grasos (biodiésel) [56].

Por lo tanto, el CP es la temperatura a la cual aparece el grupo más pequeños de cristales observables, con un diámetro superior a 0.5 μm y provoca que el biodiésel sea una suspensión turbia o “nublosa” [64].

Sin embargo, el CP proporciona información limitada sobre el comportamiento a baja temperatura de un combustible. Así que, el CFPP está relacionado con lo que sucede debajo del CP, es decir, la composición del material que precipita y la cantidad de cristales formados [65]. Siendo la propiedad más ampliamente aceptada, ya que predice de manera eficiente como se desempeñarán los combustibles en los motores sometidos a un clima frío [64].

Por último, con el PP, se tiene el indicador cuando los cristales han crecido y gelificado, haciendo que el combustible deje de fluir [66].

El diseño y la operación adecuada de los procesos para producir biodiésel que pueda cumplir con las especificaciones de baja temperatura también requieren de la capacidad de predecir la composición de un biodiésel y la predicción de su desempeño a baja temperatura.

1.4 Impacto de la composición de los FAMES en las propiedades del biodiésel

La calidad del biodiésel depende de su composición expresada como la composición porcentual de los FAMES que lo conforman, y, por lo tanto, de los ácidos grasos de las materias primas (aceites o grasas) a partir de las cuales se obtiene el biodiésel. Todas las propiedades dependen de su composición. Sin embargo, en algunos casos la relación entre la composición y el valor de la propiedad es más evidente. Probablemente las más estudiadas en este sentido han sido: el número de cetano, la viscosidad cinemática, la densidad, la estabilidad oxidativa, las propiedades de flujo en frío (CP, PP y CFPP), índice de yodo, lubricidad y calor de combustión [67].

Escobar [39] elaboró bases de datos para los ésteres metílicos individuales más comunes del biodiésel junto con las propiedades de densidad, viscosidad cinemática a 40 °C, HHV, NC, OS, índice de yodo, CFPP y FP, y seleccionando métodos predictivos para estimar dichas propiedades, encontrando que la calidad del biodiésel depende de forma directa de las siguientes

variables: concentración de ésteres metílicos saturados de cadena larga (C16:0 a C24:0), concentración de saturados de cadena corta (C4:0 a C14:0), concentración de monoinsaturados y concentración de poliinsaturados [39].

Comúnmente, los FAMEs se caracterizan según su estabilidad a la oxidación y propiedades de flujo en frío [68], propiedades que dependen directamente de su composición de ácidos grasos [41]. Se han establecido varios estudios que demuestran que los ácidos grasos saturados exhiben una mayor estabilidad oxidativa, un mayor número de cetano, una mayor lubricidad y menores emisiones de óxidos de nitrógeno [35, 43]. En contraste, los FAMEs saturados tienen puntos de fusión más altos que los insaturados y los puntos de fusión tienden a aumentar con la longitud de la cadena [19], empeorando las propiedades de flujo en frío [59] y aumentando la viscosidad.

De acuerdo con lo anterior, las propiedades de flujo en frío dependen principalmente del contenido de ésteres saturados y el efecto de la composición de ésteres insaturados puede considerarse poco significativo [5, 23].

Así mismo, además del grado de saturación, existen numerosos factores a nivel molecular que afectan directamente las propiedades de flujo en frío del biodiésel [69], estos incluyen la longitud de la cadena de carbono y el grado de ramificación [64, 70].

Por ejemplo, la ramificación de la cadena de carbono de los ácidos grasos proporciona una estructura que aumenta la fuerza termodinámica necesaria para la cristalización y disminuye la temperatura de cristalización de los FAMEs. Esto proporciona al biodiésel resultante un mejor comportamiento de flujo en frío. En cambio, las cadenas de carbono rectas sin ninguna ramificación tienden a tener un comportamiento deficiente del flujo en frío debido a su capacidad de tener una estructura compacta que hace que el biodiésel se cristalice fácilmente. Hoy en día, los ácidos grasos ramificados se emplean para mejorar el comportamiento del flujo de frío del biodiésel a través de la transesterificación con alcohol de cadena igualmente ramificada [56].

Debido a estas propiedades, el biodiésel rico en ésteres metílicos saturados, como C16:0 y C18:0 (considerados como precursores de la cristalización) [9], posee propiedades de flujo en frío deficientes con CFPP, CP y PP más altos [1, 47], lo que conduce a problemas de funcionamiento del motor del vehículo [28, 32].

En general, los ácidos grasos insaturados presentan bajos puntos de fusión y simultáneamente una alta vulnerabilidad a la oxidación, mientras que los saturados tienen un alto punto de fusión [9]. De esta manera, los puntos de fusión de los ésteres grasos generalmente aumentan con un

número creciente de unidades $-CH_2-$ y disminuyen al aumentar el número de insaturaciones [71], mientras que un alto grado de insaturación empeora la estabilidad a la oxidación [14, 39, 47].

Los FAMES C18:2 y C18:3 son los principales componentes que reducen la estabilidad a la oxidación del biodiésel. Cuando aumenta la concentración de C18:2 y C18:3, la estabilidad a la oxidación se reduce. La inestabilidad de oxidación puede producir productos de oxidación, como aldehídos, alcoholes, ácidos carboxílicos de cadena más corta, gomas insolubles y sedimentos en el biodiésel [72, 73].

Sin embargo, disminuir la estabilidad de oxidación puede alterar significativamente las propiedades del combustible, incluyendo: FP, HHV, NC, viscosidad cinemática y densidad [74]. Por el contrario, el biodiésel que contiene una gran cantidad de ácidos grasos insaturados tiene mejores propiedades de flujo [72].

Por ejemplo, el biodiésel producido a partir de aceites como la soya, la jatropha y el girasol (bajo contenido de FAMES saturados) muestra buenas propiedades de flujo en frío, pero baja estabilidad a la oxidación y menor calor de combustión. En contraste, el biodiésel de aceites como la palma, el coco, grasas y sebo presentan alto nivel de ácidos grasos saturados así como alta estabilidad de oxidación y mayor calor de combustión pero pobres propiedades de flujo frío [20]. El biodiésel de maní es rico en C22:0 y C24:0, por lo cual presenta altas temperaturas de CFPP, CP y PP. Cuanto más largas sean las cadenas de carbono en el biodiésel, peores serán las propiedades a baja temperatura [36].

El NC del combustible biodiésel es otra propiedad que depende evidentemente del contenido de ácidos grasos saturados. El biodiésel que contiene altas cantidades de ácidos grasos saturados o bajo índice de yodo tendrá un NC más alto, mientras que el biodiésel con altas cantidades de ácidos grasos insaturados o alto índice de yodo tendrá un NC bajo [75]. Así mismo, el NC disminuye con el aumento de dobles enlaces [76].

En el caso del HHV, éste disminuye con el aumento de dobles enlaces del biodiésel, es decir, aumento de los componentes insaturados, debido a que la deficiencia de átomos de hidrógeno [76].

La densidad del biodiésel se ve afectada por: la longitud de la cadena y el grado de insaturación. Una mayor longitud de la cadena conduce a una menor densidad de combustible, aunque ésta propiedad, parece aumentar para FAMES con más de 18 C en la cadena alifática. Y un mayor número de insaturaciones que conduce a incrementos significativos en la densidad [70,71]. Por

lo que, cuanto más saturado es el aceite de origen, menor es la densidad del éster metílico derivado [77, 78].

Hipótesis

La aplicación de modelos de estimación de propiedades del biodiésel en función de su perfil lipídico, desarrollados a partir de un amplio número de datos experimentales reportados en la literatura, permitirá estimar diferentes propiedades de un biodiésel, con una precisión superior a la de otros métodos reportados en la literatura, y desarrollar un índice que indique la calidad general de un biodiésel.

Objetivos

Objetivo general

Formular modelos para mejorar la predicción de las propiedades más relevantes del biodiésel en función de su perfil de lípidos, y a partir de los resultados obtenidos, desarrollar un índice general de la calidad de un biodiésel.

Objetivos específicos

1. Generar una base de datos de las diferentes propiedades reportadas en la literatura de composición de biodiésel de diferente origen y el valor de sus propiedades, considerando las propiedades más relevantes.
2. Evaluar métodos y correlaciones reportadas en la literatura para estimar las propiedades del biodiésel.
3. Desarrollar modelos que mejoren las predicciones reportadas por otros autores y validarlos, comparando los valores calculados contra la base de datos experimentales recabados.
4. Con base en un análisis de composición y valor de las propiedades seleccionadas, para el total de los datos de biodiésel considerados, proponer un índice para predecir la calidad general del biodiésel en función de su perfil de FAMES.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

La metodología de este proyecto de investigación se describe conforme a la Figura 2.1:

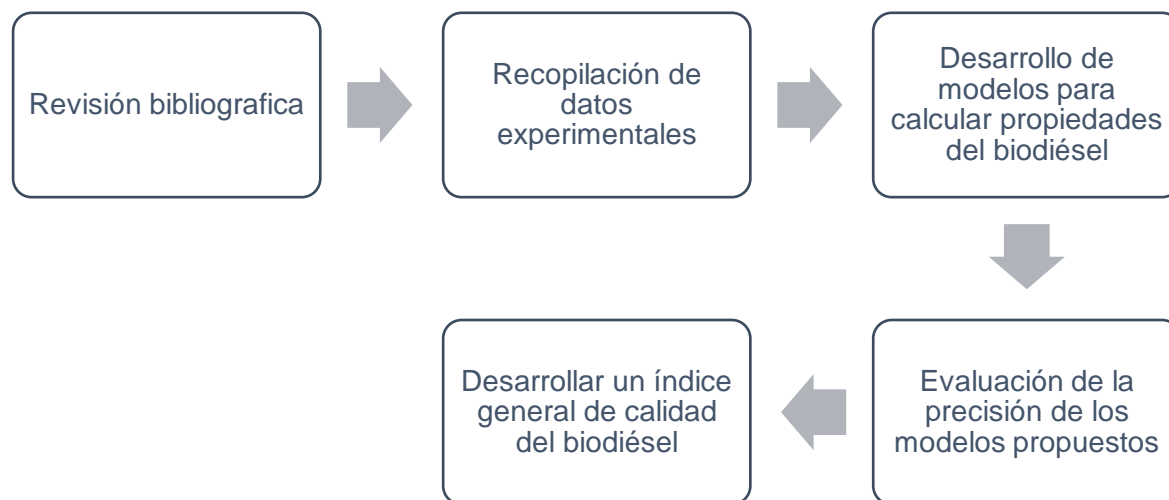


Figura 2.1. Metodología general del proyecto de investigación.

2.1 Base de datos de las propiedades de los FAMEs del biodiésel

Como primer paso, se realizó una revisión extensa de la literatura disponible para recopilar información considerable sobre el perfil de composición de FAMEs y las propiedades fisicoquímicas del biodiésel producidos a partir de aceites vegetales comestibles y no comestibles provenientes de diferentes países de América, Europa y Asia como principales fuentes para su producción.

Durante la recopilación de datos, se aseguró el evitar las entradas duplicadas con la finalidad de incluir solo datos de aquellos reportes en donde los autores midieron los valores informados, y en donde también se reporta el método analítico empleado y que siguiera un estándar internacionalmente aceptado.

2.1.1 Base de datos de valores experimentales de propiedades del biodiésel

Con base en la revisión de reportes de la literatura se construyó una base de datos con los FAMES listados en las tablas de la sección de anexo, Tablas A1- A10. Estas tablas incluyen FAMES saturados e insaturados con números de carbonos en las cadenas alifáticas entre 6 y 24, tal y como se indica en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. FAMES más comunes en biodiésel de diferente origen y que son considerados en este trabajo.

No.	Notación	Nombre del Éster [79]
1	C6:0	Metil hexanoato
2	C8:0	Metil octanoato
3	C10:0	Metil decanoato
4	C12:0	Metil laurato
5	C14:0	Metil tetradecanoato
6	C14:1	Metil miristioleato
7	C15:0	Metil pentadecanoato
8	C16:0	Metil palmitato
9	C16:1	Metil palmitoleato
10	C17:0	Metil heptadecanoato
11	C17:1	Metil heptadecenoato
12	C18:0	Metil octadecanoato
13	C18:1	Metil oleato
14	C18:2	Metil linoleato
15	C18:3	Metil linolenato
16	C20:0	Metil araquidato
17	C20:1	Metil eicosenoato
18	C20:2	cis-11,14 Metil eicosadienoato
19	C20:4	cis-5,8,11,14 Metil eicosatetraenoato

No.	Notación	Nombre del Éster [79]
20	C22:0	Metil docosanoato
21	C22:1	Metil erucato
22	C24:0	Metil lignocerato
23	C24:1	Metil nervonato

Por otro lado, en la Tabla 2.2 se detalla el número de datos de biodiésel utilizados para cada una de las propiedades a evaluar y para el desarrollo del modelo predictivo correspondiente. Así mismo se indica en que tabla del anexo de este documento se puede encontrar la información de la composición cromatográfica en % peso de cada FAME para cada biodiésel, y el valor experimental de su respectiva propiedad de acuerdo a un método analítico internacionalmente aceptado.

Tabla 2.2. Listado de las propiedades y datos de biodiésel y metodos considerados para la construcción de modelos predictivos.

Propiedad	Tabla de anexo	Datos de biodiésel	Métodos considerados
CFPP	A1	78	ASTM D6371 EN 116 ISO 5509 IP 309
CP	A2	75	ASTM D2500 ASTM D5773 JIS K 2269
PP	A3	70	ASTM D97 ASTM D5949
μ	A4	68	ASTM D445 ISO 3104
ρ	A5	68	ASTM D7042 ASTM D1298 ISO 3675 ASTM D287 ASTM D4052
NC	A6	68	ASTM D613
FP	A7	68	ASTM D93 ISO 3679 UNE-51-023-90
OS	A8	68	EN 14112

Propiedad	Tabla de anexo	Datos de biodiésel	Métodos considerados
HHV	A9	68	ASTM D240 ASTM D4809 DIN 51900
IV	A10	68	EN 14111

Adicionalmente, los datos de las Tablas A1-A10 se dividieron en dos grupos: datos para el desarrollo de modelos y datos para la validación de los mismos. Los datos para validación se encuentran resaltados en color gris en la parte final de cada tabla.

2.2 Propuesta de modelos para predicción de propiedades

Existe una gran cantidad de ecuaciones, métodos y modelos empleados para predecir propiedades de compuestos puros y de mezcla. Uno de estos es el método de contribución de grupos (MCG), el cual es un modelo que utiliza información sobre la estructura de los compuestos químicos para estimar sus propiedades, donde cada molécula se descompone en un conjunto de unidades más simples [80]. La teoría de contribución de grupos plantea que una determinada propiedad es el efecto resultante de las contribuciones particulares que genera cada grupo sin que éstos se vean modificados por su entorno químico [80].

Adicionalmente, también se consideró el uso del modelado empírico, el cual consiste en una Ecuación obtenida a partir de un conjunto de valores experimentales de dos variables. La relación entre las dos variables se expresa mediante la función matemática: $y = f(x)$, donde y es la variable dependiente mientras que x es la variable independiente. La Ecuación obtenida es optimizada mediante el análisis de regresión, en el cual se determina una función matemática sencilla que describa el comportamiento de una variable dados los valores de la otra, siendo un proceso estadístico para estimar las relaciones entre los valores [35].

Por lo que en este trabajo se desarrollaron propuestas de predicción basados en el modelo de contribución de grupos y en la realización de modelos empíricos, y el valor de los parámetros de cada modelo se ajustó mediante análisis de regresión.

2.3 Optimización de parámetros

Con la información obtenida de la base de datos descritas en las Tablas A1-A10, se realizó un análisis de la dependencia de la propiedad con el objetivo de encontrar las variables que mejor se ajustan a los datos de CFPP, CP, PP, μ , ρ , NC, FP, OS, HHV e IV.

Se utilizó la herramienta Solver de Excel 2019 con la subrutina GNR no lineal, para realizar múltiples corridas bajo prueba y error de propuestas de modelos para el cálculo de CFPP, CP, PP, μ , ρ , NC, FP, OS, HHV e IV, para minimizar el valor de la función objetivo.

La función objetivo se definió para minimizar la raíz del error cuadrático medio (RMSE) de los valores calculados con respecto a los valores experimentales reportados en la literatura.

Lo anterior se resume en el diagrama de flujo de la Figura 2.2:

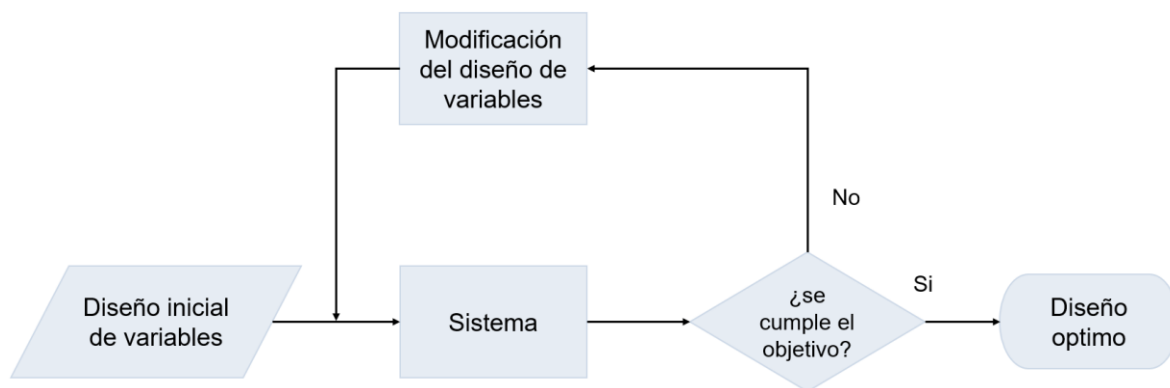


Figura 2.2. Diagrama de flujo para optimización.

Posteriormente, con los modelos obtenidos, se predicen los valores de las propiedades, a los cuales se les aplica el análisis estadístico.

2.4 Análisis estadísticos

En este estudio, se utilizaron criterios estadísticos para medir la capacidad predictiva de la metodología propuesta contra la de los modelos encontrados en la literatura. Estos criterios fueron el coeficiente de determinación (R^2) Ecuación 44 y el RMSE, Ecuación 45.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_{experimental(i)} - y_{calculado(i)})^2}{\sum (y_{experimental(i)} - y_{medido\ medio})^2} \quad (44)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (valor\ experimental - valor\ calculado)^2} \quad (45)$$

Donde n es el número de datos experimentales.

El R^2 se utilizó para reconocer el ajuste entre los valores de datos observados y modelados. El RMSE fue considerado para este análisis estadístico debido a que se encuentra entre las medidas más comúnmente informadas en la evaluación de error e indican la precisión de las predicciones [81]. Por lo que cuanto más pequeño es el RMSE y más cercano a uno es el valor de R^2 , mayor es la precisión del modelo, siendo estos los criterios utilizados para seleccionar el modelo adecuado para la predicción de diferentes propiedades del biodiésel.

2.5 Reoptimización de modelos de la literatura y validación de ecuaciones propuestas

Con la finalidad de asegurar que las ecuaciones propuestas calculan las propiedades de manera correcta, se llevó a cabo la validación de los modelos. De acuerdo con lo mencionado antes, se emplearon entre 60 y 68 datos para evaluar los parámetros de cada modelo, y 8 datos para validar cada modelo. Los modelos se evaluaron utilizando el RMSE, como se presenta en la Ec. 45.

Adicionalmente, se llevó a cabo la reoptimización de los parámetros de las ecuaciones propuestas por otros autores (Ec. 1 – 39) usando la base de datos recabados (Tablas A1-A10). Esta optimización se realizó de manera similar a lo descrito en la sección 2.3 utilizando la herramienta Solver de Excel. La finalidad de la reoptimización es para comparar los resultados obtenidos a

partir de modelos previamente reportados contra los modelos aquí propuestos, minimizando el efecto de la base de datos considerada, es decir, el efecto del número de muestras de biodiésel y el efecto debido a su composición.

2.6 Cálculo de la incertidumbre de los métodos seleccionados

Para las propiedades del biodiésel consideradas en este trabajo, la incertidumbre experimental para cada biodiésel se obtuvo de los reportes de los cuales se tomaron los datos. Para aquellos datos cuya incertidumbre experimental no estaba disponible o reportada, se consideró el dato indicado dentro de los estándares internacionales, correspondiente a cada propiedad, en la sección de precisión y sesgo, considerando el método estandarizado usado para su determinación.

Para el cálculo de la incertidumbre de los datos calculados de las ecuaciones propuestas para CFPP, CP, PP, μ , ρ , NC, FP, OS, HHV e IV se siguió el procedimiento descrito por Taylor [82], aplicando las Ecuaciones (46 a la 50).

$$\delta q = \sqrt{(\delta x)^2 + \dots + (\delta z)^2 + \dots + (\delta u)^2} \quad (46)$$

$$\frac{\delta q}{|q|} = \sqrt{\left(\frac{\delta x}{x}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta z}{z}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta u}{u}\right)^2} \quad (47)$$

$$\delta q = |B| \delta x \quad (48)$$

$$\delta q = \left| \frac{dq}{dx} \right| dx \quad (49)$$

$$\frac{\delta q}{|q|} = |n| \frac{\delta x}{|x|} \quad (50)$$

en donde: $\delta x, \delta z, \delta u, \delta q$ son las incertidumbres de las variables x, z, u y q respectivamente, B es una constante y n representa una potencia. La Ecuación 46 aplica para calcular la incertidumbre de una suma o resta, mientras que la Ecuación 47 aplica cuando hay productos o cocientes entre

las variables. La Ecuación 48 se utiliza cuando un valor con incertidumbre se multiplica por una constante, mientras que la Ecuación 49 permite obtener la incertidumbre para cualquier tipo de función. Finalmente, la Ecuación 50 se usa cuando se tiene una potencia.

2.7 Estrategia para valorar la calidad del biodiésel mediante un índice

Para la realización del modelo matemático del índice sobre la calidad general del biodiésel, se creó una base de datos a partir de los datos de biodiésel indicados en las Tablas A1-A10, obteniendo un total de 377 datos de biodiésel diferentes con sus respectivas composiciones cromatográficas y determinaciones experimentales de las siguientes propiedades: CFPP, CP, PP, μ , ρ , NC, FP, OS, HHV e IV. Las propiedades que no fueron determinadas experimentalmente y reportadas por sus autores, fueron calculadas con los modelos matemáticos seleccionados en el apartado de resultados. Es decir, cada propiedad del biodiésel fue tomada del artículo original donde se reportó, o bien fue calculada a partir de su composición de FAMEs a través de las ecuaciones 58-67 para el total de las propiedades consideradas en este trabajo.

Con esto, se obtuvo una base de datos completa, con la composición cromatográfica y las diez propiedades para cada biodiésel del listado.

Posteriormente, se procedió a descartar aquellos datos de biodiésel que presentaban alguna propiedad con un valor experimental muy alejado de la tendencia, en comparación con otros datos de biodiésel del mismo origen si los había, o al menos, de composición similar. Por ejemplo, en el listado se encuentran 11 datos de biodiésel diferentes, provenientes del aceite de oliva, cuyos valores de OS se encontraban alrededor de 13 h. Sin embargo, se observó un dato el cual su valor se encontraba en 1.7 h, dato completamente distinto y fuera de la tendencia, aun cuando estos datos presentaban composición cromatográfica similar, por lo que este dato fue descartado. Procediendo de esta manera, se redujo el número de muestras de biodiésel a 348.

Con esta información, se procedió a clasificar aquellos datos de biodiésel cuyas propiedades cumplan con un criterio normativo, es decir criterios para decidir si un biodiésel cumple o no con cada una de las propiedades consideradas y que tienen límites especificados en los estándares ASTM D6751-19 y EN 14214; estos son valores entre 1.9 mm²/s y 6 mm²/s para μ , un mínimo de 130 °C para FP, valores entre 860 y 900 kg/m³ para ρ , 47 mínimo para NC, 3 h para OS y 120 g

$I_2/100$ g para IV. Para el caso de las propiedades de flujo en frío, se tomó un valor representativo para CFPP de 0 °C como máximo, acorde al diésel clase B en la Tabla 1.3 de clima templado de acuerdo a EN 590. Lo anterior se resume en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Criterios regulatorios de valores límites para desarrollo de índice de calidad del biodiésel.

Propiedad	Valor limite	Criterio regulatorio	
		ASTM D6751-19	EN 14214
μ	1.9 mm ² /s y 6.0 mm ² /s	X	
FP	130 °C mínimo	X	
ρ	860 y 900 kg/m ³		X
NC	47 mínimo	X	
OS	3 h mínimo	X	
IV	120 g $I_2/100$ g		X
CFPP	0 °C máximo	Criterio diésel clase B acorde EN 590	

Para las propiedades donde se tienen límites diferentes en ambas normas, se consideró el criterio de las ASTM, porque es en el que se basa la norma mexicana. Para la densidad y el índice de yodo, se tomó el límite especificado en la norma europea, debido a que la norma americana no considera límites para esas propiedades.

Es importante indicar que, de las diez propiedades estudiadas, solo siete (CFPP, μ , ρ , NC, FP, OS, e IV) especifican límites máximos y/o mínimos de acuerdo a las normas internacionalmente aceptadas, mientras que las propiedades CP, PP y HHV no indican límites de especificación, por lo que con estas últimas propiedades no fueron consideradas para la definición de la calidad de un biodiésel.

Lo anterior favoreció clasificar a los datos de biodiésel en tres grandes grupos considerados de baja calidad, de calidad regular o de buena calidad.

Si un biodiésel cumple con los límites establecidos en las normas para las propiedades consideradas en este trabajo (μ , ρ , NC, FP, OS, e IV), y un valor de CFPP de menor o igual a 0 °C tomado como referencia (en total 7 parámetros de calidad), entonces es clasificado como “de buena calidad”.

Por otra parte, si un biodiésel no cumple con uno, pero si cumple con seis de los parámetros de calidad considerados, entonces es clasificado como de “calidad media”. Finalmente, si un biodiésel incumple con al menos dos de los siete parámetros de calidad, entonces es clasificado como de “baja calidad”.

Con esto, para definir el índice general, a cada biodiésel se le asignó una escala numérica acorde al número de sus propiedades que se encuentran dentro de los límites de especificación mostrados en la Tabla 2.3. Esta escala numérica fue utilizada para proponer diferentes modelos matemáticos y su optimización a fin de describir la calidad general del biodiésel a partir de su composición de FAMES. El proceso de optimización de la Ecuación evaluada, usando como variables dependientes las composiciones de grupos de FAMES se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito en la sección 2.3.

Finalmente, al modelo propuesto para el índice de calidad, se le aplicó también el análisis estadístico descrito en la sección 2.4.

CAPITULO 3

RESULTADOS

En el presente trabajo se consideraron 23 ésteres metílicos, doce de ellos, saturados, es decir, sin dobles enlaces, mientras que once son insaturados, descritos en la Tabla 2.1. Se consideró una amplia diversidad de perfiles FAMEs de biodiésel, de diferentes orígenes, como se puede ver en las Tablas A1-A10, para desarrollar y probar las correlaciones propuestas. La selección de esta amplia gama de composiciones de biodiésel se realizó con la intención de que los modelos desarrollados tengan una amplia aplicabilidad en la predicción de las propiedades, independientemente del origen del aceite a partir del cual es elaborado el biodiésel.

Con esto, se presentan los resultados de los modelos propuestos basados en diferentes metodologías: método de contribución de grupos y propuesta de modelo empírico en función de la composición de los FAMEs, utilizando las bases de datos experimentales, indicadas en las tablas A1-A10.

3.1 Propuesta de modelo basado en el método de contribución de grupos (MCG) para la determinación de propiedades de flujo en frío

Durante el desarrollo de la propuesta del modelo predictivo basado en el MCG, la cadena de FAME fue separada en cuatro grupos: -CH₃, -CH₂-, =CH-, -COO, a los cuales se les identificó como a, b, c y d respectivamente.

Con esto, se obtiene un sistema de ecuaciones para cada FAME con 4 incógnitas, representada en la Ecuación 51:

$$CFPP_i = (x_a * a) + (x_b * b) + (x_c * c) + (x_d * d) \quad (51)$$

Siendo $CFPP_i$ la contribución de cada uno de los FAMEs que compone el biodiésel y x_n el número de veces que se presenta cada grupo en el FAME.

Con esta información, se asignó a cada grupo (a, b, c y d) un valor, el cual posteriormente se optimizó para poder obtener un modelo de predicción capaz de cuantificar el valor que aporta cada FAME en el CFPP del biodiésel. Siendo estos valores los presentados en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Valores calculados para los grupos que constituyen los FAMEs.

Valores constantes	
a	0.2782
b	0.0224
c	-0.0593
d	-0.7199

La estimación del CFPP del biodiésel se lleva a cabo mediante la suma de los resultados de cada una de las contribuciones multiplicado por la composición cromatográfica correspondiente a cada FAME i de acuerdo a la siguiente Ecuación:

$$CFPP_{\text{Biodiésel}} = \sum(CFPP_i * \text{Composición}_i) \quad (52)$$

Finalmente, se calcularon con el MCG los valores estimados de CFPP de los datos de biodiésel indicados en la Tabla A1 y se realizaron los cálculos estadísticos relativos a la precisión del método para estimar el valor de la propiedad, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Comparación de errores de los resultados del modelo de MCG contra modelos de literatura para estimación de CFPP.

Error	Modelo MCG	Ramos [36]	Sarin [38]	Escobar [39]	Alviso [35]	Park [40]
RMSE	6.5394	5.3523	5.9708	4.8334	16.3262	7.7304
R ²	0.3734	0.5802	0.4776	0.6577	-2.9058	0.1243

Dado que los errores, RMSE y R² del modelo propuesto basado en MCG resultaron mayores comparado con Ramos *et al.* [36], Sarin *et al.* [38], Escobar [39] y Park *et al.* [40], se descartó la opción de usar este enfoque para proponer un modelo de predicción para las propiedades de flujo en frío. Esto puede ser atribuido a que los valores de los grupos a, b, c y d no pueden representar

con buena precisión el comportamiento de cada FAME individual, limitando de esta manera el valor final de la predicción debido a la variedad de FAMES y las diferencias entre sus composiciones.

3.2 Propuesta de modelos empíricos

Se procedió a analizar la composición de los datos de biodiésel seleccionados, presentada en las Tablas A1-A3, los FAMES saturados se dividieron en 3 grandes grupos: $SAT_{C6:0-C15:0}$, $SAT_{C16:0-C18:0}$, $SAT_{C20:0-C24:0}$, mientras que los FAMES insaturados se dividieron en dos grupos: monoinsaturados (MI) y poliinsaturados (PI), los cuales se detallan en las siguientes ecuaciones:

$$SAT_{C6:0-C15:0} = C6:0 + C8:0 + C10:0 + C12:0 + C14:0 + C15:0 \quad (53)$$

$$SAT_{C16:0-C18:0} = C16:0 + C17:0 + C18:0 \quad (54)$$

$$SAT_{C20:0-C24:0} = C20:0 + C22:0 + C24:0 \quad (55)$$

$$MI = C14:1 + C16:1 + C17:1 + C18:1 + C20:1 + C22:1 + C24:1 \quad (56)$$

$$PI = C18:2 + C18:3 + C20:2 + C20:4 \quad (57)$$

Derivado de la revisión de la literatura citada en el capítulo 1, los compuestos saturados afectan de manera principal en las propiedades de flujo en frío, por lo que un biodiésel cuya composición sea altamente saturada, tiene como resultado propiedades pobres a baja temperatura, ya que muestran puntos de fusión más altos que los insaturados, desencadenando el fenómeno de cristalización cuando ocurre la sobresaturación o el subenfriamiento.

Considerando lo anterior, se procedió a graficar la relación de la composición de los compuestos saturados y los valores de las propiedades de flujo en frío, como se puede observar en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3, en las cuales se observa el biodiésel y su propiedad de flujo en frío correspondiente en el eje de las X, ordenado de menor a mayor y la composición del biodiésel en el eje Y. Se observa una tendencia de manera general en el incremento de temperaturas de flujo en frío del biodiésel al incrementar los saturados $SAT_{C16:0-C18:0}$. Así mismo aquel biodiésel que presentaba un contenido alto de saturados $SAT_{C20:0-C24:0}$, aportaba un efecto positivo en la temperatura de CFPP, CP y PP, como es en el caso del biodiésel de maní, con un contenido de 5.6 % p/p y 5.7

% p/p, y, por otra parte, se aprecia un efecto menor pero aún significativo para los saturados
SAT_{C6:0-C15:0}.

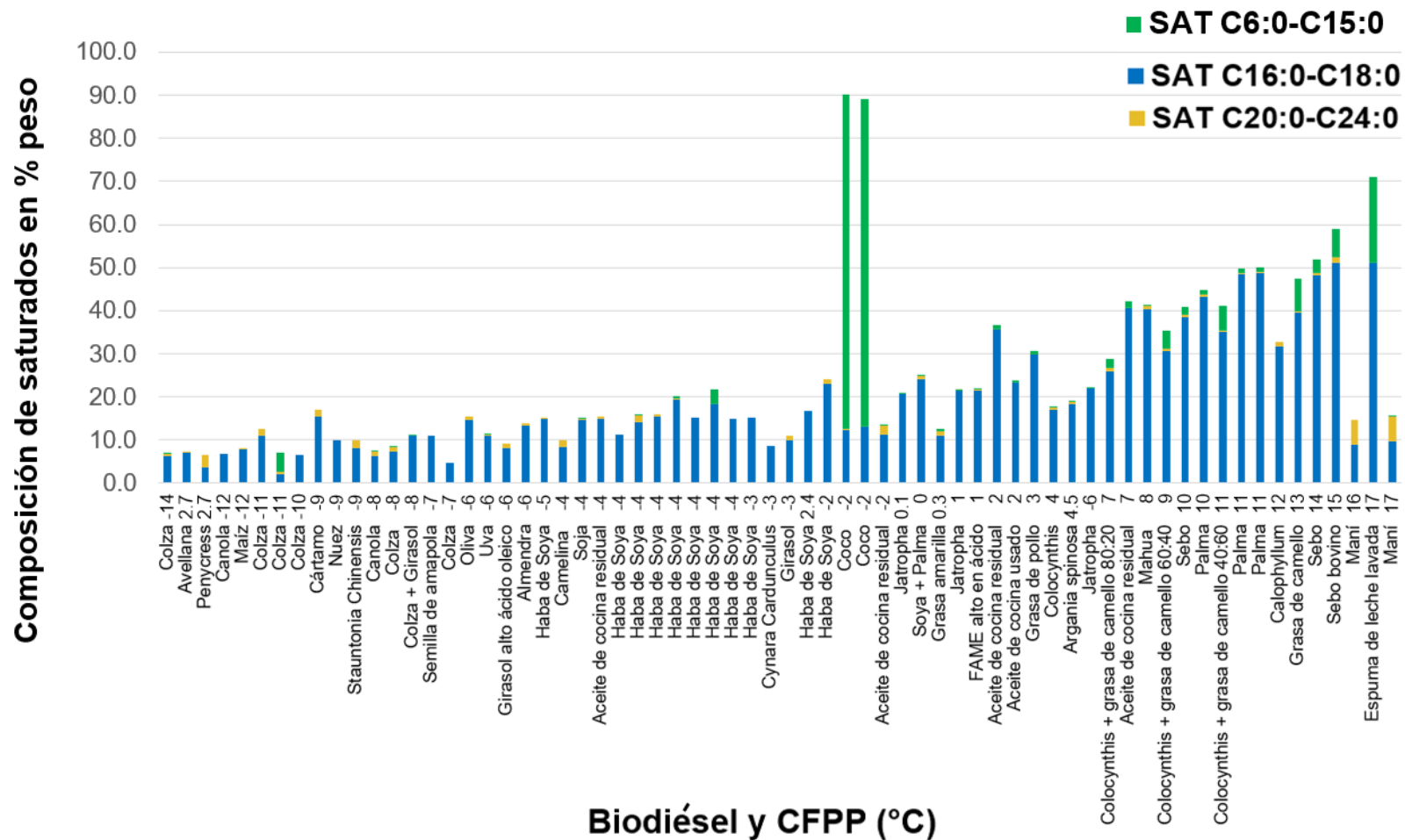


Figura 3.1. Efecto de la composición de los saturados en el CFPP del biodiésel para 66 muestras.

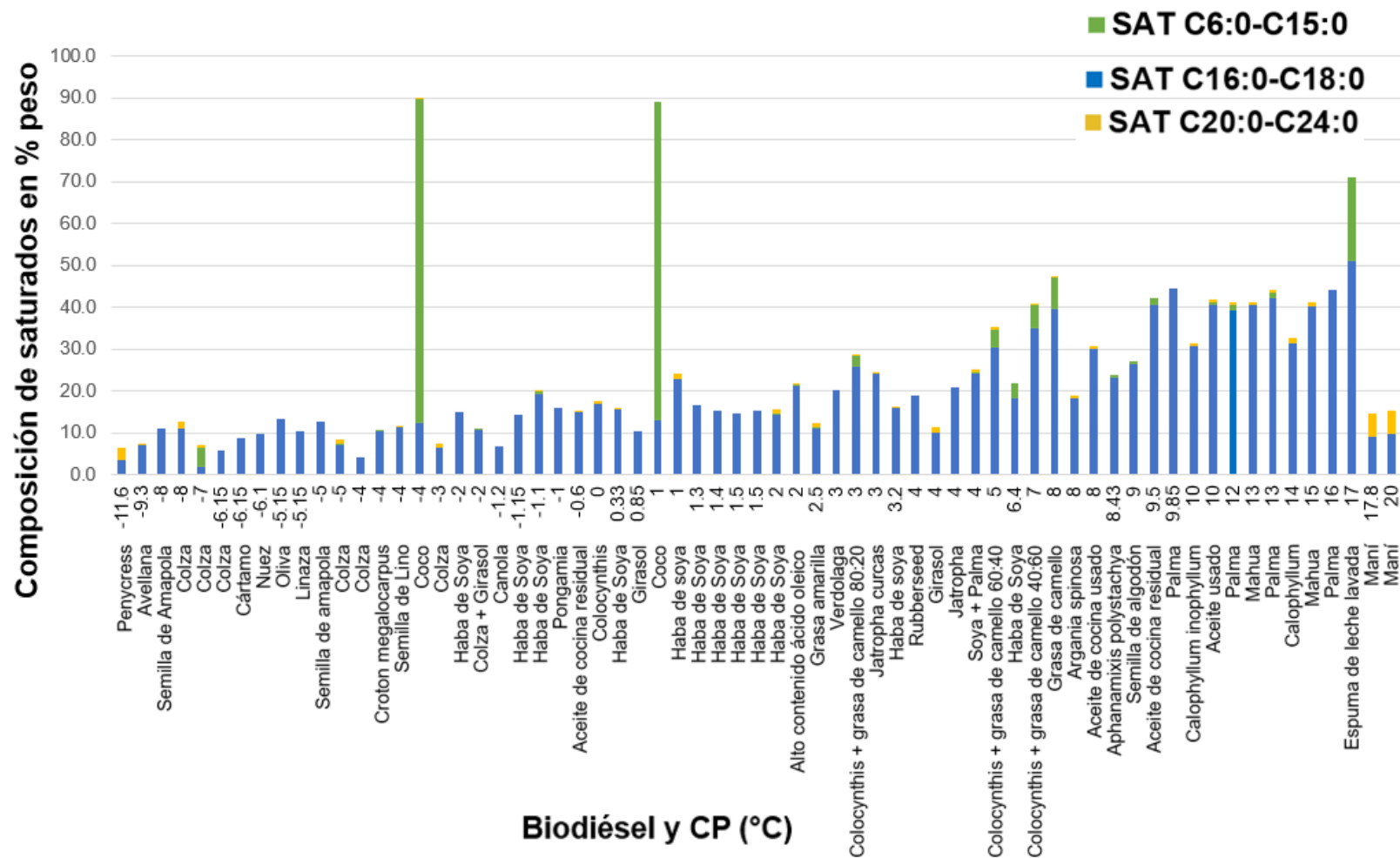


Figura 3.2. Efecto de la composición de los saturados en el CP del biodiésel para 65 muestras.

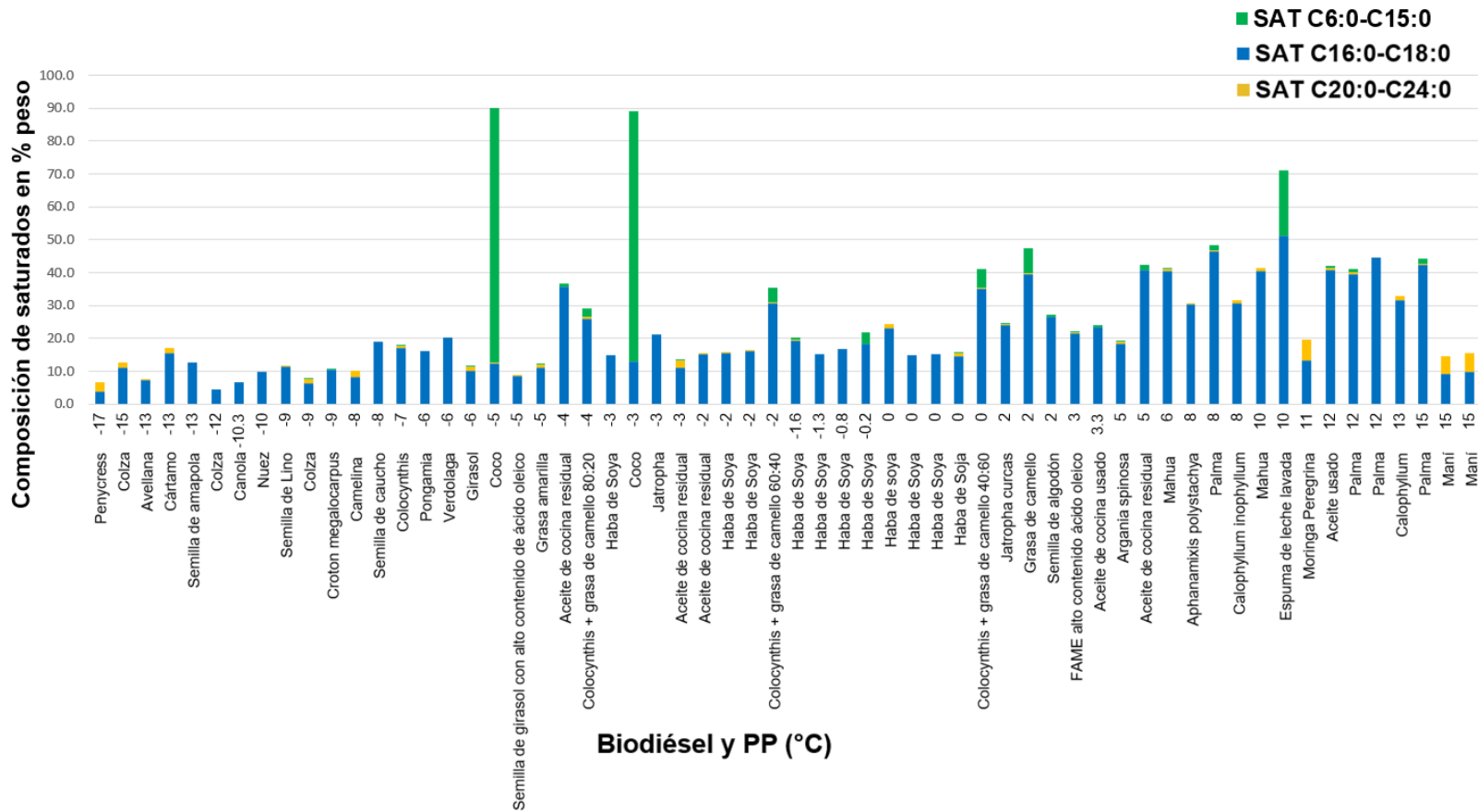


Figura 3.3. Efecto de la composición de los saturados en el PP del biodiésel para 60 muestras.

3.2.1 Propuesta de correlación para estimar el punto de obstrucción de filtro en frío

Para la predicción de CFPP, los datos experimentales de 66 muestras de combustible biodiésel se tomaron de la literatura con sus correspondientes composiciones de FAME, los cuales se encuentran en la Tabla A1 y de acuerdo con esta tabla, se puede apreciar que la mayoría de los datos de biodiésel están compuestos principalmente por C16:0, C18:0, C18:1, C18:2, C18:3, con pequeñas proporciones de otros ésteres metílicos.

De acuerdo con lo observado en la Figura 3.1, se tiene esta propiedad se encuentra influenciada por la presencia de FAMEs saturados, principalmente $SAT_{C16:0-C18:0}$.

Así mismo, se observó que dentro del grupo de compuestos de MI, el FAME más predominante es el C18:1, con composiciones variadas, que van desde el 10% hasta el 90%. Sin embargo, no se muestra una tendencia clara de que su presencia tenga un efecto positivo o negativo en la temperatura de CFPP.

En cambio, dentro de los PI, los FAMEs predominantes son C18:2 y C18:3, yendo desde un 0 a un 75% de composición, en los cuales se encuentra una tendencia de que su presencia en la composición del biodiésel impacta disminuyendo la temperatura de CFPP.

De acuerdo con las tendencias indicadas, se propusieron y evaluaron diferentes ecuaciones para modelar el CFPP, llegando a la Ecuación 58 como la más precisa, la cual, además de considerar la totalidad de los compuestos saturados, también considera el total de polinsaturados.

$$CFPP = \frac{0.53}{15.5} [2.05(SAT_{C6:0-C15:0})^{0.4} + SAT_{C16:0-C18:0} + 0.0014(SAT_{C20:0-C24:0})^6] + (PU)^{0.31} - \quad (58)$$

Posteriormente se procedió a realizar el cálculo de valor de CFPP con el modelo propuesto y se compararon los resultados con los obtenidos por los modelos selectos reportados en la literatura para los 66 datos de biodiésel, los resultados se indican en la Tabla 3.3.

Para realizar lo anterior, se realizaron los cálculos de RMSE y R^2 para cada modelo de acuerdo con las ecuaciones 38-39 presentadas en el capítulo 2. Adicionalmente, se realizó la

reoptimización de los parámetros de las ecuaciones propuestas por Ramos *et al.*[36], Sarin *et al.* [38], Escobar *et al.* [39], Alviso *et al.* [35], Park *et al.* [40] de acuerdo a lo descrito en la sección 2.5. Esto se realizó con la intención de comparar la forma de las ecuaciones (tipo de funciones) de los modelos de la literatura con el modelo propuesto y su capacidad de ajuste con la base de datos usada en este trabajo. Además de que este ejercicio hace más justa la comparación entre los resultados obtenidos con los modelos propuestos y los resultados reportados por otros autores. Los resultados son presentados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Comparación de errores obtenidos con el modelo de CFPP propuesto y con modelos selectos tomados de la literatura.

Error	Modelo CFPP	Ramos <i>et al.</i> [36]	Sarin <i>et al.</i> [38]	Escobar <i>et al.</i> [39]	Alviso <i>et al.</i> [35]	Park <i>et al.</i> [40]
RMSE	3.0116	5.3523	5.9708	4.8334	4.0858	7.7304
RMSE reoptimizado		4.3261	5.8967	4.8365	3.4659	6.5264
R ²	0.866	0.5802	0.4776	0.6577	0.7554	0.1243
R ² reoptimizado		0.7258	0.4905	0.6572	0.8240	0.3759

Como se observa, la evaluación estadística a través de los parámetros RMSE y R² es más favorable para el modelo propuesto en este trabajo en comparación con los resultados para los modelos tomados de la literatura. Es decir, la Ecuación 58, basada en la composición de FAMEs -es más precisa. Esto es válido para los modelos reportados en la literatura en los cuales se usaron los parámetros originalmente reportados por sus autores, pero también para los modelos con los parámetros reoptimizados a partir de la base de datos de este trabajo.

Por lo tanto, los resultados obtenidos indican una posible capacidad predictiva superior del modelo de CFPP propuesto, en comparación con los modelos reportados en la literatura utilizados en esta comparación.

Es importante mencionar que los modelos publicados anteriormente, reportan en sus publicaciones originales valores de R² más altos que los calculados en este trabajo (Ramos *et al.* [36] R² = 0.96; Sarin *et al.* [38] con R² = 0.863; Escobar [39] con R² de 0.9434), pero esto puede deberse en parte a que en los trabajos originales, los autores utilizaron un número limitado de

muestras, siendo de 10, 21 y 40 respectivamente, en comparación con los 66 datos empleados en este caso.

En la Figura 3.4 se muestra la comparación entre el CFPP experimental y el calculado usando el modelo propuesto para los 66 datos de biodiésel. Asimismo, se indica la incertidumbre de las determinaciones experimentales y calculadas de acuerdo con el procedimiento descrito en la sección 2.5.

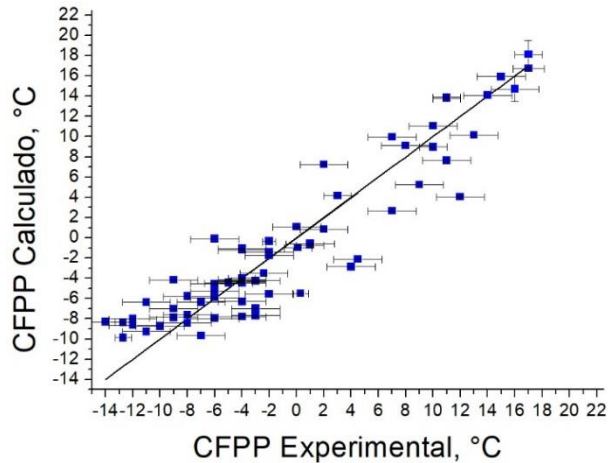


Figura 3.4. Resultados de CFPP calculados (Ec. 58) vs datos experimentales (Tabla A1).

3.2.2 Propuesta de modelo predictivo para punto de nube

El comportamiento de la temperatura de CP se observó similar al que ofrecía el del CFPP al incrementar el contenido de los saturados, por lo que se planteó una Ecuación similar:

$$CP = 0.5[1.2(SAT_{C6:0-C15:0})^{0.001} + SAT_{C16:0-C18:0} + 1.5E - 7(SAT_{C20:0-C24:0})^{11.3}] - 8 \quad (59)$$

Al realizar el análisis estadístico, mostrado en la Tabla 3.4, los valores de RMSE y R^2 para la Ecuación 59, resultaron con un mejor ajuste en comparación de los modelos de Sarin *et al.* [41], Agarwal *et al.* [42], y Dario *et al.* [35] quienes usaron 21, 10 y 30 muestras respectivamente, reportando originalmente un R^2 de 0.963 (Sarin *et al.* [41]) y 0.8913 (Agarwal *et al.* [42]). Esta mejora es atribuida a que en este trabajo se utilizó un mayor número de datos provenientes de

diferentes materias primas para desarrollar el modelo propuesto, con la intención de que el modelo tenga un margen de aplicabilidad mayor.

Por otro lado, se realizó la reoptimización de los parámetros de las ecuaciones 7-9. Los resultados presentados en la Tabla 3.4 indican que el modelo propuesto en esta investigación presenta mejor desempeño en comparación de los modelos de la literatura comparados.

Tabla 3.4. Comparación de errores obtenidos con el modelo propuesto y con los modelos tomados de la literatura para calcular el CP del biodiésel.

Error	Método propuesto	Sarin <i>et al.</i> [41]	Agarwal <i>et al.</i> [42]	Alviso <i>et al.</i> [35]
RMSE	2.9555	5.2924	9.5807	4.7976
RMSE Reoptimizado		5.2858	4.4917	4.7534
R ²	0.8327	0.4649	-0.7580	0.4749
R ² Reoptimizado		0.4635	0.6136	0.5672

Los resultados del cálculo de CP de los 65 datos de biodiésel al usar la Ecuación 59 se muestran en la gráfica de la Figura 3.5 incluyendo con sus respectivas incertidumbres.

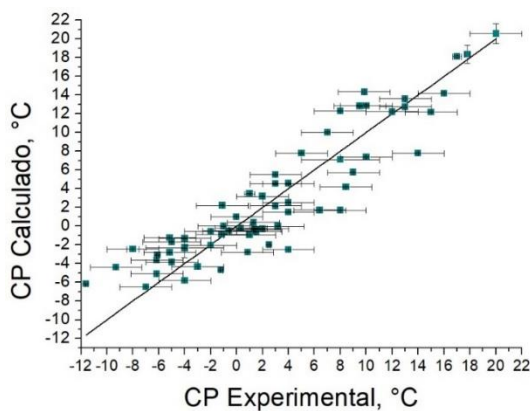


Figura 3.5. Resultados de CP calculados (Ec. 59) vs datos experimentales (Tabla A2).

3.2.3 Propuesta de modelo para punto de escurrimiento

Considerando que la composición de los saturados indicó un comportamiento similar en PP en comparación con las otras propiedades de flujo en frío previamente evaluadas, se propuso la Ecuación 60 para la estimación de PP:

$$PP = 0.52[0.03(SAT_{C6:0-C15:0}) + SAT_{C16:0-C18:0} + 0.58(SAT_{C20:0-C24:0})^{2.32}] - 12.92 \quad (60)$$

Al realizar el análisis estadístico, mostrado en la Tabla 3.5, se encontró que los valores de RMSE y R² obtenidos para la Ecuación 60, indican una mejor capacidad predictiva, en comparación con los modelos de Sarin *et al.* [41], Agarwal *et al.*[42], y Alviso *et al.* [35]. El mejor ajuste obtenido respecto a los otros modelos puede atribuirse a la gran variedad de datos de biodiésel usados para este estudio, provenientes de diversas materias primas, ofreciendo de esta manera un modelo más general, mientras que los modelos reportados de Sarin *et al.* [41] y Agarwal *et al.* [42] realizaron su estudio con menor número de datos, quienes usaron 21 y 10 muestras, reportando R² de 0.863 y 0.9809, respectivamente.

Por otra parte, se realizó la reoptimización de parámetros de las ecuaciones 10-12 cuyos resultados se presentan también en la Tabla 3.5. Como puede apreciarse, el modelo propuesto para PP es más preciso que los modelos reoptimizados con los cuales se está comparando.

Tabla 3.5. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de PP del biodiésel.

Error	Método propuesto	SARIN <i>et al.</i> [41]	AGARWAL <i>et al.</i> [42]	Alviso <i>et al.</i> [35]
RMSE	4.52	6.91	9.07	6.09
RMSE reoptimizado		6.2	5.56	5.76
R ²	0.68	0.27	-0.25	0.43

Error	Método propuesto	SARIN <i>et al.</i> [41]	AGARWAL <i>et al.</i> [42]	Alviso <i>et al.</i> [35]
R ² Reoptimizado		0.41	0.52	0.49

Por otra parte, al comparar la calidad del ajuste de los modelos propuestos para las tres propiedades de flujo en frío, se puede apreciar que el R² obtenido es menor para el PP que los valores obtenidos para las ecuaciones propuestas para CFPP y CP. Esto puede ser atribuido a que la determinación experimental del PP tiene una incertidumbre más alta, siendo ésta de 3 °C.

En la Figura 3.6 se observa la gráfica de paridad obtenida para la Ecuación 60.

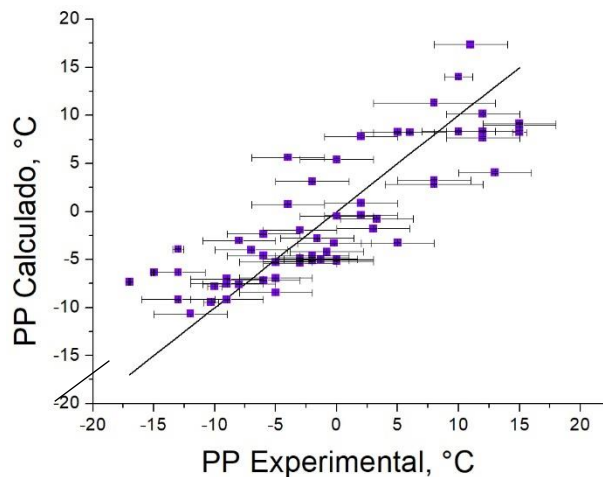


Figura 3.6. Resultados de PP calculados (Ec. 60) vs datos experimentales (Tabla A3).

3.2.4 Propuesta de modelo predictivo para estimar viscosidad

Para el desarrollo del modelo predictivo de viscosidad, también se consideró una amplia variedad de tipos de biodiésel, entre los que se seleccionaron materias primas vegetales y grasas, incluyendo coco, girasol, soya, colza, aceite de cocina usado, entre otros, con lo cual se obtuvo la siguiente Ecuación propuesta:

$$\mu = 1.013 - 0.09(C10:0 + C12:0)^{0.623} - 0.0006(C14:0) + 2.9(C16:0 + C18:0)^{0.042} + 0.125(C16:1) - 0.0015(C18:2 + C18:3)^{1.2} \quad (61)$$

La concordancia obtenida con la Ecuación 61, que incluye términos que consideran FAMEs saturados e insaturados, reportó los siguientes parámetros estadísticos: $R^2=0.8200$ y $RMSE=0.1595$. En este caso, se obtuvieron resultados similares y ligeramente mejores a partir de la Ecuación de Barradas *et al.* [43] reoptimizada, obteniendo un $R^2=0.8254$ y $RMSE=0.1571$, como se observa en la Tabla 3.6, por lo cual, para decidir en este caso cuál de los dos modelos utilizar para la definición del índice de calidad, se consideró la calidad de la predicción de esta propiedad mediante la comparación de los resultados de la validación de ambos modelos, recordando que para el proceso de validación de las ecuaciones se usaron datos no considerados para el paso de la reoptimización. Este resultado fue más favorable para el modelo propuesto en este trabajo, obteniendo un R^2 de 0.88 y un R^2 de 0.69 para barradas *et al.* [43], por lo que se optó por utilizarse la Ecuación propuesta en los cálculos subsecuentes.

Tabla 3.6. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de viscosidad del biodiésel.

Error	Método propuesto	Agarwal <i>et al</i> [42]	Alviso <i>et al.</i> [35]	Barradas <i>et al.</i> [43]
RMSE	0.1595	1.9019	0.7983	2.3681
RMSE Reoptimizado		0.1698	0.2262	0.1571
R^2	0.8200	-18.7246	-2.4748	-18.7246
R^2 Reoptimizado		0.7959	0.6380	0.8254

En la Figura 3.7 se presenta el gráfico de paridad de los resultados de la Ecuación 61 y los valores experimentales de la Tabla A4 con sus respectivas incertidumbres experimentales y calculadas.

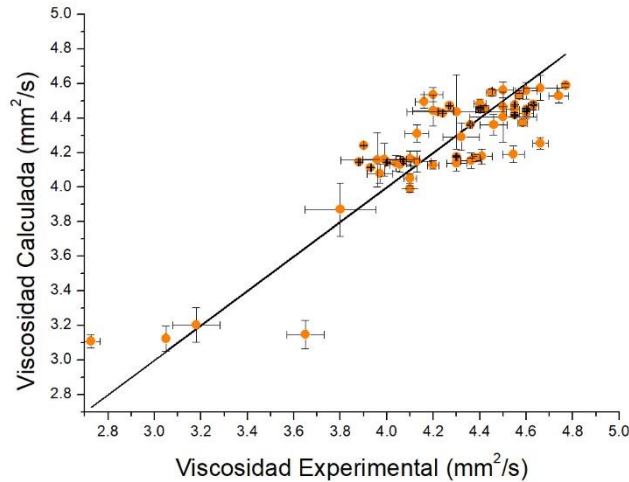


Figura 3.7. Resultados de μ calculados (Ec. 61) vs datos experimentales (Tabla A4).

3.2.5 Propuesta de modelo predictivo para estimar densidad

Para la propuesta de modelo predictivo de densidad, se utilizaron 60 datos experimentales de diferentes orígenes, los cuales se encuentran listados en la Tabla A5. Se consideraron en su mayoría muestras de biodiésel de colza, soya, canola y jatropha, las cuales son ricas en FAMES insaturados C18:2 y C18:3, mientras que también se consideró biodiésel de coco, caracterizado por tener abundancia de FAMES saturados de cadena corta C12:0, C14:0 y C16:0, así como otras materias primas que proporcionan una amplia variedad al modelo, obteniéndose la Ecuación 62:

$$\rho = 882.49 - 0.112(C12:0 + C14:0) - 0.0886(C16:0) - 0.356(C18:0) + 0.23(C16:1) + (0.0046(C18:2))^{1.65} + 0.189(C18:3) \quad (62)$$

Los resultados del análisis estadístico se resumen en la Tabla 3.7. Se obtuvo un valor de $R^2=0.7672$ junto con un RMSE muy pequeño de 0.0023, lo que por un lado indica una muy buena correlación, sin embargo, este valor también depende de la magnitud del valor de la propiedad, que en este caso tiene valores menores a la unidad por las unidades empleadas. Por otra parte, las ecuaciones originales de Ramírez [27], Giakoumis *et al.* [44] y Pratas *et al.* [29] generaron resultados alejados a los valores experimentales. Por otra parte, el modelo de Giakoumis *et al.* [44] reoptimizado arrojó valores similares a los del modelo propuesto. Dado que estos resultados son muy cercanos, se procedió a comparar los resultados del proceso de validación, en donde el

R^2 de la Ecuación propuesta fue de 0.94, mientras que del modelo de Giakoumis *et al.* [44] arrojó un R^2 de 0.81, por lo que, acorde a estos datos, se optó por utilizarse la Ecuación propuesta en los cálculos subsecuentes.

Tabla 3.7. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de densidad del biodiésel.

Error	Método propuesto	Ramírez [27]	Giakoumis <i>et al.</i> [44]	Pratas <i>et al.</i> [29]
RMSE	0.0023	0.0026	0.0079	0.0056
RMSE Reoptimizado		0.0025	0.0023	0.0039
R^2	0.7672	0.7025	-1.6162	-0.3120
R^2 Reoptimizado		0.7153	0.7636	0.4784

La Figura 3.8 muestra el gráfico de paridad de los valores de densidad calculados usando la Ecuación 62, versus los 60 datos experimentales de la Tabla A5.

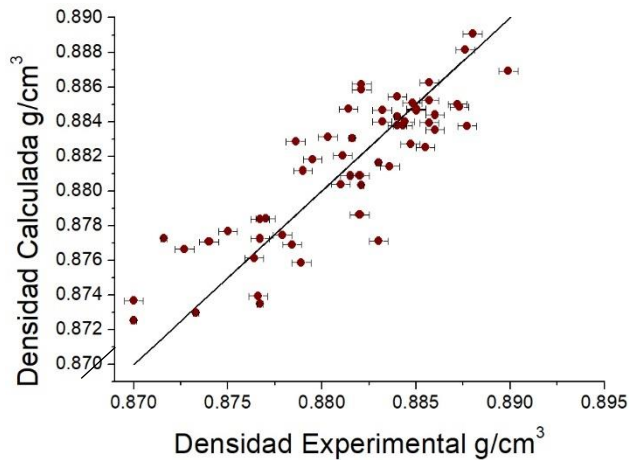


Figura 3.8. Resultados de densidad calculada (Ec. 62) vs datos experimentales (Tabla A5).

3.2.6 Propuesta de modelo predictivo para número de cetano

Los FAMES saturados tienden a contribuir a un aumento del NC, mientras que los FAMES insaturados tienden a contribuir a una disminución del NC previsto. Este hecho es reproducido de manera general por la Ecuación 63, propuesta en este trabajo:

$$NC = 65.85 + 0.161(C12:0) - 0.177(C14:0) + [(0.000345(C16:0 + C18:0))^{2.461} + 2.427_{C16:1} - (5.235(C18:2 + C18:3))^{0.257}] \quad (63)$$

Esta dependencia ha sido propuesta de manera similar por Alviso *et al.* [35], Piloto Rodríguez [45], Bamgboye *et al.* [46] y Giakoumis *et al.* [44].

En la Tabla 3.8 se resumen los resultados estadísticos de la Ecuación 63 comparados con modelos de la literatura.

Tabla 3.8. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de NC del biodiésel.

Error	Modelo propuesto NC	Alviso <i>et al.</i> [35]	Ramírez Verduzco <i>et al.</i> [47]	Piloto <i>et al.</i> [45]	Bamgboye <i>et al.</i> [46]	Giakoumis <i>et al.</i> [44]
RMSE	2.4157	3.9419	5.1902	5.1358	5.1020	3.6897
RMSE Optimizado		2.8081	2.9009	2.4124	2.5537	2.4175
R ²	0.7769	0.4059	-0.03	-0.008	0.0047	0.4795
R ² Optimizado		0.6985	0.6782	0.7775	0.7506	0.7765

El R² resultante fue de 0.7769. Por otro lado, aunque en sus trabajos originales, Piloto Rodríguez [45], Bamgboye *et al.* [46] y Giakoumis *et al.* [44]. reportaron valores de R² mayores a los obtenidos en este trabajo para sus modelos de NC, es importante considerar que en esos trabajos, los autores utilizaron un número limitado de muestras de biodiésel, 48, 9, 45

respectivamente, mientras que en este trabajo se utilizaron 60 datos de biodiésel con amplios rangos de composición de FAMEs. Por otra parte, los modelos de Piloto *et al.* [45] y Giakoumis *et al.* [44] con sus parámetros reoptimizado arrojaron resultados muy similares al del modelo propuesto en este trabajo.

Adicionalmente, dado que estos resultados son muy cercanos, se procedió a comparar los resultados del proceso de validación, en donde el R^2 de la Ecuación propuesta fue de 0.95, mientras que del modelo de Piloto *et al.* [45] arrojó un R^2 de 0.84, por lo que, acorde a estos datos, se optó por utilizarse la Ecuación propuesta en los cálculos subsecuentes.

En la Figura 3.9 se presenta la gráfica de paridad para la propiedad de NC calculada con la Ecuación 63 contra los valores experimentales de los datos de biodiésel.

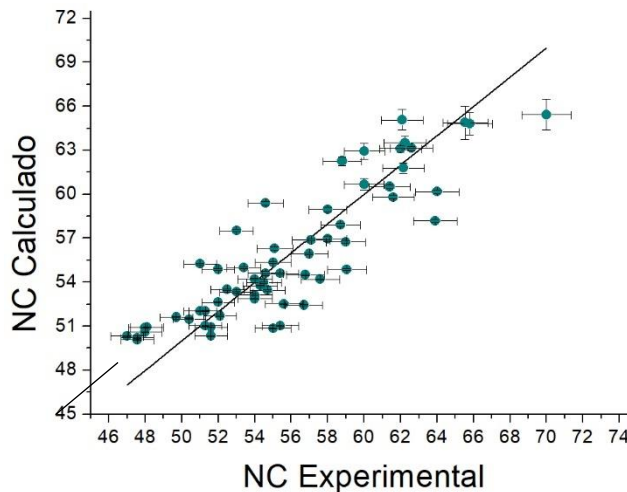


Figura 3.9. Resultados de NC calculado (Ec. 63) vs datos experimentales (Tabla A6).

3.2.7 Propuesta de modelo predictivo para punto de inflamación

Se identificó que el FP está fuertemente correlacionado con la cantidad total de saturados, así que, para expresar esta dependencia, se probaron diferentes funciones matemáticas logarítmicas y exponenciales, obteniendo los mejores resultados con la siguiente Ecuación:

$$FP = 0.0067(\Sigma SAT)^{2.034} - 1.061(\Sigma SAT)^{1.11} + 147.417(\Sigma SAT)^{0.069} + 10.314(\Sigma PI)^{0.082} - 0.474 \quad (64)$$

Al realizarse la evaluación estadística, presentada en la Tabla 3.9, se encontró que el RMSE de la Ecuación 64 es de 7.92, siendo el valor más bajo entre los modelos con los que se comparó.

Tabla 3.9. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de FP del biodiésel.

Error	Modelo FP propuesto	Alviso <i>et al.</i> [35]	Agarwal <i>et al.</i> [42]	Yung <i>et al.</i> [48]	Pinzi <i>et al.</i> [50]	Carareto <i>et al.</i> [49]
RMSE	7.9220	23.8168	33.2826	23.3934	476.7204	11.2098
RMSE Reoptimizado	-	20.3157	7.9483	11.8972	9.4938	8.8558
R ²	0.8580	-0.2836	-1.5066	-0.2383	-513.25	0.7157
R ² Reoptimizado	-	0.0661	0.8570	0.6797	0.7960	0.8225

Adicionalmente, a pesar de que originalmente los modelos de Pinzi *et al.* [50] y Carareto *et al.* [49], basados en el número de carbonos y el número de insaturaciones del biodiésel, reportaron valores de R² de 0.9594 y 0.9753 respectivamente usando 12 y 18 muestras, en esta evaluación, al reoptimizar sus ecuaciones con un mayor número de muestras, sus resultados no alcanzan el R² del modelo propuesto para FP de 0.8580, siendo el modelo de Agarwal *et al.* [42] reoptimizado el que presenta un alto ajuste a comparación de los otros autores con un R² de 0.8570. Sin embargo, el modelo propuesto en este trabajo supera ligeramente el R² de Agarwal *et al.* [42] reoptimizado.

Nuevamente, dado que estos resultados son muy cercanos, se procedió a comparar los resultados del proceso de validación, en donde el R² de la Ecuación propuesta fue de 0.56, mientras que del modelo de Agarwal *et al.*[42] arrojó un R² de 0.37, por lo que, acorde a estos datos, se optó por utilizarse la Ecuación propuesta en los cálculos subsecuentes.

En la Figura 3.10, se presenta la gráfica de paridad de los resultados de Ecuación 64 y los valores experimentales de la Tabla A7 con sus respectivas incertidumbres experimentales conforme lo

indicado en el método analítico o la que el autor reportaba y las incertidumbres calculadas conforme a lo descrito en la sección 1.10, las cuales resultaron, en su mayoría, menores a 1°C.

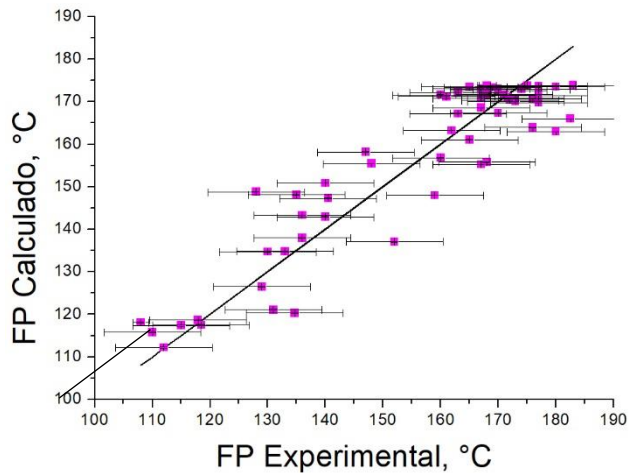


Figura 3.10. Resultados de FP calculado (ec. 64) vs datos experimentales (Tabla A7).

3.2.8 Propuesta de modelo predictivo para estabilidad a la oxidación

Se encontró que la estabilidad a la oxidación disminuye con el aumento del contenido total de C18:2 y C18:3. La correlación que se propone entre la estabilidad a la oxidación y el contenido de estos FAMEs es la siguiente:

$$OS = 3.38(C18:2 + C18:3)^{1.08} - 5.038(C18:2 + C18:3) + 22.21 \quad (65)$$

En la Tabla 3.10 se presentan los resultados de la comparación de R^2 y RMSE para la Ecuación 65, obteniendo un R^2 de 0.8707 y un RMSE de 1.88, superando los valores estadísticos de las ecuaciones reoptimizadas para los modelos de los otros autores.

Cabe resaltar que en los modelos originales de Escobar [39] y Serrano *et al.* [51] se reportaron R^2 de 0.91 y 0.9843 respectivamente. Sin embargo, al aplicar las ecuaciones reportadas por estos autores, los valores estadísticos resultaron deficientes.

Tabla 3.10. Comparación ajustes obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de OS del biodiésel.

Error	Modelo propuesto	Escobar [39]	Serrano <i>et al.</i> [51]	Park <i>et al.</i> [40]
RMSE	1.88	4.6135	5.2516	6.2840
RMSE Optimizado	-	2.0164	2.6130	3.2037
R ²	0.8707	0.2290	0.0009	-0.4305
R ² Optimizado	-	0.8527	0.7527	0.6282

En la Figura 3.11 se presenta la gráfica de paridad de la OS calculada con la Ecuación 65 contra los valores experimentales, con sus respectivas incertidumbres calculadas y experimentales.

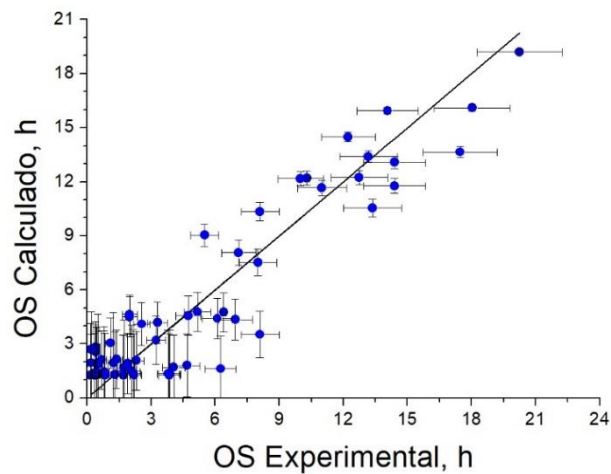


Figura 3.11. Resultados de OS calculada (ec. 65) vs datos experimentales (Tabla A8).

3.2.9 Propuesta de modelo predictivo para calor de combustión

A partir del conjunto de datos de la Tabla A9, se adoptó un enfoque de modelo de regresión para determinar la correlación de los FAMEs para la estimación de HHV, proponiéndose la Ecuación 66:

$$\text{HHV} = 39,306.721 - 111.715(\text{C14:0}) + 0.8022(\text{C12:0} + \text{C16:0} + \text{C18:0})^{1.708} + 145.3868(\text{C16:1}) + 3.8196(\text{C18:1}) + 0.0013(\text{C18:2} + \text{C18:3})^{3.088} \quad (66)$$

La concentración de C14:0 disminuye el HHV, mientras que C12:0, C16:0 y C18:0 lo aumentan. Por otro lado, se encontró que la contribución de C16:1 es grande sobre todo por biodiésel a base de sebo o grasas.

En la Tabla 3.11 se presentan los resultados de la evaluación estadística para la Ecuación 59. Se encontró que el R^2 para este modelo es de 0.5612. Un modelo con un enfoque similar es el reportado por Giakoumis *et al.* [44] con un R^2 de 0.5052 obtenido al usar los parámetros originalmente reportados por el autor y obtenidos usando 23 muestras. Después de reoptimizar los parámetros del mismo, el R^2 de Giakoumis *et al.* [44] incrementa a 0.5486 siendo aún menor que el obtenido por el modelo propuesto en este trabajo.

Tabla 3.11. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de HHV del biodiésel.

Error	Método propuesto	Giakoumis <i>et al.</i> [44]	Fassinou [52]	Ramírez <i>et al.</i> [47]
RMSE	0.4319	14.2862	0.6273	3.6961
RMSE Reoptimizado		0.4381	0.4971	0.4980
R^2	0.5612	-479.0702	0.0743	-31.1345
R^2 Reoptimizado		0.5486	0.4188	0.4167

A pesar de esto, se obtuvo un R^2 relativamente bajo para la Ecuación 66. Esto puede explicarse en parte, debido a la variedad de métodos con los que se determinaron los valores experimentales usados para el desarrollo del modelo.

En la Figura 3.12 se presenta la gráfica de paridad del HHV calculado con la Ecuación 66 contra los valores experimentales, con sus respectivas incertidumbres calculadas y experimentales.

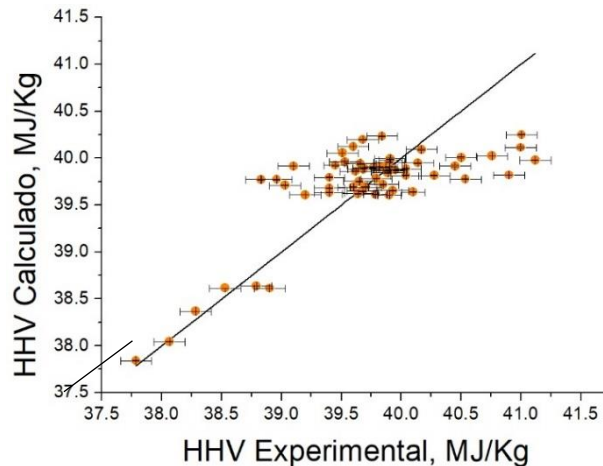


Figura 3.12. Resultados de HHV calculado (Ec. 66) vs datos experimentales (Tabla A9).

3.2.10 Propuesta de modelo para predecir índice de yodo

Diferentes investigadores han demostrado que el IV aumenta con el valor de los compuestos insaturados y por ello se suele considerar una medida de la insaturación total [51–53], partiendo de esta premisa, se propuso la Ecuación 67 para predecir el IV del biodiésel, en dónde los FAME insaturados contribuyen a un aumento de IV, con coeficientes crecientes para C18:1, C18:2, C18:3, C20:1 y C22:1.

$$IV = 7.12 + 0.77(C18:1) + 1.7(C18:2) + 2.2(C18:3) + 8.78(C20:1) + 0.38(C22:1) - 4.52(C24:1) \quad (67)$$

De la Ecuación propuesta, una alta correlación fue encontrada, con un $R^2=0.9451$ y $RMSE=9.1557$, superando los valores estadísticos de la Ecuación reoptimizada para los modelos

de los otros autores (Ec 37-39). Si bien, cabe destacar que aunque Gopinath *et al.* [53] (Ecuación 37) reportó un R^2 de 0.978 en su reporte original, la capacidad predictiva de su Ecuación se vuelve deficiente debido al pequeño número de datos utilizados por estos autores.

Tabla 3.12. Comparación de errores obtenidos con el método propuesto contra los métodos reportados de la literatura para el cálculo de IV del biodiésel.

Error	Método propuesto	Knothe [54]	Kyriakidis <i>et al.</i> [55]	Gopinath <i>et al.</i> [53]
RMSE	9.1557	16.4108	49.9431	20.2754
RMSE Reoptimizado		16.4534	36.91	18.9213
R^2	0.9457	0.8224	-0.6453	0.7288
R^2 Reoptimizado		0.8228	0.1082	0.7656

La Figura 3.13 presenta la gráfica de paridad de IV calculado con la Ecuación 67 contra los valores experimentales, con sus respectivas incertidumbres calculadas y experimentales, las cuales son menores a 1 g I₂/100 g por lo que prácticamente no se aprecian en la figura.

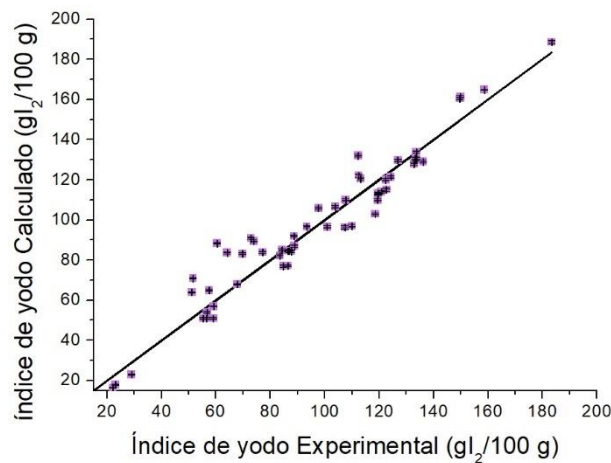


Figura 3.13. Resultados de IV calculada (Ec. 67) vs datos experimentales (Tabla A10).

3.3 Validación de los modelos

Con la finalidad de conocer la precisión de los modelos, pasos adicionales fueron realizados para demostrar la capacidad predictiva de las ecuaciones propuestas. Estos modelos fueron validados y comparados con datos experimentales y los modelos de la literatura reoptimizados. Es importante mencionar que los valores empleados para la validación, no fueron incluidos en la base de datos para el desarrollo de las ecuaciones. Los resultados se encuentran indicados en la Tabla 3.13, reportándose RMSE y R^2 . Los valores de R^2 se encuentran ordenados de mayor a menor en orden descendente.

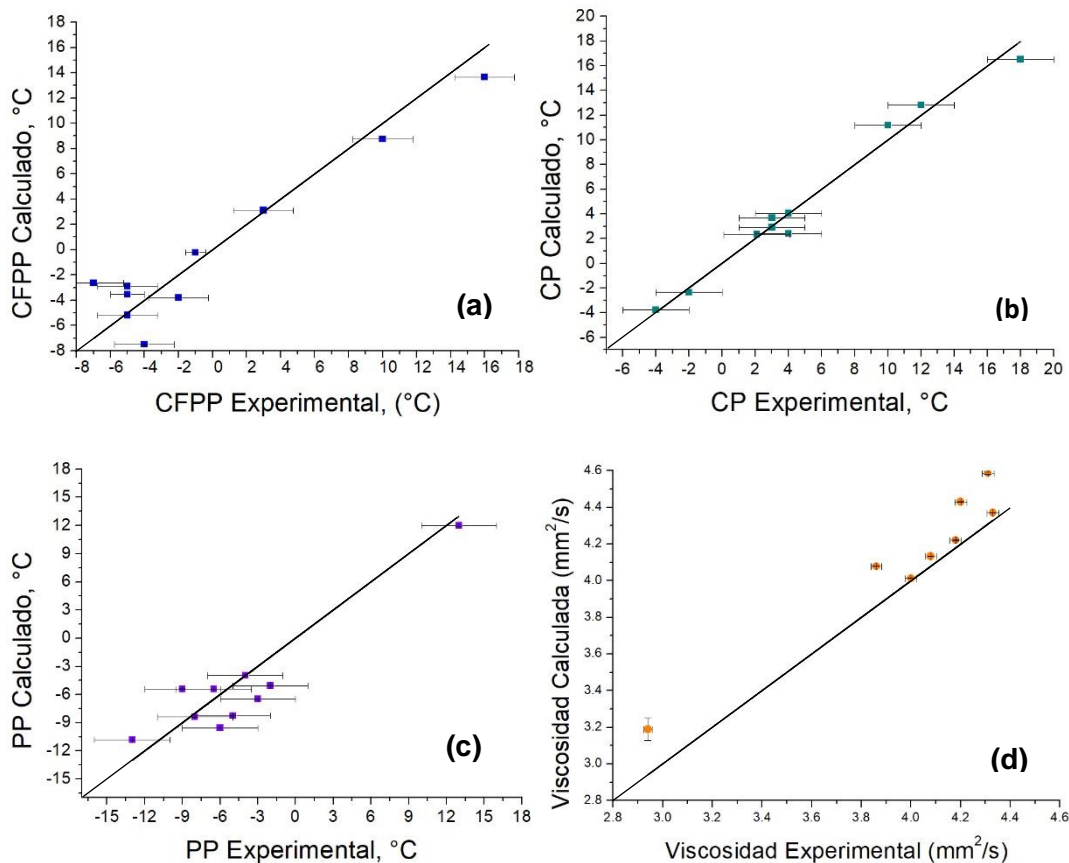
Tabla 3.13. Resultados de validación de ecuaciones propuestas (58-67) contra los métodos reportados de la literatura (reoptimizados).

Propiedad	Ecuación	RMSE	R^2
CFPP	Ecuación 58 (modelo propuesto)	2.21	0.90
	Ec 6.(Park <i>et al.</i> [40])	2.40	0.88
	Ec. 3 (Sarin <i>et al.</i> [38])	2.70	0.85
	Ec. 5 (Alviso <i>et al.</i> [35])	3.05	0.81
	Ec. 4 (Escobar <i>et al.</i> [39])	3.61	0.74
	Ec. 2 (Ramos <i>et al.</i> [36])	4.77	0.55
CP	Ecuación 59 (modelo propuesto)	0.86	0.98
	Ec. 7 (Sarin <i>et al.</i> [41])	2.91	0.78
	Ec. 9 (Alviso <i>et al.</i> [35])	4.63	0.69
	Ec. 8 (Agarwal <i>et al.</i> [42])	8.38	-7.27
PP	Ecuación 60 (modelo propuesto)	2.54	0.84
	Ec. 10 (Sarin <i>et al.</i> [41])	2.81	0.81
	Ec. 12 (Alviso <i>et al.</i> [35])	6.88	-0.11
	Ec. 11 (Agarwal <i>et al.</i> [42])	7.42	-0.29
Viscosidad	Ec. 61 (modelo propuesto)	0.14	0.88
	Ec. 14(Agarwal <i>et al.</i> [42])	0.16	0.85
	Ec 15. (Barradas <i>et al.</i> [43])	0.23	0.69
	Ec. 13 (Alviso <i>et al.</i> [35])	0.23	0.68

Propiedad	Ecuación	RMSE	R ²
Densidad	Ecuación 62 (modelo propuesto)	0.0011	0.94
	Ec. 16 (Ramírez Verduzco <i>et al.</i> [27])	0.0013	0.91
	Ec. 18 (Giakoumis <i>et al.</i> [44])	0.0020	0.81
	Ec. 17 (Pratas <i>et al.</i> [29])	0.0023	0.74
NC	Ecuación 63 (modelo propuesto)	0.53	0.95
	Ec. 20 (Piloto <i>et al.</i> [45])	1.04	0.84
	Ec. 21 (Bamgboye <i>et al.</i> [46])	1.15	0.81
	Ec. 22 (Giakoumis <i>et al.</i> [44])	1.15	0.81
	Ec. 23 (Ramírez Verduzco <i>et al.</i> [47])	1.31	0.75
	Ec. 19 (Alviso <i>et al.</i> [35])	1.99	0.44
FP	Ecuación 64 (modelo propuesto)	3.48	0.56
	Ec. 27 (Carareto <i>et al.</i> [49])	4.19	0.37
	Ec. 25 (Agarwal <i>et al.</i> [42])	4.93	0.13
	Ec. 30 (Pinzi <i>et al.</i> [50])	6.69	-0.58
	Ec. 26 (Su <i>et al.</i> [48])	7.89	-1.20
	Ec. 24 (Alviso <i>et al.</i> [35])	11.48	-3.67
OS	Ecuación 65 (modelo propuesto)	1.22	0.88
	Ec. 33 (Escobar [39])	1.59	0.80
	Ec. 32 (Serrano <i>et al.</i> [29])	1.76	0.76
	Ec. 31 (Park <i>et al.</i> [40])	2.07	0.67
HHV	Ecuación 66 (modelo propuesto)	0.41	0.79
	Ec. 36 (Giakoumis <i>et al.</i> [44])	0.44	0.76
	Ec. 35 (Ramírez Verduzco <i>et al.</i> [47])	0.46	0.74
	Ec. 34 (Fassinou [52])	0.48	0.72
IV	Ec. 67(modelo propuesto)	10.87	0.82
	Ec. 38 (Knothe[54])	10.46	0.82
	Ec. 37 (Gopinath <i>et al.</i> [53])	12.11	0.77
	Ec 39. (Kyriakidis <i>et al.</i> [55])	28.21	-0.24

Los coeficientes de determinación de las ecuaciones propuestas mostraron un alto grado de precisión para las propiedades de CP $R^2=0.98$, NC = 0.95, ρ $R^2=0.94$, CFPP $R^2= 0.90$, OS $R^2=0.88$, μ con un $R^2=0.88$, PP $R^2=0.84$, y con un grado menor de ajuste para los casos de IV con un R^2 de 0.82, HHV con un $R^2= 0.79$ y FP $R^2=0.56$. Sin embargo, estos resultados superan o igualan a los obtenidos por los modelos de diferentes autores empleando los mismos datos, sugiriendo que la capacidad predictiva de los modelos propuestos es mayor que la de los modelos de literatura comparados.

Adicionalmente, en la Figura 3.14 se presentan las gráficas de paridad de los resultados de la validación de las ecuaciones propuestas, encontrándose que los datos se encuentran dentro de rangos aceptables, cercanos a la línea de 45°.



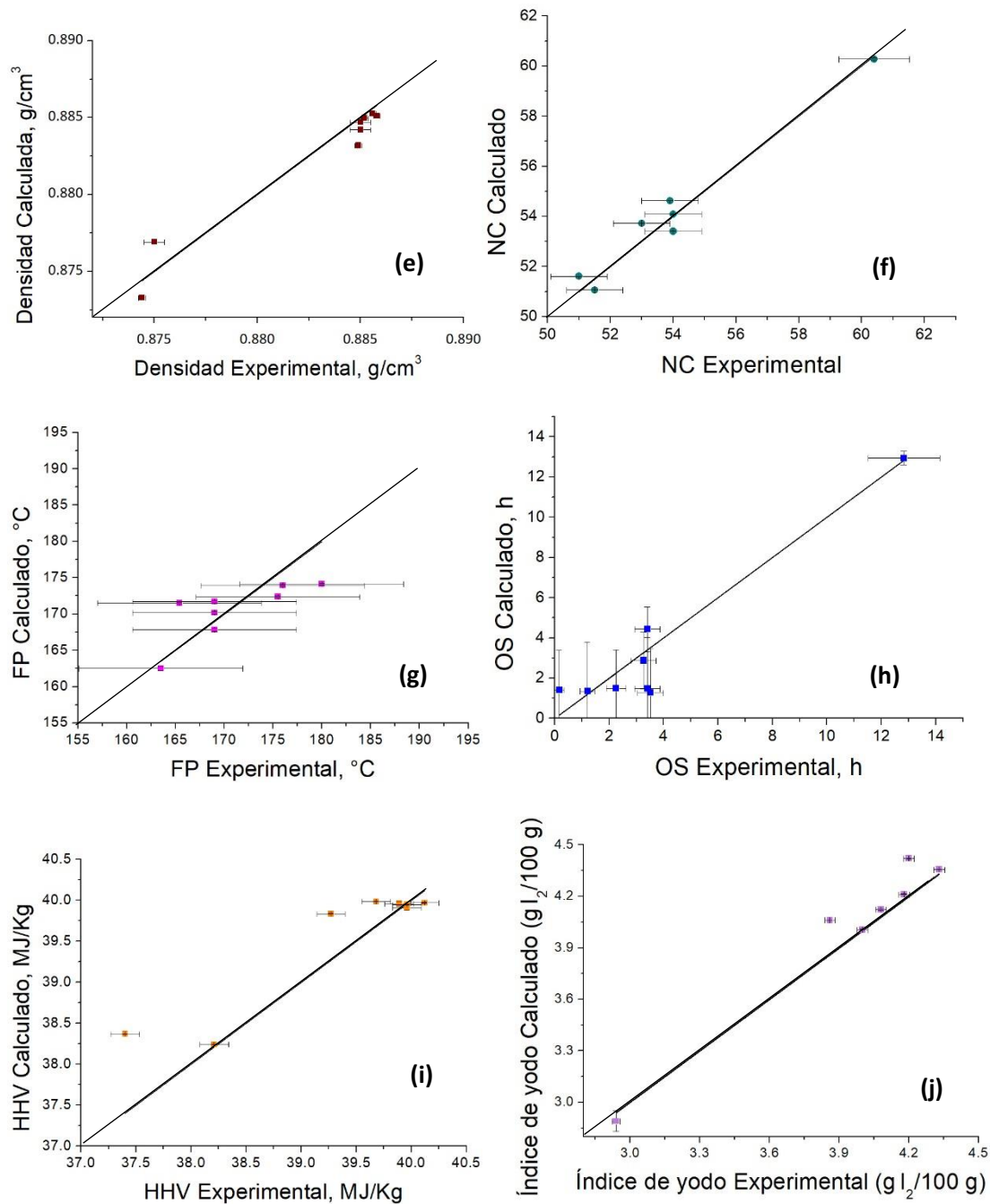


Figura 3.14. Gráficas de validación de modelos propuestos para 10 datos adicionales: (a) CFPP, (b) CP, (c) PP, (d), μ , (e) ρ , (f) NC, (g) FP, (h) OS (i) HHV y (j) IV.

Los resultados de la validación confirman la aplicabilidad de los modelos desarrollados con buenos niveles de precisión.

3.3.1 Índice general de la calidad del biodiésel

El complementar la base de datos con los resultados de los ec. 58-67 en los datos de biodiésel sin determinación experimental, como se detalló en la sección 2.7, dio lugar a la clasificación de los datos de biodiésel indicado en la misma sección. En donde, el biodiésel se clasifica en tres grupos de calidad: buena, regular y baja.

Como resultado de esta clasificación, se puede inferir que los datos de biodiésel de origen vegetal de babassu, *Brassica Carinata*, canola, colza, oliva, moringa, pongamia y sésamo presentan una concentración alta en MI, lo cual hace que estos datos de biodiésel sean clasificados de buena calidad.

Por otra parte, datos de biodiésel de otros orígenes como es el caso de los no comestibles, incluyendo *Jatropha*, mahua, sebos y grasas, y aquellos de origen comestible como la palma, que presentan una composición de FAME baja en PI, pero con una proporción similar entre MI y SAT presentan una calidad media, porque la elevada concentración de especies saturadas afecta principalmente sus propiedades de flujo en frío. Como ejemplo está el biodiésel de palma [83], cuya composición es 12.2 para PI, 43.4 para MI y 44.4 para SAT.

Por último, los datos de biodiésel cuyo origen presenta una composición baja tanto en MI como SAT, y una mayor proporción en PI, presentan valores de OS e IV fuera de los límites de especificación, que son propiedades fuertemente influenciados por el contenido de PI, por lo que se clasificaron como de baja calidad. Entre estos se encuentran los provenientes de cártamo, girasol, lino, maíz, semilla de caucho y el proveniente de la soya. Se observó que, de manera general, un biodiésel que se encuentra en esta clasificación, no cumple los parámetros de OS e IV, pero en general sí cumple con las otras 5 propiedades consideradas.

De acuerdo con lo anterior, se propuso el siguiente modelo matemático para describir la calidad general del biodiésel:

$$\text{Índice de calidad} = 0.075(MI)^{0.85} + 3.2e - 6(SAT)^3 \quad (68)$$

El resultado estadístico de la Ecuación 68 para los 348 datos de biodiésel arrojó un RMSE=0.422 y $R^2=0.7304$. El resultado numérico de la Ecuación anterior es ajustado a una escala de 1 a 3, redondeando al número entero más cercano.

La aplicabilidad de esta Ecuación se distingue en que a través del número resultante se puede estimar si las propiedades del biocombustible se encuentran dentro de los límites de especificación, como se resume en la Tabla 3.14. Debe recordarse que, de las 10 propiedades estudiadas en este trabajo, solo 7 tienen límites de especificación de acuerdo a las normas internacionalmente aceptadas, incluyendo al CFPP para el cual se tomó el valor de 0 °C como valor máximo de referencia.

Tabla 3.14. Interpretación de los resultados para la Ecuación 68, considerando un máximo de 7 propiedades evaluadas.

Resultado (redondeado al entero más próximo)	Calidad	Número aproximado de propiedades que el biodiésel podría cumplir
≤1	Baja	5
2	Regular	6
≥3	Bueno	7

Conforme a la Tabla 3.14, la interpretación del resultado sería la siguiente:

Partiendo de la composición de un biodiésel de *Jatropha* [74] como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.15. Composición biodiésel de *Jatropha*.

FAME	Composición (% p/p)
C16:0	13.70
C18:0	5.68
C18:1	38.98
C18:2	41.31
C18:3	0.3

Se obtiene un total de 38.98% para MI y 19.38% para saturados totales, por lo que al sustituir en la Ec. 68 se obtiene:

$$\text{Índice de calidad} = 0.075(38.98)^{0.85} + 3.2e - 6(19.39)^3 = 1.71 \sim 2 \quad (69)$$

El resultado de la Ecuación 69 es de 1.71, resultado que es redondeado a 2. Esto nos indica, de acuerdo a la escala de la Tabla 3.14, que este biodiésel tiene una calidad media o regular, y que probablemente incumple con los límites de una de las siete propiedades especificadas en la Tabla 2.3.

Para este caso, y de acuerdo con los valores reportados para este biodiésel de *Jatropha* [74] en las tablas A1-A10, se corrobora que este biodiésel incumple con el límite especificado para OS, teniendo un valor de 1.4 h, cuyo mínimo es de 3.0 h como se indica en la Tabla 2.3, por otra parte, cumple con el resto de los criterios considerados, con un total de 6 propiedades, el cual lo clasifica en un biodiésel de calidad regular, confirmando el resultado de la Ec. 69.

De esta manera, con los 348 datos de biodiésel, se identificó que 82 de estos se encuentran en la clasificación de buena calidad, de los cuales se identificaron 72 resultados calculados con la Ec. 68 de manera correcta. Siendo que, en esta clasificación, la Ecuación logra predecir con un 87.8% de acierto.

En el caso de los datos de biodiésel de calidad regular, se identificaron 145 de calidad regular, los cuales el modelo calculó 104 de manera correcta, teniendo un 71.7% de capacidad predictiva.

Por último, 121 son los datos de biodiésel clasificados como calidad baja, de los cuales 114 son los que estimo de manera adecuada, prediciendo un 94.2% de manera correcta.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se proponen diez correlaciones para estimar diferentes propiedades del biodiésel (CFPP, CP, PP, μ , ρ , NC, FP, OS, HHV e IV) a partir de la composición de FAMEs, y se compararon con modelos reportados en la literatura altamente referenciados. Los modelos predictivos fueron desarrollados empleando al menos 60 datos experimentales reportados en la literatura para cada propiedad. Estos datos fueron obtenidos a partir de una amplia variedad de materias primas, por lo que se espera que estos modelos tengan una aplicabilidad flexible, independientemente del origen del biodiésel. Además, solo se emplearon datos experimentales reportados por los autores que los midieron, y que reportaron también el método usado para su determinación.

Las propiedades del biodiésel están determinadas por la composición de sus FAMEs, y algunas propiedades son más influenciadas por ciertos grupos de FAMEs, por ejemplo, las siguientes tendencias se observaron: una alta concentración de saturados en el biodiésel afecta negativamente en el desempeño de las propiedades de flujo en frío (CFPP, CP, PP) e implica un bajo FP. Sin embargo, favorece una alta OS y una disminuye su IV. Por otra parte, una alta concentración de componentes insaturados resulta en un NC y un HHV menor (sobre todo a mayor cantidad de poliinsaturados), mientras que bajas concentraciones de insaturados hacen que disminuya la ρ y la μ del biodiésel.

En este trabajo la precisión de los modelos se determinó a través de los valores de R^2 y RMSE, y se determinó que los valores de R^2 fueron mayores y los valores de RMSE fueron menores para los modelos propuestos en este trabajo, para todas las propiedades, al ser comparados con los parámetros numéricos de los modelos originalmente reportados por sus autores. Por lo que, para hacer una comparación más justa con los modelos de la literatura, sus parámetros fueron reoptimizados con la misma base de datos que se usó para el desarrollo de los modelos propuestos.

De esta manera, cuando los parámetros de los modelos de la literatura fueron reoptimizados, se obtuvieron los siguientes resultados: valores de R^2 superiores para los modelos propuestos de CFPP, CP, PP, μ , OS, HHV e IV, y se obtuvieron resultados similares en el caso de ρ , CN, FP. Sin embargo, en las pruebas de validación de los modelos (donde se emplearon datos no usados para la optimización de los modelos propuestos), los modelos propuestos resultaron tener los valores más bajos para RMSE y los más altos para R^2 en comparación con los modelos

reoptimizados, excepto en el caso de IV, en donde el resultado fue similar. Estos resultados sugieren una mejor capacidad predictiva general de los modelos propuestos en este trabajo para todas las propiedades estudiadas.

No obstante, la concordancia de los modelos propuestos con los datos experimentales no es excelente, aunque supera las de los modelos disponibles en la literatura contra los cuales se compararon. Por ello, pueden usarse como una primera aproximación para estimar las propiedades en el biodiésel.

Por otra parte, se propuso una Ecuación para calcular un índice de sencilla interpretación para una rápida referencia de la calidad general del biodiésel, capaz de proporcionar información preliminar y brindar una clasificación del biodiésel acorde el resultado. Adicionalmente, cabe señalar que la propuesta del índice crea un primer acercamiento a la reducción de tiempo de análisis y por ende los costos que conllevan realizarlos.

PERSPECTIVAS

El futuro de la producción de biodiésel, principalmente a partir de plantas oleaginosas no comestibles, parece cada vez más prometedor dados los recientes avances en la aplicación de la ingeniería genética para obtener cultivos oleaginosos de alto rendimiento. También se está mejorando la composición del aceite con estas herramientas para que el biodiésel obtenido de él cumpla con los estándares de calidad. En este punto juega un papel importante el desarrollo de modelos para predecir las propiedades del biodiésel a partir de su composición de FAME, especialmente si se tiene en cuenta que una modificación genética puede resultar en una mejora de algunas propiedades del biodiésel, pero una disminución de la calidad de otras.

Por ejemplo, una mayor producción de cadenas saturadas puede mejorar el índice de cetano y la estabilidad oxidativa del biodiésel, pero provocar un aumento de su viscosidad cinemática y temperaturas más altas de sus propiedades de flujo en frío. Por ello, el problema debe abordarse con un enfoque integral, en el que el desarrollo de modelos predictivos cada vez más precisos de las propiedades del biodiésel ayude a identificar la composición más adecuada para que el biodiésel cumpla con los estándares de calidad. Por lo cual, desde una perspectiva más general, esta identificación se puede lograr con el índice propuesto, que indica la calidad de un biodiésel. Sin embargo, esta clasificación no se presenta como una limitante para el desarrollo de una nueva propuesta abarcando diferentes enfoques que encaminen a la creación de un índice más preciso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Naylor, R.L., and Higgins, M.M. (2018). The rise in global biodiesel production: Implications for food security. *Glob. Food Sec.* 16, 75–84. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2017.10.004>.
2. International Energy Agency (2021). Renewable Energy Market Update 2021. <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-2021>. Consultado: 12 abril del 2021.
3. Khan, H.M., Iqbal, T., Yasin, S., Irfan, M., Kazmi, M., Fayaz, H., Mujtaba, M.A., Ali, C.H., Kalam, M.A., Soudagar, M.E.M., *et al.* (2021). Production and utilization aspects of waste cooking oil based biodiesel in Pakistan. *Alexandria Eng. J.* 60, 5831–5849. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.043>.
4. Riegelhaupt, E., Odenthal, J., and Janeiro, L. (2016). Diagnóstico de la situación actual del biodiésel en México y escenarios para su aprovechamiento. SENER. <https://www.gob.mx/sener/documentos/diagnostico-de-la-situacion-actual-del-biodiesel-en-mexico-y-escenarios-para-su-aprovechamiento>. Consultado el 20 de Mayo del 2021.
5. Sajjadi, B., Raman, A.A.A., and Arandiyani, H. (2016). A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications and prediction models. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 63, 62–92. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.035>.
6. SENER (2018). LINEAMIENTOS por los que se establecen las especificaciones de calidad y características para etanol anhidro (bioetanol), biodiésel y bioturbosina puros https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541659&fecha=22/10/2018. Consultado: 07 de enero del 2021
7. Monirul, I.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Zulkifli, N.W.M., Rashedul, H.K., Rashed, M.M., Imdadul, H.K., and Mosarof, M.H. (2015). A comprehensive review on biodiesel cold flow properties and oxidation stability along with their improvement processes. *RSC Adv.* 5, 86631–86655.
8. Leggieri, P.A., Senra, M., and Soh, L. (2018). Cloud point and crystallization in fatty acid ethyl ester biodiesel mixtures with and without additives. *Fuel* 222, 243–249. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.100>.

9. Imahara, H., Minami, E., and Saka, S. (2006). Thermodynamic study on cloud point of biodiesel with its fatty acid composition. *Fuel* 85, 1666–1670.
10. Knothe, G. (2005). *The biodiesel handbook*. AOCS Press. Champaign, Illinois.
11. Sarin, A. (2012). *Biodiesel: production and properties* (Royal Society of Chemistry).
12. American Society for Testing and Materials (2018). ASTM D7467. Standard Specification for Diesel Fuel Oil , Biodiesel Blend (B6 to B20).
13. Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., and Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16, 143–169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>.
14. Aitbelale, R., Abala, I., M'hamdi Alaoui, F.E., Eddine, A.S., Rujas, N.M., and Aguilar, F. (2019). Characterization and determination of thermodynamic properties of waste cooking oil biodiesel: Experimental, correlation and modeling density over a wide temperature range up to 393.15 and pressure up to 140 MPa. *Fluid Phase Equilib.* 497, 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.fluid.2019.06.003>.
15. Huo, H., Wang, M., Bloyd, C., and Putsche, V. (2011). Life-cycle assessment of energy and greenhouse gas effects of soybean derived biodiesel and renewable fuels. *Biodiesel Fuels Reexamined*, 125–198.
16. Coronado, C.R., de Carvalho, J.A., and Silveira, J.L. (2009). Biodiesel CO₂ emissions: A comparison with the main fuels in the Brazilian market. *Fuel Process. Technol.* 90, 204–211. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.09.006>.
17. Yang, J., Fujiwara, T., and Geng, Q. (2017). Life cycle assessment of biodiesel fuel production from waste cooking oil in Okayama City. *J. Mater. Cycles Waste Manag.* 19, 1457–1467.
18. U.S. Department of Energy (2005). *Biodiesel-Clean, Green Diesel Fuel*. <https://afdc.energy.gov/files/pdfs/30882.pdf>. Consultado: 04 diciembre del 2020
19. Yuan, M.H., Chen, Y.H., Chen, J.H., and Luo, Y.M. (2017). Dependence of cold filter plugging point on saturated fatty acid profile of biodiesel blends derived from different feedstocks. *Fuel* 195, 59–68. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.054>.
20. Sierra-Cantor, J.F., and Guerrero-Fajardo, C.A. (2017). Methods for improving the cold flow

properties of biodiesel with high saturated fatty acids content: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 72, 774–790. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.077>.

21. Wauquier, J.P. (1995). *Crude Oil Petroleum products. Process Flowsheets* (Editions OPHRYS) <https://books.google.com.mx/books?id=9rq1Jdy3CTUC>.
22. American Society for Testing and Materials (2017). ASTM D6371 Standard Test Method for Cold Filter Plugging Point of Diesel and Heating Fuels.
23. Echim, C., Maes, J., and Greyt, W. De (2012). Improvement of cold filter plugging point of biodiesel from alternative feedstocks. *Fuel* 93, 642–648. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.11.036>.
24. American Society for Testing and Materials (2017). ASTM D2500. Standard Test Method for Cloud Point of Petroleum Products and Liquid Fuels.
25. American Society for Testing and Materials (2017). ASTM D97. Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products.
26. Dwivedi, G., and Sharma, M.P. (2013). Cold Flow Behaviour of Biodiesel-A Review. *Int. J. Renew. Energy Res.* 3, 827–836.
27. Ramírez Verduzco, L.F. (2013). Density and viscosity of biodiesel as a function of temperature: Empirical models. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 19, 652–665.
28. Freitas, S. V.D., Segovia, J.J., Carmen Martín, M., Zambrano, J., Oliveira, M.B., Lima, Á.S., and Coutinho, J.A.P. (2014). Measurement and prediction of high-pressure viscosities of biodiesel fuels. *Fuel* 122, 223–228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.01.031>.
29. Pratas, M.J., Freitas, S., Oliveira, M.B., Monteiro, S.C., Lima, A.S., and Coutinho, J.A.P. (2010). Densities and viscosities of fatty acid methyl and ethyl esters. *J. Chem. Eng. Data* 55, 3983–3990. <http://dx.doi.org/10.1021/je100042c>
30. American Society for Testing and Materials (2018). ASTM D613. Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil 1. *ASTM Int.* 14, 1–17.
31. ASTM D93 (2019). Standard Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Cup Tester.
32. Redondo-Cuevas, L., Castellano, G., Torrens, F., and Raikos, V. (2018). Revealing the relationship between vegetable oil composition and oxidative stability: A multifactorial

- approach. *J. Food Compos. Anal.* 66, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.027>.
33. ASTM D6751 (2019). Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.
 34. Caldeira, C., Freire, F., Olivetti, E.A., and Kirchain, R. (2017). Fatty acid based prediction models for biodiesel properties incorporating compositional uncertainty. *Fuel* 196, 13–20. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2017.01.074>.
 35. Alviso, D., Artana, G., and Duriez, T. (2020). Prediction of biodiesel physico-chemical properties from its fatty acid composition using genetic programming. *Fuel* 264.
 36. Ramos, M.J., Fernández, C.M., Casas, A., Rodríguez, L., and Pérez, Á. (2009). Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. *Bioresour. Technol.* 100, 261–268.
 37. Jaramillo, O.A. (2007). *Notas de Físico-Química: Estados de la Materia; Líquidos*. <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Liquid3/liquid3pdf.pdf>. Consultado: 21 de octubre del 2019.
 38. Sarin, A., Arora, R., Singh, N.P., Sarin, R., Malhotra, R.K., and Sarin, S. (2010). Blends of biodiesels synthesized from non-edible and edible oils: Effects on the cold filter plugging point. *Energy and Fuels* 24, 1996–2001.
 39. Escobar Gómez, G. (2016). *Desarrollo de un programa de cómputo para la estimación de propiedades fisicoquímicas del biodiesel [Tesis de Maestría]*, CICY, México.
 40. Park, J.Y., Kim, D.K., Lee, J.P., Park, S.C., Kim, Y.J., and Lee, J.S. (2008). Blending effects of biodiesels on oxidation stability and low temperature flow properties. *Bioresour. Technol.* 99, 1196–1203.
 41. Sarin, A., Arora, R., Singh, N.P., Sarin, R., Malhotra, R.K., and Kundu, K. (2009). Effect of blends of Palm-Jatropha-Pongamia biodiesels on cloud point and pour point. *Energy* 34, 2016–2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2009.08.017>.
 42. Agarwal, M., Singh, K., and Chaurasia, S.P. (2011). Prediction of Biodiesel Properties from Fatty Acid Composition using Linear Regression and ANN Techniques Prediction of Biodiesel Properties from Fatty Acid Composition using Linear Regression and ANN Techniques. 4506.

43. Barradas Filho, A.O., Barros, A.K.D., Labidi, S., and Viegas, I.M.A. (2015). Application of artificial neural networks to predict viscosity, iodine value and induction period of biodiesel focused on the study of oxidative stability. *Fuel* 145, 127–135. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.12.016>.
44. Giakoumis, E.G., and Sarakatsanis, C.K. (2018). Estimation of biodiesel cetane number , density , kinematic viscosity and heating values from its fatty acid weight composition. *Fuel* 222, 574–585. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.187>.
45. Piloto-Rodríguez, R., Sánchez-Borroto, Y., Lapuerta, M., and Goyos-Pérez, L. (2013). Prediction of the cetane number of biodiesel using artificial neural networks and multiple linear regression. *65*, 255–261.
46. Bamgboye, A.I., and Hansen, A.C. (2008). Prediction of Cetane Number of biodiesel fuel from fatty acid ethyl ester (FAEE) composition. *Int. Agrophysics* 22, 21–29.
47. Ramírez-Verduzco, L.F., Rodríguez-Rodríguez, J.E., and Jaramillo-Jacob, A.D.R. (2012). Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel* 91, 102–111.
48. Su, Y.C., Liu, Y.A., Diaz Tovar, C.A., and Gani, R. (2011). Selection of prediction methods for thermophysical properties for process modeling and product design of biodiesel manufacturing. *Ind. Eng. Chem. Res.* 50, 6809–6836.
49. Carareto, N.D.D., Kimura, C.Y.C.S., Oliveira, E.C., Costa, M.C., and Meirelles, A.J.A. (2012). Flash points of mixtures containing ethyl esters or ethylic biodiesel and ethanol. *Fuel* 96, 319–326.
50. Pinzi, S., Leiva, D., Arzamendi, G., Gandia, L.M., and Dorado, M.P. (2011). Multiple response optimization of vegetable oils fatty acid composition to improve biodiesel physical properties. *Bioresour. Technol.* 102, 7280–7288. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.05.005>.
51. Serrano, M., Oliveros, R., Sánchez, M., Moraschini, A., Martínez, M., and Aracil, J. (2014). Influence of blending vegetable oil methyl esters on biodiesel fuel properties: Oxidative stability and cold flow properties. *Energy* 65, 109–115. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.072>.
52. Fassinou, W.F. (2012). Higher heating value (HHV) of vegetable oils, fats and biodiesels

evaluation based on their pure fatty acids' HHV. *Energy* 45, 798–805. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2012.07.011>.

53. Gopinath, A., Puan, S., and Nagarajan, G. (2009). Theoretical modeling of iodine value and saponification value of biodiesel fuels from their fatty acid composition. *Renew. Energy* 34, 1806–1811. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.11.023>.
54. Knothe, G. (2002). Structure indices in FA chemistry. How relevant is the iodine value? *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 79, 847–854.
55. Kyriakidis, N.B., and Katsiloulis, T. (2000). Calculation of Iodine Value from Measurements of Fatty Acid Methyl Esters of Some Oils: Comparison with the Relevant American Oil Chemists Society Method. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 77, 1235–1238. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11746-000-0193-3.pdf>. Consultado: 11 noviembre del 2019.
56. Sia, C.B., Kandedo, J., Tan, Y.H., and Lee, K.T. (2020). Evaluation on biodiesel cold flow properties, oxidative stability and enhancement strategies: A review. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 101514. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101514>.
57. Garside, J. (1987). General Principles of Crystallization. *Food Struct. Behav.*, 35–49.
58. Edith, O. (2012). Factors affecting the cold flow behaviour of biodiesel and methods for improvement - A review. *Pertanika J. Sci. Technol.* 20, 1–14.
59. Lopes, J.C.A., Boros, L., Kráhenbühl, M.A., Meirelles, A.J.A., Daridon, J.L., Pauly, J., Marrucho, I.M., and Coutinho, J.A.P. (2008). Prediction of cloud points of biodiesel. *Energy and Fuels* 22, 747–752.
60. Kloek, W., Walstra, P., and Van Vliet, T. (2000). Crystallization kinetics of fully hydrogenated palm oil in sunflower oil mixtures. *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 77, 389–398.
61. Peyronel, M.F., Acevedo, N.C., and Marangoni, A.G. (2010). Structural and mechanical properties of fats and their implications for food quality (Woodhead Publishing Limited) <http://dx.doi.org/10.1533/9781845699260.2.216>.
62. Benvenuto Ardiles, R.A. (2017). Estudio de la dinámica de cristalización de tres aceites de interés industrial y caracterización de su microestructura. Tesis de Maestría. Universidad de Chile, Chile.

63. Marangoni, A.G., and Narine, S.S. (2002). *Physical Properties of Lipids* 1st Edition. (Boca Raton: CRC Press) https://books.google.com.mx/books?id=OCBav13I_MsC. Consultado: 29 de abril del 2020.
64. Anwar, A., and Garforth, A. (2016). Challenges and opportunities of enhancing cold flow properties of biodiesel via heterogeneous catalysis. *Fuel* 173, 189–208. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.01.050>.
65. Coutinho, J.A.P., Gonçalves, M., Pratas, M.J., Batista, M.L.S., and Fernandes, V.F.S. (2010). Measurement and modeling of biodiesel cold-flow properties. *Energy and Fuels* 24, 2667–2674. <http://dx.doir.org/10.1021/ef901427g>
66. Chen, W., and Chen, J. (2016). Crystallization behaviors of biodiesel in relation to its rheological properties. *Fuel* 171, 178–185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.12.049>.
67. Martínez, G., Sánchez, N., Encinar, J.M., and González, J.F. (2014). Fuel properties of biodiesel from vegetable oils and oil mixtures. Influence of methyl esters distribution. *Biomass and Bioenergy* 63, 22–32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.01.034> 0961-9534/
68. Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., Ramos, A., and Álvarez, B. (2012). Effect of the test temperature and anti-oxidant addition on the oxidation stability of commercial biodiesel fuels. *Fuel* 93, 391–396. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.09.011>.
69. González Gómez, M.E., Howard-Hildige, R., Leahy, J.J., and Rice, B. (2002). Winterisation of waste cooking oil methyl ester to improve cold temperature fuel properties. *Fuel* 81, 33–39.
70. Knothe, G. (2005). Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters. *Fuel Process. Technol.* 86, 1059–1070. <http://doi:10.1016/j.fuproc.2004.11.002>
71. Knothe, G. (2008). “Designer” biodiesel: Optimizing fatty ester composition to improve fuel properties. *Energy and Fuels* 22, 1358–1364. <http://dx.doi.org/10.1021/ef700639e>
72. Atabani, A.E., and César, A.D.S. (2014). *Calophyllum inophyllum* L. - A prospective non-edible biodiesel feedstock. Study of biodiesel production, properties, fatty acid composition, blending and engine performance. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 37, 644–655. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.037>.

73. Jain, S., and Sharma, M.P. (2010). Stability of biodiesel and its blends: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 14, 667–678.
74. Pullen, J., and Saeed, K. (2014). Experimental study of the factors affecting the oxidation stability of biodiesel FAME fuels. *Fuel Process. Technol.* 125, 223–235. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.03.032>.
75. Kivevele, T.T., and Huan, Z. (2013). Effects of Antioxidants on the Cetane number, Viscosity, Oxidation Stability, and Thermal Properties of Biodiesel Produced from Nonedible Oils. *Energy Technol.* 1, 537–543. <http://dx.doi.org/10.1002/ente.201300072>
76. Gopinath, A., Sairam, K., and Velraj, R. (2013). Effect of double bond equivalent of biodiesels on their heating value and cetane number. *Asian J. Chem.* 25, 8732–8736.
77. Knothe, G., Krahl, J., and Van Gerpen, J. (2015). *The Biodiesel Handbook* (Elsevier Science) <https://books.google.com.mx/books?id=8MxcCgAAQBAJ>. Consultado: 19 de octubre del 2019
78. Giakoumis, E.G. (2013). A statistical investigation of biodiesel physical and chemical properties, and their correlation with the degree of unsaturation. *Renew. Energy* 50, 858–878. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.040>.
79. Carbajo, J.P. (2013). Análisis de biomarcadores en contexto arqueológico : Ácidos grasos. <https://pdfs.semanticscholar.org/6110/5c93d743eee8572d69036682a9707fd47c8e.pdf>. Consultado: 11 de febrero 2020.
80. Romero, A., Santos López, A., Lorenzo Fernández, D., Ortega, J., Fernández, L., and Perez, N. (2013). Estimación de propiedades termofísicas mediante métodos de contribución de grupos de 40 compuestos que intervienen en el proceso de producción de la ciclohexanona. *Rev. la Acad. Canar. Ciencias = Folia Canar. Acad. Sci.* 25, 25–48.
81. Mostafaei, M. (2018). ANFIS models for prediction of biodiesel fuels cetane number using desirability function. *Fuel* 216, 665–672. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.025>.
82. Taylor, J. (1997). *An introduction to Error Analysis. The study of uncertainties in physical measurements* University of California, ed.
83. Mofijur, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., and Atabani, A.E. (2013). Evaluation of biodiesel blending, engine performance and emissions characteristics of *Jatropha curcas* methyl ester: Malaysian perspective. *Energy* 55, 879–887.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.02.059>

84. Moser, B.R. (2012). Preparation of fatty acid methyl esters from hazelnut, high-oleic peanut and walnut oils and evaluation as biodiesel. *Fuel* 92, 231–238. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.08.005>.
85. Moser, B.R. (2014). Impact of fatty ester composition on low temperature properties of biodiesel-petroleum diesel blends. *Fuel* 115, 500–506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.07.075>.
86. Mihaela, P., Josef, R., Monica, N., and Rudolf, Z. (2013). Perspectives of safflower oil as biodiesel source for South Eastern Europe (comparative study: Safflower, soybean and rapeseed). *Fuel* 111, 114–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2013.04.012>.
87. Sharafutdinov, I., Stratiev, D., Shishkova, I., Dinkov, R., and Batchvarov, A. (2012). Cold flow properties and oxidation stability of blends of near zero sulfur diesel from Ural crude oil and FAME from different origin. *Fuel* 96, 556–567. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.062>.
88. Wang, R., Sun, L., Xie, X., Ma, L., Liu, Z., and Liu, X. (2014). Biodiesel production from *Stantonia chinensis* seed oil (waste from food processing): Heterogeneous catalysis by modified calcite, biodiesel purification, and fuel properties. *Ind. Crops Prod.* 62, 8–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.002>.
89. Öztürk, E. (2015). Performance, emissions, combustion and injection characteristics of a diesel engine fuelled with canola oil-hazelnut soapstock biodiesel mixture. *Fuel Process. Technol.* 129, 183–191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.09.016>.
90. Rashid, U., Ibrahim, M., Nehdi, I.A., Al-Resayes, S.I., Ullah, S., and Mehmood, M. (2016). Synthesis and characterization of poppy seed oil methyl esters. *Chinese J. Chem. Eng.* 24, 1087–1096. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cjche.2016.01.007>.
91. Fröhlich, A., and Rice, B. (2005). Evaluation of *Camelina sativa* oil as a feedstock for biodiesel production. *Ind. Crops Prod.* 21, 25–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.12.004>
92. de Freitas, O.N., Cardoso Rial, R., Fontoura Cavalheiro, L., dos Santos Barbosa, J.M., Domingues Nazário, C.E., and Viana, L.H. (2019). Evaluation of the oxidative stability and cold filter plugging point of soybean methyl biodiesel/bovine tallow methyl biodiesel blends.

- Ind. Crops Prod. 140, 111667. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111667>.
93. Dunn, R.O. (2010). Cold flow properties of biodiesel by automatic and manual analysis methods. *J. ASTM Int.*
 94. Monirul, I.M., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Zulkifli, N.W.M., and Shahir, S.A. (2017). Influence of poly(methyl acrylate) additive on cold flow properties of coconut biodiesel blends and exhaust gas emissions. *Renew. Energy* 101, 702–712. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.020> 0960-1481/
 95. Islam, M.M., Hassan, M.H., Kalam, M.A., Zulkifli, N.W.B.M., Habibullah, M., and Hossain, M.M. (2016). Improvement of cold flow properties of *Cocos nucifera* and *Calophyllum inophyllum* biodiesel blends using polymethyl acrylate additive. *J. Clean. Prod.* 137, 322–329. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.080>.
 96. Ranjan, A., Dawn, S.S., Jayaprabakar, J., Nirmala, N., Saikiran, K., and Sai Sriram, S. (2018). Experimental investigation on effect of MgO nanoparticles on cold flow properties, performance, emission and combustion characteristics of waste cooking oil biodiesel. *Fuel* 220, 780–791. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.057>.
 97. Cao, L., Wang, J., Liu, K., and Han, S. (2014). Ethyl acetoacetate: A potential bio-based diluent for improving the cold flow properties of biodiesel from waste cooking oil. *Appl. Energy* 114, 18–21. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.09.050>.
 98. Sbihi, H.M., Nehdi, I.A., Mokbli, S., Romdhani-Younes, M., and Al-Resayes, S.I. (2018). Study of oxidative stability and cold flow properties of *Citrillus colocynthis* oil and *Camelus dromedaries* fat biodiesel blends. *Ind. Crops Prod.* 122, 133–141. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.071>
 99. Folayan, A.J., and Anawe, P.A.L. (2019). Synthesis and characterization of *Argania spinosa* (Argan oil) biodiesel by sodium hydroxide catalyzed transesterification reaction as alternative for petro-diesel in direct injection, compression ignition engines. *Heliyon* 5, e02427. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02427>.
 100. Evcil, A., Al-Shanableh, F., and Savas, M.A. (2018). Variation of solid fraction with cold flow properties of biodiesel produced from waste frying oil. *Fuel* 215, 522–527. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.11.055>
 101. Acharya, N., Nanda, P., Panda, S., and Acharya, S. (2017). Analysis of properties and

- estimation of optimum blending ratio of blended mahua biodiesel. *Eng. Sci. Technol. an Int. J.* *20*, 511–517. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jestch.2016.12.005>.
102. Srikanth, H. V., Venkatesh, J., Godiganur, S., Venkateswaran, S., and Manne, B. (2017). Bio-based diluents improve cold flow properties of dairy washed milk-scum biodiesel. *Renew. Energy* *111*, 168–174.
 103. Folayan, A.J., Anawe, P.A.L., Aladejare, A.E., and Ayeni, A.O. (2019). Experimental investigation of the effect of fatty acids configuration, chain length, branching and degree of unsaturation on biodiesel fuel properties obtained from lauric oils, high-oleic and high-linoleic vegetable oil biomass. *Energy Reports* *5*, 793–806. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.06.013>.
 104. Santos, E.M., Piovesan, N.D., De Barros, E.G., and Moreira, M.A. (2013). Low linolenic soybeans for biodiesel: Characteristics, performance and advantages. *Fuel* *104*, 861–864. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.06.014>.
 105. Alptekin, E., Canakci, M., and Sanli, H. (2014). Biodiesel production from vegetable oil and waste animal fats in a pilot plant. *Waste Manag.* *34*, 2146–2154. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.07.019>.
 106. Lapuerta, M., Rodríguez-Fernández, J., Fernández-Rodríguez, D., and Patiño-Camino, R. (2018). Cold flow and filterability properties of n-butanol and ethanol blends with diesel and biodiesel fuels. *Fuel* *224*, 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.03.083>.
 107. Lv, P., Cheng, Y., Yang, L., Yuan, Z., Li, H., and Luo, W. (2013). Improving the flow properties of palm oil biodiesel: Addition of cold flow improver. *Fuel Process. Technol.* *110*, 61–64. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.12.014>
 108. Bhuiya, M.M.K., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., and Ashwath, N. (2020). Biodiesel production and characterisation of poppy (*Papaver somniferum* L.) seed oil methyl ester as a source of 2nd generation biodiesel feedstock. *Ind. Crops Prod.* *152*, 112493. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112493>.
 109. Kafuku, G., Kee, M., Kandedo, J., Teong, K., and Mbarawa, M. (2010). Bioresource Technology Croton megalocarpus oil: A feasible non-edible oil source for biodiesel production. *Bioresour. Technol.* *101*, 7000–7004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.144>.

110. Ahmad, T., Danish, M., Kale, P., Geremew, B., and Adeloju, S.B. (2019). Optimization of process variables for biodiesel production by transesterification of flaxseed oil and produced biodiesel characterizations. *Renew. Energy* 139, 1272–1280. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.036>.
111. Pérez, Á., Casas, A., Fernández, C.M., Ramos, M.J., and Rodríguez, L. (2010). Winterization of peanut biodiesel to improve the cold flow properties. *Bioresour. Technol.* 101, 7375–7381. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.04.063>
112. Hoseini, S.S., Naja, G., and Sadeghi, A. (2019). Chemical characterization of oil and biodiesel from Common Purslane (*Portulaca*) seed as novel weed plant feedstock. *Ind. Crops Prod.* 140, 111582. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111582>
113. Amin, R., Abedin, J., Rahman, S.M.A., Bin, M., Hassan, H., Alabdulkarem, A., Kalam, A., and Islam, S. (2016). Impact of fatty acid composition and physicochemical properties of *Jatropha* and Alexandrian laurel biodiesel blends: An analysis of performance and emission characteristics. *J. Clean. Prod.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.017>.
114. Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., and Muraleedharan, C. (2005). Biodiesel production from high FFA rubber seed oil. *Fuel* 84, 335–340. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2004.09.016>
115. Palash, S.M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Atabani, A.E., Fattah, I.M.R., and Sanjid, A. (2015). Biodiesel production, characterization, diesel engine performance, and emission characteristics of methyl esters from *Aphanamixis polystachya* oil of Bangladesh. *ENERGY Convers. Manag.* 91, 149–157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.009>.
116. Shankar, A.A., Pentapati, P.R., and Prasad, R.K. (2017). Biodiesel synthesis from cottonseed oil using homogeneous alkali catalyst and using heterogeneous multi walled carbon nanotubes: Characterization and blending studies. *Egypt. J. Pet.* 26, 125–133. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.04.001>.
117. Bencheikh, K., Atabani, A.E., Shobana, S., Mohammed, M.N., Uğuz, G., and Arpa, O. (2019). Fuels properties, characterizations and engine and emission performance analyses of ternary waste cooking oil biodiesel–diesel–propanol blends. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 35, 321–334. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2019.08.007>
118. Anwar, M., Rasul, M., and Ashwath, N. (2019). Optimization of biodiesel production from stone fruit kernel oil. *Energy Procedia* 160, 268–276. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.146>.

119. Vijayan, S.K., Naveena Victor, M., Sudharsanam, A., Chinnaraj, V.K., and Nagarajan, V. (2018). Winterization studies of different vegetable oil biodiesel. *Bioresour. Technol. Reports* 1, 50–55. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.02.005>.
120. Moser, B.R., and Vaughn, S.F. (2010). Evaluation of alkyl esters from *Camelina sativa* oil as biodiesel and as blend components in ultra low-sulfur diesel fuel. *Bioresour. Technol.* 101, 646–653. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.054>.
121. Salaheldeen, M., Aroua, M.K., Mariod, A.A., Foon, S., Abdelrahman, M.A., and Atabani, A.E. (2015). Physicochemical characterization and thermal behavior of biodiesel and biodiesel – diesel blends derived from crude *Moringa peregrina* seed oil. *Energy Convers. Manag.* 92, 535–542. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.12.087>.
122. Soriano, N.U., Migo, V.P., and Matsumura, M. (2006). Ozonized vegetable oil as pour point depressant for neat biodiesel. *Fuel* 85, 25–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2005.06.006>
123. Sanford, S., White, J., and Shah, P. (2009). Feedstock and biodiesel characteristics report. *Renew. Energy Gr.*, 1–136. [https://biodieseleducation.org/Feedstock/documents/Feedstock%20and%20Biodiesel%20Characteristics%20Report%20\(1\).pdf](https://biodieseleducation.org/Feedstock/documents/Feedstock%20and%20Biodiesel%20Characteristics%20Report%20(1).pdf). Consultado: 30 septiembre 2020
124. García, M., Alba, J.J., Gonzalo, A., Sainchez, J.L., and Arauzo, J. (2012). Comparison of methods for estimating critical properties of alkyl esters and its mixtures. *J. Chem. Eng. Data* 57, 208–218. <https://dx.doi.org/10.1021/je201039n>
125. Nogueira, C.A., Feitosa, F.X., Fernandes, F.A.N., Santiago, S., Ana, H.B.D.S., and Ana, D. (2010). Densities and Viscosities of Binary Mixtures of Babassu Biodiesel + Cotton Seed or Soybean Biodiesel at Different Temperatures. 5305–5310. <https://dx.doi.org/10.1021/je1003862>
126. Mittelbach, M., and Schober, S. (2003). The influence of antioxidants on the oxidation stability of biodiesel. *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 80, 817–823.
127. Sarin, R., Sharma, M., Sinharay, S., and Malhotra, R.K. (2007). *Jatropha-Palm* biodiesel blends: An optimum mix for Asia. *Fuel* 86, 1365–1371.
128. Lin, B., Huang, J., and Huang, D. (2009). Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. *Fuel* 88, 1779–1785. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2009.04.006>.

129. Yuan, W., Hansen, A.C., Zhang, Q., and Tan, Z. (2005). Temperature-dependent kinematic viscosity of selected biodiesel fuels and blends with diesel fuel. *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.* 82, 195–199.
130. Mohan, M.R., Jala, R.C.R., Kaki, S.S., Prasad, R.B.N., and Rao, B.V.S.K. (2016). *Swietenia mahagoni* seed oil: A new source for biodiesel production. *Ind. Crops Prod.* 90, 28–31. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.010>.
131. Mahalingam, A., Devarajan, Y., Radhakrishnan, S., Vellaiyan, S., and Nagappan, B. (2017). Emissions analysis on mahua oil biodiesel and higher alcohol blends in diesel engine. *Alexandria Eng. J.*, 3–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2017.07.009>.
132. Sahabdheen, A.B., and Arivarasu, A. (2020). Synthesis and characterization of reusable heteropoly acid nanoparticles for one step biodiesel production from high acid value waste cooking oil - Performance and emission studies. *Mater. Today Proc.* 22, 383–392. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.249>.
133. Kinast, J.A. (2003). Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel / Diesel Blends Final Report Production of Biodiesels from Multiple Feedstocks and Properties of Biodiesels and Biodiesel/Diesel Blends Final Report. National Renewable Energy Laboratory.
134. Yang, J., Caldwell, C., Corscadden, K., He, Q.S., and Li, J. (2016). An evaluation of biodiesel production from *Camelina sativa* grown in Nova Scotia. *Ind. Crops Prod.* 81, 162–168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.11.073>
135. Chen, Y.H., Chen, J.H., Luo, Y.M., Shang, N.C., Chang, C.H., Chang, C.Y., Chiang, P.C., and Shie, J.L. (2011). Property modification of *jatropha* oil biodiesel by blending with other biodiesels or adding antioxidants. *Energy* 36, 4415–4421. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.04.001>.
136. Ng, J.H., Ng, H.K., and Gan, S. (2011). Engine-out characterisation using speed-load mapping and reduced test cycle for a light-duty diesel engine fuelled with biodiesel blends. *Fuel* 90, 2700–2709. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.03.034>.
137. Mata, T.M., Cardoso, N., Ornelas, M., Neves, S., and Caetano, N.S. (2010). Sustainable production of biodiesel from tallow, lard and poultry fat and its quality evaluation. *Chem. Eng. Trans.* 19, 13–18.

138. Baena, L.M., and Calderón, J.A. (2020). Effects of palm biodiesel and blends of biodiesel with organic acids on metals. *Heliyon* 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03735>
139. Abedin, M.J., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Sabri, M.F.M., Rahman, S.M.A., Sanjid, A., and Fattah, I.M.R. (2016). Production of biodiesel from a non-edible source and study of its combustion, and emission characteristics: A comparative study with B5. *Renew. Energy* 88, 20–29. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.027>.
140. Ozsezen, A.N., and Canakci, M. (2011). Determination of performance and combustion characteristics of a diesel engine fueled with canola and waste palm oil methyl esters. *Energy Convers. Manag.* 52, 108–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.049>.
141. Karavalakis, G., Stournas, S., and Bakeas, E. (2009). Light vehicle regulated and unregulated emissions from different biodiesels. *Sci. Total Environ.* 407, 3338–3346. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.12.063>.
142. Pratas, M.J., Freitas, S. V.D., Oliveira, M.B., Monteiro, S.C., Lima, Á.S., and Coutinho, J.A.P. (2011). Biodiesel density: Experimental measurements and prediction models. *Energy and Fuels* 25, 2333–2340. <https://dx.doi.org/10.1021/ef2002124>
143. Ong, H.C., Silitonga, A.S., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Chong, W.T., and Boosroh, M.H. (2013). Production and comparative fuel properties of biodiesel from non-edible oils: *Jatropha curcas*, *Sterculia foetida* and *Ceiba pentandra*. *Energy Convers. Manag.* 73, 245–255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.011>.
144. Canakci, M. (2007). Combustion characteristics of a turbocharged DI compression ignition engine fueled with petroleum diesel fuels and biodiesel. *Bioresour. Technol.* 98, 1167–1175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.04.011>
145. Chakraborty, M., Baruah, D.C., and Konwer, D. (2009). Investigation of terminalia (*Terminalia belerica* Robx .) seed oil as prospective biodiesel source for North-East India. *Fuel Process. Technol.* 90, 1435–1441. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2009.06.023>.
146. Bazooyar, B., Ghorbani, A., and Shariati, A. (2011). Combustion performance and emissions of petrodiesel and biodiesels based on various vegetable oils in a semi industrial boiler. *Fuel* 90, 3078–3092. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.025>.
147. Sáez-Bastante, J., Pinzi, S., Arzamendi, G., Luque De Castro, M.D., Priego-Capote, F., and Dorado, M.P. (2014). Influence of vegetable oil fatty acid composition on ultrasound-

- assisted synthesis of biodiesel. *Fuel* 125, 183–191. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2014.02.015>.
148. Silitonga, A.S., Shamsuddin, A.H., Mahlia, T.M.I., Milano, J., Kusumo, F., Siswantoro, J., Dharma, S., Sebayang, A.H., Masjuki, H.H., and Ong, H.C. (2020). Biodiesel synthesis from *Ceiba pentandra* oil by microwave irradiation-assisted transesterification: ELM modeling and optimization. *Renew. Energy* 146, 1278–1291. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.065>.
 149. Kivevele, T., and Huan, Z. (2015). Influence of metal contaminants and antioxidant additives on storage stability of biodiesel produced from non-edible oils of Eastern Africa origin (*Croton megalocarpus* and *Moringa oleifera* oils). *Fuel* 158, 530–537. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2015.05.047>.
 150. Puhan, S., Jegan, R., Balasubramanian, K., and Nagarajan, G. (2009). Effect of injection pressure on performance, emission and combustion characteristics of high linolenic linseed oil methyl ester in a DI diesel engine. *Renew. Energy* 34, 1227–1233. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2008.10.001>.
 151. Gopinath, A., Puhan, S., and Nagarajan, G. (2009). Relating the cetane number of biodiesel fuels to their fatty acid composition: A critical study. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part D J. Automob. Eng.* 223, 565–683. <http://dx.doi.org/10.1243/09544070JAUTO950>
 152. Tat, M.E. (2011). Cetane number effect on the energetic and exergetic efficiency of a diesel engine fuelled with biodiesel. *Fuel Process. Technol.* 92, 1311–1321. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.02.006>.
 153. Çon, A.H., and Ug, E. (2011). Properties and quality verification of biodiesel produced from tobacco seed oil. *52*, 2031–2039. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2010.12.021>
 154. Cardone, M., Mazzoncini, M., Menini, S., Rocco, V., and Senatore, A. (2003). *Brassica carinata* as an alternative oil crop for the production of biodiesel in Italy: agronomic evaluation, fuel production by transesterification and characterization. *Biomass and Bioenergy* 25, 623–636. [http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534\(03\)00058-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0961-9534(03)00058-8)
 155. Zareh, P., Zare, A.A., and Ghobadian, B. (2017). Comparative assessment of performance and emission characteristics of castor, coconut and waste cooking based biodiesel as fuel in a diesel engine. *Energy* 139, 883–894. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.040>.

156. Sarin, R., Sharma, M., and Ali, A. (2010). Bioresource Technology Terminalia belerica Roxb . seed oil: A potential biodiesel resource. *Bioresour. Technol.* *101*, 1380–1384. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.018>.
157. Tu, L., Okitsu, K., Sadanaga, Y., and Takenaka, N. (2010). Bioresource Technology Ultrasound-assisted production of biodiesel fuel from vegetable oils in a small scale circulation process. *Bioresour. Technol.* *101*, 639–645. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.050>.
158. Pinzi, S., Rounce, P., Herreros, J.M., Tsolakis, A., and Pilar Dorado, M. (2013). The effect of biodiesel fatty acid composition on combustion and diesel engine exhaust emissions. *Fuel* *104*, 170–182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2012.08.056>.
159. Demirbas, A. (2009). Production of biodiesel fuels from linseed oil using methanol and ethanol in non-catalytic SCF conditions. *Biomass and Bioenergy* *33*, 113–118. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.04.018>
160. Jose, T.K., and Anand, K. (2016). Effects of biodiesel composition on its long term storage stability. *Fuel* *177*, 190–196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2016.03.007>.
161. Betiku, E., Omilakin, O.R., Ajala, S.O., Okeleye, A.A., Taiwo, A.E., and Solomon, B.O. (2014). Mathematical modeling and process parameters optimization studies by arti fi cial neural network and response surface methodology: A case of non-edible neem (*Azadirachta indica*) seed oil biodiesel synthesis. *Energy*, 1–8. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.033>.
162. Modiba, E., Osifo, P., and Rutto, H. (2014). Biodiesel production from baobab (*Adansonia digitata* L.) seed kernel oil and its fuel properties. *Ind. Crops Prod.* *59*, 50–54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.04.044>.
163. Demirbas, A. (2010). Biodiesel from bay laurel oil via compressed methanol transesterification. *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.* *32*, 1185–1194. <http://dx.doi.org/10.1080/15567030903077840>
164. Bello, E.I., Adekanbi, I.T., and Akinbode, F.O. (2015). Production and Characterization of Coconut (*Cocos Nucifera*) Oil and Its Methyl Ester. *Eur. J. Eng. Technol.* *3*, 25–35.
165. Chung, K.H. (2010). Transesterification of *Camellia japonica* and *Vernicia fordii* seed oils on alkali catalysts for biodiesel production. *J. Ind. Eng. Chem.* *16*, 506–509.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2010.03.007>.

166. Bachler, C., Schober, S., and Mittelbach, M. (2010). Simulated distillation for biofuel analysis. *Energy and Fuels* 24, 2086–2090. <http://dx.doi.org/10.1021/ef901295s>
167. Habibullah, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Fattah, I.M.R., Ashraful, A.M., and Mobarak, H.M. (2014). Biodiesel production and performance evaluation of coconut , palm and their combined blend with diesel in a single-cylinder diesel engine. *ENERGY Convers. Manag.* 87, 250–257. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.07.006>.
168. Yuvarajan, D., and Ramanan, M.V. (2016). Experimental analysis on neat mustard oil methyl ester subjected to ultrasonication and microwave irradiation in four stroke single cylinder Diesel engine. *30*, 437–446. <http://dx.doi.org/10.1007/s12206-015-1248-x>
169. Leung, D., Yang, D., Li, Z., Zhao, Z., Chen, J., and Zhu, L. (2012). Biodiesel from Zophobas morio larva oil: Process optimization and FAME characterization. *Ind. Eng. Chem. Res.* 51, 1036–1040. dx.doi.org/10.1021/ie201403r
170. Demirbas, A. (2008). Studies on cottonseed oil biodiesel prepared in non-catalytic SCF conditions. *99*, 1125–1130. doi:10.1016/j.biortech.2007.02.024
171. Sánchez-Arreola, E., Bach, H., and Hernández, L.R. (2019). Biodiesel production from *Cascabela ovata* seed oil. *Bioresour. Technol. Reports* 7, 100220. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.100220>.
172. Mazaheri, H., Ong, H.C., Masjuki, H.H., Amini, Z., Harrison, M.D., Wang, C.T., Kusumo, F., and Alwi, A. (2018). Rice bran oil based biodiesel production using calcium oxide catalyst derived from *Chicoreus brunneus* shell. *Energy* 144, 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.073>.
173. Haas, M.J., Scott, K.M., Alleman, T.L., and McCormick, R.L. (2001). Engine performance of biodiesel fuel prepared from soybean soapstock: A high quality renewable fuel produced from a waste feedstock. *Energy and Fuels* 15, 1207–1212. <https://doi.org/10.1021/ef010051x>
174. Gülüm, M., and Bilgin, A. (2015). Density, flash point and heating value variations of corn oil biodiesel-diesel fuel blends. *Fuel Process. Technol.* 134, 456–464. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.02.026>.
175. Wang, R., Hanna, M.A., Zhou, W.W., Bhadury, P.S., Chen, Q., Song, B.A., and Yang, S.

- (2011). Production and selected fuel properties of biodiesel from promising non-edible oils: *Euphorbia lathyris* L., *Sapium sebiferum* L. and *Jatropha curcas* L. *Bioresour. Technol.* *102*, 1194–1199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.09.066>.
176. Cursaru, D.L., Brănoiu, G., Ramadan, I., and Miculescu, F. (2014). Degradation of automotive materials upon exposure to sunflower biodiesel. *Ind. Crops Prod.* *54*, 149–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.01.032>
177. Botella, L., Bimbela, F., Martín, L., Arauzo, J., and Sánchez, J.L. (2014). Oxidation stability of biodiesel fuels and blends using the Rancimat and PetroOXY methods. Effect of 4-allyl-2,6-dimethoxyphenol and catechol as biodiesel additives on oxidation stability. *Front. Chem.* *2*, 1–9. <http://dx.doi.org/10.3389/fchem.2014.00043>
178. Berthiaume, D., and Tremblay, A. (2006). Study of the Rancimat Test Method in Measuring the Oxidation Stability of Biodiesel Ester and Blends. NRCan Proj. # CO414 CETC-327. <https://www.kemitek.org/wp-content/uploads/2020/02/NRCan-OLEOTEK-Study-of-the-Rancimat-Test-Method-in-Measuring-the-Oxidation-Stability-of-Biodiesel-Esters-and-Blends.pdf>. Consultado: 23 junio 2020
179. Moser, B.R. (2008). Influence of blending canola, palm, soybean, and sunflower oil methyl esters on fuel properties of biodiesel. *Energy and Fuels* *22*, 4301–4306. <http://dx.doi.org/10.1021/ef800588x>
180. Tang, H., Wang, A., Salley, S.O., and Ng, K.Y.S. (2008). The effect of natural and synthetic antioxidants on the oxidative stability of biodiesel. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1–10. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-008-1208-z>
181. Jain, S., and Sharma, M.P. (2011). Oxidation stability of blends of *Jatropha* biodiesel with diesel. *Fuel* *90*, 3014–3020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.003>.
182. Mairizal, A.Q., Awad, S., Priadi, C.R., Hartono, D.M., Moersidik, S.S., Tazerout, M., and Andres, Y. (2020). Experimental study on the effects of feedstock on the properties of biodiesel using multiple linear regressions. *Renew. Energy* *145*, 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.067>.
183. Hong, I.K., Jeon, G.S., and Lee, S.B. (2014). Prediction of biodiesel fuel properties from fatty acid alkyl ester. *J. Ind. Eng. Chem.* *20*, 2348–2353. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2013.10.011>.

184. Hansen, A.C. (2004). The Specific Gravity of Biodiesel Fuels and Their Blends With Diesel Fuel". *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript EE 04 004. Vol. VI.
185. Alejandro, M., Betancourt, M., Andres, C., Santamaria, L., and López, M. (2020). Experimental analysis of biodiesel synthesis from palm kernel oil: empirical model and surface response variables. *React. Kinet. Mech. Catal.* <https://doi.org/10.1007/s11144-020-01860-2>.
186. Dymińska, L., Calik, M., Moamer, A., Adam, Z., Kostyń, K., Lorenc, J., and Hanuza, J. (2016). Quantitative determination of the iodine values of unsaturated plant oils using infrared and Raman Spectroscopy methods. *2912*.
187. Schönborn, A., Ladommatos, N., Williams, J., Allan, R., and Rogerson, J. (2009). The influence of molecular structure of fatty acid monoalkyl esters on diesel combustion. *Combust. Flame* *156*, 1396–1412. <http://dx.doi.org/10.1016/j.combustflame.2009.03.011>.
188. Jeong, G.T., Park, J.H., Park, S.H., and Park, D.H. (2008). Estimating and improving cold filter plugging points by blending biodiesels with different fatty acid contents. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* *13*, 505–510. <http://dx.doi.org/10.1007/s12257-008-0144-y>
189. Deepak, T., Dilip, S., Yogesh, P., Kamal, K., and Shyam, L. (2013). Production and Characterization of Fish Oil. *1*, 209–217.
190. Bobade, S., and Khyade, V.B. (2012). Preparation of Biodiesel From Karanja (*Pongamia Pinnata*) Oil. *Research J. Chem. Sci.* *2*, 43–50.
191. Srikanth, H. V., Venkatesh, J., Godiganur, S., and Manne, B. (2019). Acetone and Diethyl ether: Improve cold flow properties of Dairy Washed Milkscum biodiesel. *Renew. Energy* *130*, 446–451.
192. Al-Shanableh, F., Bilin, M., Evcil, A., and Savas, M.A. (2019). Estimation of cold flow properties of biodiesel using ANFIS-based models. *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, 1–18. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1672832>.
193. Anastopoulos, G., Zannikou, Y., Stournas, S., and Kalligeros, S. (2009). Transesterification of Vegetable Oils with Ethanol and Characterization of the Key Fuel Properties of Ethyl Esters. *Energies*, 362–376.

ANEXO

Tabla A1. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad CFPP. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de CFPP.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CFPP Experim ental, °C	
1	[36]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.6	0.3	0.1	0.1	1.5	63.9	20.4	7.0	0.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-14
2	[84]	Avellana	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.4	0.0	0.0	2.1	78.3	13.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-12.7
3	[85]	<i>Penycress</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.2	0.0	0.0	0.5	12.6	22.4	11.8	2.4	9.8	0.0	0.0	0.5	35.0	0.0	0.0	-12.7	
4	[85]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.3	0.0	0.0	2.2	62.7	20.6	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-12
5	[36]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.6	0.0	0.0	1.4	65.6	25.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	-12	
6	[86]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.3	0.0	0.0	2.9	53.8	23.4	9.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	-11	
7	[87]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	64.1	18.9	8.8	0.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-11	
8	[36]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	1.6	33.0	20.4	7.9	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	-10	
9	[86]	Cártamo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	4.4	12.8	69.7	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3	0.0	-9	
10	[84]	Nuez	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	2.6	15.9	60.7	12.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-9	
11	[88]	<i>Stautonia Chinensis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	0.2	0.0	0.0	1.2	80.0	8.3	0.1	1.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-9	
12	[89]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.1	0.2	0.0	0.0	1.9	58.9	20.6	9.3	0.6	1.4	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	-8	
13	[87]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	5.4	0.3	0.0	0.0	1.9	63.3	19.6	6.7	0.5	1.2	0.1	0.0	0.3	0.4	0.2	0.0	-8	
14	[87]	Colza + Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	7.8	0.2	0.0	0.0	3.2	36.2	48.3	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-8	
15	[90]	Semilla de amapola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	2.2	13.7	74.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7	
16	[67]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	66.6	17.2	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7	
17	[36]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	1.0	0.0	0.0	3.1	75.0	7.8	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.5	0.0	-6	
18	[36]	Uva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.9	0.1	0.0	0.0	4.0	19.0	69.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6	
19	[36]	Girasol alto contenido de ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.1	0.0	0.0	3.4	62.8	27.5	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.3	0.0	-6	
20	[36]	Almendra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.5	0.0	0.0	2.9	77.1	7.6	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.4	-6	
21	[75]	Jatropha	0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	14.8	0.6	0.0	0.0	7.2	41.2	35.4	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.0	

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CFPP Experimental, °C	
22	[36]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.1	0.0	0.0	3.6	24.9	53.0	6.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	-5	
23	[91]	<i>Camelina sativa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	2.6	14.3	14.3	38.4	0.3	16.8	0.0	0.0	1.4	2.9	0.0	0.0	-4	
24	[23]	Soja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.4	0.1	0.1	0.0	4.2	23.9	54.8	6.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4	
25	[85]	Aceite de cocina residual	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.6	0.0	0.0	4.0	38.1	40.5	4.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4	
26	[67]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	52.1	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	-4	
27	[92]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	3.2	26.7	51.8	5.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	-4	
28	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0	4.3	22.6	51.2	9.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4	
29	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	4.0	22.2	50.2	6.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4	
30	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	4.3	24.2	51.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4	
31	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.4	3.0	0.0	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	5.5	24.5	45.6	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4	
32	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	4.6	24.2	53.3	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4	
33	[85]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	4.7	22.7	53.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3	
34	[67]	<i>Cynara Cardunculus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8	41.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	-3	
35	[36]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.1	0.0	0.0	3.7	25.2	63.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.2	0.0	-3
36	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	4.3	24.2	51.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2.4	
37	[86]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0	6.7	22.7	44.1	9.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	-2	
38	[94]	Coco	0.4	7.5	5.8	45.6	18.4	0.0	0.0	9.5	0.1	0.0	0.0	2.9	7.6	2.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	-2	
39	[95]	Coco	0.0	8.0	6.2	47.7	14.2	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	2.8	8.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2	
40	[96]	Aceite de cocina residual	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	7.7	0.5	0.0	0.0	3.5	32.3	53.3	0.1	0.3	0.3	0.0	0.0	1.3	0.0	0.5	0.0	-2	
41	[23]	<i>Jatropha</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.0	0.7	0.1	0.1	6.5	43.3	35.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	
42	[87]	Soya + Palma	0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	19.1	0.0	0.0	0.0	5.0	24.7	43.9	6.1	0.4	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0	
43	[85]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	6.6	0.5	0.0	0.0	4.3	66.1	17.2	2.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.3	
44	[23]	<i>Jatropha</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7	0.8	0.1	0.0	6.6	41.4	36.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	
45	[93]	FAME alto en ácido	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	16.8	0.1	0.0	0.0	4.3	13.9	55.8	7.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1	
46	[97]	Aceite de cocina residual	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	20.1	0.0	0.0	0.0	14.9	21.7	35.4	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2	

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CFPP Experimental, °C	
47	[93]	Aceite de cocina usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	15.3	0.9	0.0	0.0	8.1	49.0	24.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
48	[23]	Grasa de pollo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.1	0.0	23.8	7.2	0.3	0.1	5.6	43.6	16.8	0.8	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
49	[98]	<i>Citrus Colocynthis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	9.4	0.1	0.1	0.0	7.5	16.2	65.6	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	4	
50	[99]	<i>Argania spinosa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	12.5	1.2	0.0	0.0	5.9	43.6	35.8	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	4.5	
51	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 80:20	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	0.3	0.3	15.1	2.0	0.8	0.2	10.3	20.7	47.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	7	
52	[100]	Aceite de cocina residual	0.0	0.1	0.3	1.2	0.1	0.0	0.0	37.3	0.1	0.0	0.0	4.0	40.4	17.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7	
53	[101]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0	19.0	39.1	19.6	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8	
54	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 60:40	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.6	0.6	18.7	3.8	1.0	0.4	10.9	23.2	35.7	0.7	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	9	
55	[23]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.2	0.0	23.7	2.9	0.6	0.5	13.8	42.8	10.2	0.9	0.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10	
56	[36]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	36.7	0.1	0.0	0.0	6.6	46.1	8.6	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	10	
57	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 40:60	0.0	0.0	0.0	0.3	4.6	0.8	0.7	21.5	5.3	1.3	0.5	12.2	25.4	25.5	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	11	
58	[23]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	44.4	0.1	0.1	0.0	3.8	39.5	10.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11	
59	[23]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	44.2	0.2	0.1	0.0	4.2	38.9	10.3	0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11	
60	[95]	<i>Calophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.4	0.0	0.0	16.7	39.1	26.9	0.6	0.9	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	12	
61	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 20:80	0.0	0.0	0.0	0.3	6.2	1.1	1.0	24.8	7.4	1.7	0.7	12.9	26.9	15.1	0.8	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	13	
62	[23]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	1.1	0.0	23.8	5.5	1.2	0.7	22.3	37.9	2.3	0.3	0.5	0.1	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	14	
63	[92]	Sebo bovino	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0	1.2	25.0	3.8	3.1	0.0	22.8	34.5	2.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15	
64	[84]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	2.3	78.9	4.4	0.0	1.2	1.9	0.0	0.0	2.6	0.0	1.8	0.0	16	
65	[102]	Espuma de leche lavada	0.6	0.9	2.3	3.3	12.2	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0	12.7	26.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	17	
66	[36]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	1.8	53.3	28.4	0.3	0.9	2.4	0.0	0.0	3.0	0.0	1.8	0.0	17	
67	[103]	Haba de soja	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	3.8	23.7	54.5	6.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	-7	
68	[104]	Haba de Soja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	4.1	17.6	59.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5	
69	[105]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	2.3	31.0	54.5	0.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	-5	

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CFPP Experimental, °C
70	[103]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	12.1	0.1	0.0	0.0	2.3	30.9	53.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5
71	[103]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.4	0.3	0.0	0.0	2.0	59.4	21.2	10.4	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	-4
72	[103]	Aceite de oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	1.7	0.0	0.0	2.7	68.2	11.5	0.9	0.5	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.0	-2
73	[106]	Palma + Haba de Soja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	15.6	0.1	0.1	0.0	3.8	26.2	47.3	5.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	-1
74	[105]	Grasa de pollo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	19.4	3.6	0.4	0.0	6.1	32.2	32.8	2.9	0.0	0.0	0.0	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	3
75	[105]	Pellejo	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	1.4	0.4	26.2	6.1	0.9	0.9	11.3	44.8	3.5	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
76	[107]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	44.2	0.0	0.0	0.0	3.6	41.1	8.4	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16

Tabla A2. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad CP. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de CP.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CP Experimental, °C
1	[85]	<i>Penycress</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.2	0.0	0.0	0.5	12.6	22.4	11.8	2.4	9.8	0.0	0.0	0.5	35.0	0.0	0.0	-11.6
2	[84]	Avellana	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.4	0.0	0.0	2.1	78.3	13.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-9.3
3	[90]	Semilla de Amapola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	2.2	13.7	74.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-8
4	[86]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.3	0.0	0.0	2.9	53.8	23.4	9.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	-8
5	[87]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	64.1	18.9	8.8	0.6	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-7
6	[9]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	1.9	61.5	20.2	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.1
7	[9]	Cártamo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	2.2	13.9	76.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.1
8	[84]	Nuez	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	2.6	15.9	60.7	12.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.1
9	[9]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	2.6	78.7	5.8	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1
10	[9]	Linaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	3.7	21.7	15.8	52.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.1
11	[108]	Semilla de amapola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.2	0.0	0.0	3.1	16.6	68.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5
12	[87]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	5.4	0.3	0.0	0.0	1.9	63.3	19.6	6.7	0.5	1.2	0.1	0.0	0.3	0.4	0.2	0.0	-5
13	[87]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.9	64.4	22.3	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CP Experime ntal, °C
14	[109]	<i>Croton megalocarpus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.5	0.1	0.1	0.0	3.8	11.6	72.7	3.9	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4
15	[110]	Semilla de Lino	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	5.6	20.7	15.9	51.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	-4
16	[94]	Coco	0.4	7.5	5.8	45.6	18.4	0.0	0.0	9.5	0.1	0.0	0.0	2.9	7.6	2.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	-4
17	[111]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.6	0.3	0.0	0.0	1.8	62.4	19.3	8.4	0.6	1.4	0.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.4	-3
18	[87]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.0	3.2	23.3	55.5	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2
19	[87]	Colza + Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	7.8	0.2	0.0	0.0	3.2	36.2	48.3	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2
20	[85]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.3	0.0	0.0	2.2	62.7	20.6	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.2
21	[9]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	3.2	25.0	53.3	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.1
22	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	4.0	22.2	50.2	6.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.1
23	[41]	Pongamia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	6.2	72.2	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1
24	[85]	Aceite de cocina residual	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.6	0.0	0.0	4.0	38.1	40.5	4.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.6
25	[98]	<i>Colocynthis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	9.4	0.1	0.1	0.0	7.5	16.2	65.6	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0
26	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0	4.3	22.6	51.2	9.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
27	[9]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	4.2	24.0	63.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9
28	[95]	Coco	0.0	8.0	6.2	47.7	14.2	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	2.8	8.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1
29	[86]	Haba de soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0	6.7	22.7	44.1	9.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	1
30	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	4.3	24.2	51.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
31	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	4.3	24.2	51.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
32	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	4.6	24.2	53.3	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
33	[85]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	4.7	22.7	53.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
34	[111]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	10.8	0.2	0.0	0.0	3.6	24.9	52.7	6.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.5	0.1	0.2	0.0	2
35	[93]	Alto contenido ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	16.8	0.1	0.0	0.0	4.3	13.9	55.8	7.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
36	[85]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	6.6	0.5	0.0	0.0	4.3	66.1	17.2	2.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	2.5

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CP Experime ntal, °C	
37	[112]	Verdolaga	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	0.0	0.0	0.0	3.6	11.8	34.1	32.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
38	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 80:20	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	0.3	0.3	15.1	2.0	0.8	0.2	10.3	20.7	47.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	3	
39	[113]	<i>Jatropha</i> <i>curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	17.7	0.8	0.0	0.0	6.4	41.8	32.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3	
40	[93]	Haba de soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	4.3	24.8	50.8	8.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	
41	[114]	Semilla de caucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	8.7	24.6	39.6	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	
42	[111]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.6	0.2	0.0	0.0	3.4	28.6	59.5	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.8	0.1	0.3	0.0	4	
43	[41]	<i>Jatropha</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	1.4	0.0	0.0	6.9	43.1	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	
44	[87]	Soya + Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	19.1	0.0	0.0	0.0	5.0	24.7	43.9	6.1	0.4	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	4	
45	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 60:40	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.6	0.6	18.7	3.8	1.0	0.4	10.9	23.2	35.7	0.7	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	5	
46	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.4	3.0	0.0	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	5.5	24.5	45.6	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	
47	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 40:60	0.0	0.0	0.0	0.3	4.6	0.8	0.7	21.5	5.3	1.3	0.5	12.2	25.4	25.5	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	7	
48	[98]	<i>Colocynthis</i> + grasa de camello 20:80	0.0	0.0	0.0	0.3	6.2	1.1	1.0	24.8	7.4	1.7	0.7	12.9	26.9	15.1	0.8	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	8	
49	[99]	<i>Argania</i> <i>spinosa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	12.5	1.2	0.0	0.0	5.9	43.6	35.8	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	8	
50	[93]	Aceite de cocina usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	15.3	0.9	0.0	0.0	8.1	49.0	24.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4	
51	[115]	<i>Aphanamixis</i> <i>polystachya</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	0.3	0.0	0.0	11.8	18.3	26.7	23.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	8	
52	[116]	Semilla de algodón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	24.4	0.4	0.0	0.0	2.2	17.2	55.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9	
53	[100]	Aceite de cocina residual	0.0	0.1	0.3	1.2	0.1	0.0	0.0	37.3	0.1	0.0	0.0	4.0	40.4	17.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	
54	[9]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.5	0.0	0.0	0.0	4.1	43.2	10.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	CP Experime ntal, °C	
55	[113]	<i>Calophyllum inophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	0.3	0.0	0.0	16.0	41.3	26.6	0.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
56	[117]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	36.2	0.0	0.0	0.0	4.6	45.0	13.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
57	[111]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	35.7	0.4	0.0	0.0	3.7	44.7	13.2	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	12
58	[101]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0	19.0	39.1	19.6	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13
59	[113]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	38.1	0.2	0.0	0.0	4.1	44.2	11.0	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	13
60	[95]	<i>Calophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.4	0.0	0.0	16.7	39.1	26.9	0.6	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	14
61	[101]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	0.0	0.0	0.0	19.0	39.0	19.5	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15
62	[41]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	4.1	43.4	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16
63	[102]	Espuma de leche lavada	0.6	0.9	2.3	3.3	12.2	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0	12.7	26.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	17
64	[84]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	2.3	78.9	4.4	0.0	1.2	1.9	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	1.8	0.0	18
65	[111]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	1.7	54.2	27.5	0.2	0.9	2.4	0.0	0.0	0.0	2.9	0.2	1.8	0.0	20
66	[118]	Fruta con hueso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	2.5	63.8	25.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	-4
67	[119]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	3.8	33.5	54.7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	-2
68	[106]	Palma + Haba de Soja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	15.6	0.1	0.1	0.0	3.8	26.2	47.3	5.4	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	2.1
69	[119]	<i>Jatropha</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	7.1	41.8	35.8	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
70	[83]	<i>Jatropha Curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	14.6	0.6	0.0	0.0	7.6	44.6	31.9	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3
71	[119]	Salvado de arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	19.5	0.0	0.0	0.0	3.0	38.1	34.3	0.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
72	[119]	Coco	0.0	0.4	1.3	22.0	15.2	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	2.6	29.4	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4
73	[119]	Palma	0.0	0.1	0.0	0.3	0.7	0.0	0.0	36.8	0.0	0.0	0.0	0.0	46.5	13.7	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	10
74	[119]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	17.8	0.0	0.0	0.0	21.8	48.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
75	[107]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	44.2	0.0	0.0	0.0	3.6	41.1	8.4	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18

Tabla A3. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad PP. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de PP.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	PP experime ntal, °C
1	[85]	<i>Penycress</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.2	0.0	0.0	0.5	12.6	22.4	11.8	2.4	9.8	0.0	0.0	0.5	35.0	0.0	0.0	-17
2	[86]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.3	0.0	0.0	2.9	53.8	23.4	9.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	-15
3	[84]	Avellana	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.4	0.0	0.0	2.1	78.3	13.1	0.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-13
4	[86]	Cártamo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	4.4	12.8	69.7	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.3	0.0	-13
5	[108]	Semilla de amapola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.2	0.0	0.0	3.1	16.6	68.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-13
6	[114]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.9	64.4	22.3	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-12
7	[85]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.3	0.0	0.0	2.2	62.7	20.6	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10
8	[84]	Nuez	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	2.6	15.9	60.7	12.8	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-10
9	[110]	Semilla de Lino	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	5.6	20.7	15.9	51.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	-9
10	[111]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.6	0.3	0.0	0.0	1.8	62.4	19.3	8.4	0.6	1.4	0.0	0.0	0.3	0.2	0.2	0.4	-9
11	[109]	<i>Croton megalocarpus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.5	0.1	0.1	0.0	3.8	11.6	72.7	3.9	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-9
12	[91]	Camelina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	2.6	14.3	14.3	38.4	0.3	16.8	0.0	0.0	1.4	2.9	0.0	0.0	-8
13	[87]	Semilla de caucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	8.7	24.6	39.6	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-8
14	[98]	<i>Colocynthis</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	9.4	0.1	0.1	0.0	7.5	16.2	65.6	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	-7
15	[41]	Pongamia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	6.2	72.2	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6
16	[112]	Verdolaga	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	0.0	0.0	0.0	3.6	11.8	34.1	32.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6
17	[111]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.6	0.2	0.0	0.0	3.4	28.6	59.5	0.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.8	0.1	0.3	0.0	-6
18	[94]	Coco	0.4	7.5	5.8	45.6	18.4	0.0	0.0	9.5	0.1	0.0	0.0	2.9	7.6	2.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	-5
19	[93]	Semilla de girasol con alto contenido de ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	4.0	82.0	8.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5
20	[85]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	6.6	0.5	0.0	0.0	4.3	66.1	17.2	2.0	0.4	0.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	-5
21	[97]	Aceite de cocina residual	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	20.1	0.0	0.0	0.0	14.9	21.7	35.4	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-4

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	PP experime ntal, °C
22	[98]	Colocynthis + grasa de camello 80:20	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	0.3	0.3	15.1	2.0	0.8	0.2	10.3	20.7	47.0	0.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	-4
23	[87]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.0	3.2	23.3	55.5	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3
24	[95]	Coco	0.0	8.0	6.2	47.7	14.2	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	2.8	8.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3
25	[41]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	1.4	0.0	0.0	6.9	43.1	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3
26	[96]	Aceite de cocina residual	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	7.7	0.5	0.0	0.0	3.5	32.3	53.3	0.1	0.3	0.3	0.0	0.0	1.3	0.0	0.5	0.0	-3
27	[85]	Aceite de cocina residual	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.9	0.6	0.0	0.0	4.0	38.1	40.5	4.7	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2
28	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0	4.3	22.6	51.2	9.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2
29	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	4.3	24.8	50.8	8.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2
30	[98]	Colocynthis + grasa de camello 60:40	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.6	0.6	18.7	3.8	1.0	0.4	10.9	23.2	35.7	0.7	0.3	0.3	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	-2
31	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	4.0	22.2	50.2	6.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.6
32	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	4.3	24.2	51.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.3
33	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	4.3	24.2	51.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.8
34	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.4	3.0	0.0	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	5.5	24.5	45.6	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2
35	[86]	Haba de soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	0.0	0.0	0.0	6.7	22.7	44.1	9.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0
36	[93]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	4.6	24.2	53.3	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
37	[85]	Haba de Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	4.7	22.7	53.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0
38	[111]	Haba de Soja	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	10.8	0.2	0.0	0.0	3.6	24.9	52.7	6.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.5	0.1	0.2	0.0	0
39	[98]	Colocynthis + grasa de camello 40:60	0.0	0.0	0.0	0.3	4.6	0.8	0.7	21.5	5.3	1.3	0.5	12.2	25.4	25.5	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0
40	[113]	Jatropha curcas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	17.7	0.8	0.0	0.0	6.4	41.8	32.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
41	[98]	Colocynthis + grasa de camello 20:80	0.0	0.0	0.0	0.3	6.2	1.1	1.0	24.8	7.4	1.7	0.7	12.9	26.9	15.1	0.8	0.2	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	2
42	[116]	Semilla de algodón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	24.4	0.4	0.0	0.0	2.2	17.2	55.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2
43	[93]	FAME alto contenido ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	16.8	0.1	0.0	0.0	4.3	13.9	55.8	7.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	PP experime ntal, °C	
44	[93]	Aceite de cocina usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	15.3	0.9	0.0	0.0	8.1	49.0	24.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3
45	[99]	<i>Argania spinosa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	12.5	1.2	0.0	0.0	5.9	43.6	35.8	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	5
46	[100]	Aceite de cocina residual	0.0	0.1	0.3	1.2	0.1	0.0	0.0	37.3	0.1	0.0	0.0	4.0	40.4	17.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5
47	[101]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	21.5	0.0	0.0	0.0	19.0	39.1	19.6	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6
48	[115]	<i>Aphanamixis polystachya</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	0.3	0.0	0.0	11.8	18.3	26.7	23.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	8
49	[120]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	0.0	0.0	41.9	0.2	0.0	0.0	4.6	41.2	10.3	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
50	[113]	<i>Calophyllum inophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	0.3	0.0	0.0	16.0	41.3	26.6	0.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8
51	[101]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	0.0	0.0	0.0	19.0	39.0	19.5	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10
52	[102]	Espuma de leche lavada	0.6	0.9	2.3	3.3	12.2	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0	12.7	26.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10
53	[121]	<i>Moringa Peregrina</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	2.7	0.0	0.0	4.0	71.1	4.2	0.5	2.4	1.9	0.0	0.0	3.1	0.0	1.0	0.0	0.0	11
54	[117]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	36.2	0.0	0.0	0.0	4.6	45.0	13.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
55	[111]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	0.0	0.0	35.7	0.4	0.0	0.0	3.7	44.7	13.2	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	12
56	[41]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	4.1	43.4	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12
57	[95]	<i>Calophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.4	0.0	0.0	16.7	39.1	26.9	0.6	0.9	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	13
58	[113]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.3	1.0	0.0	0.0	38.1	0.2	0.0	0.0	4.1	44.2	11.0	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	15
59	[84]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	0.0	2.3	78.9	4.4	0.0	1.2	1.9	0.0	0.0	2.6	0.0	1.8	0.0	0.0	15
60	[111]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	1.7	54.2	27.5	0.2	0.9	2.4	0.0	0.0	2.9	0.2	1.8	0.0	0.0	15
61	[122]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	1.0	64.0	22.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-13
62	[103]	Haba de soja	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	3.8	23.7	54.5	6.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	-9
63	[118]	Fruta con hueso	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	2.5	63.8	25.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-8
64	[103]	Maiz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	12.1	0.1	0.0	0.0	2.3	30.9	53.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-6.5
65	[103]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.4	0.3	0.0	0.0	2.0	59.4	21.2	10.4	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	-6
66	[122]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	3.0	17.0	74.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-5
67	[103]	Aceite de oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	1.7	0.0	0.0	2.7	68.2	11.5	0.9	0.5	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.6	0.0	0.0	-4
68	[103]	Coco	0.6	8.1	6.5	47.0	18.6	8.4	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	2.6	6.4	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-3
69	[122]	Haba de Soja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	3.0	23.0	55.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-2

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	PP experime ntal, °C	
70	[107]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	44.2	0.0	0.0	0.0	3.6	41.1	8.4	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13

Tabla A4. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad viscosidad. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de viscosidad.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	Viscosi dad (mm ² /s)	
1	[123]	Coco	0.0	6.3	6.0	49.2	18.5	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0	2.7	6.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7260
2	[124]	Palma Kernel	0.4	3.8	4.0	49.5	14.9	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	2.5	14.7	2.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9400
3	[125]	Babassu	0.0	0.0	5.1	28.1	25.6	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	5.0	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1800
4	[36]	Palma Kernel	3.6	3.1	48.0	14.7	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	15.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2480
5	[50]	Coco	0.0	8.9	6.2	48.8	20.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	3.1	4.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6500
6	[102]	Escama de leche lavada	0.9	2.4	3.4	12.8	38.7	0.0	0.0	0.0	0.0	13.3	0.0	28.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8000
7	[126]	Semilla de girasol destilado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	4.2	27.4	61.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8800
8	[126]	Semilla de girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	4.7	24.0	63.7	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9300
9	[125]	Semilla de algodón	0.0	0.0	0.0	0.6	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	15.7	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9900
10	[127]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.1	11.0	0.0	0.0	0.1	0.0	4.0	0.0	23.4	53.2	7.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0000
11	[127]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.0	0.1	0.0	0.0	4.0	23.4	53.2	7.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0000
12	[124]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.4	0.3	0.0	0.0	2.0	59.4	21.2	10.4	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	4.0000
13	[47]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	5.9	16.0	71.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0300
14	[67]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.1	11.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	55.3	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0400
15	[128]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	4.0	21.3	53.7	8.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0570
16	[47]	Algodón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	22.9	0.0	0.0	0.0	3.1	18.5	54.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0600
17	[47]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	4.5	24.3	53.1	7.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	4.0700
18	[36]	Uva	0.0	0.0	0.0	0.1	6.9	0.0	0.0	0.1	0.0	4.0	0.0	19.0	69.2	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1000
19	[127]	Girasol	0.0	0.0	0.5	0.2	4.8	0.0	0.0	0.8	0.0	5.7	0.0	20.6	66.2	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1000
20	[129]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.5	0.1	0.0	0.0	4.3	24.2	51.4	7.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	4.1000

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	Viscosidad (mm ² /s)
21	[130]	<i>Swietenia Mahagoni</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.4	0.0	0.0	14.1	25.5	32.6	12.1	1.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9	0.0	4.1300
22	[127]	Pongamina (karanjia)	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	72.2	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1600
23	[124]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	12.1	0.1	0.0	0.0	2.3	30.9	53.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1800
24	[47]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	3.1	29.1	56.8	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1800
25	[131]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	0.0	0.0	0.0	18.0	40.1	18.1	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2000
26	[36]	Almendra	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	0.5	0.0	2.9	0.0	77.2	7.6	0.8	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.2000
27	[36]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.1	0.0	3.7	0.0	25.2	63.1	0.2	0.3	0.2	0.7	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	4.2000
28	[126]	Colza destilada	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	2.6	62.2	21.1	7.9	1.0	2.1	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	4.2200
29	[126]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	2.1	60.3	20.9	8.2	0.6	1.3	0.0	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	4.2400
30	[126]	Aceite usado destilado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	11.6	0.3	0.0	0.0	4.4	58.0	19.2	2.3	0.5	0.9	0.0	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	4.2700
31	[132]	Aceite de cocina usado	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	1.1	53.9	0.5	0.0	0.0	0.3	42.0	0.3	0.0	0.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3000
32	[97]	Aceite de cocina usado	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	20.1	0.0	0.0	0.0	14.9	21.7	35.4	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3200
33	[47]	Sebo de res	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	15.9	0.9	0.0	0.0	8.5	31.7	36.5	4.6	0.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	4.3600
34	[128]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	1.3	27.1	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3630
35	[128]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	2.3	32.6	59.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	4.3810
36	[36]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.6	0.0	1.4	0.0	65.7	25.3	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	4.4000
37	[127]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.1	14.2	0.0	0.0	1.4	0.0	6.9	0.0	43.1	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4000
38	[36]	Girasol con alto contenido de ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	0.0	0.1	0.0	3.5	0.0	64.1	26.2	0.1	0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	4.4000
39	[127]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	1.4	0.0	0.0	6.9	43.1	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4000
40	[129]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	0.1	0.0	0.0	4.5	25.0	50.7	7.3	0.4	0.3	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	4.4100
41	[67]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	66.6	17.2	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4200
42	[126]	Sebo de res destilado	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	25.6	2.1	0.0	0.0	22.0	37.6	4.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4500
43	[67]	Jatropha C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	42.9	33.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.4600
44	[36]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	43.4	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5000
45	[36]	Palma	0.0	0.0	0.1	0.7	36.7	0.0	0.0	0.1	0.0	6.6	0.0	46.1	8.6	0.3	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.5000
46	[36]	Olive	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	0.0	1.0	0.0	3.1	0.0	75.0	7.8	0.6	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	4.5000

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	Viscosidad (mm ² /s)	
47	[127]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	3.1	43.4	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5000
48	[133]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.5	0.1	0.0	0.0	3.8	23.2	48.9	1.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	4.5460	
49	[67]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	67.6	20.9	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	4.5500	
50	[126]	Sebo de res sin destilar	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	21.9	1.6	0.0	0.0	17.0	45.1	8.1	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5700	
51	[128]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	66.0	18.9	5.6	1.9	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5850	
52	[36]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.1	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	53.3	28.4	0.3	0.9	2.4	3.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	4.6000	
53	[133]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.3	0.2	0.0	0.0	2.5	58.1	21.8	0.4	1.0	1.6	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2	0.0	4.6300	
54	[126]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	14.4	0.4	0.0	0.0	4.3	57.2	17.1	2.1	0.5	0.9	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	4.6300	
55	[67]	<i>Cianara Cardunculus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.0	46.8	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	4.6600	
56	[133]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	17.3	2.2	0.0	0.0	9.5	45.3	14.5	1.3	1.1	1.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	4.6600	
57	[67]	Girasol con alto contenido de ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	85.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7400	
58	[134]	<i>Camelina Sativa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.5	0.1	0.0	0.0	2.4	14.4	19.1	33.5	1.5	15	2.2	1.4	0.3	3.1	0.2	0.6	3.9000	
59	[75]	<i>M. oleifera</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	13.5	1.5	0	0.0	7.8	68.5	1.8	0.7	5.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7700	
60	[103]	Coco	0.59	8.1	6.5	47	18.6	0.0	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	2.6	6.4	1.6	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0500	
61	[103]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	3.8	23.7	54.5	6.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.28	0.25	0.0	0.0	3.86	
62	[103]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.17	0.0	0.0	12.1	0.12	0.0	0.0	2.3	30.9	53.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.12	0.0	0.6	0.0	4.18	
63	[103]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.0	13.6	1.65	0.0	0.0	2.7	68.2	11.5	0.9	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.31	
64	[103]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.18	0.0	0.0	4.35	0.275	0.0	0.0	2	59.4	21.15	10.35	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.78	0.0	0.0	4.20	
65	[103]	Palma Kernel	0.4	3.8	4	49.5	14.9	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	2.5	14.7	2.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.94	
66	[114]	Semilla de algodón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.0	0.0	11.67	0.0	0.0	0.0	0.89	13.27	57.51	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.00	
67	[114]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.75	0.0	0.0	0.0	3.15	23.36	55.53	6.31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.08	
68	[135]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.2	0.0	0.0	0.0	7.1	43.2	34.9	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	4.3	

Tabla A5. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad densidad. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de densidad.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	Densidad Experimental, g/cm ³	
1	[136]	Coco	0.0	10.1	6.4	46.4	17.2	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	2.4	6.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.87
2	[137]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	31.0	0.0	0.0	0.0	16.4	36.6	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.87
3	[138]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	43.4	0.2	0.0	0.0	4.2	41.8	9.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8716
4	[139]	<i>Calophyllum inophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	0.3	0.0	0.0	16.0	41.3	26.6	0.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8727
5	[136]	Coco	0.0	8.9	6.2	48.8	20.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	3.1	4.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8733
6	[136]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	0.0	4.5	39.7	10.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.874
7	[140]	Aceite de Palma residual	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	39.0	0.2	0.0	0.0	4.3	43.7	10.6	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.875
8	[141]	Palma/Coco	0.0	2.3	1.8	21.8	6.4	0.0	0.0	24.5	0.0	0.0	0.0	3.2	31.9	7.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8764
9	[128]	Palma Kernel	0	3.6	3.1	48.0	14.7	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	1.4	15.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8766
10	[105]	Carne	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	1.4	0.4	26.2	6.1	0.9	0.9	11.3	44.8	3.5	0.3	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8767
11	[133]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	0.0	0.0	23.9	2.8	0.0	0.0	19.5	38.5	6.4	0.3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.8767
12	[133]	Grasa Amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	17.3	2.2	0.0	0.0	9.5	45.3	14.5	1.3	1.1	1.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8767
13	[137]	Grasa de ave	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	0.0	0.0	0.0	6.0	47.0	15.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.877
14	[142]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.0	0.0	42.5	0.1	0.0	0.0	4.0	41.9	9.8	0.1	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8779
15	[128]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.5	1.6	0.0	0.0	49.8	0.0	0.0	0.0	2.9	38.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8784
16	[67]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	67.6	20.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.8786
17	[133]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	13.4	60.7	0.6	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8789
18	[143]	<i>Jatropha curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	13.0	0.7	0.0	0.0	5.8	44.5	35.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.879
19	[123]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	0.7	0.0	0.0	5.5	39.1	41.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8795
20	[125]	Algodón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	24.1	0.0	0.0	0.0	2.6	15.7	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8803
21	[135]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.2	0.0	0.0	0.0	7.1	43.2	34.9	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.881
22	[19]	<i>Jatropha curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.2	0.0	0.0	0.0	7.1	43.2	34.9	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.881
23	[133]	Canola ME	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.2	0.0	0.0	2.5	58.1	21.8	0.4	1.0	1.6	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2	0.0	0.0	0.8811

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	Densidad Experimental, g/cm ³	
24	[144]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.1	0.0	4.7	22.5	52.4	8.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8814
25	[123]	Café	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.5	0.0	0.0	3.4	70.0	12.7	0.8	0.6	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.8815	
26	[67]	<i>Jatropha curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	42.9	33.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8816	
27	[142]	Soya/palma	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	25.6	0.1	0.0	0.0	4.0	33.1	31.7	3.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.3	0.1	0.6	0.0	0.882	
28	[145]	<i>Terminalia belerica</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8	0.5	0.0	0.0	6.4	31.3	28.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.882	
29	[142]	Palma/colza	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5	0.0	0.0	23.1	0.2	0.0	0.0	3.0	52.9	15.5	3.1	0.5	0.7	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.8821	
30	[146]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	4.0	23.0	51.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8821	
31	[146]	Semilla de Uva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.5	0.0	0.0	4.0	16.0	72.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8821	
32	[142]	Soya/colza/palma	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	19.0	0.1	0.0	0.0	3.3	42.5	27.9	4.7	0.5	0.5	0.0	0.0	0.3	0.1	0.5	0.0	0.883	
33	[147]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.0	0.0	45.5	0.0	0.0	0.0	4.0	38.0	10.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.883	
34	[140]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.1	0.0	0.0	1.9	59.7	21.7	9.4	0.0	1.5	0.0	0.0	0.4	0.6	0.0	0.0	0.8832	
35	[147]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	3.9	25.8	52.7	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8832	
36	[148]	<i>Ceiba pentandra</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	20.8	0.5	0.0	0.0	4.2	33.8	38.2	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8836	
37	[123]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	4.1	22.0	55.3	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.884	
38	[141]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	1.5	64.4	20.3	8.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.884	
39	[146]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	2.1	30.0	53.9	1.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.884	
40	[142]	Soya-Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.6	0.1	0.0	0.0	2.7	41.0	36.7	7.1	0.4	0.7	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.8843	
41	[89]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.1	0.2	0.0	0.0	1.9	58.9	20.6	9.3	0.6	1.4	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	0.8844	
42	[142]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0	3.7	28.7	50.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8847	
43	[125]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	0.0	4.0	20.0	58.4	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8848	
44	[47]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	4.5	24.3	53.1	7.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.885	
45	[123]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	0.1	0.0	0.1	1.8	27.2	56.2	1.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.885	
46	[135]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0	4.3	23.7	53.1	7.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.885	
47	[136]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.3	0.2	0.0	0.0	4.6	23.0	52.8	7.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.885	
48	[123]	Salvado de arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	2.1	47.5	35.4	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.8855	
49	[142]	[2] Soya/colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	8.9	0.2	0.0	0.0	2.8	41.8	37.5	7.0	0.5	0.7	0.0	0.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.8857	

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	Densidad Experimental, g/cm ³
50	[67]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	52.1	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.8857
51	[67]	<i>Cynara c.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8	41.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.8857
52	[142]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.2	0.2	0.0	0.0	1.6	62.1	21.1	7.0	0.6	1.4	0.0	0.0	0.4	0.2	0.2	0.0	0.886
53	[105]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	2.3	31.0	54.5	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.886
54	[142]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.4	0.1	0.0	0.0	4.2	23.9	64.2	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.8	0.1	0.0	0.0	0.8872
55	[142]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.8	0.1	0.0	0.0	3.9	23.0	53.5	7.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.8	0.2	0.0	0.0	0.8873
56	[134]	<i>Camelina Sativa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.5	0.1	0.0	0.0	2.4	14.4	19.1	33.5	1.5	15.0	2.2	1.4	0.3	3.1	0.2	0.6	0.8876
57	[133]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.9	0.1	0.0	0.0	4.2	26.2	55.3	1.3	0.3	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.8877
58	[123]	Camelina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.2	17.7	18.0	37.9	1.4	9.8	1.6	0.0	0.4	4.5	0.3	0.2	0.888
59	[109]	<i>Croton megalocarpus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.5	0.1	0.1	0.0	3.8	11.6	72.7	3.9	0.0	0.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8899
60	[123]	Semilla de Lino	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	3.8	20.7	15.9	54.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.8925
61	[128]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.00	0.0	0.0	1.4	66.0	18.9	5.6	1.9	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.8849
62	[128]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	2.3	32.6	59.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8856
63	[125]	Babassu	0.0	0.0	5.1	28.1	25.6	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	5.0	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8744
64	[128]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	4.0	21.3	53.7	8.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8852
65	[128]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.00	0.0	0.0	1.3	27.1	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8858
66	[19]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	44.5	0.00	0.0	0.0	4.9	39.6	9.3	0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.875
67	[19]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	4.3	23.7	53.0	7.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.885
68	[19]	Girasol	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.0	0.0	6.60	0.00	0.0	0.0	3.1	36.2	52.9	0.6	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.885

Tabla A6. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad NC. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de NC.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	NC Experimental	
1	[146]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	7.0	10.0	74.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	NC Experim ental	
2	[75]	<i>C. megalocarpu s</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	4.5	13.1	67.8	3.5	0.0	2.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.55
3	[149]	<i>Croton megalocarpu s</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	5.2	13.9	70.5	3.7	0.0	1.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.57
4	[150]	Linaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	5.6	20.2	14.9	51.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	48
5	[151]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	3.7	22.8	53.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48
6	[76]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0	3.7	22.8	53.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.1
7	[134]	<i>Camelina Sativa</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.5	0.1	0.0	0.0	2.4	14.4	19.1	33.5	1.5	15.0	2.2	1.4	0.3	3.1	0.2	0.6	49.7	
8	[152]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.8	0.1	0.0	0.0	4.5	25.0	50.7	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	50.4
9	[83]	<i>Jatropha Curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	14.6	0.6	0.0	0.0	7.6	44.6	31.9	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51
10	[151]	Semilla de Caucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	8.3	27.8	37.7	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51
11	[128]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	4.0	21.3	53.7	8.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.3
12	[76]	Semilla de Caucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	0.0	8.3	27.8	37.6	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.3
13	[128]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	2.3	32.6	59.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	51.6
14	[153]	<i>Tobacco Seed</i>	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	8.2	0.1	0.0	0.0	3.6	12.1	73.0	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	51.6
15	[154]	<i>Brassica carinata</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	1.0	9.7	16.8	16.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	42.5	0.0	0.0	52.0	
16	[151]	Karanja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	7.8	53.2	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0
17	[151]	Semilla de algodón	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	0.0	0.0	20.1	0.0	0.0	0.0	2.6	19.2	55.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.1
18	[141]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	1.5	63.4	20.0	7.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.5
19	[145]	<i>Terminalia belerica</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.8	0.5	0.0	0.0	6.4	31.3	28.8	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0
20	[155]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	0.0	0.0	0.0	5.7	43.4	33.6	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0
21	[156]	<i>Terminalia belerica</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	0.0	0.0	3.9	61.5	18.5	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.4
22	[128]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	0.0	0.0	0.0	2.7	40.5	36.6	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	54.0
23	[157]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	2.5	61.4	22.3	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0
24	[151]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	15.6	0.0	0.0	0.0	10.5	42.1	30.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0
25	[89]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.1	0.2	0.0	0.0	1.9	58.9	20.6	9.3	0.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.0	0.0	54.3
26	[128]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	1.4	66.0	18.9	5.6	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	54.5

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	NC Experim ental	
27	[127]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	3.1	43.4	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.6
28	[76]	Girasol:coco 50:50	0.0	0.0	0.0	20.3	10.5	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	4.3	19.4	32.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.6
29	[158]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	1.5	63.1	19.9	9.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	54.7
30	[128]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	1.6	1.5	0.0	0.0	27.3	0.0	0.0	0.0	4.9	36.1	25.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0
31	[159]	Semilla de Lino	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.3	0.0	0.0	2.5	18.9	18.1	55.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.0
32	[127]	Pongamia (Karanja)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	6.2	72.2	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.1
33	[128]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	1.3	27.1	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.4
34	[160]	Karanja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	5.0	44.8	21.4	3.5	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	4.4	0.0	55.4
35	[127]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	4.8	0.8	0.0	0.0	5.7	20.6	66.2	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.6
36	[89]	Jabón	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	7.8	0.1	0.0	0.0	3.9	40.3	42.3	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.0	0.0	56.7
37	[161]	Neem	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.4	0.0	0.0	6.3	45.0	32.5	0.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	56.7
38	[162]	Baobab	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.0	0.0	0.0	0.0	20.3	22.1	27.5	8.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.0
39	[127]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	1.4	0.0	0.0	6.9	43.1	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.1
40	[76]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	15.6	0.0	0.0	0.0	10.5	42.1	30.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.6
41	[163]	Bay Laurel	0.0	0.0	0.0	18.3	3.5	0.0	0.0	21.8	0.5	0.0	0.0	3.8	30.9	20.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.0
42	[151]	Jatropha:coc o 50:50	0.0	0.0	0.0	20.9	10.4	0.0	0.0	13.7	0.0	0.0	0.0	7.2	26.1	18.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.0
43	[151]	Neem	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0	20.1	41.3	16.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.7
44	[151]	Sebo de res	0.0	0.0	0.0	0.1	2.5	0.0	0.0	23.3	0.0	0.0	0.0	19.4	42.4	2.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	58.8
45	[151]	Jatropha:pal ma 50:50	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.0	0.0	28.1	0.0	0.0	0.0	7.7	42.7	20.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.0
46	[75]	<i>Jatropha curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	14.8	0.6	0.0	0.0	7.2	41.2	35.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.0
47	[155]	Coco	0.0	3.4	3.3	32.7	18.4	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0	0.0	3.6	12.9	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0
48	[151]	Coco	0.0	0.0	0.0	45.6	22.1	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	3.6	8.2	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0
49	[151]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	23.4	0.0	0.0	0.0	28.4	29.8	17.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.4
50	[151]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	0.0	0.0	39.0	0.0	0.0	0.0	4.6	44.4	10.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.6
51	[128]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.5	1.6	0.0	0.0	49.8	0.0	0.0	0.0	2.9	38.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.0
52	[128]	Palma Kernel	0.0	3.6	3.1	48.0	14.7	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	1.4	15.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.1
53	[149]	<i>Moringa oleifera</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	13.8	1.1	0.0	0.0	4.7	72.1	2.5	0.9	3.8	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.1

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	NC Experimental
54	[75]	<i>Moringa oleifera</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	13.5	1.5	0.0	0.0	7.8	68.5	1.8	0.7	5.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.2
55	[152]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	17.4	2.0	0.0	0.0	12.4	54.7	8.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.6
56	[76]	Neem	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.0	0.0	18.4	0.0	0.0	0.0	22.1	41.3	16.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	63.9
57	[151]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.2	0.8	0.0	0.0	39.5	0.0	0.0	0.0	5.1	43.1	10.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.0
58	[160]	Coco	0.0	0.0	5.1	43.3	21.3	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	2.4	4.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.5
59	[136]	Coco	0.0	10.1	6.4	46.4	17.2	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	2.4	6.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.8
60	[164]	Coco	0.0	8.9	6.2	48.8	20.0	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	3.1	4.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.0
61	[136]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.3	0.2	0.0	0.0	4.6	23.0	52.8	7.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.0
62	[144]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.1	0.0	4.7	22.5	52.3	8.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	52.0
63	[165]	<i>Vernicia fordii</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.30	0.0	0.0	0.0	9.1	57.2	15.6	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0
64	[133]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.25	0.2	0.0	0.0	2.46	58.0	21.7	0.4	1.0	1.5	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2	0.0	54.0
65	[135]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.2	0.0	0.0	0.0	7.1	43.2	34.9	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	54.0
66	[166]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	2.2	58.4	21.4	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0
67	[165]	<i>Camellia japonica</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	0.0	0.0	0.0	12.1	40.3	33.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0
68	[140]	Aceite usado de palma	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	39	0.2	0.0	0.0	4.3	43.6	10.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.0

Tabla A7. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad FP. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de FP.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	FP Experimental, °C
1	[50]	Coco	0.0	7.0	5.9	46.3	17.8	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	2.9	8.2	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	108
2	[164]	Coco	0.0	8.9	6.2	48.8	20.0	0.0	0.0	7.8	0.1	0.0	0.0	3.1	4.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	110
3	[125]	Babassu	0.0	0.0	5.1	28.1	25.6	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0	0.0	0.1	20.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	112
4	[123]	Coco	0.0	6.3	6.0	49.2	18.5	0.0	0.0	9.1	0.0	0.0	0.0	2.7	6.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	115
5	[95]	Coco	0.0	8.0	6.2	47.7	14.2	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	2.8	8.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.9
6	[167]	Coco	0.0	8.2	6.6	48.3	16.4	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	2.4	7.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	118.5

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	FP Experimental, °C
7	[137]	Manteca	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	0.0	0.0	25.3	2.9	0.0	0.0	14.8	39.5	13.9	0.3	0.5	0.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	128
8	[102]	Espuma de leche lavada	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	0.0	0.0	24.5	2.8	0.0	0.0	14.4	38.3	13.4	0.3	0.5	0.7	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	129
9	[141]	Palma	0.6	0.9	2.3	3.3	12.2	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0	12.7	26.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	130
10	[128]	Palma Kernel	0.0	2.3	1.8	21.8	6.4	0.0	0.0	24.5	0.0	0.0	0.0	3.2	31.9	7.2	0.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	131
11	[132]	Aceite usado	0.0	3.6	3.1	48.0	14.7	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	1.4	15.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	133
12	[123]	Babassu	0.0	0.5	3.8	48.8	17.2	0.0	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	4.0	14.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.7
13	[127]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	3.1	43.4	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	135
14	[133]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	0.0	0.0	23.9	2.8	0.0	0.0	19.5	38.5	6.4	0.3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	136
15	[168]	Mostaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	26.9	0.0	0.0	0.0	29.3	32.3	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	136
16	[131]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	22.5	0.0	0.0	0.0	18.0	40.1	18.1	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	140
17	[168]	Mostaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.2	0.0	0.0	0.0	25.8	37.2	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	140
18	[167]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.1	0.0	0.0	0.0	4.3	43.1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	140.5
19	[133]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	17.3	2.2	0.0	0.0	9.5	45.3	14.5	1.3	1.1	1.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	147
20	[97]	Aceite de cocina usado	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	20.1	1.8	0.0	0.0	14.9	21.7	35.4	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	148
21	[119]	Coco	0.0	0.4	1.3	22.0	15.2	0.0	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	2.6	29.4	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	152
22	[169]	<i>Zophobas morio Larva</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.7	0.0	0.0	0.0	9.4	29.4	22.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	159
23	[133]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	13.4	60.7	0.6	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	160
24	[127]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	160
25	[67]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	161
26	[170]	Semilla de algodón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	161.9
27	[133]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	0.0	0.0	5.3	0.2	0.0	0.0	2.5	58.1	21.8	0.4	1.0	1.6	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2	0.0	163
28	[127]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.2	1.4	0.0	0.0	6.9	43.1	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	163
29	[130]	<i>Swietenia Mahagoni</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.0	0.4	0.0	0.0	14.1	25.5	32.6	12.1	1.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.9	0.0	165
30	[67]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.1	52.1	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	165
31	[128]	Aceite fruta residual	0.0	0.0	0.0	1.6	1.5	0.0	0.0	27.3	0.0	0.0	0.0	4.9	36.1	25.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	167
32	[128]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	1.3	27.1	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	167

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	FP Experim ental, °C	
33	[67]	Girasol alto ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	85.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	167
34	[133]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.5	0.1	0.0	0.0	3.8	23.2	48.9	1.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	167
35	[171]	<i>Cascabela Ovata</i>	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	19.5	0.4	0.0	0.0	11.5	59.3	6.8	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	168
36	[125]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	0.0	4.0	20.0	58.4	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	168
37	[50]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	0.0	0.0	3.9	28.2	60.3	0.6	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	168
38	[50]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	0.0	2.1	34.1	50.0	0.6	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	168.3
39	[119]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	3.8	33.5	54.7	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.3	0.0	169
40	[119]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.0	7.1	41.8	35.8	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	170
41	[36]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.6	0.0	0.0	1.4	65.6	25.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	170
42	[36]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	1.6	33.0	20.4	7.9	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	170
43	[36]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.1	0.0	0.0	3.6	24.9	53.0	6.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	171
44	[50]	Oliva-pomace	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	2.7	76.9	9.6	0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	171.7
45	[36]	Almendra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.5	0.0	0.0	2.9	76.9	7.6	0.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.4	172
46	[172]	Salvado de arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.1	0.0	0.0	1.4	38.8	37.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	173
47	[128]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	4.0	21.3	53.7	8.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	173
48	[36]	Girasol alto ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.1	0.0	0.0	3.4	62.8	25.7	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.3	0.0	174
49	[67]	<i>Cianara Cardunculus</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8	41.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	175
50	[36]	Uva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.9	0.1	0.0	0.0	4.0	19.0	69.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	175
51	[119]	Salvado de arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	19.5	0.0	0.0	0.0	3.0	38.1	34.3	0.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	176
52	[36]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	1.8	53.3	28.4	0.3	0.9	2.4	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	1.8	0.0	176
53	[67]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	66.6	17.2	7.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	177
54	[128]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	1.4	66.0	18.9	5.6	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	177
55	[67]	<i>Brassica Carinata</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	17.2	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	0.0	177
56	[36]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.1	0.0	0.0	3.7	25.2	63.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.2	0.0	177
57	[119]	Neem	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	12.9	0.0	0.0	0.0	11.4	35.5	38.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	180
58	[127]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	4.8	0.8	0.0	0.0	5.7	20.6	66.2	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	180
59	[83]	<i>Jatropha Curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	14.6	0.6	0.0	0.0	7.6	44.6	31.9	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	182.5

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	FP Experim ental, °C
60	[128]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	2.3	32.6	59.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	183
61	[143]	<i>Ceiba Pentandraa</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	19.2	0.3	0.0	0.0	2.6	17.4	39.6	1.5	0.56	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	163.5
62	[153]	Semilla de <i>Tobacco</i>	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	8.2	0.1	0.0	0.0	3.6	12.1	73.0	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	165.4
63	[173]	Jabón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.4	0.0	0.0	0.0	4.8	16.5	55.3	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	169
64	[147]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	3.8	25.8	52.8	6.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	169
65	[147]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.87	0.0	0.0	0.0	2.1	66.7	17.2	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	175.5
66	[174]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	34.2	1.3	0.8	0.7	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	169
67	[175]	<i>Sapium sebiferum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	3.7	0.0	0.0	2.1	13.7	30.7	38.8	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	180
68	[176]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.80	0.0	0.0	0.0	3.8	28.2	62.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	176

Tabla A8. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad OS. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de OS.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	OS Exp, h
1	[74]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	3.8	26.2	50.1	5.5	0.4	0.0	0.0	0.0	0.5	0.4	0.0	0.0	0.16
2	[74]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	11.2	0.0	0.0	0.0	3.1	45.0	31.2	4.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.17
3	[123]	Semilla de Lino	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	3.8	20.7	15.9	54.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.2
4	[74]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	3.9	26.4	53.8	3.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.34
5	[123]	Salvado de arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	2.1	47.5	35.4	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.4
6	[74]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	2.2	49.1	30.1	7.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	0.3	0.0	0.4
7	[74]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	4.2	24.6	62.6	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.3	0.0	0.43
8	[177]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	3.5	27.7	61.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.43333
9	[74]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	4.0	23.8	52.4	7.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.44
10	[74]	Semilla de uva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	3.8	24.7	61.8	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.2	0.0	0.45
11	[36]	Uva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.9	0.1	0.0	0.0	4.0	19.0	69.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
12	[74]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	5.6	38.4	40.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.68

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	OS Exp, h
13	[36]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.1	0.0	0.0	3.7	25.2	63.1	0.2	0.3	0.2	0.0	0.0	0.7	0.1	0.2	0.0	0.8
14	[178]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.6	0.1	0.1	0.1	4.1	24.2	52.5	7.9	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
15	[32]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	2.0	28.3	55.8	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.84
16	[123]	Mostaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.2	0.0	0.0	1.2	20.6	21.6	13.3	0.9	10.7	0.0	0.0	0.5	25.6	0.2	1.5	1.1
17	[32]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	3.5	19.5	69.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.23
18	[36]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.1	0.0	0.0	3.6	24.9	53.0	6.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	1.3
19	[74]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	5.6	38.4	40.7	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.3	0.0	1.37
20	[123]	Camelina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.2	17.7	18.0	37.9	1.4	9.8	1.6	0.0	0.4	4.5	0.3	0.2	1.7
21	[127]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.5	0.2	0.0	0.0	4.8	0.8	0.0	0.0	5.7	20.6	66.2	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.73
22	[32]	Sésamo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	0.0	4.3	40.8	41.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.89
23	[36]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	1.6	33.0	20.4	7.9	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	2
24	[36]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	1.8	53.3	28.4	0.3	0.9	2.4	0.0	0.0	3.0	0.0	1.8	0.0	2
25	[40]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	40.1	0.0	0.0	0.0	4.1	43.0	11.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11
26	[123]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	4.1	22.0	55.3	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	2.1
27	[32]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	3.5	27.8	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.16
28	[123]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	0.1	0.0	0.1	1.8	27.2	56.2	1.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	2.2
29	[123]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.7	0.7	0.0	0.0	5.5	39.1	41.6	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
30	[74]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	1.6	59.2	18.5	10.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	2.55
31	[127]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	1.4	0.0	0.0	6.9	43.1	34.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.23
32	[32]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	1.6	62.2	18.5	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.29
33	[127]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.0	0.1	0.0	0.0	4.0	23.4	53.2	7.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	3.8
34	[177]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	3.0	28.5	52.8	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	3.85
35	[40]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	4.3	23.1	53.3	6.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.87
36	[32]	Sésamo tostado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	0.0	3.9	39.1	43.8	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.05
37	[32]	Sésamo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6	0.0	0.0	0.0	5.9	39.2	43.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.68
38	[32]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	2.0	62.4	18.4	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.74
39	[177]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.0	0.0	0.0	1.6	64.2	19.3	8.4	0.6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.16
40	[177]	Grasa de cerdo	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	27.0	1.7	0.4	0.0	17.0	35.3	15.0	1.1	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5
41	[178]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.7	0.2	0.0	0.0	1.7	61.3	19.6	9.5	0.6	1.5	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	6.1

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	OS Exp, h
42	[74]	Sésamo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.1	0.0	0.0	0.0	4.0	37.8	45.1	0.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	6.25
43	[179]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.2	0.0	0.0	2.1	64.3	20.2	7.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	6.4
44	[40]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	1.7	62.4	19.7	9.5	0.6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.94
45	[123]	Neem	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.9	0.1	0.0	0.0	20.6	43.9	17.9	0.4	1.6	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	7.1
46	[178]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	14.4	0.4	0.0	0.0	4.3	57.2	17.1	2.1	0.5	0.9	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	8
47	[51]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	2.1	57.9	24.7	7.9	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	8.1
48	[123]	Café	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.5	0.0	0.0	3.4	70.0	12.7	0.8	0.6	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	8.1
49	[32]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	0.0	0.0	0.0	3.0	70.9	9.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.99
50	[179]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	0.0	0.0	41.9	0.2	0.0	0.0	4.6	41.2	10.3	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3
51	[32]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	3.8	76.6	6.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.23
52	[32]	Palma roja	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.0	0.0	41.2	0.0	0.0	0.0	5.0	40.8	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.75
53	[32]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	0.0	0.0	0.0	2.1	74.5	7.6	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.17
54	[127]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	3.1	43.4	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.37
55	[32]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	3.1	82.7	4.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.07
56	[177]	Aceite de oliva usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	1.1	0.0	0.0	2.8	72.2	10.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4
57	[51]	Girasol alto ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.1	0.0	0.0	3.1	82.7	9.0	0.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	0.0	14.4
58	[32]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	0.0	2.2	74.3	7.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.47
59	[32]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	3.6	78.2	4.2	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.03
60	[32]	Coco	0.0	0.0	0.0	47.2	19.2	0.0	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	3.5	8.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.25
61	[115]	<i>Aphanamixis polystachya</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	0.3	0.0	0.0	11.8	18.3	26.7	23.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.16
62	[126]	Semilla de girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	4.2	27.4	61.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
63	[180]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	16.1	0.0	0.0	0.0	4.0	31.4	46.1	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.25
64	[181]	<i>Jatropha Curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.8	0.0	0.0	0.0	7.7	39.1	36.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.27
65	[126]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	2.6	62.2	21.1	7.9	1.0	2.1	0.0	0.0	0.6	0.4	0.0	0.0	3.4
66	[126]	Semilla de girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	4.7	24.0	63.7	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	3.4
67	[180]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	0.7	0.0	0.0	5.2	25.3	48.7	6.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.52

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	OS Exp, h	
68	[138]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	43.3	0.2	0.0	0.0	4.2	41.8	9.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.83

Tabla A9. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad HHV. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de HHV.

	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	HHV Exp MJ/kg	
1	[155]	Coco	0.0	3.4	3.3	32.7	18.4	0.0	0.0	13.1	0.0	0.0	0.0	3.6	12.9	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.79
2	[147]	Coco	0.0	9.5	8.0	41.0	18.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	3.8	7.5	2.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.06
3	[167]	Coco	0.0	8.2	6.6	48.3	16.4	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	2.4	7.0	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.28
4	[128]	Palma Kernel	0.0	3.6	3.1	48.0	14.7	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	1.4	15.9	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.53
5	[95]	Coco	0.0	8.0	6.2	47.7	14.2	0.0	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	2.8	8.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.79
6	[75]	<i>Jatropha curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	14.8	0.6	0.0	0.0	7.2	41.2	35.4	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.83
7	[137]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	31.0	0.0	0.0	0.0	16.4	36.6	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.90
8	[143]	<i>Jatropha curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	13.0	0.7	0.0	0.0	5.8	44.5	33.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.96
9	[172]	Salvado de arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.1	0.0	0.0	1.4	38.8	37.0	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.03
10	[76]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0	3.7	22.8	53.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.10
11	[182]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	1.6	60.0	22.0	8.5	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.20
12	[183]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.0	0.0	0.0	4.0	73.5	8.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.40
13	[182]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	3.6	65.0	0.0	18.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	1.6	0.0	0.0	39.40
14	[76]	Semilla de Caucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	0.0	8.3	27.8	37.6	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.40
15	[75]	<i>Moringa Olifera</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	13.5	1.5	0.0	0.0	7.8	68.5	1.8	0.7	5.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.45
16	[183]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	3.9	21.4	67.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.51
17	[138]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	43.3	0.2	0.0	0.0	4.2	41.8	9.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.53
18	[76]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.0	0.0	15.6	0.0	0.0	0.0	10.5	42.1	30.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.60
19	[182]	Nuez	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	3.0	13.8	56.0	11.3	1.1	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.60
20	[137]	Grasa de ave	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	0.0	0.0	0.0	6.0	47.0	15.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.62

	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	HHV Exp MJ/kg	
21	[183]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	1.5	60.8	22.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.64
22	[143]	<i>Ceiba pentandra</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.0	0.0	19.2	0.3	0.0	0.0	2.6	35.9	39.6	1.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.65
23	[128]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	4.0	21.3	53.7	8.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.66
24	[128]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	1.6	1.5	0.0	0.0	27.3	0.0	0.0	0.0	4.9	36.1	25.7	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.68
25	[133]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	0.0	0.0	23.9	2.8	0.0	0.0	19.5	38.5	6.4	0.3	0.3	0.5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	39.68
26	[147]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.1	0.0	0.0	0.0	3.9	25.9	52.8	6.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	39.68
27	[182]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	4.3	29.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.69
28	[128]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	0.0	0.0	0.0	2.7	40.5	36.6	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	39.70
29	[155]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	0.0	0.0	0.0	5.7	43.4	33.6	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.71
30	[184]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.5	0.1	0.0	0.0	4.3	24.2	51.4	7.5	0.4	0.3	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	39.77
31	[147]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	0.0	0.0	0.0	2.1	66.7	17.2	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.79
32	[143]	<i>Sterculia foetida</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.2	0.7	0.1	0.0	7.0	44.7	32.8	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.79
33	[183]	Semilla de uva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	0.0	3.7	24.7	53.5	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.82
34	[159]	Semilla de lino	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.3	0.0	0.0	2.5	18.9	18.1	55.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.84
35	[182]	Sebo de res	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	33.7	0.0	0.0	0.0	18.9	34.7	0.8	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.85
36	[128]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	0.0	0.0	1.3	27.1	60.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.87
37	[95]	<i>Calophyllum inophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	0.4	0.0	0.0	16.7	39.1	26.9	0.6	0.9	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	39.89
38	[133]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.5	0.1	0.0	0.0	3.8	23.2	48.9	1.2	0.2	0.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	39.89
39	[128]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0	1.4	66.0	18.9	5.6	1.9	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.90
40	[133]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	17.3	2.2	0.0	0.0	9.5	45.3	14.5	1.3	1.1	1.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	39.90
41	[76]	Neem	0.0	0.0	0.0	0.8	0.5	0.0	0.0	18.4	0.0	0.0	0.0	22.1	41.3	16.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.90
42	[83]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	0.0	0.0	0.0	4.1	43.4	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.91
43	[128]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.5	1.6	0.0	0.0	49.8	0.0	0.0	0.0	2.9	38.6	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.91
44	[167]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.1	0.0	0.0	0.0	4.3	43.1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.91
45	[174]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0	0.0	47.0	34.2	1.3	0.8	0.7	0.0	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.0	39.93
46	[128]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	2.3	32.6	59.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	39.95
47	[183]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.9	0.0	0.0	0.0	2.0	26.8	58.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.04

	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	HHV Exp MJ/kg
48	[133]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	0.0	0.0	0.0	13.4	60.7	0.6	0.0	0.4	0.2	0.0	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	40.04
49	[133]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	0.2	0.0	0.0	2.5	58.1	21.8	0.4	1.0	1.6	0.0	0.0	0.4	0.4	0.2	0.0	40.10
50	[100]	Aceite usado	0.0	0.1	0.3	1.2	0.1	0.0	0.0	37.3	0.1	0.0	0.0	4.0	40.4	17.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.14
51	[183]	Sebo de res	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.5	0.0	0.0	0.0	20.0	47.2	3.4	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.17
52	[148]	<i>Ceiba pentandra</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	20.8	0.5	0.0	0.0	4.2	33.8	38.2	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.28
53	[183]	Manteca	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.7	0.0	0.0	0.0	13.2	44.5	14.3	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.45
54	[76]	Mahua	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	20.9	0.0	0.0	0.0	26.2	36.5	15.9	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.50
55	[83]	<i>Jatropha curcas</i>	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	14.6	0.6	0.0	0.0	7.6	44.6	31.9	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.54
56	[150]	Semilla de lino	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	5.6	20.2	14.9	51.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	40.76
57	[146]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	0.0	2.1	30.0	53.9	1.1	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.90
58	[146]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.0	3.5	0.0	0.0	2.5	60.2	21.0	1.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	41.00
59	[146]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	7.0	10.0	74.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.01
60	[146]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	4.0	23.0	51.0	13.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	41.12
61	[115]	<i>Aphanamixis polystachya</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	0.3	0.0	0.0	11.8	18.3	26.7	23.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	39.96
62	[136]	Coco	0.0	10.1	6.4	46.4	17.2	0.0	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	2.4	6.9	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.21
63	[136]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.2	0.9	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	0.0	4.5	39.7	10.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.68
64	[136]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	11.3	0.2	0.0	0.0	4.6	23.0	52.8	7.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.89
65	[185]	Palma Kernel	0.0	0.0	3.4	47.8	16.3	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	2	15.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.4
66	[84]	Grasa amarilla	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	17.4	2.0	0.0	0.0	12.4	54.7	8.0	0.7	0.3	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	40.12
67	[139]	<i>Calophyllum inophyllum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8	0.3	0.0	0.0	16.0	41.3	26.6	0.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.27
68	[84]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.8	0.1	0.0	0.0	4.5	25.0	50.7	7.3	0.4	0.3	0.0	0.0	0.4	0.0	0.1	0.0	39.96

Tabla A 10. Composición cromatográfica (%peso) de FAME para la propiedad IV. Los datos sombreados al final de esta tabla fueron empleados para el proceso de validación para el cálculo de IV.

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	IV
1	[36]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	0.0	0.0	36.7	0.1	0.0	0.0	6.6	46.1	8.6	0.3	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	57.00
2	[36]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	1.0	0.0	0.0	3.1	75.0	7.8	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.5	84.00
3	[36]	Maní	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	1.8	53.3	28.4	0.3	0.9	2.4	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	1.8	97.00
4	[36]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.1	0.0	0.0	3.6	24.9	53.0	6.1	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	128.00
5	[67]	Girasol con alto contenido de ácido oleico.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	85.3	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.40
6	[67]	<i>Cynara c</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8	41.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	115.20
7	[67]	<i>Brasica c.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.4	17.2	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.3	0.0	0.0	106.60
8	[67]	<i>Jatropha c.</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	42.9	33.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	96.40
9	[186]	Aguacate	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	6.6	0.0	0.0	0.7	59.6	9.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.47
10	[186]	Sésamo tostado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	0.2	0.0	0.0	4.3	41.6	41.5	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.70
11	[186]	Salvado de arroz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	20.1	0.2	0.0	0.0	1.8	42.7	31.8	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105.96
12	[186]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.1	0.0	0.0	2.2	32.0	53.9	0.8	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	129.80
13	[186]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.4	0.2	0.0	0.0	1.5	58.4	18.4	8.8	0.4	1.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	113.04
14	[186]	Semilla de calabaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	12.3	0.0	0.0	0.0	5.7	35.3	44.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	122.20
15	[186]	Cártamo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	6.9	0.1	0.0	0.0	2.7	11.3	77.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	161.34
16	[186]	Nuez	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	2.6	17.1	60.1	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	160.53
17	[186]	Avellana	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	0.0	0.0	3.0	77.6	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.60
18	[186]	Lino bajo en linolénico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9	0.0	0.0	0.0	2.8	11.3	15.7	63.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	188.70
19	[103]	Coco	0.6	8.1	6.5	47.0	18.6	8.4	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	2.6	6.4	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.50
20	[103]	Palma kernel	0.5	3.8	4.0	49.5	14.9	0.0	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	2.5	14.7	2.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.39
21	[103]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	3.8	23.7	54.5	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	130.90
22	[103]	Maíz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.1	0.0	0.0	0.0	2.3	30.9	53.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	121.40

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	IV	
23	[103]	Oliva	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	0.0	0.0	0.0	2.7	68.2	11.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.32
24	[117]	Aceite de cocina usado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	36.2	0.0	0.0	0.0	4.6	45.0	13.2	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.71
25	[187]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	4.6	0.3	0.0	0.0	1.8	60.7	19.1	8.3	0.3	1.4	0.0	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	110.00	
26	[187]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1	0.0	0.0	43.0	0.2	0.0	0.0	4.7	40.1	9.5	0.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.00
27	[187]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.8	0.0	0.0	5.9	35.8	28.8	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	5.1	0.1	96.70	
28	[187]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2	0.0	0.0	18.9	2.1	0.0	0.0	8.9	44.4	15.7	2.8	0.3	0.8	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	77.00
29	[151]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.9	64.1	22.5	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	132.00
30	[151]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	3.7	22.8	53.7	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	129.00
31	[151]	Semilla de caucho	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	8.3	27.8	37.7	13.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	120.00
32	[151]	Semilla de algodón	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.1	0.0	0.0	0.0	2.6	19.2	55.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.20
33	[151]	Karanja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.9	0.0	0.0	0.0	7.8	53.2	19.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.00
34	[151]	Neem	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0	20.1	41.3	16.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	83.20
35	[151]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0	0.0	0.0	0.0	4.6	44.4	10.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	88.40
36	[151]	Sebo de res	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.3	0.0	0.0	0.0	19.4	42.4	2.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.00
37	[151]	Coco	0.0	0.0	0.0	45.6	22.1	0.0	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	3.6	8.2	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.00
38	[188]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	0.0	0.0	0.0	4.4	23.2	53.2	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	131.00
39	[188]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	1.9	56.0	24.0	12.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	103.00
40	[188]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.5	0.0	0.0	0.0	5.3	41.3	10.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.00
41	[188]	Manteca de cerdo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.5	0.0	0.0	0.0	12.2	44.9	12.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	68.00
42	[51]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	10.9	0.0	0.0	0.0	3.2	24.0	54.5	6.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	130.00
43	[51]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	2.1	57.9	24.7	7.9	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	114.00	
44	[51]	Girasol con alto contenido de ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.1	0.0	0.0	3.1	82.7	9.0	0.1	0.3	0.3	0.0	0.0	0.8	0.0	0.2	0.0	0.0	87.00
45	[51]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.1	2.5	0.0	0.0	40.8	0.0	0.0	0.0	3.6	45.2	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.00
46	[51]	Babacu	0.4	5.3	4.8	40.0	14.9	0.0	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	3.4	13.6	2.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.00
47	[51]	Coco	0.6	8.1	6.0	47.2	19.2	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	2.8	5.9	1.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.00
48	[189]	Aceite de pescado	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	0.0	0.0	25.8	12.9	1.9	1.2	6.3	13.9	2.4	1.6	0.0	14.6	2.4	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	164.89

No.	Ref.	Biodiésel	6:0	8:0	10:0	12:0	14:0	14:1	15:0	16:0	16:1	17:0	17:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	20:2	20:4	22:0	22:1	24:0	24:1	IV	
49	[190]	Karanja	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	0.0	0.0	0.0	7.5	51.6	16.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	1.1	1.2	91.00	
50	[179]	Canola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6	0.2	0.0	0.0	2.1	64.3	20.2	7.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	110.00	
51	[179]	Palma	0.0	0.0	0.0	0.3	1.1	0.0	0.0	41.9	0.0	0.0	0.0	4.6	41.2	10.3	0.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.00	
52	[179]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.5	0.0	0.0	0.0	4.1	24.1	53.6	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	134.00	
53	[179]	Girasol con alto contenido de ácido oleico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0	4.0	82.0	8.0	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	85.00	
54	[135]	Jatropha	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	14.2	0.0	0.0	0.0	7.1	43.2	34.9	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	96.55
55	[135]	Soybean	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0	4.3	23.7	53.1	7.2	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	128.2
56	[121]	Preregirina	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	2.7	0.0	0.0	4.0	71.1	4.2	0.5	2.4	1.9	0.0	0.0	3.1	0.0	1.0	0.0	77.17	
57	[168]	Mostaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.2	0.0	0.0	0.0	25.8	37.2	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.00	
58	[168]	Mostaza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.9	0.0	0.0	0.0	29.3	32.3	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.00	
59	[191]	Escama de leche lavada	0.6	0.9	2.3	3.3	12.2	0.0	0.0	37.0	0.0	0.0	0.0	12.7	26.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	23.00	
60	[186]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.1	0.0	0.0	2.3	86.2	5.2	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	84.60	
61	[192]	Soya	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	0.7	0.0	0.0	3.5	23.8	53.4	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	112.00	
62	[193]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	0.1	0.0	0.0	3.7	25.2	63.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.7	0.1	0.2	0.0	132.00	
63	[193]	Colza	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	1.6	33.0	20.4	7.9	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	0.0	0.0	108.00	
64	[193]	Aceite usado	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	15.7	0.3	0.0	0.0	3.1	29.6	41.5	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.3	0.0	108.00	
65	[137]	Sebo	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	31.0	0.0	0.0	0.0	16.4	36.6	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.40	
66	[137]	Grasa de ave	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.1	0.0	0.0	0.0	6.0	47.0	15.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.70	
67	[176]	Girasol	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	3.8	28.2	62.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	117.00	
68	[36]	Corn	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	0.6	0.0	0.0	1.4	65.6	25.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	102.00	