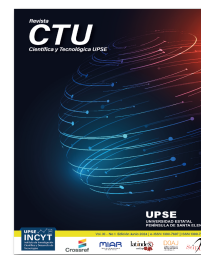


Tratamientos con productos alternativos para estabilización de asfaltenos: Revisión sistemática de literatura científica 2014-2023

Alternative Product Treatments for Asphaltene Stabilization: A Systematic Review of Scientific Literature from 2014-2023



Tomás Darío Marín Velásquez¹

✉ <https://orcid.org/0000-0002-3334-5895>

¹Universidad de Oriente (UDO) | Maturin - Venezuela | CP 6201

✉ tmarin@udo.edu.ve

<http://doi.org/10.26423/rctu.v11i1.775>

Páginas: 53- 68

Resumen

La deposición de asfaltenos es un problema que se presenta en las operaciones petroleras afectando a la mayoría de los petróleos, usándose productos inhibidores/dispersantes para su solución. Se realizó una revisión sistemática de literatura científica para analizar productos alternativos evaluados entre 2014-2023, y las características de las investigaciones publicadas. Se utilizó Google Académico y criterios de inclusión y exclusión según la declaración PRISMA, ubicándose en total 24 artículos. Venezuela destaca con la mayor producción de investigaciones, los productos sintéticos fueron más utilizados (líquidos iónicos, resinas y nanopartículas metálicas) y entre los naturales los aceites vegetales. Los métodos de ensayo principales fueron microscopía óptica y absorbancia, los análisis se basaron principalmente en descripción/comparación y se visualizaron 4 aceites vegetales y 5 productos sintéticos con eficiencias mayores a 75%. Se resalta la necesidad de investigación con productos naturales por ser de más fácil obtención, menos costosos y amigables con el ambiente.

Palabras clave: Dispersantes, ensayos, eficiencia, inhibidores. .

Abstract

Asphaltene deposition is a problem that occurs in oil operations, affecting most types of crude oil. Inhibitor/dispersant products are used to address this issue. A systematic review of scientific literature was conducted to analyze alternative products evaluated between 2014 and 2023, as well as the characteristics of the published research. Google Scholar was used along with inclusion and exclusion criteria according to the PRISMA statement, resulting in a total of 24 articles. Venezuela stands out with the highest production of research. Synthetic products were more commonly used (ionic liquids, resins, and metallic nanoparticles), and among natural products, vegetable oils were prominent. The main testing methods were optical microscopy and absorbance. The analyses were primarily based on description/comparison, and four vegetable oils and five synthetic products were found to have efficiencies greater than 75%. The need for research with natural products is highlighted, as they are more easily obtainable, less expensive, and environmentally friendly.

Keywords: Dispersants, testing, efficiency, inhibitors.

Recepción: 14/01/2024 | Aprobación: 12/05/2024 | Publicación: 28/06/2024

1. Introducción

El petróleo es una compleja mezcla de componentes en su mayoría hidrocarburos gaseosos disueltos, líquidos y sólidos [1], que además puede contener compuestos no hidrocarburos como azufre, nitrógeno, oxígeno y metales pesados como el vanadio, el níquel y el cadmio [2]. La fracción mayoritaria del petróleo la representan los hidrocarburos líquidos, que a su vez se dividen en saturados, aromáticos y resinas; y una fracción sólida constituida por los asfaltenos como los componentes de mayor importancia [1].

Los asfaltenos se definen comúnmente como los constituyentes del petróleo, de alto peso molecular, pesados y complejos. La definición clásica de esta fracción compuesta se hace desde el punto de vista de su solubilidad, como el constituyente insoluble en las parafinas lineales de bajo peso molecular (n-pentano, n-hexano, n-heptano, etc.) y soluble en los compuestos aromáticos ligeros (benceno, tolueno, xileno, etc.) [3]. Las moléculas de los asfaltenos suelen estar compuestas por una estructura formada por anillos aromáticos policíclicos fusionados (con una media de 4-10 anillos), que contienen heteroátomos como oxígeno, azufre y nitrógeno, cadenas laterales alquílicas (hasta C30) y metales como compuestos organometálicos oleosolubles [3]. Los asfaltenos son las fracciones más polares que se dispersan en forma de coloides en el petróleo formando un sistema micelar. La acumulación de estos coloides conduce a la floculación de los asfaltenos y, en consecuencia, a la formación de precipitados [4].

Las resinas naturales que se encuentran dentro de la composición del petróleo desempeñan el papel de inhibidores, y sus grupos funcionales actúan como puente entre el medio polar (asfaltenos) y el medio no polar (la mayoría de los líquidos que componen el petróleo), por lo tanto cuando se adicionan alcanos lineales de bajo peso molecular a una muestra, se altera el equilibrio entre las micelas y la masa de petróleo, aumentando la concentración de asfaltenos en la fase líquida y como consecuencia cuando se alcanza la concentración del umbral de floculación, comienza el proceso de deposición o precipitación [5]. La floculación, precipitación y deposición de asfaltenos son problemas frecuentes que pueden causar graves daños a los yacimientos, pozos e instalaciones de producción y que puede producirse durante trabajos de producción primaria, así como en recuperación secundaria por la inyección de gas rico o dióxido de carbono, siendo considerada la eliminación de depósitos orgánicos como de alto costo ya que es necesario durante toda la vida útil del pozo [6, 7].

Los compuestos con una naturaleza similar a las

resinas o aquellos con grupos de cabeza polares ácidos que pueden unirse a las micelas, pueden contribuir a la estabilización de las mismas. Estos compuestos químicos pueden incluir resinas naturales derivadas del petróleo o anfífilos disueltos en aceites (tensioactivos), cuyas moléculas constan básicamente, como mínimo, de un grupo de cabeza polar y una larga cola hidrocarbonada, los cuales son más eficaces que los solventes aromáticos en la prevención de la precipitación de asfaltenos [5]. Debido a la importancia de la prevención de la precipitación y deposición de asfaltenos y su presencia en la mayoría de los petróleos, el estudio de productos químicos capaces de estabilizarlos ha sido un tema recurrente en la investigación en la industria petrolera y se han utilizado diferentes productos como alcoholes [8], resinas sintéticas [9, 10], líquidos iónicos [11, 12], nanopartículas metálicas [13, 14], y aceites vegetales [15, 16, 17]. Cada estudio ha reportado eficiencias variadas tras la aplicación de los productos a diferentes muestras de petróleo, en entornos investigativos diferentes y con metodologías de ensayo diversas., por lo que revisar dicha producción científica es clave para reforzar el conocimiento en esta problemática y ahondar en los resultados de las investigaciones y la eficiencia de estabilización de asfaltenos que diversos autores han reportado.

De allí que el presente estudio, basado en la revisión sistemática de literatura científica se plantea el objetivo de analizar los tratamientos con productos alternativos para estabilización de asfaltenos desarrollados entre 2014 y 2023, así como las metodologías de ensayos que se han aplicado, el tratamiento de los datos y las eficiencias obtenidas.

2. Materiales y Métodos

El estudio consistió en una revisión sistemática de literatura científica con base en la temática sobre investigaciones realizadas en el desarrollo y prueba de productos alternativos para la prevención de la precipitación de asfaltenos en petróleos, teniendo como ámbito de búsqueda los estudios publicados a nivel global. La metodología se basó en los lineamientos de *Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) [18]. Como criterios de búsqueda se utilizó el motor de búsqueda de literatura académica Google Académico, filtrando entre los años 2014 y 2023 y utilizando como palabras clave en español “ASFALTENOS” + “INHIBIDORES” + “DISPERSANTES” y en inglés “ASPHALTENES” + “INHIBITORS” + “DISPERSANTS”. Los criterios de inclusión y exclusión para los estudios revisados se detallan en la Tabla 1).

Tabla 1: Criterios de inclusión y exclusión de estudios revisados.

CRITERIO	INCLUSIÓN	EXCLUSIÓN
Idioma	Español e Inglés	Idioma diferente a español o inglés
Tipo de estudio	Investigación original	Revisiones, notas técnicas
Tipo de publicación	Artículo científico	Tesis, presentaciones en congresos
Indexación	Bases de datos confiables: Latindex, Redalyc, SciELO, Dialnet, EBSCO, WoS, Scopus	No indexados en bases de datos confiables (Revistas depredadoras)
Temática de estudio	Investigaciones sobre alternativas de productos inhibidores / dispersantes de asfaltos	Investigaciones con enfoques diferentes a alternativas de productos
Acceso	Artículos de acceso abierto a texto completo y resúmenes de acceso cerrado con información relevante para el estudio	Artículos de acceso cerrado sin información relevante en resumen
Información	Artículos con información completa, según los parámetros establecidos para la revisión (naturaleza del producto, tipo de producto, tipo de crudo, método de prueba, tratamiento estadístico y eficiencia)	Artículos con información incompleta

El proceso de selección de la muestra de estudio se llevó a cabo tomando en consideración los criterios descritos en la Tabla 1, el cual se muestra esquemáticamente en la Figura 1.

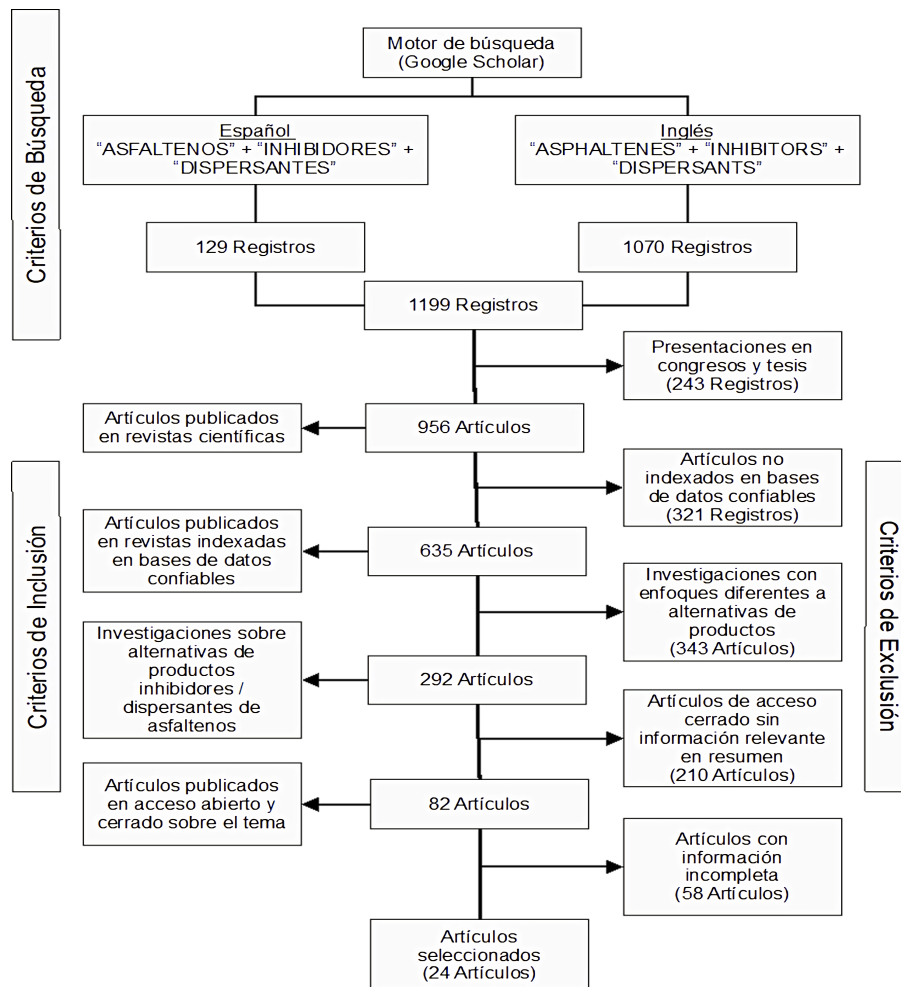


Figura 1. Esquema del proceso de selección de la muestra de artículos científicos revisados

La información obtenida para la revisión estuvo basada en criterios establecidos por el investigador con base en el objetivo de la revisión sistemática y la misma se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2: Descripción de la información extraída de los artículos científicos revisados.

INFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
Año	Año de publicación del estudio (2014 -2023)
País	País de origen de la investigación
Región	Región geográfica a la que pertenece el país
Idioma	Idioma en el que fue publicada la investigación
Autor(es)	Autor(es) de la investigación
Título	Título de la investigación en su idioma de publicación
Revista	Revista donde fue publicada la investigación
Indexación	Base de datos donde está indexada la revista donde se publicó la investigación
Naturaleza del producto	Se refiere a si el producto utilizado en la investigación fue de origen natural o sintético
Producto	Nombre del producto utilizado como inhibidor/dispersante de asfaltenos en la investigación
Tipo de Crudo	Tipo de petróleo utilizado de acuerdo a la clasificación otorgada por el <i>American Petroleum Institute</i> (API)
Método de prueba	Método analítico aplicado a las pruebas del producto como inhibidor/dispersante de asfaltenos
Tratamiento estadístico	Pruebas estadísticas aplicadas en la investigación
Eficiencia	Eficiencia de inhibición/dispersión reportada en la investigación

La información recopilada fue registrada en una hoja de cálculo de *LibreOffice Calc*, donde fue clasificada y ordenada para su posterior análisis utilizando el paquete estadístico *Statgraphics Centurion XVIII*, con el que se realizaron análisis descriptivos de los parámetros registrados, con base en análisis de frecuencias y tablas cruzadas, así como también comparación entre las eficiencias de los productos evaluados en las investigaciones, mediante pruebas de rangos múltiples de *Tukey HSD* con significancia $\alpha = 0,05$ (95 % de nivel de confianza).

3. Resultados y Discusión

De acuerdo con el análisis descriptivo de la información recabada, se obtuvo que, de los 10 años tomados como lapso de estudio, en nueve de ellos se publicaron artículos que cumplieron con los criterios de selección establecidos, siendo el 2018 el único año en el que no se obtuvo información. La distribución de los artículos seleccionados de acuerdo con el año de publicación se muestra en la Figura 2.

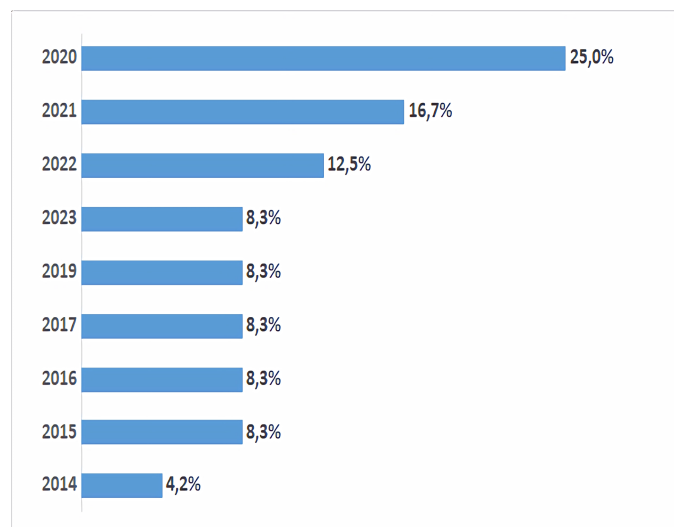


Figura 2. Distribución de los artículos revisados por año de publicación

En la Figura 2 se observa que los años de mayor producción científica relacionada con la evaluación de productos inhibidores/dispersantes de asfaltenos alternativos fueron 2020, 2021 y 2022, representando entre los tres el 54,17% del total, es decir, 13 de los 24 artículos seleccionados. El 2020 fue el año más productivo seguido del 2021 y el 2022. En el resto de los años se publicaron dos artículos a excepción del 2014 donde sólo se publicó un artículo. Está claro que, aunque la precipitación y deposición de asfaltenos es un problema que ha estado presente desde los inicios de la explotación petrolera, el interés por encontrar alternativas de tratamiento que sustituyan a los productos comerciales se ha dado mayormente en los últimos 5 años, con un porcentaje de artículos con base en los criterios establecidos de 70,83%. Esto evidentemente ha estado condicionado a mejores métodos analíticos disponibles para los ensayos de

inhibición/dispersión y por aspectos relacionados con regulaciones ambientales y económicas, ya que la inversión en productos químicos que va a ser utilizados durante toda la vida productiva de los pozos es un motivador permanente en la búsqueda de alternativas ecológicamente amigables y de menor costo, dado que la deposición de asfaltenos afecta la producción y su tratamiento genera costos adicionales en la explotación/producción [19].

Respecto a la distribución de los estudios seleccionados por el país de origen, queda claro que al ser la deposición de asfaltenos un problema que afecta a los países productores de petróleo, son estos donde se concentran los estudios relativos a la evaluación de tratamientos con productos alternativos, lo que puede observarse en la Figura 3.

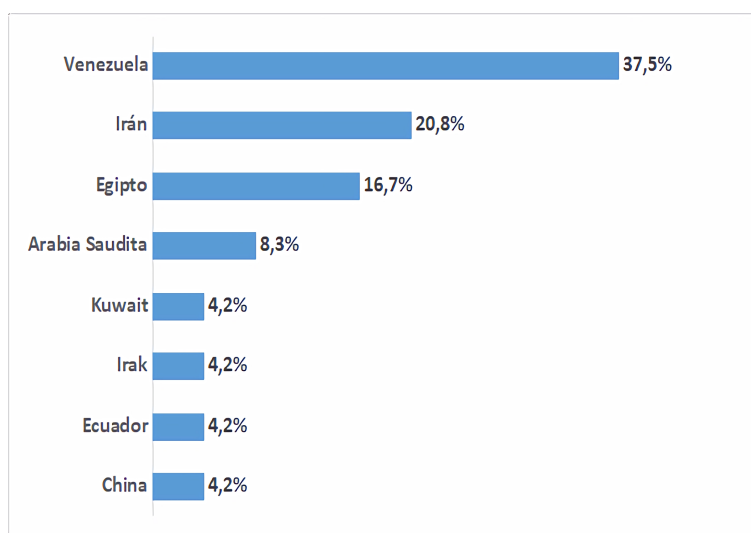


Figura 3. Distribución de los artículos revisados por país de la investigación

Se observa que la mayoría de los estudios se concentra en tres países (Venezuela, Irán y Egipto) quienes concentran el 75% de las investigaciones sobre productos inhibidores/dispersantes alternativos para la deposición de asfaltenos. Del resto de los cinco países restantes, solo Arabia Saudita presenta dos artículos, el resto solo uno. Venezuela es el país con mayor cantidad de investigaciones (9), siendo el otro país de la región latinoamericana Ecuador con un artículo, el resto de las investigaciones se ha realizado en la región asiática y africana con mayor incidencia en los países árabes. Siendo Latinoamérica una región con una cantidad importante de países productores de petróleo, su producción científica en la inhibición/dispersión de asfaltenos es baja, inexistente en algunos países, lo que no se justifica dado que este problema afecta en diferentes medidas a todos los sistemas de producción petrolera [20]. Se corroboró que, en el caso de los países latinoamericanos, la mayoría de los estudios en este

campo se están quedando en tesis que se encuentran en repositorios institucionales, sin embargo, las mismas no se consideran literatura confiable en el caso de la presente revisión sistemática. Destaca el hecho de que Venezuela lleve la iniciativa en esta área de investigación de forma total, ya que, aunque un artículo se publicó con afiliación institucional ecuatoriana la investigación fue realizada en Venezuela [16], se asume que los autores emigraron a Ecuador y desde allí publicaron el artículo con su nueva afiliación, pero con datos de una investigación llevada a cabo en su país de origen.

En cuanto al idioma de publicación, el 62,50% de los artículos fueron en idioma inglés, es decir 15 artículos en total, lo que estuvo influenciado por la mayor cantidad de investigaciones en Asia, donde todos los 14 artículos se publicaron en dicho idioma, siendo sólo un artículo de Latinoamérica publicado

en inglés, los otros nueve artículos de esta región se publicaron en español. La publicación de la mayoría de los artículos de Latinoamérica en español es de esperarse, dado que es el idioma más hablado de la región y la mayoría de sus revistas científicas lo tienen como idioma principal [21, 22], además que la problemática de deposición de asfaltenos, al tener relevancia en la región es de revisión frecuente para investigadores de los países productores de petróleo, cuyo idioma inicial de búsqueda es el español. En el caso de los países asiáticos, aunque su idioma nativo no es el inglés, sus investigaciones se publican en este

idioma, debido a que las revistas de su región lo tienen como idioma principal, debido a que éste se considera como el idioma universal en la ciencia [23].

La mayor cantidad de investigaciones publicadas en inglés también es un factor importante en la indexación de los artículos seleccionados, los cuales tienden a estar en revistas de indexadoras de ámbito global, como *WoS* y *Scopus*. La distribución de los artículos seleccionados de acuerdo con su indexación se muestra en la Figura 4.

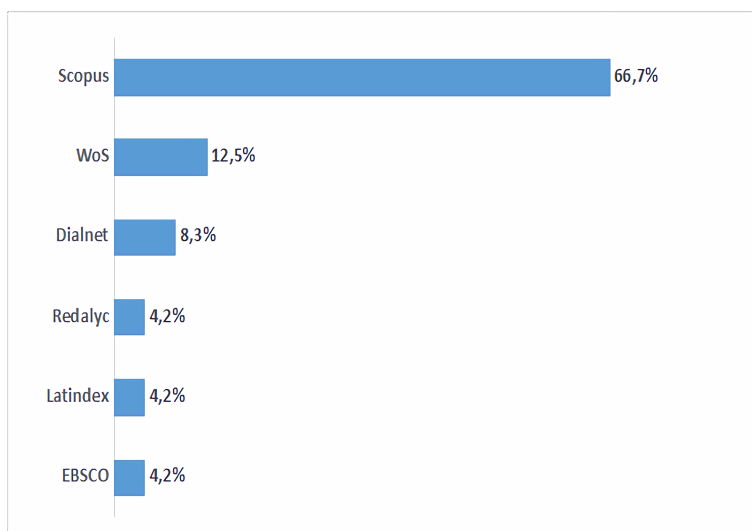


Figura 4. Distribución de los artículos revisados de acuerdo a su indexación

Destaca en la Figura 4 que el 83,34% de los artículos se encuentran en revistas indexadas en EBSCO (1), *WoS* (3) y *Scopus* (16), es decir en indexadoras de ámbito global, dejando a las de ámbito regional (Iberoamericano) con un porcentaje muy bajo, sólo *Dialnet* destaca con dos artículos, con un sólo artículo en *Latindex* y *Redalyc*. Esta tendencia se debe principalmente a que los investigadores, ya sea por criterio propio o por exigencia de los sistemas de clasificación de investigadores de sus respectivos países tienden a publicar en revistas que permitan un mayor rango de impacto, para darle mayor visibilidad a su producción y cumplir con los criterios exigidos, aun cuando estos difieran sustancialmente de la realidad investigativa del país [24].

Las revistas en las que se publicaron los estudios fueron más diversas, en pocas se repitieron, quizás debido a la especificidad del tema, de allí que se ubicaran 20 revistas, siendo la revista *Energy & Fuel* la más destacada con tres artículos publicados (12,50%), seguida por las revistas *Energy Sources* y *Journal of Petroleum Science and Engineering* con dos artículos cada una (8,33%). En Latinoamérica destacaron revistas editadas en Ecuador (Ciencia UNEMI,

Enfoque UTE, Revista Tecnológica ESPOL-RTE y Polo del Conocimiento), en Colombia (Ingeniería y Desarrollo y Fuentes: El Reventón Energético) en México (Ingeniería), Nicaragua (Nexo Revista Científica) y Venezuela (REDIP UNEXPO. VRB). Es notable la poca cantidad de revistas en Latinoamérica especializadas en el área de Petróleo y Gas, lo que no se compagina con la importancia de la industria en la región, ya que en su mayoría las revistas donde se publicaron artículos relacionados con la temática en estudio son multidisciplinarias. Esto deja en desventaja a la producción regional, ya que los investigadores se ven obligados a publicar sus trabajos en revistas de otras regiones como Norteamérica y Europa, aumentando el impacto de las revistas de otras partes del mundo en detrimento de las propias, lo que se alimenta de la creencia de que la publicación en revistas en inglés aumenta la visibilidad y posibilidad de citas [25], sin embargo, esto no es del todo cierto, ya que muchos de los problemas que se plantean son de ámbito regional o local, lo que no genera interés en investigadores de otras latitudes.

Para analizar la naturaleza de los productos evaluados como alternativas para el tratamiento de los asfaltenos,

se estableció como premisa aquellos de origen natural (generalmente vegetal) y de origen sintético (producidos en laboratorio), obteniéndose que se han utilizado durante el lapso de estudios 29 productos y que el 62,07% de los mismos fueron de origen sintético (18) y el restante 37,93% de origen natural

(11), lo que demuestra que los esfuerzos se han dirigido hacia la sintetización de las alternativas, lo que no siempre da mejores resultados. Los productos utilizados clasificados según su naturaleza se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Productos evaluados en las investigaciones seleccionadas según la naturaleza de los mismos.

Producto Evaluado	Naturaleza del Producto		Referencia
	Natural	Sintético	
AUT Force 110		1	[26]
Aceite de <i>Anacardium occidentale</i>	2		[15, 27]
Aceite de <i>Jatropha gossypifolia</i>	2		[28, 29]
Aceite de canola (<i>Brassica napus</i>)	1		[17]
Aceite de coco (<i>Cocos nucifera</i>)	3		[28, 30, 31]
Aceite de <i>Jatropha curcas</i>	2		[32, 33]
Extracto de corteza de pino	1		[16]
Líquidos iónicos de carboxilato de tetrabutilamonio		1	[34]
Líquidos iónicos de imadazolio		4	[11, 12, 35, 36]
N,N,N'-Trimetil-N'-Octadecil-1,2-Diaminoetano		1	[37]
Nanopartículas de óxido de cinc en extracto de eucalipto		1	[14]
Nanopartículas de óxido de cobre en extracto de eucalipto		1	[14]
Nanopartículas de óxido de titanio		1	[13]
Nanopartículas y-Al ₂ O ₃ /NiO sintetizadas		1	[17]
Polímeros de maleimida solubles en aceite		1	[38]
Resina de nonilfenol-formaldehído modificada por poliaminas		1	[10]
Resina de poli(dodecil fenol formaldehído) (PDPF)		1	[9]
Resina epoxi		1	[17]
Tensioactivo polimérico		1	[17]
Ácido dodecibenceno sulfónico y tolueno		1	[39]
Ésteres de ácido tánico		1	[40]

Entre los productos naturales destacaron los aceites vegetales, como el de coco (*Cocos nucifera*) que fue utilizado en tres investigaciones (10,34%), el de *Jatropha gossypifolia*, el de *Anacardium occidentale* y el aceite de *Jatropha curcas* que se utilizaron en dos investigaciones cada uno (6,90%). También se utilizaron el aceite de Canola (*Brassica napus*) y aceite de corteza de pino cada uno en una investigación lo que representa el 3,45% cada uno del total.

En este aspecto, los aceites naturales por estar compuestos por ácidos grasos pueden ejercer efecto de surfactantes, es decir compuestos anfífilos con actividad interfacial capaces de estabilizar dos fases mutuamente insolubles, sobre todo ácidos como el oleico y el láurico [41]. Por esta misma razón, se utilizó también el éster de ácido tánico el cual es un ácido graso, sin embargo, no se considera como un compuesto natural, pues a pesar de que se puede extraer

de la corteza o raíces de plantas, en la actualidad es más común que sea sintetizado a partir de sus componentes (glucosa y ácidos fenólicos) [42], además la obtención del éster del ácido es un proceso de síntesis química.

Respecto a los productos de origen sintético, destacaron los Líquidos iónicos de imadazolio los cuales se utilizaron en 4 investigaciones, el resto de los productos sintéticos se utilizaron en una investigación, entre ellos otro líquido iónico (líquidos iónicos de carboxilato de tetrabutilamonio), un grupo de resinas como la resina de nonilfenol-formaldehído modificada por poliaminas, la resina de poli(dodecil fenol formaldehído) (PDPF) y la resina epoxi, lo que demuestra que se han tomado en consideración que según la teoría coloidal, los asfaltenos se encuentran dentro del petróleo estabilizados por resinas naturales, que se considera un agente peptizante natural del asfalteno [43], en este caso el uso de resinas sintéticas

busca reforzar este efecto estabilizador con compuestos similares.

Además, se investigó productos aditivados con nanopartículas como nanopartículas γ -Al₂O₃/NiO sintetizadas, nanopartículas de óxido de titanio, nanopartículas de óxido de cobre en extracto de eucalipto y nanopartículas de óxido de cinc en extracto de eucalipto. El uso de fluidos compuestos por nanopartículas metálicas se debe a que las mismas han sido utilizadas como agentes con actividad superficial en operaciones de recuperación secundaria del petróleo y están consideradas un prometedor agente aditivo para evitar la deposición de grandes cantidades de asfaltenos debido a sus altas capacidades de adsorción y suspensión y a su elevada relación superficie-volumen [44]. Así mismo, se ha demostrado que las nanopartículas de óxido metálico obstaculizan cinéticamente la separación de fases de los asfaltenos e impiden su crecimiento, estabilizando la suspensión coloidal de las partículas de asfaltenos, relentizando significativamente el umbral de la floculación de los

asfaltenos [45].

También, aunque en menor medida se utilizaron compuestos poliméricos como Polímeros de maleimida solubles en aceite y tensoactivo polimérico. Algunos compuestos de este tipo se han utilizado como dispersantes para evitar la precipitación de asfaltenos debido a que poseen una gama amplia de posibles grupos funcionales y a su estructura formada por una columna vertebral orgánica polar con grupos funcionales que interactúan favorablemente con los asfaltenos y cadenas alifáticas que proporcionan suficiente solubilidad en disolventes alcanos, siendo los más utilizados los organometálicos y los orgánicos [46].

En general se sabe que los polímeros formados tanto porciones aromáticas como grupos funcionales fuertemente polares (amidas o carbonilos) han tenido bastante éxito en la prevención de la precipitación de asfaltenos [46].

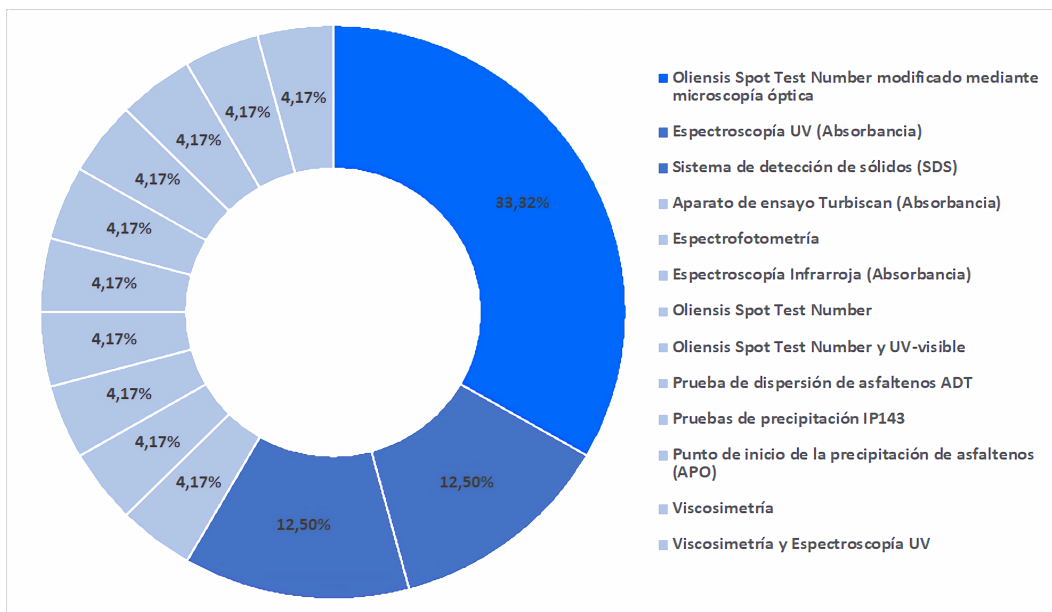


Figura 5. Métodos analíticos aplicados en los ensayos de los tratamientos alternativos.

El análisis del método de ensayo utilizado en las investigaciones revisadas llevó a identificar 13 métodos (Figura 5), donde los más comunes fueron el *Oliensis Spot Test Number* (prueba de mancha) que fue utilizada en 10 de los estudios (41,67%) con una mayoría de investigaciones donde esta metodología fue modificada con microscopía óptica (8 artículos) y en dos investigaciones se utilizó de forma original, aunque en una de las dos se comparó con UV-visible. El *Oliensis Spot Test Number* es un método para medir la estabilidad de los asfaltenos en los petróleos, propuesto en 1935 por *Oliensis* y su principio se basa en la cantidad de precipitante necesaria para desestabilizar

los asfaltenos en 5 gramos de petróleo, observada mediante la presencia de los asfaltenos en las manchas que deja las gotas de petróleo en un papel de filtro y el mismo se considera un método básico y el precursor de los actuales métodos de microscopía óptica para determinar la estabilidad de los asfaltenos [47]. Por esta razón es de esperarse que su uso aun sea común sobre todo aplicado con la ayuda de microscopía óptica.

Otra metodología de ensayo para evaluar la eficiencia inhibidora/dispersora de asfaltenos es la basada en Absorbancia, que como se observa en la Figura 5 fue utilizada en cinco investigaciones, aunque el equipo

y el principio varió entre un equipo medidor de turbidez (*Turbiscan*) hasta espectroscopios infrarrojos y de UV-visible. Esto demuestra que las medidas indirectas de la presencia de los flóculos de asfaltenos al aplicar agentes precipitantes son populares a la hora de establecer el efecto de los tratamientos con productos químicos. Estos métodos se basan en la capacidad de los asfaltenos para absorber la luz y como al precipitarse y separarse de la solución dicha absorbancia disminuye, con lo que comprueba el umbral de floculación [48, 49, 50].

Aunque los métodos anteriores fueron los de mayor relevancia, también se han utilizado otros como los de precipitación directa (Prueba de dispersión de asfaltenos ADT, Prueba de precipitación IP143, pruebas APO y Sistema de detección de sólidos SDS). Estos ensayos están basados, de forma directa o indirecta, en la medición de la cantidad de asfaltenos

que precipitan de una muestra analizada. Por otro lado, en dos investigaciones se utilizó la viscosimetría como método de ensayo, cuyo principio se basa en un cambio medible de la viscosidad de una mezcla de asfaltenos/tolueno al ser tratada con diferentes cantidades de agente precipitante, la curva que se obtiene muestra un salto en la tendencia que indica el momento en el que se forman los flóculos y estos afectan el comportamiento de la viscosidad de la solución [51].

El análisis del tratamiento estadístico de los resultados en los estudios sobre tratamientos con productos alternativos inhibidores/dispersantes de asfaltenos, reveló que en su mayoría no se aplicaron diseños estadísticos que permitieran dilucidar las diferencias entre los valores obtenidos en cuanto a la eficiencia de los productos (Figura 6).

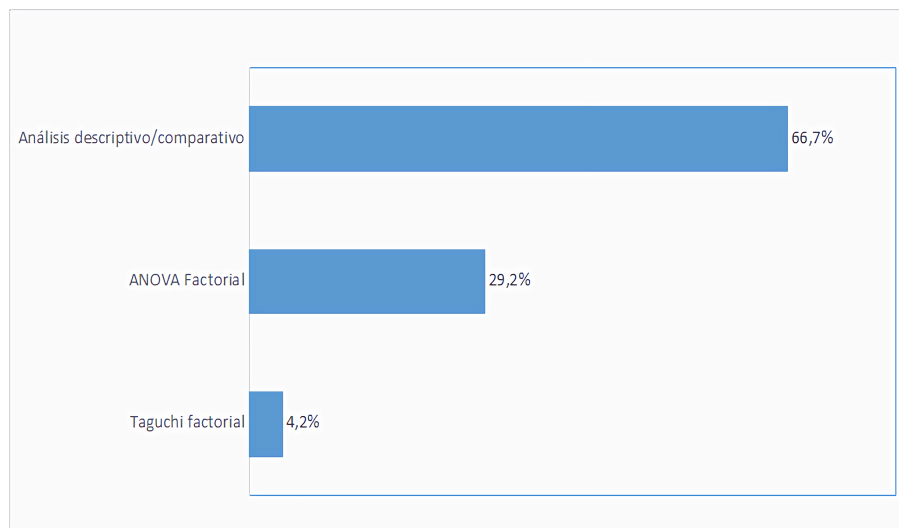


Figura 6. Tratamientos estadísticos aplicados a los ensayos de productos alternativos.

En un total de 16 de 24 investigaciones se limitaron al análisis descriptivo/comparativo de los resultados, es decir sólo compararon los valores obtenidos sin ningún sustento estadístico de las diferencias que en ellos se visualizaron, por lo que algunos resultados y conclusiones son cuestionables dada la poca diferencia observada entre las eficiencias, ya sea entre tratamientos con el mismo producto o comparado con productos comerciales. Como ejemplo, en una investigación donde se indicó que al analizar tres mezclas basadas en el mismo producto, una de ellas sobresale y se sugiere como la más indicada por su mayor eficiencia [40], una análisis ANOVA factorial indica que esta mezcla no presenta diferencia significativa con otra (su diferencia numérica es de 2,80%), por lo que a pesar de su mayor eficiencia, la diferencia con la otra mezcla no es significativa, así como tampoco lo es si se comparan las concentraciones

en las que fueron utilizadas (diferencia de 1,30%). Así como este ejemplo se tienen varios de los otros estudios con resultados que estadísticamente son debatibles. En siete de los estudios se aplicó ANOVA *Factorial* y en uno Diseño experimental *Taguchi Factorial*, con los que no solo se corrobora la existencia de diferencias significativas entre las eficiencias, sino que se indica el tratamiento óptimo con base en la mezcla del producto y las concentraciones o dosis utilizadas.

El tipo de petróleo utilizado también fue otro factor de importancia y en cierta forma cuestionable, ya que como se observa en la Figura 7, la mayoría de los estudios revisados se concentraron en crudos medianos y pesados. El tipo de petróleo es un factor influyente en la capacidad de los productos de inhibir o dispersar los asfaltenos, lo que se corrobora por el hecho de que la estabilidad de los asfaltenos se mide en función de

su composición, con base en sus componentes SARA (Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos) [52].

De acuerdo con la teoría coloidal, los asfaltenos se encuentran estabilizados dentro del petróleo mediante una capa de resinas [53], por lo tanto, una mayor presencia de resinas, como en el caso de los petróleos pesados, genera un sistema más estable, por lo que estos petróleos no deben presentar problemas de deposición de asfaltenos, aunque si de movilidad por las altas viscosidades que le confiere su mayor contenido de componentes de alto peso molecular [54]. Los problemas de deposición de asfaltenos son más comunes en petróleos medianos y livianos, por eso su uso en investigación, sin embargo, se corroboró que el uso de petróleos pesados se debe a que en la mayoría de las investigaciones se utilizan como

fuentes de asfaltenos debido a su mayor porcentaje de estos, es decir se extraen los asfaltenos y luego son mezclados (estabilizados) con tolueno para ser utilizados en los ensayos de dispersión. Lo anterior trae como consecuencia que se someta a los productos a un ambiente de solo dos componentes (asfaltenos y solvente aromático) lo que evidentemente no reproduce las condiciones e interacciones que ocurren en el seno del petróleo donde además se encuentran compuestos saturados y las resinas, algo que está debidamente comprobado [52], lo que indica que los resultados más confiables son los que se realizan aplicando los productos directamente al petróleo, ya que disminuyen la brecha entre los resultados de laboratorio y campo, que en este caso se evidencia en el 60% de las investigaciones.

Tabla 4: Eficiencias reportadas para los productos utilizados en tratamientos alternativos inhibidores/dispersantes de asfaltenos (2014 -2023)..

Producto	Eficiencia
Resina de poli(dodecil fenol formaldehído) (PDPF)	8,00a
Nanopartículas de Oxido de cobre en extracto de eucalipto	22,00b
N,N,N'-Trimetil- N'-Octadecil-1,2-Diaminoetano	22,00b
Nanopartículas de Oxido de cinc en extracto de eucalipto	22,00b
Ésteres de ácido tánico	23,52b
Resina de nonilfenol-formaldehído modificada por poliaminas	30,00c
Resina epoxi	43,30d
Aceite de canola (<i>Brassica napus</i>)	45,45d
Aceite de Anacardium occidentale	59,38e
Polímeros de maleimida solubles en aceite	60,00e
Ácido dodecilbenzeno sulfónico y tolueno	70,00f
Líquidos iónicos de imadazolio	72,50f
Aceite de coco (<i>Cocos nucifera</i>)	76,09f
Líquidos iónicos de carboxilato de tetrabutilamonio	82,50g
AUT Force 110	87,00g
Aceite de <i>Jatropha gossypifolia</i>	87,17g
Aceite de <i>Jatropha curcas</i>	88,33g
Nanopartículas de óxido de titanio	90,00g
Tensioactivo polimérico	92,91g
Extracto de corteza de pino	98,00h
Nanopartículas y-Al ₂ O ₃ /NiO sintetizadas	100,00h

Nota: letras iguales indica que existe diferencia significativa con $p < 0,05$ (Tukey HSD).

Las eficiencias de los productos evaluados en las investigaciones variaron entre los productos y en el caso de los que se utilizaron en más de un estudio, se promedió la eficiencia, mostrándose los resultados en la Tabla 4.

El rango de eficiencias reportadas fue de 92 % con un mínimo de 8 % (PDPF) y máximo de 100 % (Nanopartículas y-Al₂O₃/NiO sintetizadas). En el caso de la menor eficiencia los ensayos del producto se realizaron sobre una muestra de petróleo pesado,

utilizando todo el petróleo sometido a mezclas de tolueno/h-heptano, por lo que el producto fue evaluado con la muestra original [9], en el caso de la máxima eficiencia fue reportada para muestras de petróleo liviano, lo que indica que este producto logra mantener a la totalidad de los asfaltenos en solución, sin embargo, su eficiencia no se diferencia significativamente de la reportada para el extracto de corteza de pino [16], con 98 % aunque, el uso de este último producto se hizo sobre una muestra de asfaltenos extraído de un petróleo pesado, por lo que no

estaban presente los demás componentes del petróleo, por lo tanto es de esperarse que su eficiencia varíe si se aplica a una muestra completa.

Se obtuvo que los productos se clasifican en 8 grupos con base en sus eficiencias, el más bajo representado por el PDPF en solitario, ya que su poca eficiencia no se equivale con ninguna otra; un segundo grupo con eficiencias relativamente bajas (entre 22 y 23,52) todos productos sintéticos; con 30 % de eficiencia la Resina de *nonilfenol-formaldehído* modificada por poliaminas no presentó similitud estadística con otros productos;

La resina epoxi y el aceite de canola presentan eficiencias equivalentes, ubicándose ambas en el grupo 4; con eficiencias entre 59,38 y 60 % se ubicaron el Aceite de *Anacardium occidentale* y Polímeros de maleimida solubles en aceite; entre 70 y 76,09 % se encuentran el Ácido *dodecibenceno sulfónico* y *tolueno*, los Líquidos iónicos de imadazolio y el Aceite de coco (*Cocos nucifera*). El grupo más numeroso y con eficiencias entre 82,5 y 92,91 % lo conforman 4 productos sintéticos (Líquidos iónicos de carboxilato de tetrabutilamonio, *AUT Force 110*, Nanopartículas de óxido de titanio y Tensioactivo polimérico) y 2 productos naturales (Aceite de *Jatropha gossypifolia* y Aceite de *Jatropha curcas*); dejando como grupo grupo con mayor eficiencia al conformado por el Extracto de corteza de pino y las Nanopartículas y-Al₂O₃/NiO sintetizadas.

Es destacable que 4 aceites vegetales superen el 75 % de eficiencia, llegando a estar incluso por encima de productos sintéticos cuya actividad interfacial está comprobada, tal como los líquidos iónicos, esto es consistente con el hecho descrito de que el uso de aceites vegetales como inhibidores de la precipitación de asfaltenos se presenta como una alternativa económica plausible por su relativamente bajo costo de producción, en comparación con la mayoría de los productos comerciales altamente elaborados utilizados como dispersantes y su fácil manejo y aplicación operacional que no causa amenazas ambientales, esto debido a que presentan en su composición química sustancias con grupos funcionales que son eficaces en la inhibición de la precipitación de asfaltenos, aunado a su compatibilidad química con el petróleo, lo que no afecta la calidad del mismo [55, 56].

De lo anterior se deduce que, aunque productos sintéticos como los fluidos con nanopartículas metálicas presentan altas eficiencias (>90 %), el uso de productos naturales como los aceites de *Jatrophas*, de coco y de pino se presentan como tratamientos que pueden ser de gran utilidad en el control de la deposición de asfaltenos en los procesos de producción de petróleo, debido a su más fácil obtención y su eficiencia ecológica.

4. Conclusiones

Se han investigado diferentes tratamientos alternativos para disminuir la incidencia de la deposición de asfaltenos en las operaciones petroleras entre los años 2014 y 2023, siendo los productos sintéticos los que más se han estudiados y entre ellos los líquidos iónicos y las nanopartículas metálicas son los que destacan. Por otro lado, también se evidencia un uso importante de tratamientos evaluados con aceites vegetales, los cuales han demostrado ser una alternativa viable.

Las metodologías de ensayo aplicadas han sido diversas, sin embargo, son destacables las basadas en la prueba *Oliensis Spot Test Number* modificada con microscopía óptica y los ensayos basados en absorbancia con mayor presencia de la espectroscopía UV-visible, aunque también hay evidencia del uso de ensayos de dispersión ADT, que también se basa en métodos de absorbancia de luz.

En su mayoría los estudios realizados no han aplicado pruebas estadísticas, solo se han limitado a análisis descriptivo/comparativo, es decir comparaciones numéricas entre diferentes tratamientos o productos, con una menor incidencia de estudios donde se aplicaron pruebas de comparación basadas en diseño experimental como ANOVA y *Taguchi*. Lo anterior demuestra que, desde el punto de vista petrolero, el resultado numérico es más importante por encima de las diferencias o similitudes que puede haber entre resultados, si un valor es mayor que otro, aunque sea ligeramente, entonces es el mejor. De allí que se necesite más uso de modelos y pruebas estadísticas que sustenten los resultados.

Los productos alternativos evaluados mostraron un rango amplio de eficiencias, las cuales dependen del tipo de producto, del tipo de crudo utilizado, de las condiciones de prueba, el tratamiento de la muestra de ensayo y del método aplicado. La prueba estadística de comparación de *Tukey HSD* mostró que más allá de los valores numéricos los productos evaluados se agrupan en 8 grupos y que los productos naturales están a la par de los sintéticos en cuanto a su eficiencia, ya que de 9 productos con eficiencias mayores a 75 %, 4 fueron naturales, destacando los aceites de *Jatropha gossypifolia* y *Jatropha curcas* y el Extracto de corteza de pino como los de mayor eficiencia. Entre los productos sintéticos se destacan los Líquidos iónicos, los Tensioactivos y las nanopartículas metálicas. De lo anterior se resalta que se debe centrar más la investigación de productos naturales por ser de más fácil obtención, menos costosos y amigables con el ambiente.

Financiamiento:

El autor expresa que no ha sido necesario financiamiento para realizar esta obra de investigación.

Conflicto de intereses:

El autor declara no tener conflicto de intereses de ningún tipo relacionados con la presente obra.

5. Referencias

1. FAKHER, Sherif; AHDAYA, Mohamed; ELTURKI, Mukhtar y ABDULMOHSIN., IMQAM. Critical review of asphaltene properties and factors impacting its stability in crude oil. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology* [online]. 2020, vol. 1, n.º 1, 1183-1200. ISSN: 2190-0566 [Consulta: 25 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00811-5>.
2. ATIYA ALI, Ghalib Adrees; IBRAHIM, Suha Anwer y ABBAS, Mohammed Nsaif. Catalytic adsorptive of nickel metal from Iraqi crude oil using non-conventional catalysts. *Innovative Infrastructure Solutions* [online]. 2021, vol. 1, 6, 7. ISSN: 2364-4184 [Consulta: 25 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00368-x>.
3. GHLOUM, Ebtisam F.; RASHED, Abeer M.; SAFA Muhieddine A. and SABLIT, Rachid C. y AL-JOUHAR, Saleh M. Mitigation of asphaltene precipitation phenomenon via chemical inhibitors. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [online]. 2019, vol. 175, n.º 1, 495-507. ISSN: 0920-4105. [Consulta: 25 feb. 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.12.071>.
4. KABEL, KHALID I.; ABDELGHAFAR. AMMAR M.; FARAG, REEM K. ; MAYSOUR, N. E. Y ZAHRAN, MAGDY A. H. Synthesis and evaluation of PAMAM dendrimer and PDPF-b-POP block copolymer as asphaltene inhibitor/dispersant. *Research on Chemical Intermediates* [online]. 2015, vol. 41, n.º 1, 457-474. ISSN: 1568-5675. [Consulta: 25 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11164-014-1629-2>.
5. SHADMAN, MOHAMMAD MAHDI; DEHGHANIZADEH, MOSTAFA.; SAEEDI DEHAGHANI, AMIR HOSSEIN; VAFAIE SEFTI, MOHSEN Y MOKHTARIAN, NADER. An Investigation of the Effect of Aromatic, Anionic and Nonionic Inhibitors on the Onset of Asphaltene Precipitation. *Journal of Oil, Gas and Petrochemical Technology* [online]. 2014, vol. 1, n.º 1, 17-28. ISSN: 2383-1545. [Consulta: 25 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.22034/jogpt.2014.4724>.
6. ALRASHIDI, Hessah y NASR-EL-DIN, Hisham A. Evaluation of Eco Friendly Bio-Oil Dispersants on the Inhibition of Asphaltene Precipitation in a Kuwaiti Crude Oil. *Abu Dhabi International Petroleum Exhibition Conference held, Abu Dhabi, November 13-16, 2017. Texas, USA, Society of Petroleum Engineers* [online]. 2017 [Consulta: 25 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.2118/188232-ms>.
7. ALHREEZ, Mahmoud; WEN, Dongsheng y ALI, Lameha. A novel inhibitor for controlling Iraqi asphaltene problems. *International Conference on Environmental Impacts of the Oil and Gas Industries: Kurdistan Region of Iraq as a Case Study (EIOGI), April 17-19, 2017. Koya-Erbil, Iraq, IEEE*. [Online]. 2017 [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/EIOGI.2017.8267622>.
8. MARTINS, Raphael G.; MARTINS, Lilian S. y SANTOS, Ronaldo G. Effects of Short-Chain n-Alcohols on the Properties of Asphaltenes at Toluene/Air and Toluene/Water Interfaces. *Colloids and Interfaces* [online]. 2018, vol. 2, n.º 2, 13. ISSN: 2504-5377. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/colloids2020013>.
9. ABDEL GHAFAR, AMMAR M.; KABEL, KHALID I.; FARAG, REEM K.; MAYSOUR, N. E. Y ZAHRAN, MAGDY A. H. Synthesis of poly(dodecyl phenol formaldehyde) bn poly(oxypropylene) block copolymer, and evaluation as asphaltene inhibitor and dispersant. *Research on Chemical Intermediates* [online]. 2015, vol. 41, 443-455. ISSN: 1568-5675. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11164-013-1243-8>.
10. FIROOZINIA, HAMED; HOSSEIN ABAD, KAZEM FOULADI Y VARAMESH, AKBAR. A comprehensive experimental evaluation of asphaltene dispersants for injection under reservoir conditions. *Petroleum Sciences* [online]. 2016, vol. 13, 280-291. ISSN: 1995-8226. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12182-016-0078-5>.
11. GHANEM, Alaa; ALHARTHY, Rima D.; DESOUKY, Saad M. y EL-NAGAR, Raghda A. Synthesis and Characterization of Imidazolium-Based Ionic Liquids and Evaluating Their Performance as Asphaltene Dispersants. *Materials* [online]. 2022, vol. 15, 1600. ISSN: 1996-1944. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ma15041600>.
12. GHANEM, ALAA; NESSIM, MAHER I.; KHALIL, N. A. Y EL-NAGAR, RAGHDA A. Imidazolium-based ionic liquids as dispersants to improve the stability of asphaltene in Egyptian heavy crude oil. *Scientific Reports* [online]. 2023, vol. 13, 17158. ISSN: 2045-2322. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44237-w>.

13. ENAYAT, SHAYAN; SAFA, MUHIEDDINE A. ; TAVAKKOLI, MOHAMMAD; VALDES, HUMBERTO; RASHED, ABEER M.; GHLOUM, EBTISAM F.; GHARBI, RIDHA; SANTHANAGOPALAN, SRIRAM Y VARGAS, FRANCISCO M. Novel Nanoparticle-Based Formulation to Mitigate Asphaltene Deposition. *Energy Fuels* [online]. 2021, vol. 35, n.º 16, 12974-12981. ISSN: 0887-0624. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c00659>.
14. KHIDHIR, Dana y SIDIQ, Hiwa. Efficacy of Green Oxide Nanofluids as Potential Dispersants for Asphaltene in Iraqi Crudes, Experimental, Tuning and Statistical Analysis. *Energies* [online]. 2022, vol. 16, 6833. ISSN: 1996-1073. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en15186833>.
15. ARRIOJAS TOCUYO Dany Day Josefina y MARÍN VELÁSQUEZ, Tomás Darío. Análisis comparativo de la eficiencia estabilizadora de asfaltenos del aceite de cáscara de Anacardium occidentale y productos comerciales. *Enfoque UTE* [online]. 2020, vol. 11, n.º 3, 111-123. ISSN: 1390-6542. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572263177012/html/>.
16. BARAHONA ALVEAR, Natalia Sofía y TIXI TOAPANTA, Hernán Patricio. Formulaciones de inhibidores de asfaltenos a base de extractos de corteza de pino en diferentes solventes aplicado al crudo pesado. *Polo del Conocimiento*. [Online]. 2020, vol. 5, n.º 4, 389-420. ISSN: 2550-682X. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1394>.
17. ALIZADEH, Shahin; FAZELIPOUR, Fariborz; MOUSAVI, Seyedeh Maryam; MANSOURIAN, Reza y QAJAR, Jafar. A comparative experimental evaluation of the performance of additive compounds for inhibition of asphaltene precipitation from crude oil. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental effects*. [Online]. 2021, 1-19. ISSN: 1556-7230. [Consulta: 26 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1916131>.
18. PAGE, Matthew J.; MCKENZIE, Joanne E.; BOSSUYT, Patrick M.; BOUTRON, Isabelle; HOFFMANN, Tammy C.; MULROW, Cynthia D.; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M.; AKL, Elie A.; BRENNAN, Sue E.; CHOU, Roger; GLANVILLE, Julie; GRIMSHAW, Jeremy M; HROBJARTSSON, Asbjörn; LALU, Manoj M.; LI, Tianjing; LODER, Elizabeth W.; MAYO-WILSON, Evan; MCDONALD, Steve; MCGUINNESS, Luke A.; STEWART, Lesley A.; THOMAS, James; TRICCO, Andrea C.; A., WELCH Vivian; WHITING, Penny y MOHER, David. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*. [Online]. 2021, vol. 74, n.º 9, 790-799. ISSN: 0300-8932. [Consulta: 27 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>.
19. ALIMOHAMMADI, SEPIDEH; ZENDEHBOUDI, SOHRAB; Y AMES, LESLEY. A comprehensive review of asphaltene deposition in petroleum reservoirs: Theory, challenges, and tips. *Fuel* [online]. 2019, vol. 252, 753-791. ISSN: 1873-7153 [Consulta: 28 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.03.016>.
20. ALI, SYED IMRAN; LALJI, SHAINA MOHAMMADALI; HANEEF, JAVED; AHSAN, USAMA; TARIQ, SYED MOHAMMAD; IRMIZI, SYED TALHA; Y SHAMIM, RAMSHA. Critical analysis of different techniques used to screen asphaltene stability in crude oils. *Fuel* [online]. 2021, vol. 299, 120874. ISSN: 1873-7153. [Consulta: 28 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120874>.
21. AQUINO CANCHARI, CHRISTIAN; VILLANUEVA ZUÑIGA, LUÍS MÁXIMO; ALVAREZ VILCHEZ, MARGARITA LIZ; LÓPEZ ORIHUELA, KEVIN EDGAR Y CHAVEZ BENDEZU, CYNTHIA. Análisis de accesibilidad de publicación estudiantil en revistas de medicina en Latinoamérica. *Educación Médica* [online]. 2021, vol. 22, n.º 4, 215-221. ISSN: 1579-2099. [Consulta: 28 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2021.03.002>.
22. SALATINO, Maximiliano. Los circuitos lingüísticos de la publicación científica latinoamericana. *Tempo Social* [online]. 2023, vol. 34, 253-273. ISSN: 1809-4554. [Consulta: 28 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.11606/0103-2070.ts.2022.201928>.
23. LOPARDO, Horacio Ángel. La ciencia y el idioma. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* [online]. 2019, vol. 53, n.º 2, 159-160. ISSN: 0325-2957. [Consulta: 28 feb. 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/535/53560335003/html>.

24. HUANCA-AROHUANCA, Jesús Wiliam . Combate cuerpo a cuerpo para entrar a la Liga de los Dioses: Scopus y Web of Science como fin supremo. *Revista Venezolana de Gerencia* [online]. 2019, vol. 27, n.º 7, 663-679. ISSN: 2477-9423. [Consulta: 28 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.7.43>.
25. RONDA-PUPO, Guillermo Armando. Producción científica e impacto del sistema de ciencia de Latinoamérica y el Caribe en revistas de la región. *Investigación bibliotecológica* [online]. 2021, vol. 35, n.º 88, 45-62. ISSN: 2448-8321. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/iibi.24488321xe.2021.88.58358>.
26. AMIRI, REZA; KHAMEHCHI, EHSAN; GHAFFARZADEH, MOHAMMAD Y KARDANI, NAVID. Laboratory evaluation of a novel multifunctional chemical solution for asphaltene precipitation and aggregation problem: Comparison with an industrial chemical solution. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [online]. 2020, vol. 193, 107340. ISSN: 0920-4105. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107340>.
27. ARRIOJAS TOCUYO, DANY; MARÍN VELÁSQUEZ, TOMÁS. Evaluación del aceite de Anacardium occidentale como inhibidor de floculación de asfaltenos. *Ciencia UNEMI* [online]. 2020, vol. 13, n.º 34, 59–71. ISSN: 2528-7737. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss34.2020pp59-71p>.
28. MARÍN VELÁSQUEZ, T. D. AND ARRIOJAS TOCUYO, D. D. J. Efecto de aceites de Cocos nucifera y Jatropha gossypifolia sobre la estabilidad de asfaltenos. *Nexo Revista Científica* [online]. 2020, vol. 33, n.º 1, 36-50. ISSN: 1995-9516. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/nexo.v33i01.10044>.
29. MARÍN VELÁSQUEZ, Tomás Darío. Evaluación de aceite de Jatropha gossypifolia como estabilizante de asfaltenos en una muestra de petróleo a nivel de laboratorio. *Fuentes: El Reventón Energético* [online]. 2020, vol. 18, n.º 1, 17-29. ISSN: 2145-8502. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18273/revfue.v18n1-2020003>.
30. BELLO VELÁSQUEZ, Yunelika Beatriz; MANZANO GUZMÁN, José Rafael y MARÍN VELÁSQUEZ, Tomás Darío. Análisis comparativo de la eficiencia dispersora de asfaltenos de productos a base de aceite de coco (Cocos nucifera) como componente activo y dispersantes comerciales aplicados a muestras de petróleo del Campo el Furrial, Estado Monagas, Venezuela. *Revista Tecnológica ESPOL –RTE* [online]. 2015, vol. 28, n.º 2, 51-61. ISSN: 1390-3659. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/370/238>.
31. MARÍN VELÁSQUEZ, Tomás Darío. El aceite de coco (Cocos nucifera) como estabilizante de asfaltenos en un crudo del Estado Monagas, Venezuela: efecto de la temperatura. *Ingeniería y Desarrollo* [online]. 2019, vol. 37, n.º 2, 289-305. ISSN: 2145-9371. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14482/inde.37.2.1627>.
32. MARÍN VELÁSQUEZ, T. AND MARCANO MORANTE, S. AND FEBRES, M. Evaluación del aceite de Jatropha curcas como aditivo dispersante de asfaltenos en un crudo del campo el Furrial, Venezuela. *Ingeniería-Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán* [online]. 2016, vol. 20, n.º 2, 98-107. ISSN: 2448-8364. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/467/46750928004/html/>.
33. MARÍN VELÁSQUEZ, Tomás Darío y ARRIOJAS TOCUYO, Dany Day Josefina. Analysis of factors affecting the efficiency of Jatropha curcas oil as an asphaltene stabiliser. *Acta Polytechnica* [online]. 2022, vol. 62, n.º 2, 283–292. ISSN: 1805-2363. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.14311/AP.2022.62.0283>.
34. BAGHERSAEI, Shirin; MOKHTARI, Babak; SOLTANI SOULGANI, Bahram; POURREZA, Nahid y VEISKARAMI, Sepideh. Investigation on Asphaltene Dispersion Activity of Tetrabutylammonium Carboxylate Ionic Liquids. *Energy Fuels* [online]. 2022, vol. 37, n.º 10, 7085–7093. ISSN: 0887-0624. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c00196>.
35. ATTA, Ayman M.; EZZAT, Abdelrahman O.; ABDULLAH, Mahmood M. y HASHEM, Ahmed I. Effect of different families of Hydrophobic Anions of Imidazolium Ionic Liquids on Asphaltene Dispersants in Heavy Crude Oil. *Energy Fuels* [online]. 2022, vol. 31, n.º 8, 8045-8053. ISSN: 0887-0624. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b01167>.
36. EL-HOSHOUDY; A.N. GHANEM, A. y DESOUKY, S.M. Imidazolium-based ionic liquids for asphaltene dispersion; experimental

- and computational studies. *Journal of Molecular Liquids* [online]. 2020, vol. 324, 114698. ISSN: 1873-3166. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114698>.
37. LABRADOR-SÁNCHEZ, Henry; ALVARADO, Zully; DORTA, Rosa y RIZZO., ANIELLO. Síntesis y evaluación del N,N,N'-Trimetil-N'-Octadecil-1,2- Diaminoetano (TODE) como dispersante de la fracción de asfalto. *REDIP. UNEXPO. VRB. Venezuela* [online]. 2014, vol. 4, n.º 1, 568-582. ISSN: 2244-7393. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4895648>.
 38. LIU, Guan hao; YANG, Jingyi; SONG, Jun y XU, Xinru. Inhibition of asphaltene precipitation in blended crude oil using novel oil-soluble maleimide polymers. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [online]. 2019, vol. 41, n.º 20, 2460-2470. ISSN: 1556-7230. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1568628>.
 39. ZAHEDI, E.; VAFIAIE-SEFTI, M.; SHADMAN, M. M.; NADERI, H.; AMIRI, M. y NOORBAKHS, A. Experimental investigation of dodecylbenzene sulfonic acid and toluene dispersants on asphaltene precipitation of dead and live oil. *Petroleum Science and Technology* [online]. 2017, vol. 35, n.º 7, 653-660. ISSN: 1532-2459. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/10916466.2016.1278389>.
 40. ABDULLAH, Mahmood M.S. y AL-LOHEDAN, Hamad A. Synthesis and characterization of tannic acid esters and their performances as asphaltene dispersants. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [online]. 2021, vol. 201, 108389. ISSN: 0920-4105. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.108389>.
 41. LI, Rui; LU, Yi; ZHANG, Zhiqing y MANICA, Rogerio. Role of Surfactants Based on Fatty Acids in the Wetting Behavior of Solid-Oil-Aqueous Solution Systems. *Langmuir* [online]. 2021, vol. 37, n.º 18, 5682-5690. ISSN: 1520-5827. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.1c00586>.
 42. PINEDA SANTAELLA, ALBERTO Y UREÑA BAILÉN, GUILLERMO. La importancia del ácido tánico en nuestros días. *MoleQla: revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide* [online]. 2017, vol. 25, 48-50. ISSN: 2173-0903. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: [//www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero25/Numero_25.pdf](https://www.upo.es/cms1/export/sites/upo/moleqla/documentos/Numero25/Numero_25.pdf).
 43. RASHID, Zeeshan; WILFRED, Cecilia Devi; GNANASUNDARAM, Nirmala; ARUNAGIRI, Appusamy y MURUGESAN, Thanabalan. A comprehensive review on the recent advances on the petroleum asphaltene aggregation. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [online]. 2019, vol. 176, 249-268. ISSN: 0920-4105. [Consulta: 29 feb. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.01.004>.
 44. LI, Xingxun; GUO, Yunmei; SUN, Qiang; LAN, Wenjie y GUO, Xuqiang. Effect of nanoparticles on asphaltene aggregation in a microsized pore. *Industrial Engineering Chemistry Research* [online]. 2018, vol. 57, n.º 27, 9009-9017. ISSN: 1520-5045. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b00729>.
 45. GANDOMKAR, Asghar y NASRIANI, Hamid Reza. The role of direct asphaltene inhibitors on asphaltene stabilization during gas injection. *Fuel* [online]. 2020, vol. 282, 118827. ISSN: 1873-7153. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118827>.
 46. LOWRY, Evan; SEDGHI, Mohammad y GOUAL, Lamia. Polymers for asphaltene dispersion: Interaction mechanisms and molecular design considerations. *Journal of Molecular Liquids* [online]. 2017, vol. 230, 589-599. ISSN: 1873-3166. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2017.01.028>.
 47. ASOMANING, Samuel. Test Methods for Determining Asphaltene Stability in Crude Oils. *Petroleum Science and Technology* [online]. 2003, vol. 21, n.º 3-4, 581-590. ISSN: 1532-2459. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/LFT-120018540>.
 48. SIEBEN, Vincent J.; STICKEL, Alexander J.; OBIO-SA-MAIFE, Collins; ROWBOTHAM, Jacalyn; MEMON, Afzal; HAMED, Nejib; RATULOWSKI, John y MOSTOWFI, Farshid. Optical Measurement of Saturates, Aromatics, Resins, And Asphaltenes in Crude Oil. *Energy Fuels* [online]. 2017, vol. 31, n.º 4, 3684-3697. ISSN: 0887-0624. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b03274>.
 49. HOU, Xiangdao; XIAO, Feipeng; WANG, Jingang y AMIRKHANIAN, Serji. Identification

- of asphalt aging characterization by spectrophotometry technique. *Fuel* [online]. 2018, vol. 226, 230-239. ISSN: 1873-7153. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.030>.
50. SUN, Zhihui; WU, Yi; XU, Weixia y LI, Wenhong. Study on the Aggregation Behaviors of Asphaltene Derived from Low Temperature Coal Tar in Organic Solvents by Absorbance and Fluorescence Spectroscopy. *Solid Fuel Chemistry* [online]. 2022, vol. 55, S11–S21. ISSN: 1934-8029. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3103/S036152192107003X>.
 51. ENAYAT, Shayan; TAVAKKOLI, Mohammad; YEN, Andrew; MISRA, Sanjay y VARGAS, Francisco M. Review of the Current Laboratory Methods to select Asphaltene Inhibitors. *Energy Fuels* [online]. 2020, vol. 34, n.º 12, 15488-15501. ISSN: 0887-0624. [Consulta: 1 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c02554>.
 52. ASHOORI, Siavash; SHARIFI, Mehdi; MASOUMI, Mohammad y SALEHI, Mehdi Mohammad. The relationship between SARA fractions and crude oil stability. *Egyptian Journal of Petroleum* [online]. 2017, vol. 26, n.º 1, 209-213. ISSN: 2090-2468. [Consulta: 2 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.04.002>.
 53. XIONG, Ruiying; GUO, Jixiang; KIYINGI, Wyclif; FENG, Hengshui; SUN, Tongcheng; YANG, Xiaohui y LI, Qing. Method for judging the stability of asphaltenes in crude oil. *ACS omega* [online]. 2020, vol. 5, n.º 34, 21420-21427. ISSN : 2470-1343. [Consulta: 2 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1021%2Facsomega.0c01779>.
 54. LAM MALDONADO, MAYDA; ARANDA JIMÉNEZ, YOLANDA G.; ARVIZU SANCHEZ, EDUARDO; MELO BANDA, JOSÉ A.; DÍAZ ZAVALA, NANCY P.; PÉREZ SÁNCHEZ, JOSUÉ F. Y SUAREZ DOMINGUEZ, EDGARDO J. Extra heavy crude oil viscosity and surface tension behavior using a flow enhancer and water at different temperatures conditions. *Heliyon* [online]. 2023, vol. 9, n.º 2, e12120. ISSN : 2405-8440. [Consulta: 2 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12120>.
 55. ROCHA JUNIOR, LUIZ CARLOS Y SILVA FERREIRA, MAIRA Y DA SILVA RAMOS, ANTONIO CARLOS. Inhibition of asphaltene precipitation in Brazilian crude oils using new oil soluble amphiphiles. *Journal of Petroleum Science and Engineering* [online]. 2006, vol. 51, n.º 1-2, 26-36. ISSN: 1873-4715. [Consulta: 2 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2005.11.006>.
 56. MARDANI, Edris; MOKHTARI, Babak y SOULGANI, Bahram Soltani. Comparison of the inhibitory capacity of vegetable oils, and their nonionic surfactants on Iran crude oil asphaltene precipitation using Quartz crystal microbalance. *Petroleum Science and Technology* [online]. 2018, vol. 36, n.º 11, 1-6. ISSN: 1532-2459. [Consulta: 2 mar. 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10916466.2018.1445103>.



Artículo de **libre acceso** bajo los términos de una **Licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial – CompartirIgual 4.0 Internacional**. Se permite que otros remezclen, adapten y construyan a partir de su obra sin fines comerciales, siempre y cuando se otorgue la oportuna autoría y además licencien sus nuevas creaciones bajo los mismos términos.