

# Evaluación del aceite de *Jatropha curcas* como aditivo dispersante de asfaltenos en un crudo del campo el Furrial, Venezuela

Marín Velásquez, T.<sup>1</sup>, Marcano Morante, S., Febres, M.

*Fecha de recepción: 25 de julio de 2016 – Fecha de aprobación: 25 de noviembre de 2016*

## RESUMEN

En esta investigación se evaluó el uso del aceite extraído de la semilla de *Jatropha curcas* mezclado con gasóleo, como aditivo alternativo para el control de la precipitación de asfaltenos aplicado a una muestra de petróleo del Campo El Furrial, Venezuela. El aceite fue obtenido por extracción con hexano, caracterizado físicamente y dividido en dos porciones, una se dejó a temperatura ambiente de laboratorio y otra sometida a calentamiento a 150 °C. Los dos aceites se mezclaron con gasóleo en concentraciones de 20, 40 y 60% V/V. Por cada concentración se aplicaron dosis de 2, 4, 6 y 8 µL en 10g de la muestra de petróleo y por cada dosificación se determinó el Umbral de floculación de asfaltenos aplicando n-Heptano y observando la formación de flóculos en un microscopio óptico y el Punto de Dispersión aplicando Xileno observando la dispersión de los flóculos formados en el microscopio. Se calculó el índice de estabilidad como el cociente entre el punto de dispersión y el umbral de floculación. Los resultados fueron analizados mediante una ANOVA factorial con las variables independientes Temperatura, Porcentaje de Aceite y Dosis aplicada y la variable dependiente índice de estabilidad. Todas las muestras dosificadas con el producto alternativo fueron más estables, obteniéndose las mayores eficiencias al aplicar la mezcla con el aceite que fue sometido a calentamiento, sin embargo el ANOVA factorial mostró que sólo el factor Dosis aplicada tuvo influencia significativa sobre el índice de estabilidad con un nivel de confianza de 95%.

**Palabras clave:** Asfaltenos, floculación, estabilidad, dispersantes, *Jatropha*

## Evaluation of *Jatropha curcas* oil as an additive asphaltene dispersant in a crude oil of Furrial field, Venezuela

### ABSTRACT

In this research the use of oil extracted from the seed of *Jatropha curcas* mixed with diesel as an alternative additive to control asphaltene precipitation applied to a sample of crude oil from Campo Furrial, Venezuela was evaluated. The oil was obtained by extraction with hexane, and characterized physically and divided into two portions, one was left at ambient laboratory temperature and another subjected to heating at 150 °C. The two oils were mixed with diesel at concentrations of 20, 40 and 60% V/V. For each concentration dose of 2, 4, 6 and 8 uL were applied in 10g of the crude oil sample and for each dosage the flocculation onset of asphaltenes was determined using n-Heptane and observing the flocs formation under an optical microscope and dispersion point applying xylene observing the dispersion of the flocs formed in the microscope. Stability index as the ratio of the dispersant point and flocculation onset was calculated. The results were analyzed by factorial ANOVA with independent variables temperature, oil percentage and dose applied and the dependent variable stability index. All samples dosed with the alternative product were more stable, obtaining higher efficiencies when applying the mixture with the oil which was subjected to heating, however the factorial ANOVA showed that only the factor dose applied had significant influence on the stability index with a confidence level of 95%

**Key words:** asphaltenes, flocculation, stability, dispersants, *Jatropha*

<sup>1</sup> Ingeniero Químico, Magister en Ingeniería Ambiental, Profesor del Departamento de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas, Venezuela. Correo electrónico: tmarin@udo.edu.ve

Este artículo de investigación es parte de Ingeniería–Revista Académica de la Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Ing. R.A., Vol. 20, No.2, 2016.

## INTRODUCCIÓN

El petróleo es una mezcla de compuestos químicos orgánicos llamados hidrocarburos, que se puede clasificar de acuerdo con su densidad, tal como lo define el Instituto Americano de Petróleo dentro de una medida estándar que son los grados API. Se considera petróleo liviano en el rango entre 30-40°, petróleo mediano en el intervalo de 22-29.9°, pesado entre 10-21.9°, extrapesado menor a 10° e hidrocarburos no convencionales (Padilla y Watt, 2015)

La definición de asfaltenos desde el punto de vista operacional se basa en la solubilidad; los asfaltenos son insolubles en hidrocarburos no polares con tensiones superficiales por debajo de los 25 mN/m (a 25 °C), tales como nafta de petróleo, éter de petróleo, n-heptano y n-pentano y solubles en líquidos con tensiones superficiales por encima de los 25 mN/m (a 25 °C), tales como piridina, disulfuro de carbono, tetracloruro de carbono, benceno y tolueno (Delgado, 2015). Los asfaltenos por ser los componentes más pesados del petróleo, bajo ciertas condiciones desfavorables de presión, temperatura, composición química y tasa de corte, se precipitan afectando de manera negativa la recuperación de petróleo. La deposición de asfaltenos puede ocurrir una vez que se haya generado su floculación en el crudo (Sepúlveda et al, 2010)

Las alternativas de solución a la problemática de la precipitación de asfaltenos, consisten en la implementación de técnicas químicas, mecánicas y térmicas, siendo los tratamientos químicos los que han predominado en este campo de interés; existen sustancias químicas comerciales que implican el uso de inhibidores, solventes y/o dispersantes, las cuales son ofrecidas por diversas compañías para disolver los asfaltenos depositados. No obstante, estos tratamientos son costosos, temporales y requieren de la vigilancia de la seguridad medioambiental (Padilla y Watt, 2015).

El área norte del Estado Monagas, especialmente el Campo El Furrial, ha tenido un importante aporte en el escenario petrolero venezolano, de sus yacimientos se extraen una gran cantidad de crudos con tendencia a la precipitación de asfaltenos, lo cual inciden directamente en la eficiencia de su recuperación. El tratamiento químico del petróleo para esta zona petrolera es fundamental en las operaciones de producción, por lo que se utilizan dispersantes de asfaltenos comerciales, cuyo uso implica grandes inversiones para la industria. Se han venido evaluando productos alternativos basados en aceites de origen vegetal, como el aceite de coco (*Cocos nucifera*) como dispersantes de asfaltenos (Bello et al,

2015) que han mostrado eficiencia para el control de esta problemática en comparación con productos comerciales sintéticos, sin embargo este tipo de aceite es de especial interés alimenticio por lo que su implementación en el campo se encuentra restringida.

La presente investigación se fundamentó en la evaluación a nivel de laboratorio de productos a base del aceite de la semilla de piñón (*Jatropha curcas*) como una alternativa en el tratamiento de la precipitación de los asfaltenos, a nivel de superficie, como una metodología de corrección eficiente, menos costosa y amigable con el ambiente. Además de tratarse de un aceite no comestible lo que lo hace atractivo en este campo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la investigación y obtención de los insumos

La investigación se realizó en el laboratorio de Procesamiento de Hidrocarburos del Departamento de Ingeniería de Petróleo, de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Campus Los Guaritos, Venezuela. Se utilizó una muestra de petróleo crudo obtenida del Campo El Furrial en el norte del Estado Monagas, Venezuela; semillas de piñón (*Jatropha curcas*) obtenidas de plantas ornamentales ubicadas en el municipio Maturín del estado Monagas y combustible Diésel adquirido de un surtidor de combustible de la ciudad de Maturín. Como agente precipitante de asfaltenos se utilizó el N-Heptano grado HPLC y como agente dispersante de asfaltenos se utilizó Xileno (mezcla de isómeros) grado reactivo.

### Caracterización de la muestra de petróleo crudo

La muestra de petróleo crudo fue caracterizada de acuerdo a los procedimientos establecidos en la normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM) y las propiedades determinadas fueron la Gravedad API (ASTM D287), Densidad (ASTM D891) y Viscosidad (ASTM D2196). El Porcentaje de Asfaltenos fue estimado mediante la ecuación establecida por Aliendres et al (2013). El contenido de saturados, aromáticos y resinas se obtuvo aplicando el procedimiento establecido en la norma ASTM D2007.

### Extracción y caracterización física del aceite de *Jatropha curcas*

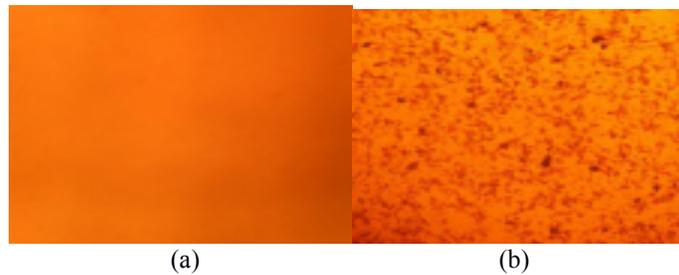
Las semillas fueron extraídas del fruto de forma manual, limpiadas y secadas a la sombra y conservadas en frascos de vidrio. La extracción del aceite se realizó mediante el método Soxhlet utilizando el hexano como solvente de extracción aplicando la metodología descrita por Araiza et al (2014). El aceite obtenido se dividió en dos

porciones, una se almacenó a temperatura ambiente del laboratorio (25 °C) y la otra fue calentada en un horno de laboratorio a una temperatura de 150 °C por 24 horas, luego se enfrió en un desecador y almacenada. A cada una de las muestras de aceite se le determinó la densidad a 25 °C, por el método del picnómetro mediante la norma ASTM D891, la viscosidad a 25 °C, por el método de tubo capilar calibrado según la norma ASTM D2196 y el índice de refracción mediante el refractómetro de ABBE, siguiendo la metodología descrita en la norma ASTM D1218. Se prepararon mezclas en balones aforados de 25 ml de ambas muestras de aceite en gasóleo en proporciones de 20, 40 y 60%, las mismas fueron almacenadas en frascos ámbar a temperatura ambiente.

**Determinación del Índice de estabilidad de los asfaltenos en muestra de petróleo crudo**

En esta etapa de la investigación, se pesaron 10g de la muestra de petróleo crudo en una balanza marca

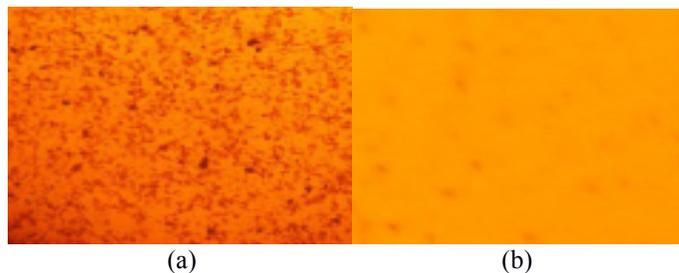
Sartorius modelo BP 221S utilizando un beaker de 50 mL de capacidad y luego se colocó en un agitador magnético marca CORNING a una velocidad de agitación constante y a una temperatura de 25 °C. Se llenó una bureta de 50 mL de capacidad con n-Heptano y se agregaron 0,5 mL de este al petróleo crudo manteniendo la agitación por 5 min, al cabo de los cuales se tomó una alícuota mediante una micropipeta de volumen constante de 25 µL y se colocó una gota en un porta objeto, se cubrió con un vidrio cubre objetos y se dejó estabilizar por 5 min. Se observó a través de un microscopio óptico binocular marca Óptima, Modelo XSZ-207, con objetivo de 10X y ocular de 10X. El procedimiento se repitió aplicando volúmenes sucesivos de 0,5 mL de n-Heptano hasta observar los flóculos de asfaltenos formados, anotándose la cantidad total de n-Heptano aplicado como el umbral de floculación de los asfaltenos (UF), como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Microfotografías de la muestra de crudo original (a) y en el umbral de floculación (b)

Luego de obtenido el umbral de floculación, se continuó agitando la muestra y se le aplicaron 5µL de Xileno utilizando una microjeringa marca SGE de 10µL de capacidad, se dejó agitar por 5 min y se extrajo una alícuota mediante una micropipeta de volumen constante de 25 µL y se colocó una gota en un porta objeto, se cubrió con un vidrio cubre objetos y se dejó estabilizar por 5 min. Se observó en el

microscopio óptico marca Óptima, Modelo XSZ-207, con objetivo de 10X y ocular de 10X. El procedimiento se repitió hasta observar la dispersión de los flóculos de los asfaltenos anotándose el volumen de total de Xileno aplicado como el punto de dispersión de la muestra (PD), como se observa en la figura 2.



**Figura 2.** Microfotografías de la muestra de crudo en el umbral de floculación (a) y en el punto de dispersión (b)

Con los valores de umbral de floculación y punto de dispersión se calculó el índice de estabilidad (IE) original de la muestra de petróleo crudo, mediante la ecuación 1

$$IE = \frac{PD(\mu L)}{UF(mL)} \tag{1}$$

**Determinación del índice de estabilidad de los asfaltenos en el petróleo crudo dosificado con los productos a base del aceite de *Jatropha curcas*.**

Se realizó el mismo procedimiento aplicado en la etapa anterior, pero una vez pesados los 10g de la muestra de petróleo, se le aplicaron cada uno de los productos preparados en dosis de 2, 4, 6 y 8 µL, para luego determinar el umbral de floculación, el punto de dispersión y calcular el índice de estabilidad de cada una de las muestras dosificadas. Cada ensayo se realizó por triplicado, lo que representó una cantidad total de ensayos de 27 ensayos (24 ensayos con las muestras dosificadas y 3 ensayos de la muestra original sin dosificar). A partir de los resultados obtenidos se calculó la eficiencia de los productos mediante la ecuación 2

$$IE = \frac{IE_{Original} - IE_{Dosificado}}{IE_{Original}} \times 100 \quad (2)$$

**Análisis estadístico**

Se estableció un análisis de varianza ANOVA factorial donde se tomaron como factores las tres variables independientes, que fueron: la temperatura a la que fue sometido el aceite antes de mezclarlo con el gasóleo (T), el porcentaje de aceite en gasóleo (%A) y las dosis aplicadas (Dosis); además de la variable dependiente índice de estabilidad (IE). Se busco determinar cual o cuales de las variables independientes influyeron sobre la variable dependiente. Además se realizó un análisis de Contraste Múltiple de Rango, a través de la Diferencia Mínima Significativa de Fisher para

determinar diferencias entre los resultados de los IE obtenidos. Se utilizó el paquete estadístico, STATGRAPHICS® Centurion XVI. Todos los análisis de hicieron con un nivel de confianza de 95%.

**RESULTADOS**

**Características de la muestra de petróleo crudo**

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización de la muestra de petróleo crudo utilizada para la evaluación de los productos formulados.

Se observa que la muestra de petróleo crudo es de tipo mediano, que es el tipo de crudo característico del Campo El Furrial.

**Características del aceite de *Jatropha curcas***

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la caracterización física del aceite obtenido de las semillas de *Jatropha curcas*.

Se observa una disminución en todas las propiedades físicas determinadas para el aceite, luego de ser calentado a una temperatura de 150 °C.

**Índices de estabilidad calculados**

En la Tabla 3 se muestran los índices de estabilidad calculados para cada dosis aplicada de cada uno de los productos preparados, con los dos aceites, sin calentar y calentado a 150 °C.

**Tabla 1.** Propiedades de la muestra de petróleo crudo

Propiedad	Valor	Unidad	Norma
Gravedad API	28,8	°API	ASTM D287
Densidad @25 °C	0,88	g/ml	ASTM D891
Viscosidad @25 °C	18,65	cP	ASTM D2196
Asfaltenos	2,64	%	-----
Resinas	8,44	%	ASTM D2007
Aromáticos	43,26	%	ASTM D2007
Saturados	45,66	%	ASTM D2007
Índice de Estabilidad	34,28	µL/mL	-----

**Tabla 2.** Propiedades del aceite de *Jatropha curcas*

Propiedad	Aceite sin calentar		Aceite calentado a 150 °C		Norma
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
Densidad @ 25 °C	0,92	g/mL	0,9	g/mL	ASTM D891
Viscosidad @ 25 °C	71,46	cP	52,24	g/mL	ASTM D2196
Índice de Refracción	1,47	Adm	1,46	Adm	ASTM D1218

Tabla 3. Índices de estabilidad calculados

%Aceite	Dosis (µL)	Índice de Estabilidad (µL/mL)	
		Aceite sin calentar	Aceite calentado a 150 °C
20	2	25,79	27,27
	4	27,22	4,62
	6	10,71	6,00
	8	8,33	4,00
40	2	15,79	27,50
	4	20,00	6,25
	6	7,27	5,56
	8	5,83	5,00
60	2	30,00	13,00
	4	5,83	4,44
	6	5,83	4,00
	8	4,00	4,00

Tabla 4. Eficiencias calculadas

%Aceite	Dosis (µL)	%Eficiencia	
		Aceite sin calentar	Aceite calentado a 150 °C
20	2	24,77	20,45
	4	20,60	86,52
	6	68,76	82,50
	8	75,70	88,33
40	2	53,94	19,78
	4	41,66	81,77
	6	78,79	83,78
	8	82,99	85,41
60	2	12,49	62,08
	4	82,99	87,05
	6	82,99	88,33
	8	88,33	88,33

Se observa que independientemente de la concentración de aceite de *Jatropha curcas* en gasóleo y de que el aceite haya sido calentado o no, los mayores IE se obtuvieron en la dosis de 2 µL y los menores IE en la dosis de 8 µL. A menor IE significa

mayor estabilidad, por lo tanto los asfaltenos se hicieron más estables a la dosis de 8 µL.

**Eficiencia de los productos a base de aceite de *Jatropha curcas***

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al calcular la eficiencia de los productos formulados a base del aceite de *Jatropha curcas* en función a los IE de cada producto comparándolos con el obtenido para la muestra de petróleo crudo original.

Se observa que de acuerdo a los resultados, al dosificar la muestra de petróleo crudo con los productos formulados se incrementó la estabilidad de los asfaltenos hasta un máximo de 88,33% obtenidas para la dosis de 8  $\mu\text{L}$  del producto formulado con

60% Aceite de *Jatropha curcas* sin calentar y las dosis de 8  $\mu\text{L}$  del producto formulado con 20% Aceite, así como la dosis de 6 y 8  $\mu\text{L}$  del producto formulado con 60% Aceite de *Jatropha curcas* calentado a 150  $^{\circ}\text{C}$ .

#### Resultados del análisis estadístico

En la Tabla 5 se muestra el resultado del análisis de varianza (ANOVA) factorial aplicado con los valores obtenidos.

**Tabla 5.** Analisis ANOVA para el Índice de estabilidad

<b>Factores</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:Temperatura	125,858	1	125,858	4,09	0,0592
B:%Aceite	114,743	2	57,3713	1,86	0,1854
C:Dosis	1209,68	3	403,227	13,1	0,0001

**Tabla 6.** Contraste múltiple de rangos para el factor Temperatura

<b>Temperatura</b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
150	12	9,30333	1,60149	A
25	12	13,8833	1,60149	A

**Tabla 7.** Contraste múltiple de rangos para el factor %Aceite

<b>%Aceite</b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
60	8	8,8875	1,96142	A
40	8	11,65	1,96142	A
20	8	14,2425	1,96142	A

**Tabla 8.** Contraste múltiple de rangos para el factor Dosis

<b>Dosis</b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>
8	6	5,19333	2,26486	A
6	6	6,56167	2,26486	A
4	6	11,3933	2,26486	A
2	6	23,225	2,26486	B

Se destaca en la tabla que de los tres factores, solo la Dosis tuvo un Valor-P menor a 0,05 lo que indica que solo este factor tuvo influencia estadísticamente significativa sobre el resultado obtenido para la variable dependiente IE.

En las Tabla 6, 7 y 8 se muestra los resultados del análisis de contraste de rangos aplicando la diferencia mínima significativa de Fisher para cada uno de los tres factores analizados.

Se observa que no existió diferencia significativa entre las medias de los índices de estabilidad

obtenidos para el aceite sin calentar y calentado, pues la resta de las mismas no superó la diferencia mínima significativa que fue de  $\pm 4,78$

Se observa que no existió diferencia significativa entre las medias de los índices de estabilidad obtenidos para los tres porcentajes de aceite preparados, pues la resta de las mismas no superó la diferencia mínima significativa que fue de  $\pm 5,85$

Se observa que no existió diferencia significativa entre las medias de los índices de estabilidad obtenidos para las dosis de 4, 6 y 8  $\mu\text{L}$  aplicadas, pero

el resultado de índice de estabilidad obtenido al aplicar la dosis de 2  $\mu\text{L}$  si mostró diferencia significativa respecto a las demás. La diferencia mínima significativa para este factor fue de  $\pm 6,76$

## **DISCUSIÓN**

La muestra de petróleo crudo utilizada en la investigación presentó una gravedad API de 28,8 °, la cual está acorde con la gravedad promedio de los crudos producidos en el Campo El Furrial, el cual es un campo productor de petróleo de crudo mediano y que está ubicado en la cuenca petrolífera oriental en Venezuela, específicamente en la subcuenca de Maturín. En esta subcuenca se encuentran los yacimientos del área norte de Monagas, a la que pertenece el campo El Furrial, donde se producen crudos de gravedades comprendidas entre 23 y 36 °API, con una media de 28,5 °API (Almarza, 1998). Es de hacer notar que características como la viscosidad no se encuentran especificadas en reportes, pues su valor depende de la temperatura a la cual se mida, sin embargo investigaciones como la de Rodríguez y Pamplona (2015) reportan una viscosidad para un crudo de 28,3 °API a una temperatura de 25 °C, viscosidad de 22,2 cP y porcentaje de asfaltenos de 2,83%, resultados que son consistentes con los obtenidos en esta investigación. En lo que respecta al contenido de saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos (SARA) se puede observar que las cantidades de saturados y aromáticos son relativamente cercanas, sin embargo se observa que al hacer una relación entre los componentes que solubilizan los asfaltenos (aromáticos+resinas) y los componentes que los insolubilizan (saturados) se obtiene un valor cercano a la unidad (1,1) lo que puede ser indicio de que la muestra de petróleo se encuentra en el límite de estabilidad respecto a la precipitación de los asfaltenos.

La densidad obtenida para el aceite de *Jatropha curcas* sin calentar fue de 0,92 g/mL lo cual es consistente con el valor de 0,91 g/mL reportado por Araiza et al (2015). El mismo autor citado reportó un valor de índice de refracción de 1,47 igual al obtenido en esta investigación. La densidad obtenida para el aceite también coincide con el valor reportado por Rodríguez-Martínez et al (2012). Lo anterior indica que el proceso de extracción realizado fue satisfactorio y se obtuvo una muestra de aceite que cumple con las características observadas en otras investigaciones. Luego de ser calentado el aceite, se observó una disminución en las propiedades físicas, sin embargo las mismas siguen estando dentro de los valores esperados para el mismo, lo que se complementó con un análisis estadístico por prueba

de hipótesis que demostró que los valores de las propiedades densidad e índice de refracción son estadísticamente iguales para el aceite sin calentamiento y calentado con un nivel de confianza de 95%. Sin embargo, la viscosidad si sufrió una variación estadísticamente significativa al disminuir su valor en 19,22 cP, lo cual se debe a la descomposición térmica de algunos de los componentes del aceite por efecto de la temperatura, manteniendo las características físicas sin alteración, pero influyendo en una característica química como la viscosidad.

La aplicación del aceite de *Jatropha curcas* en todas las concentraciones y dosis produce una disminución en el IE, lo que indica que induce a la estabilización de los asfaltenos, ya que a menor índice de estabilidad se necesita una menor cantidad de Xileno para lograr la dispersión de los flóculos de asfaltenos. Romero y Duerto (2016) aplicaron gasóleo puro a dos muestras de petróleo crudo mediano y demostraron que el mismo no ejerció ningún efecto estadísticamente significativo sobre la estabilidad de los asfaltenos, por lo tanto se puede decir que la estabilización observada es producto de la mezcla del gasóleo con el aceite de *Jatropha curcas*. Los menores valores de IE se obtuvieron al aplicar las mezclas que contenían el aceite calentado a 150 °C, por lo que se puede decir que el someter el aceite a calentamiento aumenta la eficiencia del mismo como estabilizante de los asfaltenos, independientemente de que el mismo haya sufrido cierto cambio en su estructura interna, lo que se reflejó en la disminución de la viscosidad.

Las eficiencias calculadas demuestran que al dosificar la muestra de petróleo crudo con las mezclas del aceite de *Jatropha curcas* y gasóleo, se mejora la estabilidad de los asfaltenos en rangos entre 12,49 y 88,33% para el aceite sin calentar y entre 19,78 y 88,33% para el aceite sometido a calentamiento a 150 °C. Lo anterior demuestra que independientemente de que el aceite se deje al natural o se caliente antes de realizar la mezcla con el solvente, se obtiene una eficiencia máxima igual, aunque los rangos de eficiencia son menores (68,55%) cuando el aceite es calentado en comparación con el aceite sin calentar (75,84%). En ambos casos la máxima eficiencia de estabilización se obtuvo para la mezcla que contiene 60% de aceite de *Jatropha curcas*, lo que también es indicativo del efecto positivo de este aceite. Investigaciones como la de Bello et al (2015) demostraron que aceites vegetales como el aceite de coco (*Cocos nucifera*) pueden ser utilizados como dispersantes de asfaltenos logrando calcular una eficiencia máxima de 97,22% para una mezcla de 66% aceite de coco en gasóleo aplicado a una dosis

de 8  $\mu\text{L}$ . Aunque en la investigación citada se obtuvieron eficiencias mayores a las obtenidas en esta investigación, se demuestra la eficiencia del aceite de *Jatropha curcas* como estabilizante de asfaltenos, así como la ventaja de utilizar un aceite no comestible.

El análisis ANOVA factorial realizado demostró que a pesar de las diferencias entre los resultados, sólo el factor Dosis aplicada tuvo influencia estadística significativa sobre los resultados de los IE. Lo anterior significa que no hay efecto significativo en la estabilidad de los asfaltenos cuando se dosifica con mezclas que contienen aceite de *Jatropha curcas* dejado a temperatura ambiente o sometido a calentamiento a 150 °C, así como tampoco el porcentaje con el que se prepare la mezcla es relevante sobre los resultados de IE. Los contrastes múltiples de rango basados en la mínima diferencia significativa de Fisher sustentan lo anterior cuando se observa que las diferencias entre las medias basadas en la temperatura y el %Aceite no superan el valor límite y se ubican en el mismo grupo homogéneo. En el caso del factor Dosis, el contraste múltiple de rangos muestra que sólo existe diferencia significativa para la dosis de 2  $\mu\text{L}$ , cuyo resultado se ubica en un grupo homogéneo diferente al que pertenecen los resultados de las demás dosis, que son estadísticamente iguales. Lo anterior sugiere que a partir de la dosis de 4  $\mu\text{L}$ , los asfaltenos muestran una estabilidad significativamente igual con un nivel de confianza de 95%, es decir que se puede aplicar

cualquier dosis y se obtendrán resultados estadísticamente iguales. A pesar de los resultados estadísticos es indudable que la dosis de 8  $\mu\text{L}$  es la que mejores resultados aportó y con la mayor eficiencia de estabilización, bajo las condiciones de la investigación.

### **CONCLUSIONES**

El aceite de piñón (*Jatropha curcas*) mostró un comportamiento que sugiere que puede ser utilizado como aditivo en mezclas con gasóleo para la dispersión de los asfaltenos en petróleos crudos del Campo El Furrial, Monagas, Venezuela. Los resultados mostraron que a mayor cantidad de aceite de *Jatropha curcas* en la mezcla mayor es la eficiencia de estabilización de los asfaltenos en la muestra de crudo. Las eficiencias de estabilización en la muestras dosificadas con las mezclas realizadas con el aceite sometido a calentamiento a 150 °C fueron mayores en comparación con las dosificadas con el aceite que no fue calentado. Aun cuando se presentaron diferencias en los índices de estabilidad debido a la influencia de los tres factores evaluados (Temperatura, %Aceite y Dosis) el ANOVA factorial y la prueba de contraste múltiple de rango demostraron que sólo el factor Dosis tuvo influencia estadísticamente significativa y sólo cuando se aplican 2  $\mu\text{L}$  de la mezcla, con un nivel de confianza de 95%.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aliendres, M., Rendón, M., Marín, T. (2013). Modelo matemático para la estimación del porcentaje de asfaltenos en crudo en función de la gravedad API, la temperatura y el índice de refracción."Revista RITIUDO", 1(1), 52 – 62
- Almarza, R. (1998). Campos Petrolíferos de Venezuela. Acta Geológica venezolana. Pdvsa-Intevep. Página web el línea. Disponible en <http://www.pdvsa.com/lexico/camposp/cp051.htm>
- Araiza, N., Alcaraz-Meléndez, L., Angulo, M., Reynoso-Granados, T., Cruz-Hernández, P., Ortega-Nieblas, M. (2014). Propiedades fisicoquímicas del aceite de semillas de *Jatropha curcas* de poblaciones silvestres en México. "Revista FCA UNCUYO", 47(1), 127-137
- ASTM D287. (2012). Standard Test Method for API Gravity of Crude Petroleum and Petroleum Products (Hydrometer Method), ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM D891. (2009). Standard Test Methods for Specific Gravity, Apparent, of Liquid Industrial Chemicals, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA..
- ASTM D1218. (2012). Standard Test Method for Refractive Index and Refractive Dispersion of Hydrocarbon Liquids. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- ASTM D2007. (2011). Standard Test Method for Characteristic Groups in Rubber Extender and Processing Oils and Other Petroleum-Derived Oils by the Clay-Gel Absorption Chromatographic Method. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA

ASTM D2196. (2010). Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

Bello, Y., Manzano, J., Marín, T. (2015). Análisis comparativo de la eficiencia dispersora de asfaltenos de productos a base de aceite de coco (*Cocus nucifera*) como componente activo y dispersantes comerciales aplicados a muestras de petróleo del Campo el Furrial, Estado Monagas, Venezuela. “Revista Tecnológica ESPOL – RTE”, 28( 2), 51 – 61

Delgado, J. (2015). Precipitación de Asfaltenos. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería química. “Cuaderno Firp S368-NT”, Mérida, Venezuela.

Padilla, D., Watt, K. (2015). Precipitación de asfaltenos: Técnicas de predicción y control. USBCTG. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/298869475/Precipitacion-de-Asfaltenos-Dina-Padilla-USBCTG-2015>

Rodríguez-Martínez, C., Lafargue-Pérez, F., Sotolongo-Pérez, J., Rodríguez-Poveda, A., De Assuncao Nascimento, J. (2012). Determinación de las propiedades físicas y carga crítica del aceite vegetal *Jatropha curcas L.* “Revista Ingeniería Mecánica”, 15(3), 170 – 175.

Rodríguez, J., Pamplona, Y. (2015). “Desarrollo de una metodología para la estimación del tamaño de los flóculos de asfalteno mediante técnicas de análisis de imagen” . Tesis de pregrado en Ingeniería de Petróleo. Universidad de Oriente, Venezuela.

Romero, J., Duerto, H. (2016). “Evaluación de productos químicos a basa de aceite de piñón (*Jatropha curcas*) como agente inhibidor de asfaltenos”. Tesis de pregrado en Ingeniería de Petróleo. Universidad de Oriente, Venezuela.

Sepulveda, J., Bonilla, J., Medina, Y. (2010). Predicción de la Estabilidad de los Asfaltenos Mediante la Utilización del Análisis SARA para Petróleos Puros.”Revista Ingeniería y Región”, 7(1), 103 – 110.

---

Este documento debe citarse como: Araiza Aguilar, J. A. (2016). **Diagnóstico de generación y manejo de los residuos eléctricos y electrónicos en instituciones educativas: un caso de estudio.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 20-2, pp. 98-107.