

Evaluación del efecto de extractos vegetales en la precipitación de asfaltenos en crudos pesados venezolanos.

Evaluation of the effect of extracts of vegetal origin on the precipitation of asphaltenes in Venezuelan heavy crudes.

Rivera, Yezabel^{1*}; Prato, José²; Garmendia, Henry¹; Rojas, Iliani¹; Ramírez, John¹

¹Laboratorio de Petróleo y Catálisis, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

²Grupo de Investigación Clean Energy and Environment. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Chimborazo (Unach). Riobamba. Ecuador.

*yezabel@ula.ve

Resumen

Venezuela se destaca por la producción y procesamiento de crudos pesados (CP) y extrapesados (XP), caracterizados por su alto contenido de asfaltenos que durante el transporte y la refinación conllevan a problemas de precipitación que provocan taponamientos en oleoductos, así como inconvenientes de producción que afecta a algunos de los yacimientos de mayor potencial del país. El uso de dispersantes químicos de la precipitación de asfaltenos es uno de los aspectos claves dentro de las acciones correctivas para los crudos operacionalmente inestables. En esta investigación se planteó el uso de dispersantes ecológicos obtenidos a partir de materia vegetal: mata ratón (*Gliricidia sepium*), alfalfa (*Medicago sativa*) y menta (*Mentha piperita*) con la finalidad de evitar la floculación de los asfaltenos en CP y XP. La parte experimental comprende: caracterización de los crudos y aplicación de métodos que permiten apreciar la precipitación de los asfaltenos: prueba de la mancha, prueba de equivalencia de tolueno, valor P, índice de heptano y fotografías empleando microscopio electrónico en los crudos Carabobo y Urdaneta, se realizó la prueba de la mancha con la adición de los dispersantes de asfaltenos formulados en los crudos estudiados. Se analizó la estabilidad de los crudos confirmando que la estabilidad del crudo Urdaneta es más estable que Carabobo y se verificó que los dispersantes preparados de mata ratón, alfalfa y menta si interactúan con los asfaltenos de ambos crudos retardando su precipitación, el dispersante formulado con la menta mostró mayor efecto de retraso en la floculación de los asfaltenos para la adición de 200 ppm de las pruebas ejecutadas.

Palabras claves: Precipitación de asfaltenos, dispersantes de origen vegetal, crudos pesados y extrapesados.

Abstract

Venezuela stands out for the production and processing of heavy crude (CP) and extra-heavy (XP), characterized by its high content of asphaltene that during transportation and refining lead to precipitation problems that cause plugging in pipelines, as well as production problems that affects some of the most potential deposits in the country. The use of chemical dispersants from asphaltene precipitation is one of the key aspects of corrective actions for operationally unstable crude oils. In this research, the use of ecological dispersants obtained from plant matter was proposed: mata ratón (*Gliricidia sepium*), alfalfa (*Medicago sativa*) and mint (*Mentha piperita*) in order to avoid the flocculation of asphaltene in CP and XP. The experimental part includes: characterization of crude oils and application of methods that allow the precipitation of asphaltene to be appreciated: stain test, toluene equivalence test, P value, heptane index and photographs using an electronic microscope on Carabobo and Urdaneta crude oils, the stain test was performed with the addition of the asphaltene dispersants formulated in the crude oil studied. The stability of the crudes was analyzed, confirming that the stability of the Urdaneta crude is more stable than Carabobo and it was verified that the dispersants prepared from mouse kills, alfalfa and mint do interact with the asphaltene of both crudes, delaying their precipitation, the dispersant formulated with the mint presented more interaction with crude oils and showed a greater effect of delaying the flocculation of asphaltene for the addition of 200 ppm of the tests carried out.

Keywords: Asphaltene precipitation, dispersants of vegetable origin, heavy and extra heavy crude.

1 Introducción

La mayoría de los crudos venezolanos se caracterizan por ser de naturaleza pesada y extrapesada, los primeros tienen gravedades API entre 10-20 y los más pesados por debajo de 10 (Saniere y col., 2004). En el manejo de crudos venezolanos, tanto en la zona oriental del país como en la Cuenca de Maracaibo, se han presentado problemas asociados a las altas viscosidades y a la precipitación de asfaltenos dificultando su producción, transporte y procesamiento (Alayon 2004, Gafanhao y col., 2008).

Los asfaltenos son compuestos del crudo definidos operacionalmente como la fracción soluble en benceno o tolueno e insoluble en n-heptano y químicamente están constituidos por hidrocarburos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno (Hernández-Trujillo y col., 2007, Yen 1998). Físicamente los asfaltenos se describen como una fracción sólida de color marrón a negro y apariencia pulverulenta, usualmente forman espuma y sin punto de fusión definido (Speight 2007). Se consideran también las fracciones más polares y tienen altos pesos moleculares presentes en los crudos, que varían dependiendo de las fracciones que conforman esta mezcla compleja; aunque diversos autores (Speight, 1981, Speight y col., 1985, Acevedo y col., 1992, revisados por Speight, 2007) argumentan que el peso molecular varía dependiendo de las condiciones del análisis: temperatura, concentración de asfaltenos, polaridad, tipo de solvente y tipo de análisis usado e incluso la asociación intermolecular en los asfaltenos (Trejo y col., 2004).

Para su extracción del petróleo se usan solventes no polares, como hidrocarburos con tensiones superficiales menores de 25 dinas/cm a 25°C, como naftas de bajo punto de ebullición, éter de petróleo, n-pentano, iso-pentano y heptano. Los asfaltenos también son solubles en piridina, disulfuro de carbono y tetracloruro de carbono (Speight, 2007).

El crudo mantiene una sinergia en el equilibrio de las especies presentes, así las resinas permiten mantener los asfaltenos suspendidos en el crudo, verificando su rol en la peptización de los asfaltenos, dando lugar a una estructura coloidal en el crudo (Alayon 2004, Mousavi-Dehghani y col., 2004). La complejidad composicional del crudo dificulta la preservación de su estabilidad, presumiéndose que las resinas asociadas a los asfaltenos en forma de un sistema donador-aceptor de electrones se ajusta bien a la similaridad estructural de estos compuestos, considerándolas que proveen una transición entre las fracciones polar (asfaltenos) y no polar del petróleo y de este modo se evita el ensamblaje de aglomerados polares que no se dispersarían en los crudos, sin embargo, no es estrictamente cierto para la relación de los asfaltenos de un crudo asociado con resinas de otro

crudo (Koots y col., 1975). Se confirmó que las resinas del crudo Boscán dieron un efecto estabilizante a los crudos Hamaca y Boscán mayor que el dado por las resinas extraídas de Hamaca, a condiciones ambiente, se esperaría que bajo las condiciones de trabajo de temperatura y presión del reservorio sea mayor la interacción entre resinas y sistema coloidal (Carnahan y col., 1999).

En el crudo se separan generalmente dos fases fluidas y una fase insoluble –constituida principalmente por los asfaltenos– en un crudo y está asociado a cambios de composición, presión, y temperatura en el sistema. En la industria química se utilizan compuestos químicos para retardar o inhibir la precipitación de los asfaltenos del crudo, y su principal objetivo es mantener estabilizados a los coloides de asfaltenos en el sistema; los más comunes: Alquil-fenoles etoxilados, ácidos sulfónicos de alquilbencenos, copolímeros de óxido de etileno y propileno, nonifenoles, poliaminas, entre otros (Alayon 2004).

La deposición de asfaltenos y de ceras parafínicas es un problema común en la formación de depósitos orgánicos en los sistemas de producción de los crudos. Se usaron fuentes naturales y renovables como una alternativa de sustitución de los agentes químicos, entre estos solventes verdes se contemplaron: terpenos, metiléster, lactato de etilo y cardanol. Sus propiedades inherentes representan una alternativa en la remediación de depósitos de los asfaltenos y las ceras parafínicas (Elochukwu y col., 2013).

También se trabajó con terpenos en la remoción de orgánicos depositados en pozos petroleros, destacando la necesaria reducción de solventes aromáticos tóxicos en la industria (Curtis 2003).

Se han usado agentes vegetales: formulando un surfactante de las hojas de mora evaluando la tensión interfacial en un sistema aceite-agua (Ahmadi y col., 2013); estudiando la factibilidad de nuevos surfactantes naturales de hojas de *Prosopis*, *Oliva* y *Spitan* en la recuperación mejorada de crudos con el fin de disminuir la tensión interfacial en un sistema kerosene-agua (Khorram y col., 2015) y su aplicación de un surfactante nuevo extraído de la planta *Sapindus mukorossi* con el fin de mejorar propiedades reológicas de crudos (Banerjee y col., 2015). En el Laboratorio de Petróleo de la Universidad de Los Andes, se han desarrollado algunos proyectos de grado usando agentes naturales como dispersantes de asfaltenos y como desmulsificantes de crudos.

El objetivo de esta investigación ha sido investigar la eficiencia de los formulados a partir de mata ratón (*Gliricidia sepium*), alfalfa (*Medicago sativa*) y menta (*Mentha piperita*) como agentes dispersantes de asfaltenos, aportando una alternativa ecológica en la

disminución de la precipitación de los asfaltenos.

2 Procedimiento Experimental

La metodología experimental aplicada durante esta investigación comprende diversas etapas, esquematizadas en la figura 1.

2.1 Caracterización de crudos

El estudio se realiza sobre crudos enezolanos: el crudo Urdaneta de la región occidental y Carabobo de la región oriental del país. Se caracterizaron los crudos Urdaneta y Carabobo, determinando la gravedad específica, °API y porcentaje de asfaltenos, empleando las normas ASTM D1298, ASTM D-287 y ASTM D-3279, respectivamente.

2.2 Ensayos de floculación aplicados en los crudos

Se aplicaron cuatro ensayos de floculación aplicados en los crudos venezolanos: prueba de la mancha, dilución con heptano, punto de equivalencia con tolueno y

determinación del punto P.

2.2.1 Prueba de la Mancha

La prueba de la mancha es un ensayo cualitativo que se realiza para determinar el inicio de la floculación de los asfaltenos en crudos. Método original de Oliensis (1933) y usando el método revisado por Gafanhao y col., 2008. Se aplicó a las muestras de los crudos Carabobo y Urdaneta sin añadir ningún dispersante (blanco).

2.2.2 Dilución con heptano

Se aplicó el procedimiento experimental indicado por Aquino y col., 1999.

2.2.3 Punto de equivalencia con tolueno

En el estudio de los crudos mediante el método del "Toluene Equivalence Point", se aplicó el procedimiento referido por Aquino y col., 1999.

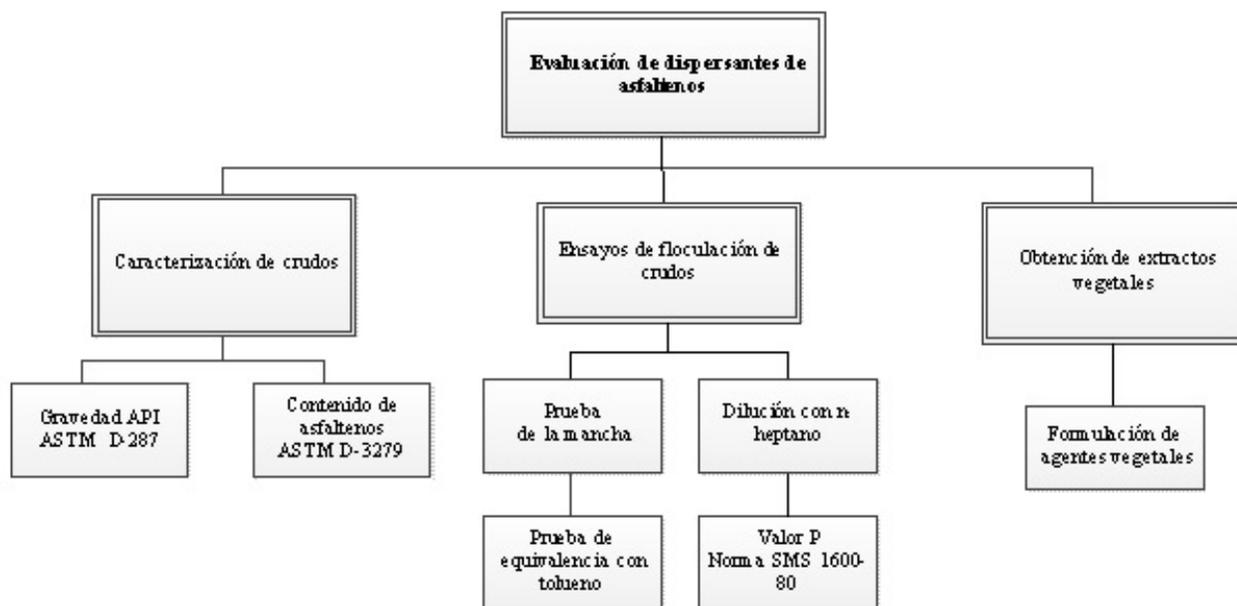


Fig. 1. Metodología experimental usada en la investigación

2.2.4 Determinación del valor P

El estudio de la estabilidad de los crudos a partir del método del valor P, se realizó a partir de Shell Methods Series identificada como la norma SMS 1600-80 (P-value).

Este análisis se realizó determinándose el volumen mínimo necesario de n-hexadecano para que los asfaltenos floculen y el volumen máximo necesario añadido del

agente precipitante que no produjo la floculación de los asfaltenos, respecto al volumen anterior, en este procedimiento el agente precipitante usado es el n-hexadecano.

2.3 Obtención de extractos vegetales

La elaboración de los extractos vegetales de las especies mata ratón (*Gliricidia sepium*), alfalfa (*Medicago sativa*) y menta (*Mentha piperita*) recolectadas en el

estado Mérida, se inició secando las hojas de cada especie en la estufa L-C Oven Lab Line a 60 °C durante dos días. Posteriormente, las hojas se trituraron y se maceraron por 15 días usando etanol al 98% MERCK, la solución se filtró y se destiló al vacío en un rotavapor BÜCHI 461 Water Bath - Brinkmann a 50 °C removiendo el alcohol y concentrando el extracto vegetal.

2.4 Formulación de los aditivos

Los aditivos identificados como A, B, C y D se prepararon añadiéndole a los extractos concentrados diferentes solventes que contribuyen a la disolución de los asfaltenos presentes en los crudos, como ácido oleico en distintas proporciones y cortes aromáticos de craqueo catalítico.

2.5 Prueba de la Mancha en crudos con adición de formulados

Se emplea el protocolo del ensayo de la mancha en los crudos Urdaneta y Carabobo con los aditivos formulados para concentraciones de 30, 60, 100 y 200 ppm, según metodología seguida por Aquino y col., 1999.

3 Resultados y Discusión

3.1 Caracterización de los crudos

La caracterización de los crudos venezolanos se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de crudos venezolanos

Crudo	Carabobo	Urdaneta
Gravedad específica	0,99	0,98
°API	10,6	12,7
Contenido de asfaltenos	17,25	6,87

Típicamente se considera que Urdaneta está en la categoría pesada de crudos (Díaz 2011) y Carabobo corresponde a la clase extrapesada (Rodríguez 2007). En esta experiencia, se verifica que Urdaneta es un crudo pesado y el corte del crudo Carabobo fue de naturaleza pesada, sin embargo, éste comúnmente es de categoría de crudos extrapesados ($^{\circ}\text{API} < 10$). Se observa que el crudo de la región zuliana tiene bajo contenido de asfaltenos (6,87%) en comparación al proveniente de la Faja Petrolífera del Orinoco (17,25%), situación usual en crudos de esta zona.

3.2 Ensayos de floculación aplicados en los crudos

Para evaluar la estabilidad de los asfaltenos de los crudos se emplearon diversas técnicas. De los crudos analizados se observa que el crudo Carabobo presenta mayores problemas de floculación de asfaltenos respecto al Urdaneta, siendo este fenómeno más observado en los crudos que pertenecen a la región de la Faja Petrolífera del Orinoco.

En el crudo Urdaneta se añadieron 8 mL equivalente al 84,47% de n-heptano para la floculación de los asfaltenos agregado.

3.2.1 Prueba de la mancha

En la figura 2 se muestra la Prueba de la mancha sobre el crudo Carabobo y el crudo Urdaneta sin aditivos (blanco).

Se observa que el volumen requerido de n-heptano para lograr la precipitación de asfaltenos en el crudo Carabobo fue de 3,5 mL que equivale a 70,41% de n-heptano. En este crudo Urdaneta se añadieron 8 mL equivalente al 84,47% de n-heptano para la floculación de los asfaltenos.

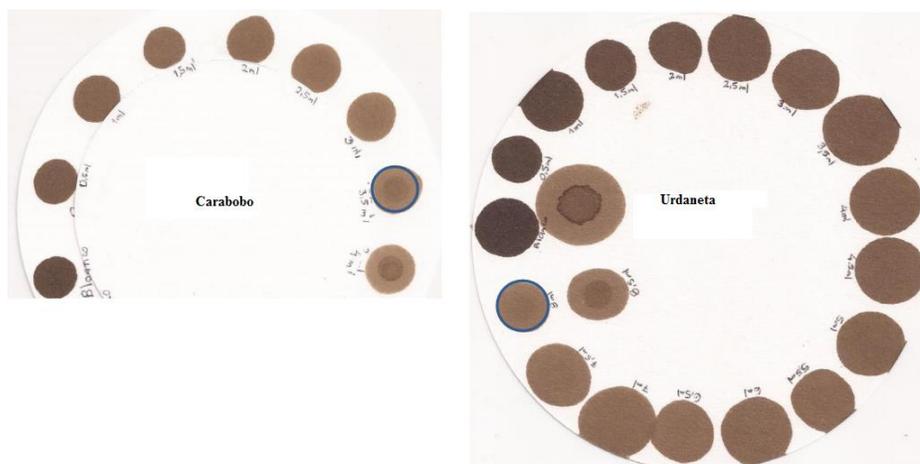


Fig. 2. Prueba de la mancha para los crudos Carabobo y Urdaneta

De los crudos analizados se observa que el crudo Carabobo presenta mayores problemas de floculación de asfaltenos respecto al Urdaneta, siendo este fenómeno más observado en los crudos que pertenecen a la región de la Faja Petrolífera del Orinoco.

3.2.2 Método de dilución con heptano (Heptane Dilution Test - HDT)

La determinación del punto de solubilidad en n-heptano se desarrolló agregando distintas cantidades de solvente (n-heptano).

Aplicando la dilución con heptano en el crudo Carabobo, se ejecutó un barrido grueso y uno fino, limitándose la experiencia al intervalo de floculación de

0,25 y 0,35 mL de n-heptano agregado, reflejada en la figura 3. Se apreció la floculación de los asfaltenos al agregar 0,35 ml de n-heptano.

En el estudio de la estabilidad del crudo Urdaneta mostrada en la figura 3, se consiguió que, en el barrido grueso realizado, de 5 en 5mL, el intervalo de floculación de los asfaltenos se encuentra entre 0 y 5 mL de n-heptano, por lo que se procedió a ejecutar el Barrido fino.

Obteniéndose del Barrido fino que en la muestra con 1,9mL de n-heptano se aprecia pocos asfaltenos floculados y la muestra con 1,7 mL de n-heptano no presenta asfaltenos visiblemente precipitados para el crudo Urdaneta.



Fig. 3. Barrido fino del P en el crudo Carabobo y Urdaneta

3.2.3 Punto de Equivalencia con Tolueno

En la tabla 2 se reflejan los valores del punto de equivalencia con tolueno y valor P.

Crudo	Urdaneta	Carabobo
Punto de equivalencia con tolueno	7,5%	25%
Valor P	2,8	2,2

Para los crudos Urdaneta y Carabobo se alcanzaron los puntos de equivalencia con tolueno de 7,5 y de 25, respectivamente. Éste último requiere un mayor volumen de tolueno para diluir los asfaltenos y menor cantidad de n-heptano para iniciar la floculación de asfaltenos presentes en el mismo, porque es el crudo más inestable.

Los puntos de equivalencia con tolueno más bajos se presentan en crudos estables.

3.2.4 Valor P

En la Tabla 2 se muestran los valores P obtenidos sobre los crudos, inicialmente se verifica la ausencia de asfaltenos floculados y se procedió a analizar los crudos. Con el barrido grueso en el crudo Carabobo se obtuvo un intervalo de floculación entre 1 y 1,5 mL. Tomando en cuenta este intervalo, se realizó un barrido fino en 1,1; 1,2;

1,3 y 1,4 mL. El valor P para el crudo Carabobo es de 2,2.

En la figura 4 se presenta el barrido fino del crudo Carabobo y el aplicado sobre el crudo Urdaneta.

Para el crudo Urdaneta, en la realización del barrido grueso, se obtuvo que para 2 mL de hexadecano agregado se aprecia la aparición de los asfaltenos, en tanto para 1,5mL no se evidencia la floculación de los mismos.

Tomando en cuenta el intervalo 1,5-2 mL se estableció un barrido fino de 1,6; 1,7; 1,8 y 1,9 mL de hexadecano.

Luego de realizado el barrido fino se obtuvo un valor P de 2,7 para el crudo Urdaneta, debido a que la muestra que contiene 1,7 mL de hexadecano es la que posee mayor cantidad de este mismo sin que floculen los asfaltenos.

A medida que el valor P es mayor se asegura que la estabilidad del crudo es mayor, así según lo indicado en Tabla 2, el crudo Urdaneta es más estable que el crudo Carabobo. Debe destacarse el hecho de que la estabilidad de los asfaltenos en los crudos viene ligada a su interacción con las resinas presentes en el sistema, en el que las resinas se adsorben en la periferia de la superficie coloidal de los asfaltenos por un mecanismo de peptización permitiendo una ligera transición entre la parte polar del asfaltenos y la parte apolar del crudo, lo cual evita la aglomeración de los

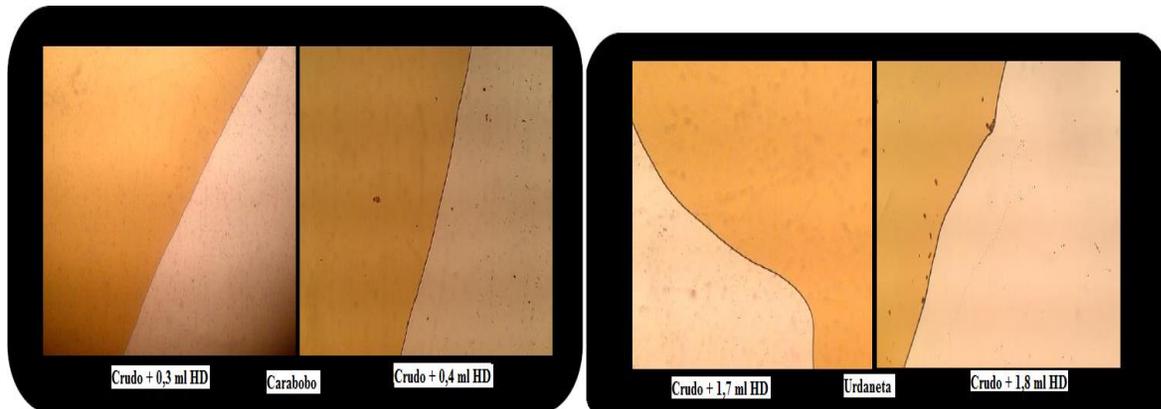


Fig. 4. Barrido fino de Valor P en crudos Carabobo y Urdaneta

asfaltenos previniendo su agregación y estabiliza las partículas de asfaltenos a través de un efecto estérico, tal como lo señalan (Pereira y col., 2007).

3.3 Efecto de extractos vegetales sobre la precipitación de asfaltenos

3.3.1 Crudo Carabobo

3.3.1.1 Extracto de mata ratón

En la figura 5 se presenta la evolución de la prueba de la mancha para el crudo Carabobo con los formulados sintetizados con mata ratón a diversas concentraciones.

Se observa que el retraso de la precipitación de los asfaltenos sí fue logrado en el crudo con la adición de los formulados de mata ratón, superando para bajas concentraciones el 79% de n-heptano agregado respecto al blanco en el que se obtuvo un 70%, el máximo valor alcanzado fue para el aditivo B con una concentración de 200 ppm con 84,47%.

3.3.1.2 Extracto de alfalfa

El comportamiento de la prueba de la mancha para los aditivos preparados con alfalfa se grafica en la figura 5 respecto a las concentraciones de dispersante añadido, en la que se verifica el retardo a la precipitación de asfaltenos generado por todos los dispersantes a diferentes concentraciones, siendo el más efectivo el aditivo A con una concentración de 200 ppm con 82,64% de n-heptano añadido.

3.3.1.3 Extracto de menta

Para los aditivos en base a menta, se representa la prueba de la mancha a diferentes concentraciones de dispersante

agregado en la figura 5.

Con todos los aditivos se logró el retraso de la precipitación de asfaltenos por encima del blanco alcanzado, evidenciando la eficiencia del dispersante. Sin embargo, se observa poca variabilidad de % de n-heptano usado respecto a las concentraciones manejadas de dispersantes. El valor máximo de % de n-heptano fue de 87,18% para 200 ppm de aditivo C.

Se verifica que todos los aditivos formulados a partir de los diversos extractos vegetales lograron el retardo de la floculación de los asfaltenos en las diversas concentraciones usadas, siendo más efectivos para el crudo Carabobo el extracto de menta, se presume que el alto contenido de terpenos en esta especie incide en su interacción química con los asfaltenos de los crudos.

3.3.2 Crudo Urdaneta

3.3.2.1 Extracto de mata ratón

En la figura 6 se muestra el comportamiento de la prueba de la mancha para el crudo Urdaneta con los diferentes formulados a partir de mata ratón, expresado en % de n-heptano agregado en función de la concentración de dispersante empleada.

Con todos los aditivos se logró el retardo de la floculación para las concentraciones usadas: 30, 60, 100 y 200 ppm, resultando el aditivo D ser el más efectivo presentando un % de n-heptano añadido de 91,07% para 200 ppm.

3.3.2.2 Extracto de alfalfa

Al graficar el % de n-heptano agregado con la concentración de aditivo para el formulado de alfalfa. (Figura 6). De igual modo, se evidencia que el retraso de la precipitación se logra para todos los aditivos, siendo superior para el aditivo A donde alcanza un 91,33% de n-heptano.

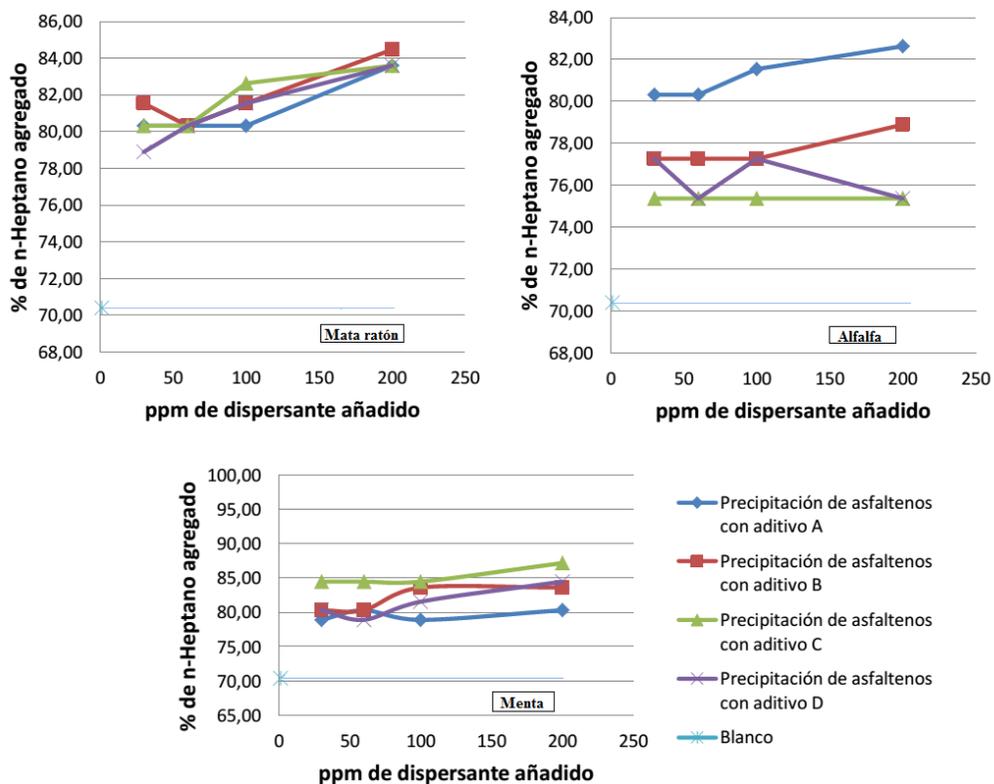


Fig. 5. Crudo Carabobo con dispersantes de mata ratón, alfalfa y menta

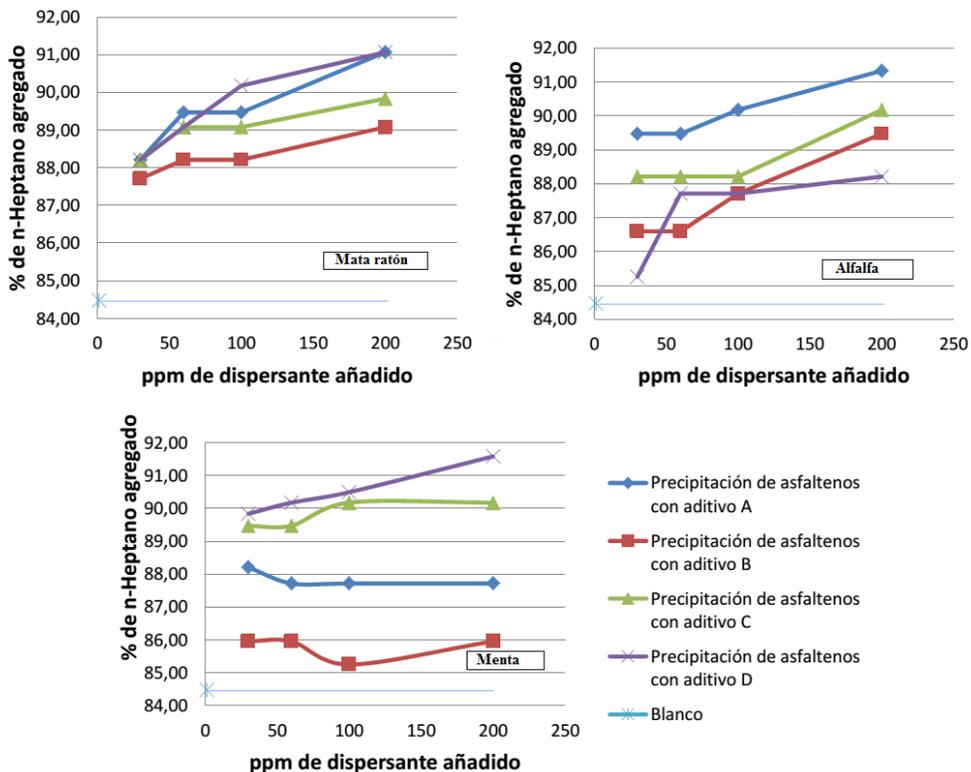


Fig. 6. Efecto de los dispersantes de mata ratón, alfalfa y menta sobre la precipitación de asfaltenos en crudo Urdaneta.

3.3.2.3 Extracto de menta

La tendencia del % de heptano requerido para el inicio de la floculación en función de la concentración de los aditivos preparados con menta se muestran en la figura 6.

Se observa que los aditivos si actúan de modo efectivo al favorecer el retraso de la floculación de los asfaltenos, obteniéndose el mayor % de n-heptano para el aditivo D con 91,58% de la concentración de dispersante usado. También se verifica que el retraso de la floculación máximo se logra con los extractos de menta para el crudo Urdaneta.

El retardo de la precipitación es superior para el crudo Urdaneta, con gravedad API mayor que el crudo Carabobo y con un contenido de asfaltenos más bajo, que se asocia a la naturaleza más ligera de este crudo frente al Carabobo.

Se evidencia el retraso en la floculación de los asfaltenos con el uso de todos los formulados preparados, su efecto se asocia a la presencia de terpenos y flavonoides en los extractos vegetales. De allí se presume que la naturaleza anfífila de los compuestos orgánicos presentes en estas especies vegetales interactúan con los asfaltenos favoreciendo su dispersión, de modo similar al comportamiento de compuestos como alquilfenol y alquilaminas, como lo mencionan (Laux y col., 2000, Chang y col., 1994), este comportamiento no sólo vendrá dado por la estructura del agente dispersante sino también de la estructura de los asfaltenos presentes en el crudo.

4 Conclusiones

Los crudos estudiados Urdaneta y Carabobo fueron de naturaleza pesada, con densidades de 12,7 y 10,6 °API, con contenidos de asfaltenos de 6,87 y 17,25 %, respectivamente. El comportamiento es similar en ambos crudos para los ensayos de floculación de asfaltenos realizados, verificando que el crudo Urdaneta es un crudo más estable que el Carabobo.

Los dispersantes de asfaltenos formulados a partir de los extractos etanólicos de menta, alfalfa y mata ratón si retrasaron la precipitación de los asfaltenos en los crudos Urdaneta y Carabobo.

El mayor efecto de retardo de la precipitación de asfaltenos fue alcanzado con el formulado preparado con *Mentha piperita* para los crudos Urdaneta y Carabobo, siendo el aditivo D fue el más efectivo para el crudo Urdaneta y el aditivo C para el crudo Carabobo.

Agradecimientos

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico, Tecnológico y de las Artes de la Universidad de Los Andes (CDCHTA-ULA) por su ayuda financiera con el Proyecto I-1378-13-08-C.

Referencias

- Ahmadi M, Arabsahebi Y, Reza S, Shokrollahzadeh S, 2013, Preliminary evaluation of mulberry leaf-derived surfactant on interfacial tension in an oil-aqueous system: EOR application, *Fuel*, Vol. 117, pp. 749-755, doi:10.1016/j.fuel.2013.08.081
- Alayon M, 2004, Asfaltenos-Ocurrencia y floculación, Cuaderno Firp S369-PP, Lab. formulación, interfaces, reología y procesos, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Aquino L, Szeoke J, León V, Marzin R, 1999, Informe Técnico, Estado del Arte en Medición y Predicción de Compatibilidad de Crudos, INTEVEP, Los Teques, Venezuela, pp. 21-26.
- Banerjee S, Kumar R, Mandal A, Naiya T, 2015, Use of a Novel Natural Surfactant for Improving Flowability of Indian Heavy Crude Oil. *Petroleum Science and Technology*, Vol 33, pp. 819–826p doi:10.1080/10916466.2015.1014961
- Carnahan N, Salager JL, Antón R, Dávila A, 1999, Properties of resins extracted from Boscan crude oil and their effect on the stability of asphaltenes in Boscan and Hamaca crude oils, *Energy&Fuels*, Vol. 13(2), pp. 309-314, doi: 10.1021/ef980218v
- Curtis J, 2003, Environmentally Favorable Terpene Solvent Find Diverse-Applications in Stimulation, Sand Control and Cementing Operations. SPE 84124. Annual Technical Conference and Exhibition. Denver, Colorado, U.S.A, 5-8 October 2003.
- Chang C, Fogler H, 1994, Stabilization of Asphaltenes in Aliphatic Solvents Using Alkylbenzene-Derived Amphiphiles 1. Chemical Structure of Amphiphiles on Asphaltene Stabilization, *Langmuir*, Vol. 10 (6), pp. 1749-1757, doi: 10.1021/la00018a022.
- Díaz R, 2011, Formulación de un inhibidor y/o dispersante para prevenir la floculación de asfaltenos durante la producción de crudo, Tesis de pregrado, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Elochukwu O, Saaid I, Pilus R, 2014, Organic Deposit Remediation Using Environmentally Benign Solvents: A Review, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, Vol. 9, No. 10, pp. 1931-1935.
- Gafanhao M, Iglesias E, Delgado J, 2008, Determinación del punto de precipitación de los asfaltenos en crudos venezolanos, *Revista Ciencia e Ingeniería*, Vol. 29(3), pp. 225-232.
- Hernández-Trujillo, Martínez-Magadán y García-Cruz, 2007, Molecular Characterization of p-Alkyl Phenol-n-Heptane Interactions and Their Implication as Asphaltene Dispersants, *Energy & Fuels*, Vol. 21, 1127-1132.
- Khorram G, Dadashi A, Daryasafar A, Moghadashi J, 2015, Feasibility study of new natural leaf-derived surfactants on the IFT in an oil-aqueous system: experimental investigation, *J. Petrol. Explor. Prod. Technol.*, Vol. 5, pp. 375-382.
- Koots J, Speight J, 1975, Relation to petroleum resins to

asphaltenes, FUEL, Vol. 54, pp.179-184.

Laux H, Ramidian I, Butz T, 2000, Theoretical and practical approach to the selection of asphaltene dispersing agents. Fuel Processing Technology, Vol. 67, pp. 79–89

Mousavi-Dehghani S, Riazi M, Vafaie-Sefti M, Mansoori G, 2004, An analysis of methods or determination of onsets of asphaltene phase separations, Journal de Petroleum Science and Engineering, Vol.42, pp. 145-156.

Mullins O, Sheu, E, (Ed.), 1998, Structures and Dynamics of Asphaltenes. Springer Science+Business Media, LLC, San Francisco, Estados Unidos de América.

Pereira J, López I, Salas R, Silva F, Fernandez C, Urbina C, López J, 2007, Resins: The Molecules Responsible for the Stability/Instability Phenomena of Asphaltenes. Energy & Fuels, Vol. 21, pp. 1317-1321.

Rodríguez J, 2007, Procesamiento de Crudos Pesados usando Catalizadores Líquidos, Tesis de pregrado, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Saniere A, Hénaut I, Argillier J, 2004, Pipeline Transportation of Heavy Oils, a Strategic, Economic and Technological Challenge, Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, Vol. 59, No. 5, pp. 455-466.

Shell Methods Series. Norma SMS 1600-80 (P-value).

Speight, 2007, The Chemistry and Technology of Petroleum, Fourth edition. Boca Raton, United States of America: Taylor and Francis Group, LLC.

Trejo F, Centeno G, Ancheyta J, 2004, Precipitation, fractionation and characterization of asphaltenes from heavy and light crude oils, Fuel, Vol. 83, pp. 2169–2175.

Yen T, 1998, Asphaltenes. Types and Sources, Chapter I, Springer Science+Business Media LLC, New York, United States of America.

Ramírez, John: MSc en Ingeniería Química, ULA, Mérida, Venezuela. Docente (Jubilado) de la Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Petróleo y Catálisis. Correo electrónico: rjohn8865@gmail.com

Recibido: 07 de octubre de 2020

Aceptado: 10 de enero de 2021

Rivera Rodríguez, Yezabel: MSc. en Ingeniería Química, ULA. Docente de la Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Petróleo y Catálisis

Prato, José Gregorio: Doctor en Química, Grupo de Investigación Clean Energy and Environment. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Chimborazo (Unach). Riobamba. Ecuador. Correo electrónico: pratoj@gmail.com

Garmendía, Henry: Ingeniero Químico, Investigador del Laboratorio de Petróleo y Catálisis. Facultad de Ingeniería, ULA, Mérida, Venezuela. Correo electrónico: labpetroleo2018@gmail.com

Rojas, Iliani: Ingeniero Químico, Investigador del Laboratorio de Petróleo y Catálisis. Facultad de Ingeniería, ULA, Mérida, Venezuela. Correo electrónico: labpetroleo2018@gmail.com

