

## **Formulación y caracterización de productos humectante y emulsificante (lecitina de girasol (*Helianthus annuus*)) compatibles con fluidos de perforación base aceite**

María Concepción García López, Rubén Darío Vega Mejía, Carmen Cecilia Carias Bonillo

Escuela de Ingeniería en Petróleo, Universidad de Oriente-Núcleo Monagas, Avenida Universidad Campus Los Guaritos, Maturín, 6201, Estado Monagas, Venezuela  
mcgarcial@udo.edu.ve, rvegas@udo.edu.ve, cccariasb@hotmail.com

**Resumen.** El éxito durante las operaciones de perforación está fundamentado principalmente en la formulación de un fluido de perforación, por lo tanto, los aditivos a utilizarse deben satisfacer las diferentes condiciones de presión y temperatura a las que serán expuestos y así causar el menor daño a la formación y al ambiente. El objetivo fue formular, caracterizar y determinar la calidad de los productos emulsificante y humectante derivado de la lecitina de girasol (*Helianthus annuus*) (PEH) compatibles con fluidos de perforación base aceite, además de comparar el comportamiento de las propiedades físicas del fluido formulados a base de aceite mineral (AM) y biodiesel de palma (BP) como fase continua del fluido obtenidas con los PEH y productos comerciales. Se caracterizó los PEH de acuerdo a su pH, densidad y gravedad específica. Posteriormente se demostró la calidad del fluido de perforación después del envejecimiento dinámico tomando en consideración las propiedades físicas de estabilidad eléctrica, punto cedente, filtrado y agua libre en el filtrado. Finalmente se procedió a la comparación del comportamiento de dichas propiedades obtenidas de los fluidos con los productos en estudio y el comercial, mediante la aplicación de un diseño de bloque al azar y una prueba de ANOVA. Quedó demostrado que las propiedades físicas de fluido AM y BP formulado con el humectante en estudio no presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) con respecto a los fluidos formulado con humectante comercial, caso contrario ocurrió cuando se utilizó emulsificante.

**Palabras Clave:** Fluidos de perforación, lecitina de girasol, emulsificante y humectante.

### **Introducción**

Brasil, Venezuela y Ecuador fueron en América Latina los países que dominan el crecimiento del consumo petrolífero de la región [1]. La producción promedio de petróleo diaria en el 2013 en la República Bolivariana de Venezuela según cifras oficiales de la Organización de Países Exportadores de Petróleo, fue de 2,784MMBD [2], es por esto que para mantener o aumentar las metas de producción petrolera se requiere del éxito de los diferentes procesos como son: la exploración, explotación, producción y refinamiento. La explotación consta de la fase de perforación de pozos, que es la forma de comunicar la formación productora con la superficie. Es en esta actividad donde se involucran los fluidos de perforación base aceite; los cuales han evolucionado a gran escala, y deben cumplir con condiciones de perforación más exigentes como las encontradas en pozos profundos de altas temperaturas y presiones

(Mayor a 200°F y 8000 pie respectivamente, según el ambiente geológico a perforar), pozos de largo alcance y regulaciones ambientales, es por ello que se le agregan ciertos aditivos químicos que se encuentran disponible en el mercado, para cubrir las exigencias establecidas [3].

No obstante, algunos de estos aditivos tienen ciertas limitaciones técnicas (temperatura, presión, compatibilidad con las formaciones productoras) que pueden causar daños a la formación, por lo que cada fluido debe poseer propiedades físico-químicas específicas, requiriendo de distintas concentraciones de productos para obtener de acuerdo a las condiciones del medio y del fluido, la calidad esperada durante la perforación. Asimismo, existen limitaciones económicas (asignación de divisas para las empresas de servicios para la importación de estos aditivos, entre otras) que retrasan las operaciones [4].

Si el fluido de perforación utilizado es un fluido sintético o diesel (aceite), el agente emulsificante que se puede seleccionar a partir de al menos uno de los siguientes compuestos: dodecil benceno sulfonato de sodio, amidas de ácidos grasos e imidazolinas de poliaminas, y fosfolípidos, tal como lecitina [5].

La lecitina es un fosfolípido que se encuentra en los organismos vivos como un componente importante de las membranas celulares, junto con las proteínas y el colesterol. La lecitina puede ser sintetizado a partir de colina, se utiliza como un estabilizador y emulsionante en los alimentos, y es ambientalmente aceptable [6].

En concordancia con lo descrito, la lecitina de girasol es un tipo de fosfolípido abundante en semillas de girasol [7], la producción de girasol en Venezuela aumentó 1.429% en los últimos 12 años desde 1998 donde la producción de girasol era de 5.600 toneladas, mientras que en el 2011 supera las 85 mil toneladas [8]. Además, entre las condiciones que favorecen la siembra de girasol en Venezuela se pueden mencionar: elevado rendimiento en aceite y semillas (aproximadamente 500 y 1.200 kg/ha, respectivamente) y la duración del ciclo vegetativo del cultivo es relativamente corto [9]. Con estas ventajas se demuestra la factibilidad de obtener nuevas alternativas de productos aditivos (para fluidos de perforación) de origen 100% natural, que cumplan con las normas de calidad y reduciendo al máximo los daños a la formación y al ambiente.

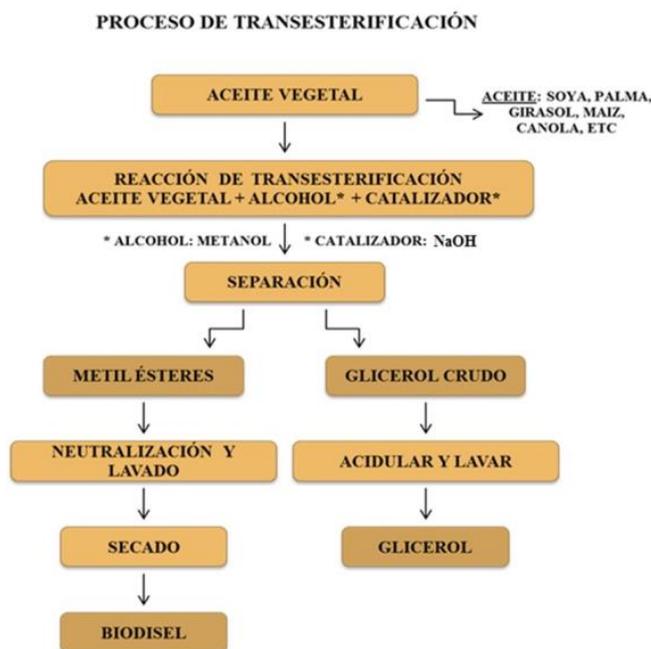
Cabe destacar que actualmente los productos aditivos utilizados (humectantes y emulsificantes) en los fluidos de perforación base aceite, tienen componentes aromáticos que son perjudiciales al medio ambiente, debido que afecta a los ecosistemas terrestres y recursos naturales, aunado al hecho de no poderse combinar con los fluidos de perforación sintéticos debido a que los contamina y disminuye su calidad [3].

Con el fin de mejorar las operaciones realizadas durante la etapa de perforación, es necesario evaluar los fluidos de perforación base aceite y los componentes que lo integran, por lo que el objetivo fundamental fue formular, caracterizar y determinar la calidad de diferentes productos humectante y emulsificante compatibles con los fluidos de perforación a base aceite, utilizando como producto principal la lecitina extraída del aceite crudo de girasol (*Helianthus annuus*) estudiando la compatibilidad de los mismos al ser usados en los fluidos base sintético (Biodiesel de palma) y con el mineral.

## Metodología

El experimento se efectuó en el Laboratorio de Perforación y el Laboratorio de Química Orgánica de la Universidad de Oriente Núcleo Monagas. La lecitina de girasol (*Helianthus annuus*) fue extraída del aceite crudo, utilizando el proceso de desgomado acuoso, posteriormente se determinó las propiedades de la lecitina como: densidad y gravedad específica (GE) se utilizó la norma ASTM D369 [10], el pH a través de tiras de papel indicador.

Culminada la caracterización del producto emulsificante que permite que el agua se emulsione en el aceite formando un sistema estable y humectantes contribuye con la dispersión de los sólidos incorporados y a la vez permite mantenerlos humedecidos con aceite [6], se formularon dos tipos de fluidos de perforación con diferentes fases continuas; aceite mineral (AM) y biodiesel de palma (BP); este último obtenido mediante un proceso de transesterificación del aceite de palma y se puede observar en la figura 1, el mismo es un fluido sintético producido por síntesis química, este tipo de fluidos no sólo producen buenos resultados, sino que además son menos tóxicos y, en la mayoría de los casos, más biodegradables [6].



**Fig 1.** Proceso Químico de Transesterificación que se siguió para obtener el Biodiesel de palma utilizado como fase continúa en BP [11].

Se siguió la formulación del fluido de perforación, orden de agregado y tiempo de mezcla recomendada en la Norma Interna IT-LB-82 [12] para demostrar la calidad de los aditivos emulsificante y humectante (derivado de la lecitina de girasol y el producto comercial), además se realizó una variación de la base del fluido de perforación (aceite mineral y biodiesel de palma) como se observa en las tablas 1 y 2 respectivamente.

**Tabla 1.** Concentración de los aditivos utilizados para la formulación de un barril equivalente de fluido de perforación para la evaluación de la calidad del emulsificante [12]

Nº	Aditivos	Tiempo(min)	Concentración
1	Aceite mineral	—	229 ml
2	Arcilla Organoflica	5	10 g
3	Emulsificante	5	12 g
4	Cal Hidrata	10	5 g
5	Salmuera de CaCl <sub>2</sub> al 25%	30	57 ml
6	Barita	15	178 g

**Tabla 2.** Concentración de los aditivos utilizados para la formulación de un barril equivalente de fluido de perforación para la evaluación de la calidad del humectante [12].

Nº	Aditivos	Tiempo(min)	Concentración
1	Aceite mineral	—	233 ml
2	Arcilla Organoflica	5	10 g
3	Humectante	5	5 g
4	Cal Hidrata	10	5 g
5	Activador polar	30	7 ml
6	Barita	15	178 g

Para determinar las propiedades físicas de los fluidos de perforación establecidas en la norma del control de calidad del humectante y emulsificante se aplicó la norma API 13 B-2 [13] cabe destacar que se efectuó un envejecimiento dinámico (300 F, 100 lpc) para simular las condiciones de campo (DE). En las tablas 3 y 4 se muestran las exigencias que deben cumplir los PEH para verificar la calidad [12].

**Tabla 3.** Especificaciones para el control de calidad del emulsificante en función de propiedades físicas del fluido de perforación [12]

Propiedad	Unidad	Rango de aceptación
-----------	--------	---------------------

Filtrado @ 300 °F	ml	10 máximo
Agua libre en el filtrado	ml	0 máximo
Punto cedente envejecido	lb/100 pies <sup>2</sup>	6 mínimo
Estabilidad eléctrica	voltios	500 mínimo

**Fuente:** Scomi Oiltools de Venezuela, S. A (2009)

**Tabla 4.** Especificaciones para el control de calidad del humectante en función de propiedades físicas del fluido de perforación [12]

Propiedad	Unidad	Rango de aceptación
Filtrado @ 300 °F	ml	23 máximo
Agua libre en el filtrado	ml	2 máximo

**Fuente:** Scomi Oiltools de Venezuela, S. A (2009)

Luego se realizó el cotejo de los resultados obtenidos de las propiedades (estabilidad eléctrica, agua libre en el filtrado, punto cedente (PC) y volumen de filtrado ATAP) de los fluidos formulados con aceite mineral y biodiesel de soya, estudiando de esta manera el comportamiento de los PEH base de lecitina de girasol y el comercial, a través de una análisis de varianza (ANOVA) de un diseño de bloque al azar con tres repeticiones, utilizando el programa Statgraphics plus 5 [14].

El valor-P, calculado por el programa, es un número que indica si hay o no diferencias estadísticamente significativas entre las medias de las repeticiones de cada prueba realizadas a las muestras estudiadas. Si el valor-P es mayor a 0,05 no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de cada muestra para una misma prueba, mientras que si el mismo es menor, hay diferencias significativas, enmarcado en un nivel de confianza del 95 %, además se determinó el coeficiente de variación que según [15] la forma de medir el error muestral se hace a través del coeficiente de variación estimado (cve), el cual mide la magnitud de la variabilidad de la distribución muestral del estimador.

## Resultados y Discusión

En la tabla 5 se observan la caracterización de los PEH a base de lecitina de girasol y de comercial a una temperatura de 40 °C, donde se existe una diferencia numérica entre los valores de densidad y GE de ELG y EC de aproximadamente 16 %, demostrando que existe mayor cantidad de sólidos por unidad de volumen, en cuanto a la GE es un parámetro fundamental cuando se utiliza como aditivo para un fluido de perforación, porque en base a la GE se calcula un balance de masa, así mismo un emulsificante más denso podría ayudar a disminuir la cantidad de aditivos (como Barita) utilizados para la formulación de un fluido de perforación, que un emulsificante de menor densidad.

En lo que respecta al pH éste es uno de los factores que puede afectar la función de los PEH, en cuanto a la estabilidad de la emulsión y la dispersión en los fluidos de

perforación. Se observa en la referida tabla que para los productos propuestos, los mismos presentan valores de pH por debajo de 7 (ácido). La composición típica de los fluidos de perforación incluye agua, aceite y sólidos suspendidos, y a veces burbujas de gas. El agua y el aceite se encuentran en forma de emulsión O/W (la más corriente) o W/O. Los surfactantes de los lodos de perforación actúan como emulsionantes, dispersantes, espumantes o antiespumantes, e inhibidores de corrosión [16]. Ajustando el pH se puede minimizar la rigidez de la película que estabiliza la emulsión y aumentar la tensión superficial [17]. Es muy importante mantener un pH por encima de 7, para asegurar que las partículas de arcilla se encuentren cargadas negativamente, de esta forma se mantiene la interacción electrostática a un mínimo [4].

**Tabla 5** Caracterización de los PEH a base de lecitina de girasol y comercial

<b>PRODUCTOS</b>	<b>Densidad [g/ml]</b>	<b>GE</b>	<b>pH</b>
Emulsificante a base de lecitina de Girasol (ELG)	1,1162	1,1187	5
Emulsificante Comercial (EC)	0,9640	0,9641	6
Humectante a base de lecitina de Girasol (HLG)	0,9347	0,9367	5
Humectante comercial (HC)	0,9220	0,9222	6

Para comprobar de calidad del emulsificante en estudio se aprecia en la tabla 6 los valores promedio de las propiedades de los fluidos de perforación formulados (AM y BP) con los ELG y EC, después del envejecimiento dinámico. Se evidencia que el fluido formulado con aceite mineral y los emulsificantes en estudios no cumplieron con la premisa de la tabla 3, a excepción del porcentaje de agua en filtrado, sin embargo con el fluido formulado con la fase continua Biodiesel de Palma demostraron efectividad en el 50 % de los parámetros pautados, que son el PC y el % agua en el filtrado este último es una de las formas más certeras de verificar la estabilidad de la emulsión. Si existe agua presente en el mismo, indica que la emulsión es inestable y por consiguiente coalescencia de las gotas de agua emulsionadas [4].

Aunque cumple con el valor de PC cuando se uso EC, muestra una elevación en los valores de punto cedente en los fluidos formulados con Biodiesel de palma como fase continua; dicho comportamiento pudo estar aunado a un mejor rendimiento o activación de la arcilla organofílica, lo que causó un aumento en la concentración de sólido, aumentando el número de cargas electroquímicas en la superficie y por tanto disminuyendo las distancias entre ellas. El punto cedente puede ser atribuido a la acción de las cargas en las partículas de arcilla organofílica, que debido a la acción de las condiciones de prueba perdieron parte de la humectabilidad de las partículas en aceite, confinándose, lo que les permitió una asociación de las cargas electroquímicas a condiciones dinámicas [18].

La estabilidad eléctrica es un indicativo de que tan bien emulsionada se encuentra el agua en el aceite [4]. Los fluidos formulados con biodiesel de soya como fase continua

presentaron una mayor estabilidad eléctrica que los elaborados con aceite mineral, revelando que estos presentan una emulsión más estable.

**Tabla 6.** Propiedades de los fluidos de perforación formulados (AM y BP) con los ELG y EC

Propiedades DE	AM		BP	
	EC	ELG	EC	ELG
PC (lb/100 pie <sup>2</sup> )	1	4	62	15
Estabilidad Eléctrica (Voltios)	340	348	625	490
Volumen de Filtrado(ml/30 min)	>100	>100	>100	>100
%Agua en filtrado (ml)	0	0	0	0

Al realizar el estudio estadístico se evidenció que en las propiedades PC y estabilidad eléctrica existió diferencia significativa ( $p \leq 0,05$ ), demostrando que no existe similitud entre los valores comparados, esto ocurrió con la formulación de BP, comparando los ELG y EC, un conducta similar se evidencia en el fluido AM, a excepción de la estabilidad eléctrica ( $p > 0,05$ ) que no existe diferencia significativa, es decir se logra el mismo comportamiento utilizando ELG como EC, además existe un coeficiente de variación (CV) de 4,57 %, lo que se considera que la muestreo es homogéneo, existe calidad de la información, el valor mínimo que puede adoptar un coeficiente de variación es cero, lo cual significa la inexistencia de dispersión de los datos, cuánto más cercano a cero sea su valor, mayor homogeneidad de los datos y viceversa. (DANE, 2005).

**Tabla 7.** Propiedades de los fluidos de perforación formulados (AM y BP) con los ELG y EC

Propiedades DE	AM		BP	
	p-valor	CV (%)	p-valor	CV (%)
PC	0,0013	64,52	0,0000	66,91
Estabilidad eléctrica	0,5611	4,57%	0,0008	13,28

En la tabla 8 se refleja los resultados de los fluidos formulados con los humectantes en estudio, donde cumple con el 50 % del criterio de calidad establecido en la tabla 4, es relevante hacer referencia que a pesar de que no cumple con el máximo de 23 ml/30 min de volumen de filtrado, se considera como fluidos con filtrado sin control, debido a la falta de controlador de filtrado durante la formulación, es posible su mejoramiento al adaptarle el aditivo, es decir que permita la dispersión apropiada de las partículas coloidales, y por ende, la disminución de la permeabilidad del revoque, lo cual origina una textura uniforme del revoque o superposición de la partículas. La emulsificación,

suspensión y el control del filtrado depende de la presencia de la correcta concentración de emulsificante (mantener siempre la concentración de cal por lo menos la mitad de la concentración de libras por barril usada para el emulsificante) [4].

**Tabla 8** Propiedades de los fluidos de perforación formulados (AM y BP) con los HLG y HC

Propiedades DE	AM		BP	
	HC	HLG	HC	HLG
Volumen de Filtrado (ml/30 min)	>100	>100	>100	>100
% Agua en filtrado (ml)	0	0	0	0

## Conclusiones

La lecitina de girasol tiene características como densidad, gravedad específica y pH similares al humectante comercial.

Los fluidos formulados con humectante de lecitina de girasol no mostraron diferencias en las propiedades de agua libre en el filtrado y volumen de filtrado con respecto a los formulados con humectante comercial.

El emulsificante a base de lecitina de girasol se puede utilizar en fluidos de perforación a base de biodiesel de soya.

Los valores de estabilidad eléctrica, agua libre en el filtrado y el volumen de filtrado del fluido de perforación con aceite mineral en la fase continua y el emulsificante en estudio son similares al obtenido con el emulsificante comercial.

Con la lecitina de girasol como aditivo emulsificante y humectante se puede formular fluidos base aceite mineral

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Consejo de investigación de la UDO Núcleo Monagas a través de Proyecto de Investigación Titulado “Formulación de productos emulsificantes y humectantes compatibles con fluidos de perforación base aceite natural”.

Al Msc Jesús Rafael Méndez Natera por colaborar directamente en la revisión del artículo.

## Referencias

1. Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Boletín OPEC. Vol XLI, No 1, January/February 2010, ISSN 0474–6279 (2010).
2. OPEP. Monthly Oil Market Report 12 de febrero 2014, Feature article: Monetary stimulus and its impact on the global economy. (2014).
3. M-I SWACO “Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación”. Houston, Texas. USA. (2001).
4. PDVSA CIED. Manual de Fluidos de perforación. Caracas, Venezuela (2003).
5. Ezell H, Oyler H, Rose R. Delivery system for drilling fluid dispersible additive tablet and associated methods. US Patentes WO2004031320A, asignada a Grinding & Sizing Co., Inc. el 1 Abril Del 2004.
6. Fink J. Petroleum Engineer’s Guide to Oil Field Chemicals and Fluids, First edition, Elsevier Inc (2012).
7. Diepsa. Lecitina de Girasol. <http://es.diepsa.com/sunflower-lecithin-lectina-girasol/>. (2012).
8. Banco Agrícola de Venezuela (BAV). Venezuela aumentó producción de girasol en 1.429%. [http://www.bav.com.ve/noticias/ver/id\\_noticia/144](http://www.bav.com.ve/noticias/ver/id_noticia/144). (2011).
9. Meleán J. Manual para el cultivo del girasol. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Centro de Investigaciones Agrícolas del Estado Portuguesa. Venezuela (2009).
10. ASTM. Norma ASTM D369. Standard Test Method for Specific Gravity of Creosote Fractions and Residue. (2002).
11. Riego M. Informe químico-físico de los emulsificantes alimentarios. Instituto de la grasa y sus derivados. España (1990).
12. Scomi Oiltools de Venezuela. Norma Interna IT-LB-82 Scomi Oiltools (2009).
13. Instituto Americano del Petróleo (API). Norma API 13 RP B-2. Práctica Recomendada: Procedimiento Estándar para la Prueba de Campo de los Fluidos de Perforación Base Aceite. (1991).
14. Manual Statgraphics. [http://www.statgraphics.com/statgraphics\\_plus.htm](http://www.statgraphics.com/statgraphics_plus.htm)
15. Departamento Administrativo Nacional de Estadística, Dirección de Censos y Demografía (DANE). Estimación e interpretación del coeficiente de variación de la encuesta cocensal censo general 2005 – CGRAL (2005).
16. Salanger J. Uso del Surfactante en la Industria Petrolera. Cuaderno FIRP S350-A. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela. (1991).

17. Marfisi S y Salanger J. Deshidratación del crudo, Principios y Tecnologías. Cuaderno FIRP S853-PP. Universidad de los Andes. Merida. Venezuela. (2004).
18. Lummus, J. y Azar, J. Drilling Fluids Optimization: A practical Field Approach. Tulsa: Penn Well Publishing Company. (1986).