



Latin American Journal of Energy Research – Lajer (2020) v. 7, n. 1, pp. 11–22
<https://doi.org/10.21712/lajer.2020.v7.n1.p11-22>

Pectina de *Citrus sinensis* como viscosificante en fluidos de perforación poliméricos *Citrus sinensis pectin as a viscosifier in polymeric drilling fluids*

Steevenson Barreto¹, Luis Castillo Campos^{2,*}

¹ Ingeniero de Petróleo y maestrante en Ingeniería de Gas, Universidad de Oriente – UDO, Maturín e Ingeniero de Optimización de Yacimientos en la Gerencia de Yacimientos, Petróleos de Venezuela, S.A (PDVSA), División Punta de Mata, estado Monagas, Venezuela

² Ingeniero de Petróleo, MSc. en Finanzas, profesor investigador de la carrera de Ingeniería de Petróleo, Universidad de Oriente – UDO, campus Los Guaritos, Maturín, estado Monagas, Venezuela

*Autor para correspondencia, E-mail: lcastillo@udo.edu.ve

Received: 30 April 2020 | Accepted: 10 June 2020 | Published online: 13 July 2020

Resumen: La presente investigación se fundamentó en la evaluación experimental de una pectina a base de naranja (*Citrus sinensis*) como agente viscosificante en fluidos de perforación poliméricos. Para desarrollar el aditivo, las cortezas del fruto de la naranja fueron sometidas a hidrólisis con ácido cítrico, para luego precipitar dicha solución con etanol; el hidrogel resultante fue caracterizado de forma química y física y en la etapa consiguiente, se formularon muestras de fluidos con goma xántica y pectina para comparar sus desempeños a través de los procedimientos experimentales de laboratorio regidos por la norma API RP 13-B1. Por último, se aplicó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar las medias que fueron significativamente diferentes unas de otras entre el producto comercial y el propuesto a través del programa Statgraphics. Como conclusión de la investigación se obtuvo que la pectina presentó un comportamiento estadísticamente similar, aunque inferior a la goma xántica como aditivo viscosificante en fluidos de perforación poliméricos, considerando como variante la ampliación de su concentración para el desarrollo óptimo de la reología del sistema.

Palabras clave: naranja, pectina, viscosificante, fluido de perforación, polimérico.

Abstract: The present investigation was based on the experimental evaluation of the orange-based pectin (*Citrus sinensis*) as a viscosifier agent in polymeric drilling fluids. To develop the additive, the orange fruit peels were subjected to hydrolysis with citric acid, and then this solution was precipitated with ethanol and the resulting hydrogel was chemically and physically characterized. In the subsequent stage, fluid samples were formulated with xanthan gum and pectin to compare their performance through experimental laboratory procedures governed by API 13-B1. Finally, an Analysis of Variance was applied to determine the means that are significantly different from each other between the commercial product and the one proposed, through the Statgraphics program. In conclusion, it was obtained that pectin showed a statistically similar behavior, although inferior to xanthan gum as a viscosifier additive in polymeric drilling fluids, considering as a variant the expansion of its concentration for fluid rheology optimal development.

Keywords: orange, pectin, viscosifier, drilling fluid, polymeric.

1. Introducción

A nivel mundial, el petróleo y su extracción han sido y aún son elementos imperantes (Dhinesh & Annamalai, 2018) además de decisivos en la evolución económica, política, social y tecnológica de cualquier nación; Venezuela emerge como el epítome de esta afirmación, con una economía, en su mayoría, dependiente de la producción de hidrocarburos, formando un vínculo entre la explotación de crudos y la disponibilidad general de recursos para el bienestar colectivo y a la par con el detrimento asociado de industrias alternas como la agraria.

En la industria petrolera, la perforación de pozos petrolíferos funge como bastión y garante de la producción de hidrocarburos; una ejecución óptima del mismo avalará la cuota de crudo prometida para el tiempo que sea dispuesto por los intereses comerciales. En el proceso de perforación son requeridas variadas tecnologías y técnicas para contrarrestar las eventualidades y heterogeneidades que se puedan presentar en los estratos de la corteza terrestre al momento de la construcción del pozo (Villada et al., 2017), siendo la selección, formulación y manipulación de los fluidos de perforación la más significativa de todas, debido a que sobre ellos recaerá parte de la efectividad del procedimiento (Li et al., 2015; Sepehri et al., 2018; Lyu et al., 2019; Silveira et al., 2020).

En nuestros días, la expansión progresiva de la producción de crudo a nivel nacional e internacional, acarrea consecuentemente el incremento de la demanda en fluidos de perforación (Transparency Market Research, 2013) que se adapten a los respectivos requerimientos para cada caso y para esto, se ajusta la composición de cada fluido con los aditivos (Silveira et al., 2020), siendo uno de estos constituyentes los viscosificantes. Estos agentes químicos son agregados a los fluidos para mejorar la habilidad de los mismos en cuanto a la remoción de los recortes del hoyo y suspensión del material densificante durante las maniobras de la perforación (PDVSA CIED, 2002; Kaiser, 2009; Livescu, 2012; Meng et al., 2012; Jiang et al., 2019). Para que lo anterior se cumpla, en el área petrolera los materiales más utilizados han sido las arcillas (aditivos tixotrópicos) y los polímeros (agentes gelificantes) (Jiang et al., 2019), entre los cuales los más comunes son la bentonita, la atapulguita, carboximetilcelulosa - CMC - (derivado de celulosa), la goma xántica y la goma guar (goma de polisacárido) (Huo et al., 2018), entre otros; productos que en su mayoría son importados, lo cual ha traído como consecuencia el incremento de los costos e inconvenientes para su adquisición, situación que en la actualidad conlleva a un preocupante reto de crecimiento gradual para la industria petrolera.

Los fluidos base agua han emergido como los más consumidos a nivel mundial (Khalil y Jan, 2012; Zoveidavianpoor y Samsuri, 2016) y por la alta capacidad para la diversificación en su reología, han ofrecido un excelente prospecto de estudio para las nuevas tecnologías en mejorar su habilidad en la remoción de ripios a través de la aplicación de aditivos. En los últimos años se ha impulsado la idea de elaborar dichos modificadores con materia prima natural local, tal como es la pectina comercial (Vega, Barreto y Coronado, 2016).

La pectina es un coloide por excelencia que tiene la propiedad de absorber una gran cantidad de agua. Pertenece al grupo de los polisacáridos y se encuentra en la mayoría de los vegetales, especialmente en frutas cítricas como naranja, toronja, y limón (Wang et al., 2015). Este compuesto se deposita principalmente en la pared primaria y en la lámina media, fungiendo como cemento intercelular (Jiang et al., 2020). Los geles de la pectina son importantes para crear o modificar las propiedades reológicas del agua y para fines industriales, la fuente de obtención se restringe principalmente a las cáscaras de frutos cítricos conteniendo cerca del 25% de sustancias pécticas (D'Addosio et al., 2005). Estos compuestos tienen propiedades de formar gel en un medio ácido siendo utilizados en la industria farmacéutica (Talekar et al., 2020) y también como inhibidor en la formación de hidratos de carbono en los procesos de explotación del gas natural (Coulter, 1998), además de haber sido estudiado experimentalmente como inhibidor de incrustaciones minerales (Chauhan et al., 2012; Rendón, Azocar y Castillo-Campos, 2020).

Existen celulosas, polisacáridos y arcillas, como es el caso de la goma guar, la goma xántica o la bentonita, que han sido empleados en el área petrolera como agentes viscosificantes. Estudios experimentales previos dan cuenta del uso de ellos en este ámbito, tal es el caso de la determinación del efecto de la metilcelulosa (MC) y el poli alcohol vinílico (PVA) (Dairanieh y Lahalih, 1988), y la carboximetilcelulosa y la goma xantana (Nascimento et al., 2019; Silveira et al., 2020) como viscosificantes en fluidos de perforación poliméricos; así como de suspensiones coloidales de goma xántica y celulosa polianiónica en la perforación de yacimientos de esquistos (Villada et al., 2017), y la investigación realizada por Luqman et al. (2017) respecto a la medición del comportamiento reológico de la goma guar y el aceite de castor. Con la misma finalidad fue empleado un copolímero (de acrilamida, ácido acrílico y estirenosulfonato) (Wan et al., 2011) y un copolímero termoespesador (Xie y Liu, 2017), evidenciando apreciables resultados de propiedades reológicas en el fluido evaluado; un terpolímero anfifílico con alta resistencia a la temperatura y contenido salino (Yan et al., 2013); el empleo de un polímero a base de glicerol (Forero y Cristiano, 2014) y el estudio de bentonitas egipcias y su influencia sobre la viscosidad plástica de fluidos de perforación base agua (Temraz y Ibrahim, 2016), entre otros.

De igual forma ya se ha tasado el comportamiento de pectinas como agentes viscosificantes (Vega et al., 2016), solo que con las variantes de haber usado una pectina comercial sólida y de haber sido mezclada con goma xántica. Además, con el semejante propósito de actuar en el mejoramiento de las propiedades reológicas (entre ellas la viscosidad plástica) y, con los avances de la tecnología, se ha evaluado la

aplicación de polímeros con características mejoradas en cuanto a la resistencia a ambientes hostiles de altas temperaturas y salinidades elevadas, en las investigaciones de Xie et al. (2018), Du et al. (2018), Huo et al. (2018), Madruga et al. (2018), Lyu et al. (2019), Jiang et al. (2019) y Chu y Lin (2019).

Si bien, la gran parte de aditivos utilizados para la formulación de fluidos de perforación son conocidos por el tiempo que llevan siendo empleados, nada impide que se pueda recurrir a la invención de nuevos productos, que además de ofrecer más variedad y competitividad en el mercado, estaría trayendo avances económicos al país al generar mercancía rentable y también se evitarían pérdidas de materia prima y hasta posible contaminación, motivado a que la mayoría de los desechos provenientes de las industrias, como la agrícola o la alimenticia, entre ellos las cáscaras de los frutos (incluida la naranja), son expelidas sin conseguirle utilidad alguna.

La naranja es un fruto muy usado en Venezuela, además de que tiene un amplio arraigo en cuanto a su cultivo, con una obtención estimada para el año 2018 de aproximadamente 363.453 toneladas (FAO, 2019). Esta es plantada comercialmente en más de 80 países, aunque los tres mayores productores son Brasil, Estados Unidos y México, llegando a generar a nivel mundial 84.654.973 toneladas de naranjas, con tendencia al alza para los años posteriores (FAO, 2019). La naranja pertenece al género *Citrus* de la familia de las *Rutáceas*, comprendiendo más de 1.700 especies, de ellas unas 20 tienen frutos comestibles que son abundantes en vitamina C, flavonoides y aceites esenciales. Entre las especies que pertenecen al género *Citrus*, se encuentran la naranja común (*Citrus sinensis*), la naranja china (*Citrus japonica*), la naranja amarga (*Citrus aurantium*), la mandarina (*Citrus reticulata*), el limón (*Citrus limon*), el pomelo (*Citrus paradisi*), la lima (*Citrus aurantifolia*), o la toronja (*Citrus medica*) (Weiss, 1997).

La presente investigación contribuyó en la comprensión respecto a la aplicación de materia prima local no convencional, como es la naranja criolla, en la creación de aditivos que puedan ser usados en la formulación de fluidos de perforación, que cumplan cabalmente la función para la que son desarrollados, generando un instrumento de utilidad académica e industrial. Además de que algunos de los aditivos usados en los fluidos de perforación son obtenidos de materia vegetal de la clase de los polisacáridos, le generan un valor agregado a esta investigación, concibiendo así una alternativa al buscar desarrollar un nuevo agente a partir de algún otro elemento natural, lo que haría más rentable el desarrollo del producto. Motivado a ello, se empleó la naranja (*Citrus sinensis*) en la elaboración de una pectina, que lograra emular el objetivo de los viscosificantes comerciales en la formulación de un fluido polimérico. Para ello se extrajo y caracterizó la pectina, procediendo posteriormente a la formulación y determinación de las propiedades reológicas de los fluidos de perforación a distintas concentraciones del compuesto extraído, para finalmente y con la ayuda de un programa estadístico, determinar las diferencias significativas expuestas entre el agente experimental y un producto comercial comúnmente empleado en la industria petrolera, exponiendo así las debilidades y fortalezas que tuvo este aditivo natural como viscosificante.

2. Metodología

El estudio se desarrolló en los laboratorios de Perforación, Procesamiento de Hidrocarburos y Yacimientos del Departamento de Ingeniería de Petróleo, de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, campus Los Guaritos; y en el laboratorio de Tamicos Moleculares de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, campus Juanico, todos ellos ubicados en el estado Monagas, Venezuela.

2.1 Extracción y caracterización de la pectina de *Citrus sinensis*

Las cáscaras de naranja fueron obtenidas de vendedores locales de la ciudad de Maturín, consecutivamente fueron sometidas al proceso de extracción de la pectina, realizándolo mediante una hidrólisis ácida, a semejanza de lo estipulado por Yapo et al. (2007), partiendo de una acidulación inicial de agua destilada con ácido cítrico a un valor aproximado de pH de 3,2; la misma se colocó en un balón adicionándole los fragmentos de cáscaras cítricas (g) en una proporción de materia vegetal-agua acidulada (mL) de 4:15, llevándola luego a ebullición por un tiempo de 90 minutos. El producto final de la solución pectínica resultante obtenida, fue centrifugado y posteriormente se procedió a eliminar de este los sólidos no solubles mediante filtración, luego para que la pectina precipitara, se le agregó etanol en una proporción de solución-etanol 8:5, haciendo de este modo más fácil la separación del gel, al cual se le realizó la caracterización debida por medio de diversas pruebas para determinar: densidad (ASTM D369), viscosidad (ASTM D2196-18), solubilidad (ASTM E1148-02), pH (COVENIN 2462-87), contenido de metoxilos, grado de esterificación y peso equivalente a través del método de Owens y McCready (1988), además de la

determinación de los grupos funcionales (ASTM E168/ASTM E1252) mediante un espectrómetro FT-IR (*Nicolet is10*).

2.2 Propiedades reológicas para los fluidos formulados con el producto viscosificante propuesto y el comercial, posterior al envejecimiento dinámico

Esta etapa inició con la formulación de muestras de fluidos de perforación poliméricos para la evaluación del agente viscosificante desarrollado a base de pectina de *Citrus sinensis* en gel y para establecer la base referencial en cada caso en particular se empleó goma xántica. El orden de agregado y mezclado se ejecutó bajo los lineamientos de la empresa ESVENCA, así como también las concentraciones de los aditivos empleados en el fluido polimérico las cuales fueron obtenidas mediante la ecuación de balance de masa realizando variaciones en la concentración del agente viscosificante (0,5; 1,0 y 1,5 lb/bl), fijando un volumen de muestra de 350 mL y una densidad de 10 lpg, como se puede apreciar en la Tabla 1. Para la evaluación de los fluidos de perforación a nivel de laboratorio se emplearon ciertas consideraciones: un barril es equivalente a 350 mL de fluido, mientras que una libra es equivalente a un gramo.

Tabla 1. Aditivos para la formulación de las muestras de un fluido polimérico con goma xántica como viscosificante.

Aditivo	Unidad	Mezcla, min	Muestra (goma xántica)			Muestra (pectina)		
			A	B	C	A	B	C
Agua	mL	-	306,85	306,60	306,32	306,52	305,98	305,44
Viscosificante	g	10	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
PAC-LV	g	10	4	4	4	4	4	4
Potasa cáustica	g	10	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Carbonato de calcio	g	15	108,54	108,25	108,05	108,93	108,89	108,86

A continuación se sometieron los lodos de perforación a una prueba de envejecimiento dinámico, la cual consistió en introducirlos en una celda presurizada dentro de un horno a una temperatura de 120 °F y una presión de 100 lpc, durante un tiempo aproximado de 16 horas, para simular las condiciones del pozo y comprobar si estos presentan degradación. Seguidamente se determinaron las propiedades reológicas (viscosidad plástica, punto cedente y esfuerzos de gel) de las distintas muestras de fluidos, bajo el procedimiento de la norma estándar para formulación de fluidos base agua API RP 13B-1 y se compararon con los parámetros establecidos por la empresa ESVENCA para fluidos de perforación poliméricos (Tabla 2). Se realizaron tres repeticiones para cada medición, con el propósito de obtener datos suficientes que permitieron sustentar la confiabilidad del estudio estadístico.

Tabla 2. Parámetros establecidos por la empresa ESVENCA para fluidos de perforación poliméricos. Fuente: Esvenca (2007).

Propiedad	Unidad	Rangos de aceptación
Densidad	lpg	9-12
Viscosidad plástica	cP	15-30
Punto cedente	lb/100pie ²	20-35
Esfuerzo de geles	lb/100pie ²	6/12 – 12/20

2.3 Análisis estadístico de las propiedades físicas de los fluidos formulados a base de pectina de naranja con respecto al fluido formulado a base del viscosificante comercial

Se realizó un estudio estadístico en función de los resultados que se obtuvieron en las pruebas pertenecientes a la fase anterior; las propiedades de los fluidos formulados con pectina fueron comparadas con las de los fluidos patrones que utilizaron a la goma xántica como elemento viscosificante, esto con el propósito de establecer si existen variaciones significativas entre el desempeño de ambas propuestas, cumpliéndose a través de la evaluación a los cocientes que cada una de las muestras proyectó en conjunto con sus repeticiones en cada resultado después del envejecimiento dinámico. Este análisis se hizo fundamentado en la metodología ANOVA (Análisis de Varianza), un procedimiento que se basa en una prueba estadística que ejecuta de forma simultánea e independiente la comparación entre las medias de más de dos poblaciones; permitiendo identificar las fuentes de variación y estimar la varianza de todos los datos sin atender a su causa. Posteriormente para las propiedades que presentaron diferencias significativas se aplicó

la prueba de múltiples rangos, con el objeto de determinar desempeños estadísticamente desiguales entre los tres (3) tratamientos empleados. Este diseño se realizó para una probabilidad menor o igual a 0,05 ($p \leq 0,05$).

Para efectos de este estudio, las variables evaluadas fueron las propiedades reológicas producto de la caracterización de los fluidos de perforación en laboratorio, utilizando el programa Statgraphics Centurion XVI Versión 16.2.04 (StatPoint Technologies, Inc., 2010) a fin de obtener las tablas correspondientes al procedimiento ANOVA aplicado a los datos pertinentes considerados.

3. Resultados y discusión

3.1 Caracterización de la pectina de *Citrus sinensis* empleada como viscosificante

La Tabla 3 dispuesta en lo sucesivo, refleja los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas al gel de la pectina con el fin de elaborar la caracterización del mismo.

Tabla 3. Propiedades de la pectina de *Citrus sinensis* producto de la caracterización en laboratorio.

Propiedad	Unidad	Pectina
Densidad (25 °C)	g/mL	0,9595
Viscosidad (25 °C)	cP	3.256,77
Solubilidad a 65 °C	%	96
pH	-	4,9
Contenido de metoxilos	%	19,02
Grado de esterificación	%	69,44
Peso equivalente	g/eq	1.043,12

El valor presentado por la densidad del gel pectínico fue de 0,9595 g/mL; con fines prácticos en miras a la formulación de los fluidos de perforación a través de la ecuación de balance de masa, este valor permitió la estimación de la concentración de la pectina como aditivo en la elaboración de los mismos. Vale acotar el hecho de que la pectina exhibió una densidad menor que la demostrada por la goma xántica (1,5 g/mL), viscosificante usado como referente en las pruebas para la formulación de los fluidos.

El contenido de metoxilo fue de 19,02 por lo que se le puede considerar como una pectina de baja metoxilación, implicando que tan sólo 19,02% de los grupos hidroxilos están esterificados con metanol, este parámetro juega un papel importante en la estabilidad de la pectina como agente enlazante hidrofílico. Un bajo grado de metoxilación tiene como consecuencia una disminución en la velocidad para la hidratación de las partículas hidrófilas y posterior gelificación de su medio (Vega et al., 2016), a pesar de existir una buena solubilidad hay alta susceptibilidad a la degradación y la dependencia de la misma a la presencia de iones de calcio para un desarrollo óptimo de su capacidad gelificante (Cerón-Salazar & Cardona-Alzate, 2011; Mendoza-Vargas, Jiménez-Forero, & Ramírez-Niño, 2017); paradójicamente esto introduce a la pectina como un agente prospectivo para la interacción con carbonato de calcio en la formulación de los fluidos de perforación poliméricos.

El grado de esterificación presentó un comportamiento aproximado al 69,44%, ésta al ser mayor del 50% califica a la muestra como pectina con alto grado de esterificación (Tovar et al., 2019), aunque el valor arrojado por el porcentaje de metoxilación sugiere que la esterificación del grupo carboxilo del polímero es con grupos diferentes al del metoxilo. El grado de esterificación obtenido resulta algo más elevado al obtenido por la pectina comercial utilizada en el estudio de Vega et al., 2016) de 62,5%. Una alta esterificación habla de una óptima capacidad para la formación de geles en entornos acuosos (Durán, Honores y Cáceres, 2012), también implica una buena reacción de sus moléculas para la solidificación de su entorno a temperaturas altas y firmeza en la viscosidad de la sustancia expuesta a los efectos de la pectina, una vez que la interacción molecular ha sido llevada a cabo; es de destacar que este parámetro está sujeto a la especie, tejido y madurez de la fruta (D'Addosio et al., 2005; Grunauer y Cornejo, 2009; Paredes, Hernández y Cañizares, 2015), metodología de extracción de la pectina y escenario empleado para la precipitación de la misma.

La pectina cítrica en estudio mostró una solubilidad del 96%, lo que implica que el precipitado aportará apenas un 4% de sólidos a la fase dispersa en los fluidos de perforación, proporcionando un ambiente favorable para la formación de soluciones opalescentes y no coloidales; dado los valores generados por el grado de esterificación y el contenido de metoxilo, se puede deducir la razón de la alta afinidad para la asimilación de la muestra por el agua (Tovar et al., 2019), ya que esta propiedad depende de ambos

parámetros. La solubilidad en la pectina se encuentra ligada al grado de madurez de la fruta de origen; las naranjas empleadas para esta investigación fueron de maduración media, por lo cual también se puede desprender el porqué de este comportamiento.

El peso equivalente mostró un comportamiento próximo a 1.043,12 g/eq generando información útil acerca de la calidad de la pectina (a mayor peso equivalente, más firme será el gel). El valor producto de la evaluación en laboratorio resultó colindante respecto a otras especies de frutos como el de la corteza de mango (1.098,99 g/eq) reportado por Gamboa (2009). Esto define a la muestra como de buena rigidez en flóculo y estabilidad en sus enlaces. Esta propiedad se halla estrechamente asociada con la cantidad de carboxilos libres que conforman la cadena de la pectina debido a que estos aumentan con el grado de maduración del prospecto; el pH también juega un papel importante para labrar valores favorables, aumentando el peso equivalente a medida que el medio de extracción de la pectina sea más ácido.

En cuanto a la viscosidad obtenida por el precipitado pectínico fue de 3.256,77 cP, esta propiedad depende del grado de polimerización de la pectina, el pH y la temperatura de extracción, el tiempo de hidrólisis y la madurez del prospecto. El valor manifestado por este parámetro complementa a los del peso equivalente y el grado de esterificación, los cuales hacen referencia a una óptima estabilidad del flóculo y firmeza de los enlaces (Mendoza-Vargas et al., 2017); es de acotar que el precipitado tiende a la degradación de sus propiedades reológicas una vez que se le expone a una temperatura superior a los 90 °C (Rendón, Azocar y Castillo-Campos, 2020).

Respecto al pH, fue de 4,9, siendo producto de la hidrólisis a través del empleo de ácido cítrico como agente extractor (Santos et al., 2020); al ser de bajo metóxilo la pectina mostrará mayor estabilidad a bajos valores de pH y degradación en sistemas altamente alcalinos; por esto debido a los rangos de pH que se manejan en la formulación de fluidos de perforación y a la naturaleza de los aditivos que toman parte en su elaboración, se confía en la interacción con iones calcio del carbonato, en específico en su acción como densificante para contrarrestar esta mengua presentada por la pectina en estudio.

En la Figura 1 se aprecia el espectro infrarrojo de la pectina de *Citrus sinensis*, donde inicialmente exhibe el ancho de banda de los enlaces oxígeno-hidrógeno (OH⁻), grupo perteneciente al etanol, solvente empleado para la precipitación de la pectina, estos enlaces trabajan en rangos comprendidos entre 3.600 cm⁻¹ y 3.300 cm⁻¹ y el ancho de la curva se debe a las diferentes interacciones de las moléculas de hidrógeno pertenecientes al mencionado alcohol. Luego entre 2.900 cm⁻¹ y 3.100 cm⁻¹ se puede distinguir una pequeña interacción carbono-hidrógeno (CH), seguido de esto se observa una curva de considerable magnitud dividida en primer lugar desde 2.500 cm⁻¹ hasta 2.300 cm⁻¹, donde se ubican los grupos carboxilos (C=O) de los ésteres; para luego partiendo desde el valor de 2.100 cm⁻¹ hasta 1.700 cm⁻¹ encontrar a los grupos carbonilos (C=O) de los ácidos; más adelante se perciben unas perturbaciones fluctuando en un valor aproximado a 1.500 cm⁻¹ representativo del agua en forma de vapor; para por último visualizar unas oscilaciones entre 1.000 cm⁻¹ y 700 cm⁻¹ propias de los anillos benzoicos.

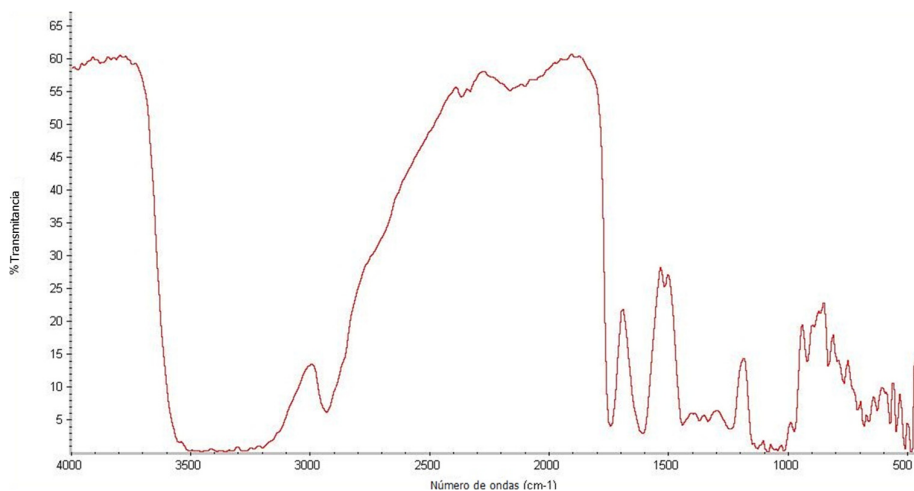


Figura 1. Espectro infrarrojo de la pectina de *Citrus sinensis*.

Se debe señalar que la espectroscopía de infrarrojo es una práctica en absoluto cuantitativa, a esta se le define como cualitativa y muy sensible, a pesar de que garantiza la verosimilitud de la presencia de los distintos grupos funcionales que interactúan en el sistema de la pectina, no se pueden determinar con precisión las proporciones de los mismos, sólo un aproximado que va de la mano con el conocimiento

empírico y teórico del investigador, y estos dependen en gran medida de las distintas técnicas para la obtención del prospecto de estudio e incluso de la metodología para la elaboración de las muestras.

3.2 Propiedades reológicas de las muestras de fluidos de perforación poliméricos y análisis estadístico

Como se observa en la Figura 2 entre los dos sistemas existe un comportamiento estadísticamente diferente ($DMS \leq 0,05$), el fluido referencial incrementó su viscosidad a la par del aumento de su concentración, mientras que el fluido experimental se mantuvo en la misma línea de acción sin mostrar fluctuaciones considerables. La inalterabilidad en el desempeño del sistema desarrollado conlleva a la conclusión de que la pectina, al no variar su aporte de partículas sólidas con sus distintos tratamientos debido a su condición hidrogel, no iba a verse capacitada para hacer oscilar el valor del parámetro, todo esto en concordancia con lo manifestado por PDVSA CIED (2002) que define a la viscosidad plástica como la resistencia interna al flujo atribuida a la cantidad y tamaño de los sólidos presentes.

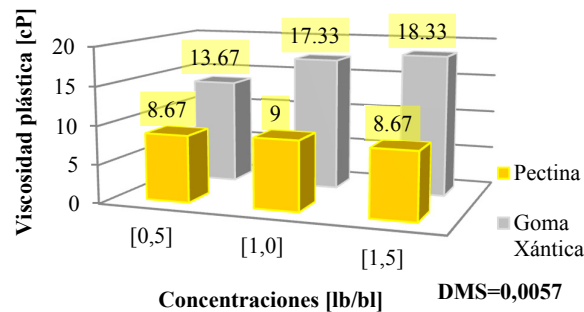


Figura 2. Variación de la viscosidad plástica de los fluidos formulados con pectina y goma xántica después del envejecimiento dinámico.

Analizando la conducta de cada tratamiento en forma particular (ver Tabla 4), se puede adjudicar a la concentración de pectina (P) a 0,5 lb/bl como la más próxima al comportamiento patrón (GX), debido a que la goma xántica a la misma proporción fue la que contribuyó en menor medida a la cantidad de sólidos en el sistema; el estado hidrogel limita las capacidades viscosificantes de la pectina, impidiéndola concederle valores deseados al fluido, independientemente de la concentración que se emplee.

Tabla 4. Prueba de múltiples rangos efectuada a la viscosidad plástica de los fluidos con pectina y goma xántica luego del envejecimiento dinámico.

Contraste	Valor-P	Sig.	Diferencia	+/- Límites
P [0,5]-GX[0,5]	0,0004	*	5,0	1,30883
P [1,0]-GX[1,0]	0,0014	*	8,33333	2,92664
P [1,5]-GX[1,5]	0,0000	*	9,66667	1,30883

Respecto al punto cedente, no hubo diferencias significativas, es decir, ambos sistemas manifestaron una evolución similar (Figura 3).

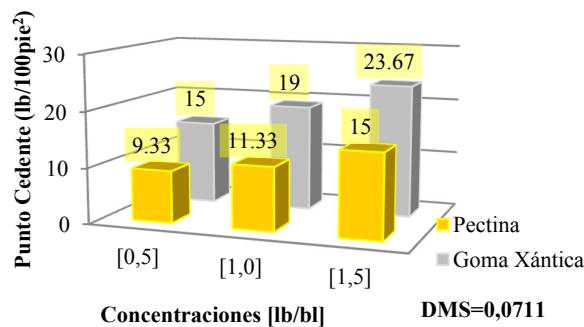


Figura 3. Variación del punto cedente de los fluidos formulados con pectina y goma xántica después del envejecimiento dinámico

El fluido desarrollado experimentó un incremento en el punto cedente, conforme aumentaba la presencia del agente viscosificante, siendo este comportamiento simétrico al del fluido patrón, lo que implica una capacidad ascendente y proporcional a la concentración para generar fuerzas de atracción electroquímicas en ambos entornos.

El rango de alcance de la propuesta con pectina a estas concentraciones se mantuvo unos puntos por debajo del fluido patrón y de los parámetros operacionales, por esta razón se le consideraría teóricamente imposibilitada para la suspensión de sólidos, sin embargo, desde un aspecto empírico, la pectina puede ser respaldada por las propiedades adsorbentes de los contaminantes solubles, la concentración volumétrica de los mismos, y el ambiente eléctrico generados por su interacción, optimizando la suspensión de sedimentos en el sistema.

Los geles a los diez (10) segundos manifiestan un comportamiento ascendente en concordancia con el punto cedente, lo que significa que la pectina no solo exhibirá con el aumento de su concentración una mejora tixotrópica del lodo en condiciones dinámicas, sino también en condiciones estáticas. Como se observa en la Figura 4 no existe una diferencia significativa entre las medias de las dos muestras, incluso para concentraciones bajas el parámetro alcanza valores equivalentes en ambos escenarios, interpretándose como una capacidad óptima para la generación de fuerza de cohesión por oposición al torque, sin la influencia de agentes foráneos.

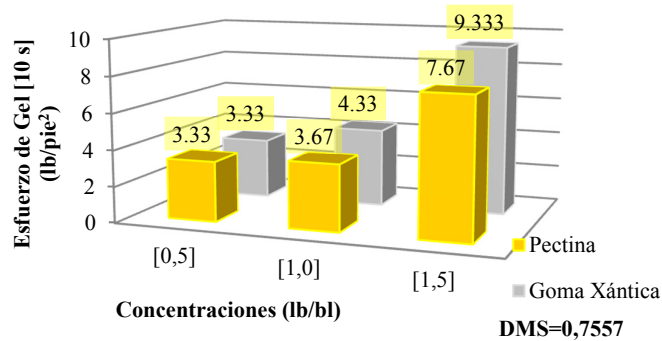


Figura 4. Variación del esfuerzo de gel (10 s) de los fluidos formulados con pectina y goma xántica después del envejecimiento dinámico.

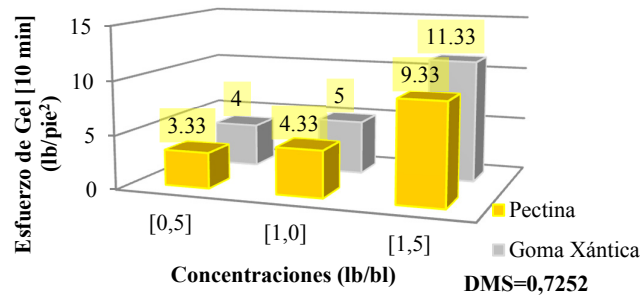


Figura 5. Variación del esfuerzo de gel (10 min) de los fluidos formulados con pectina y goma xántica después del envejecimiento dinámico.

Cuando se prolonga el tiempo de reposo del fluido a diez (10) minutos, ambos fluidos mantuvieron e incrementaron sus capacidades tixotrópicas, el comportamiento entre la goma y la pectina siguió sin demostrar variaciones significativas (Figura 5), cotejando la conducta exhibida a los diez (10) segundos, garantizando la formación hidrogel polimérica a pesar de la degradación térmica, alcanzando mayor nivel de eficacia a la concentración de 1,5 lb/bl.

En investigaciones antecedentes donde se emplearon polímeros naturales o sintéticos, como aditivos viscosificantes en fluidos de perforación poliméricos, se evidenciaron resultados favorables para la pectina en estudio; por ejemplo en la publicación de Vega et al. (2016), donde emplearon de igual forma una pectina pero de carácter comercial (granulada) y obtuvieron viscosidades que oscilan entre 3 cP (a la concentración de 2 g) y 36,5 cP para la formulación con 6 g de pectina, al compararla con el fluido con 1,5 g de gel

pectínico (máxima concentración empleada en la presente disertación) que arrojó una viscosidad plástica de 8,67 cP, se prueba en algo la superioridad numérica de la propuesta actual.

Del estudio de Chu y Lin (2019), se aprecian viscosidades que oscilan entre 6 y 12 cP para concentraciones de un polímero sintetizado entre 0,05 y 0,25% y al realizar la comparación con la investigación realizada por Temraz y Ibrahim (2016), donde usaron una bentonita sin tratar como agente viscosificante, se exhiben viscosidades plásticas entre 3 y 7 cP, los cuales se tasan mejorados al tratar el material arcilloso con un polímero de celulosa polianiónica, con resultados que oscilan entre 7,5 y 10 cP. Respecto a la propuesta de un aditivo eco amigable desarrollado por Al-Hameedi et al. (2019) a base de polvo de hierba como controlador de filtrado y su efecto sobre la reología, especificaron viscosidades plásticas entre 9 y 13 cP, para concentraciones de viscosificante (bentonita) que estuvieron alrededor de los 45 g.

Luego de evaluar el comportamiento de la pectina hidrogel de *Citrus sinensis* y compararlo con otros estudios, se puede discurrir que el material gelificado exteriorizó resultados aceptables en cuanto a viscosidad plástica y punto cedente, cuyas tendencias se asemejan a las del viscosificante comercial empleado y esfuerzos de geles idóneos que le imprimen a la propuesta visos de ser una oferta viable, de repente no para sustituir a la goma xántica, pero si para tenerla como una opción a considerar en operaciones de campo, sobre todo modificando o sintetizando al referido polímero natural.

4. Conclusiones

La baja metoxilación de la pectina en estudio la hizo más prospectiva en las formulaciones de fluidos de perforación realizadas, donde se empleó carbonato de calcio como agente densificante, aunque la condición gel del aditivo desarrollado lo privó de la capacidad para aportar sólidos al sistema, afectando así su viscosidad plástica, con la incidencia positiva de que las tres concentraciones ejecutadas (0,5; 1 y 1,50 lb/bl) generaron una reología inversa, el cual es el comportamiento característico de los sistemas poliméricos. Acotando además que de acuerdo a los resultados y análisis estadístico, la pectina en hidrogel sería capaz de suplir a la goma xántica como agente viscosificante en formulaciones poliméricas a partir de concentraciones superiores a los 1,5 lb/bl. Sugiriendo para ello contemplar la formulación de sistemas poliméricos con pectina en hidrogel de alta metoxilación y/o a concentraciones superiores a 1,5 lb/bl, asimismo como determinar la eficiencia de la pectina de bajo metoxilo deshidratada como aditivo viscosificante en ‘fluidos de perforación’.

Referencias bibliográficas

- Al-Hameedi, AT, Alkinani, HH, Dunn-Norman, S, Al-Alwani, MA, Alshammari, AF, Albazzaz, HW, Mutar, RA (2019) ‘Insights into the application of new eco-friendly drilling fluid additive to improve the fluid properties in water-based drilling fluid systems’, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 183, pp. 1-10. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106424>>.
- American Petroleum Institute (API) (2017) *API RP 13B-1: Recommended Practice for Field Testing Water-Based Drilling Fluids, and ISO 10414-1*, 5th ed. Washington, USA: API Publishing Services.
- ASTM International (1998) *ASTM E1252-98. Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM International (1998) *ASTM E1951-98, Standard Guide for Calibrating Reticles and Light Microscope Magnifications*. West Conshohocken, PA., U.S.A.: ASTM International.
- ASTM International (2002) *ASTM D369: Standard Test Method for Specific Gravity of Creosote Fractions and Residue*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- ASTM International (2002) *ASTM E1148-02 Standard Test Method for Measurements of Aqueous Solubility*. West Conshohocken, PA.: ASTM International.
- ASTM International (2016) *ASTM E168, Standard Practices for General Techniques of Infrared Quantitative Analysis*. West Conshohocken, PA., U.S.A: ASTM International.
- ASTM International (2018) *ASTM D2196-18e1, Standard Test Methods for Rheological Properties of Non-Newtonian Materials by Rotational Viscometer*. West Conshohocken, PA., U.S.A: ASTM International.

- Cerón-Salazar, I y Cardona-Alzate, C (2011) 'Evaluación del proceso integral para la obtención de aceite esencial y pectina a partir de cáscara de naranja', *Ingeniería y Ciencia*, v. 7, n. 13, pp. 65-86.
- Chauhan, K, Kumar, R, Kumar, M, Sharma, P y Chauhan, GS (2012) 'Modified pectin-based polymers as green antiscalants for calcium sulfate scale inhibition', *Desalination*, v. 305, pp. 31–37. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2012.07.042>>.
- Chu, Q y Lin, L (2019) 'Synthesis and properties of an improved agent with restricted viscosity and shearing strength in water-based drilling fluid', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 173, pp. 1254–1263. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.10.074>>.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales (1987) *COVENIN 2462-87 Aguas naturales, industriales y residuales. Determinación del pH*. Caracas: Fondonorma.
- Coultate, T (1998) *Manual de química y bioquímica de los alimentos*, 2a ed. Zaragoza, España: Acribia.
- D'Addosio, R, Páez, G, Marín, M, Mármol, Z y Ferrer, J (2005) 'Obtención y caracterización de pectina a partir de la cáscara de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Degener)', *Revista de la Facultad de Agronomía*, v. 22, n. 3, pp. 241-251. Disponible en: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182005000300004&lng=es&tlng=es> (consultado 25 marzo 2020).
- Dairanieh, IS y Lahalih, SM (1988) 'Novel polymeric drilling mud viscosifiers', *European Polymer Journal*, v. 24, n. 9, pp. 831-835. <[https://doi.org/10.1016/0014-3057\(88\)90155-3](https://doi.org/10.1016/0014-3057(88)90155-3)>.
- Dhinesh, B y Annamalai, M (2018) 'A study on performance, combustion and emission behaviour of diesel engine powered by novel nano nerium oleander biofuel', *Journal of Cleaner Production*, v. 196, pp. 74-83. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.002>>.
- Du, H, Wang, G, Deng, G y Cao, C (2018) 'Modelling the effect of mudstone cuttings on rheological properties of KCl/Polymer water-based drilling fluid', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 170, pp. 422-429. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.06.071>>.
- Durán, V, Honores, M y Cáceres, P (2012) 'Obtención de pectina en polvo a partir de la cáscara de maracuyá (*Passiflora Edulis*)', *Revista Politécnica*, pp. 1-4.
- ESVENCA (2007) *Manual básico de fluidos de perforación*. Maturín, Venezuela: S.E.
- FAO (2019) *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Food and agriculture data*. Disponible en: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>> (consultado 11 marzo 2020).
- Forero, D y Cristiano, E (2014) *Evaluación de la viabilidad del uso de un polímero a base de glicerol como agente viscosificante en lodos de perforación base agua*. Trabajo de Pregrado, Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos-Ingeniería Química, Bucaramanga, Colombia.
- Gamboa, M (2009) *Aprovechamiento de los residuos obtenidos del proceso de despulpado del mango (mangifera indica l.), de las variedades smith, tommy atkins, haden y bocado como materias primas para la obtención de pectinas*. Trabajo de Pregrado, Puerto La Cruz, Anzoátegui, Venezuela.
- Grunauer, C y Cornejo, F (2009) 'Influencia del Secado sobre la Captación de Agua de Pectina Extraída a partir del Citrus x Aurantifolia Swingle', *Revista Tecnológica ESPOL*, pp. 12-15.
- Huo, J-H, Peng, Z-G, Ye, Z-B, Feng, Q, Zheng, Y, Zhang, J y Liu, X (2018). 'Investigation of synthesized polymer on the rheological and filtration performance of water-based drilling fluid system', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 165, pp. 655-663. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.03.003>>.
- Jiang, C, Yu, B, Ma, Q, Dong, H, Dong, H, Zhao, H y Tang, Y (2019) 'Crosslinked polymers as "smart" viscosifiers used in hostile environments', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 173, pp. 1332–1339. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.11.003>>.
- Jiang, W-X, Qi, J-R, Liao, J-S, Wan, Z-L, Liang, W-L, Huang, J-Y y Yang, X-Q (2020) 'Structural characterization of pectin-bismuth complexes and their aggregation in acidic conditions', *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 154, pp. 788-794. <<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.143>>.

- Kaiser, MJ (2009) ‘Modeling the time and cost to drill an offshore well’, *Energy*, v. 34, n. 9, pp. 1097-1112. <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.02.017>>.
- Khalil, M y Jan, BM (2012) ‘Herschel-Bulkey rheological parameters of a novel environmentally friendly lightweight biopolymer drilling fluid from xanthan gum and starch’, *Journal of Applied Polymer Science*, v. 124, n. 1, pp. 595-606. <<https://doi.org/10.1002/app.35004>>.
- Li, MC, Wu, Q, Song, K, Qing, Y y Wu, Y (2015) ‘Cellulose nanoparticles as modifiers for rheology and fluid loss in bentonite water-based fluids’, *ACS. Applied Material & Interfaces*, v. 7, pp. 5006–5016. <<https://doi.org/10.1021/acsami.5b00498>>.
- Livescu, S (2012) ‘Mathematical modeling of thixotropic drilling mud and crude oil flow in wells and pipelines—A review’, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 98, pp. 74-184. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.04.026>>.
- Luqman Hasan, M, Zainol Abidin, NA y Singh, A (2017) ‘The rheological performance of guar gum and castor oil as additives in water-based drilling fluid’, *The 3rd International Conference on Green Chemical Engineering Technology*, 5, pp. 21810–21817. Melaka, Malaysia.
- Lyu, S, Wang, S, Chen, X, Shah, SM, Li, R, Xiao, Y y Gu, Y (2019) ‘Experimental study of a degradable polymer drilling fluid system for coalbed methane well’, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 178, pp. 678-690. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.03.065>>.
- Madruza, L, da Câmara, P, Marques, N y Balaban, R (2018) ‘Effect of ionic strength on solution and drilling fluid properties of ionic polysaccharides: A comparative study between Na-carboxymethylcellulose and Na-kappa-carrageenan responses’, *Journal of Molecular Liquids*, v. 266, pp. 870–879. <<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.07.016>>.
- Mendoza-Vargas, L, Jiménez-Forero, J y Ramírez-Niño, M (2017) ‘Evaluación de la pectina extraída enzimáticamente a partir de las cáscaras del fruto de cacao (*Theobroma cacao* L.)’, *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, v. 20, n. 1, pp. 131-138.
- Meng, X, Zhang, Y, Zhou, F y Chu, P (2012) ‘Effects of carbon ash on rheological properties of water-based drilling fluids’, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 100, pp. 1-8. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2012.11.011>>.
- Nascimento, DR, Oliveira, BR, Saide, V, Magalhães, SC, Scheid, CM y Calçada, LA (2019) ‘Effects of particle-size distribution and solid additives in the apparent viscosity of drilling fluids’, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 182, pp. 1-8. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106275>>.
- Owens, M y McCready, R (1988) ‘Extraction and determination of total pectic materials in fruits’, *Analytical Chemistry*.
- Paredes, J, Hernández, R y Cañizares, A (2015) ‘Efecto del grado de madurez sobre las propiedades físicoquímicas de pectinas extraídas de cascos de guayaba (*Psidium guajava* L.)’, *Idesia (Arica)*, v. 33, n. 3, pp. 35-41. <<https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000300006>>.
- PDVSA CIED (2002) *Manual de Fluidos de Perforación*. Anzoátegui, Venezuela: Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED).
- Rendón, K, Azocar, E y Castillo-Campos, L (2020) ‘Pectina deshidratada de *Passiflora edulis* como inhibidor de incrustaciones minerales’, *Ingeniería Investigación y Tecnología*, v. 21, n. 1, pp. 1-12. <<http://dx.doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2020.21n1.010>>.
- Santos, EE, Chaves Amaro, R, Cid Bustamante, CC, Andrade Guerra, MH, Catone Soares, L y Santos Froes, RE (2020) ‘Extraction of pectin from agroindustrial residue with an ecofriendly solvent: use of FTIR and chemometrics to differentiate pectins according to degree of methyl esterification’, *Food Hydrocolloids*, v. 107, pp. 1-9. <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105921>>.
- Sepehri, S, Soleyman, R, Varamesh, A, Valizadeh, M y Nasiri, A (2018) ‘Effect of synthetic water-soluble polymers on the properties of the heavy water-based drilling fluid at high pressure-high temperature (HPHT) conditions’, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 166, pp. 850-856. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.03.055>>.

Silveira, A, Scheid, C, Costa, M y Caçada, L (2020) 'Effect of solid particle size on the filtration properties of suspension viscosified with carboxymethylcellulose and xanthan gum', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 185, pp. 1-11. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2019.106615>>.

StatPoint Technologies, Inc (2010) *Statgraphics® Centurion XVI* (Versión 16.2.04) [Software]. U.S.A.: StatPoint Technologies, Inc.

Talekar, S, Vijayraghavan, R, Arora, A y Patti, AF (2020) 'Greener production of low methoxyl pectin via recyclable enzymatic de-esterification using pectin methylesterase cross-linked enzyme aggregates captured from citrus peels', *Food Hydrocolloids*. <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105786>>.

Temraz , MG y Ibrahim, H (2016) 'Mineralogy and rheological properties of some Egyptian bentonite for drilling fluids', *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, v. 31, pp. 791-799. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.03.072>>.

Tovar, AK, Godínez, LA, Espejel, F, Ramírez-Zamora, RM y Robles, I (2019) 'Optimization of the integral valorization process for orange peel waste using a design of experiments approach: Production of high-quality pectin and activated carbon', *Waste Management*, v. 85, pp. 202-213. <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.029>>.

Transparency Market Research (2013) *Drilling Fluids Market (Oil-Based Fluids, Synthetic-Based Fluids and Water-Based Fluids) for Oil and Gas (Offshore & Onshore) - Global Industry Analysis, Size Share, Growth, Trends and Forecast, 2012-2018*. Disponible en: <<http://www.transparencymarketresearch.com/drillingfluid-market.html>> (consultado 30 enero 2020)

Vega, R, Barreto, P y Coronado, M (2016) 'Uso de la pectina como agente viscosificante en un fluido de perforación base agua polimérico', *Ingeniería Petrolera*, v. 56, n. 7, pp. 375-386. Disponible en: <<https://biblat.unam.mx/es/revista/ingenieria-petrolera/articulo/uso-de-la-pectina-como-agente-viscosificante-en-un-fluido-de-perforacion-base-agua-polimerico>>.

Villada, Y, Gallardo, F, Erdmann, E, Casis, N y Olivares, L (2017) 'Functional characterization on colloidal suspensions containing xanthan gum (XGD) and polyanionic cellulose (PAC) used in drilling fluids for a shale formation', *Applied Clay Science*, v. 149, pp. 59-66. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2017.08.020>>.

Wan, T, Yao, J, Zishun, S, Li, W y Juan, W (2011) 'Solution and drilling fluid properties of water soluble AM-AA-SSS copolymers by inverse microemulsion', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 78, p. 334–337. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2011.06.027>>.

Wang, W, Ma, X, Xu, Y, Cao, Y, Jiang, Z, Ding, T y Liu, D (2015) 'Ultrasound-assisted heating extraction of pectin from grapefruit peel: Optimization and comparison with the conventional method', *Food Chemistry*, v. 178, 106–114. <<https://doi.org/10.1016/j.j>>.

Weiss, E (1997) *Essential oil crops*. Wallingford, United Kingdom: CAB International.

Xie, B y Liu, X (2017) 'Thermo-thickening behavior of LCST-based copolymer viscosifier for water-based drilling fluids', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 154, pp. 244–251. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2017.04.037>>.

Xie, B, Ting, L, Zhang, Y e Liu, C (2018) 'Rheological properties of bentonite-free water-based drilling fluids with novel polymer viscosifier', *Journal of Petroleum Science and Engineering*, v. 164, pp. 302-310. <<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.01.074>>.

Yan, L, Wang, C, Xu, B, Sun, J, Yue, W y Yang, Z (2013) 'Preparation of a novel amphiphilic comb-like terpolymer as viscosifying additive in low-solid drilling fluid', *Materials Letters*, v. 105, pp. 232–235. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2013.04.025>>.

Yapo, BM, Robert, C, Etienne, I, Wathélet, B y Paquot, M (2007) 'Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts', *Food Chemistry*, v. 100, pp. 1356–1364. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.12.012>>.

Zoveidavianpoor, M y Samsuri, A (2016) 'The use of nano-sized Tapioca starch as a natural water-soluble polymer for filtration control in water-based drilling muds', *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, v. 34, pp. 832-840. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jngse.2016.07.048>>.