

Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua

Feasibility study, achira's starch use as fluid loss control agent in water-based muds drilling

Emiliano Ariza León; Alba Liliana Castro Cely*; Juan David Gómez Cañon

Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, Cra. 27 Calle 9,
Bucaramanga, Colombia
*earizal@uis.edu.co

Fecha Recepción: 29 de enero de 2013

Fecha Aceptación: 06 de junio de 2013

Resumen

El almidón de achira es un polímero de glucosa natural proveniente de una variedad de plantas o semillas, compuesto principalmente por una fracción molecular lineal (amilosa) y una ramificada (amilopectina), la relación de estos componentes y su organización física dentro de la estructura granular le confiere al almidón propiedades fisicoquímicas y funcionales características. La industria de los hidrocarburos desde el año de 1930, ha venido utilizando el almidón como agente aditivo en todo tipo de lodos, mostrando alta eficacia en funciones durante las actividades de perforación tales como la remoción de sólidos del fondo del hueco y en el control de filtrado hacia la formación.

En este trabajo se evaluó la efectividad del almidón de achira o sagú sin modificar, como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua, respecto a otros aditivos comercialmente utilizados por la industria, elaborados a base de celulosa polianiónica y polisacárido preservado. Se realizaron, al fluido de perforación y a condiciones de laboratorio, pruebas estándar de filtrado API, reología y pH.

Los resultados de esta investigación muestran que el almidón de achira puede ser utilizado como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua con un rendimiento superior comparado con los aditivos utilizados en este proyecto.

Palabras clave: *fluido de perforación, almidón de Achira, agente controlador de filtrado, prueba de filtrado API.*

Abstract

Canna is a polymer of natural glucose coming from a variety of plants or seeds, composed mainly of a molecular fraction linear (amylose) and branched (amylopectin), the relationship of these components and their physical arrangement within the granular structure gives to starch physico-chemical properties and functional characteristics. The oil and gas industry since the year of 1930 has been using starch as agent additive in all kinds of sludge, showing a high effectiveness in functions during drilling activities such as the removal of solids from the bottom of the hole and in the filtering control toward the formation. In this work, we evaluated the effectiveness of the starch unmodified of achira or also named sago, as agent filtering in drilling mud water base compared to other commercial additives used by the industry, developed with cellulose polyanionic and polysaccharide. The drilling fluid was designed to laboratory conditions and was made testing standard filtering API, rheology and pH.

The result of this investigation shows Canna's starch can be used as filtering agent controller in water-base drilling mud with a better performance that other additives usually used to this purpose.

Keywords: *drilling fluid, Achira's starch, viscosifiers agent, filtration control agent, API filtration test.*

Introducción

El logro de operaciones de perforación de pozos rápidas y seguras se alcanza con un fluido o lodo adecuado para las características geológicas de la formación a perforar y con el conocimiento y experiencia del personal encargado [1].

Las funciones del fluido de perforación son inherentes a cada pozo, entre las más importantes encontramos la remoción de recortes de roca del pozo, el control de la presión de formación y la lubricación de las brocas y herramientas utilizadas en la perforación [2].

El fluido de perforación está generalmente compuesto de una fase sólida y otra líquida que cuando se agitan forman una fase homogénea, para que pueda cumplir sus funciones. Cuando el fluido es enviado al fondo del hueco tiene contacto con algunas formaciones de roca que son porosas y permeables y actúan como un filtro que permite el paso de una fracción de la fase líquida, fenómeno denominado pérdida de filtrado. Para disminuir esta pérdida es necesario adicionar al lodo un componente de tamaño coloidal que puede ser un polímero sintético o un biopolímero como el almidón. Dentro de los biopolímeros que más se han utilizado para el control de filtrado en fluidos de perforación se encuentran los obtenidos a partir de maíz y papa.

La industria de los hidrocarburos está en constante investigación e incorporación de nuevas tecnologías, por tanto es importante implementar productos naturales para sustituir los existentes manteniendo y optimizando las propiedades reológicas del lodo, que sean asequibles, amigables con el medio ambiente y que disminuyan los costos, lo que es rentable para las empresas que invierten en perforación de pozos [3].

Colombia, tiene abundantes recursos naturales que se pueden utilizar como sustitutos de aditivos en lodos de perforación, entre ellos encontramos el almidón de *Canna edulis* Ker conocida como achira o sagú, ampliamente cultivada en Colombia en los departamentos del Tolima, Huila y Cundinamarca [4], que generalmente lo utilizan en la industria alimenticia. Con el fin de evaluar otro posible uso de este almidón, en el presente artículo se presentan los resultados del estudio de su uso como controlador de filtrado en lodos base agua, comparados con los obtenidos con productos comerciales aplicados para este propósito.

El almidón de achira tiene el mayor porcentaje de amilosa (31-38%p), componente principalmente

responsable de la viscosificación del fluido; tiene partículas de una gran variedad de tamaños (30-100µm) y forma adecuada para la formación de una torta del lodo, para el control de pérdida de filtrado hacia la formación, lo cual lo convierte en un potencial agente controlador de filtrado para lodos de perforación. El costo de un saco de 50lb (22,7kg) de almidón de achira es del orden de 100 US\$ comparado con la celulosa polianiónica y el polisacárido preservado que es de 150 US\$. El principal aporte del uso de productos naturales, como la achira, es poder beneficiar a los cultivadores, al medio ambiente y a la actividad de la perforación en general [5].

Parte experimental

Obtención del almidón

La achira, es una planta de origen andino que esencialmente se cultiva para la producción del almidón que es extraído de sus rizomas, en climas con altitudes inferiores a 2700m sobre el nivel del mar. De acuerdo con estudios realizados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, en la actividad de producción de almidón de achira participan 1169 productores, que vinculan cerca de 3500 personas, y se genera una producción aproximada de 1400 toneladas anuales de almidón; en total se estima un área cultivada de 700 hectáreas, donde el 95% de la producción tiene lugar en el departamento de Cundinamarca. En Colombia, el proceso de extracción del almidón de achira es netamente artesanal [6].

La achira es una de las plantas que produce mayor rendimiento de almidón por unidad de superficie cultivada, el rizoma de achira tiene forma de trompo. Dentro de la diversidad de almidones, el de achira se identifica con mayor facilidad por su considerable rapidez de sedimentación, proporcionada principalmente por el mayor diámetro de partícula. El almidón de achira, limpio y puro, obtenido de un proceso de extracción y comercializado sin adición de materias similares y/o mejoradores, presenta como características físicas: color blanco grisáceo, olor y sabor neutro, textura polvosa; y su composición en porcentaje en peso debe ser: contenido de almidón de 71,1-81,3%, humedad 13,6-23,4%, proteína 0,18-0,71%, grasa 0,048-0,09%, cenizas 0,17-0,4%, fibra 0,0023-0,0053%, tiempo de sedimentación 6,2-16,5min, tamaño de partícula 100 a 300µm, densidad 0,63 - 0,71g/cm³, pH 5,5 - 6,2 [7].

El almidón de achira empleado en la presente investigación fue adquirido en el comercio en el departamento del Huila y cuenta con las características de calidad explicadas anteriormente.

Diseño experimental

Se seleccionó un diseño experimental aleatorio con réplicas, los datos obtenidos se ingresaron al software STAT-Graphics VII, en el cual se controla la validez de cada prueba mediante un ANOVA en un modelo a una vía de clasificación. Se calculó la media, la varianza y la desviación estándar con el fin de establecer la confiabilidad de los datos.

La Ecuación 1 de análisis de varianza tipo I se usó para el análisis de los resultados de los experimentos.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Dónde:

Y_{ij} = Valor de respuesta, i = Número de tratamiento, j = Número de réplicas, μ = media general, τ_j = Efecto diferencial del tratamiento, ε_{ij} = Error experimental aleatorio.

Para evaluar la factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado de lodos de perforación base agua, se programaron pruebas (norma API 13B-1) de filtrado API, medición de reología y pH del lodo para establecer la incidencia del aditivo sobre las demás propiedades, al igual que una prueba de observación de degradación.

Prueba de filtrado API. Esta prueba evalúa el comportamiento de un aditivo como agente controlador de filtrado en el lodo de perforación. El filtrado indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través de la torta hacia las formaciones de roca permeables, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial. Una pérdida excesiva de filtrado durante la perforación de un pozo petrolero, puede generar entre otros problemas: daños a la formación, las muestras de fluido tomadas de la formación productora no serán representativas, las zonas de aceite y gas pueden pasar desapercibidas porque el filtrado desplaza a los hidrocarburos alejándolos de la cara del pozo y se puede presentar hinchamiento de arcillas e inestabilidad del hueco.

Por lo tanto se hace necesaria la utilización de polímeros que pueden variar de almidones naturales y celulosa modificada (biopolímeros) a polímeros sintéticos, capaces de proporcionar el

control de la filtración a temperaturas elevadas y en condiciones adversas.

Los polímeros reducen la pérdida de filtrado de varias maneras: sellando las grietas de la torta del lodo con partículas de polímeros, encapsulando los sólidos mediante la formación de una película que reduce la permeabilidad de la torta y mediante el incremento de viscosidad de la fase líquida.

La prueba de filtrado API se realiza a temperatura ambiente y a una presión de 100psi (689,4kPa). Las filtro-prensas cumplen con las especificaciones API 13B-1 para determinar el filtrado o pérdida de agua que pasa hacia la formación permeable cuando el fluido es sometido a una presión diferencial (presión hidrostática del lodo menos presión de la formación). Se coloca el fluido a estas condiciones y se mide el volumen (ml) de la fase continua (agua para lodos base agua) que se libera en un tiempo de 30min; el volumen registrado en este tiempo es conocido como pérdida de filtrado [8].

La torta del lodo es obtenida por la acumulación de sólidos mediante el proceso de filtración; una buena torta debe tener entre 1/32in (0,079cm) y 2/32in (0,015cm) de espesor, ser plástica y consistente. A las pérdidas de filtrado y las características de la torta se les conoce como propiedades del filtrado. En la presente investigación se realizaron pruebas a dos lodos base agua bentonita con un pH de 11 y densidad de 8,5lb/gal (1013g/L) denominados (I y II), donde se comparó el comportamiento del almidón de la achira como controlador de filtrado con controladores que usualmente se utilizan en la industria a base de celulosa polianiónica y polisacárido preservado (previamente tratado contra la fermentación), adicionalmente se midieron las propiedades reológicas del lodo, la densidad y el pH, con el fin de analizar la incidencia del almidón de Achira en todas las propiedades del lodo. La mayor parte de controladores de filtrado utilizados en fluidos de perforación base agua logran su efectividad en una concentración entre 0,5 y 8lb/bb [3].

Las concentraciones utilizadas para el almidón de achira variaron entre 0,5 – 7lb/bbl (0,001429-0,020g/cm³); adicionalmente se realizó un seguimiento del comportamiento del volumen de filtrado del lodo (ml) a 5, 10, 20 y 30min.

Prueba de degradación. Se realizó la medición de las propiedades reológicas y de filtrado a un lodo base tratado con almidón de achira durante tres días continuos, para evaluar la consistencia en las propiedades medidas.

Prueba de pH. Esta prueba es el principal indicador de la degradación del producto. Se utilizó un pHmetro SensION1 (Hach Company); de acuerdo a la especificaciones de la fábrica el error es $\pm 0,01$ pH. La medición del pH se realizó a todos los lodos, buscando establecer la variabilidad del mismo a las diferentes concentraciones de almidón.

Pruebas de reología y densidad. Se realizaron pruebas de viscosidad plástica (Vp) en Cp, que evalúa el efecto del contenido de sólidos en la viscosidad; el punto de cedencia o *yield point* (Yp) en lbf/100pies² (0,0489kg/m³), que determina la fuerzas electroquímicas del lodo en estado dinámico; la viscosidad aparente (Va) medida en Cp, que evalúa en conjunto los dos efectos mencionados anteriormente; el punto de gel (Gel) en lbf/100pies², que representa el esfuerzo mínimo para poner en movimiento el fluido y determina la fuerzas electroquímicas del lodo en estado estático, se determina a 10s y 10min. Estas pruebas se realizaron en un viscosímetro

rotacional de velocidad variable (1 a 600rpm) de referencia OFITE 900. La densidad se midió en la balanza de lodos.

Resultados y Discusión

En la Tabla 1 se presentan los resultados de la prueba de degradación. Se preparó un lodo base con 1,5lb/bb (0,0043kg/m³) de almidón de achira y se midieron las propiedades durante tres días; se observó que sólo se presenta variación en el gel con el tiempo, lo cual se debe a la tixotropía del lodo que causa gelificación con el tiempo cuando está en reposo.

Para el análisis de resultados se utilizó un método estadístico de varianza, ANOVA, a una vía de clasificación y con un rango de confianza del 95%. En la Tabla 2 se muestra la diferencia de la pérdida de filtrado (ml) y porcentaje (%vol), del lodo base I tratado con almidón de achira respecto al lodo tratado con aditivo comercial de celulosa polianiónica, los valores negativos indican mayor eficiencia del producto comercial.

Tabla 1. Resultados de la prueba de degradación.

DIA	Concentración (lb/bbl)	pH	θ 600 *	θ 300	Vp (Cp)	Va (Cp)	Yp (lbf/100pies ²)	Esfuerzo Gel (lbf/100ft ²)	
								10s	10min
1	1,5	11	59,80	35	24,8	29,90	9,20	0,30	0,30
2	1,5	11	59,80	35	24,8	29,90	9,20	0,50	0,50
3	1,5	10,6	59,90	35	24,8	29,90	9,20	0,80	0,90

*Lectura del viscosímetro a 600 rpm.

Tabla 2. Comparación de pérdida de filtrado de la celulosa polianiónica con el almidón de achira - Lodo Base I.

Concentración (lb/Bbl)	Diferencia* 5 min (ml)		Diferencia 10min (ml)		Diferencia 20min (ml)		Diferencia 30min (ml)	
	%**	%	%	%	%	%	%	
0,5	-0,5	-10,53	0,025	0,40	-0,7	-8,00	-0,5	-4,65
1	-0,35	-7,95	0,225	0,00	0,225	2,64	0,67	6,57
1,5	0	0,00	1,095	8,13	1,095	13,11	1,4	13,93
2	0,3	7,06	1,05	6,09	1,05	12,73	1,65	16,67
3	0,3	7,06	1,45	11,11	1,45	17,58	1,7	17,71
4	0,25	6,02	1,9	7,14	1,9	23,17	2,3	23,83

*filtrado(c. polianiónica)-filtrado(a. achira) en vol. ** $(100 - [(\text{filtrado(a. achira)} \times 100) / (\text{Filtrado(c. polianiónica)})])$ en vol.

Al observar la diferencia para 30min en la Tabla 2, se encuentra un mejor comportamiento en las pérdidas de filtrado en el lodo tratado con el almidón de achira que con celulosa polianiónica

con resultados a favor de esta última a la concentración inicial 0,5lb/bbl (0,001429g/cm³), a concentraciones superiores el almidón de achira muestra los mejores resultados y la celulosa

tiende a valores estables. Por este motivo sólo se realizaron pruebas hasta una concentración de 4 lb/bb (0,011g/cm³).

En la Figura 1, se observa el comportamiento de las pérdidas de filtrado a 30min (prueba API) respecto a la concentración de la celulosa polianiónica y almidón de achira. Comparando a una concentración de 4lb/bbl (0,011g/cm³), la pérdida de filtrado es menor en cerca del 24% para el almidón de achira frente a la celulosa polianiónica.

Al observar los resultados estadísticos

presentados en la Tabla 3, se encuentra que para la celulosa polianiónica el factor de variación (1,5) es inferior al factor de variación crítico (4,38), lo cual corrobora que las pérdidas de filtrado tienden a un valor estable a pesar del incremento en la concentración de este producto en el fluido de perforación. Un mayor valor del factor de variación respecto al crítico para el almidón de achira ratifica que la propiedad evaluada (pérdidas de filtrado) cambia [9] (en este caso disminuye) por el efecto de la concentración.

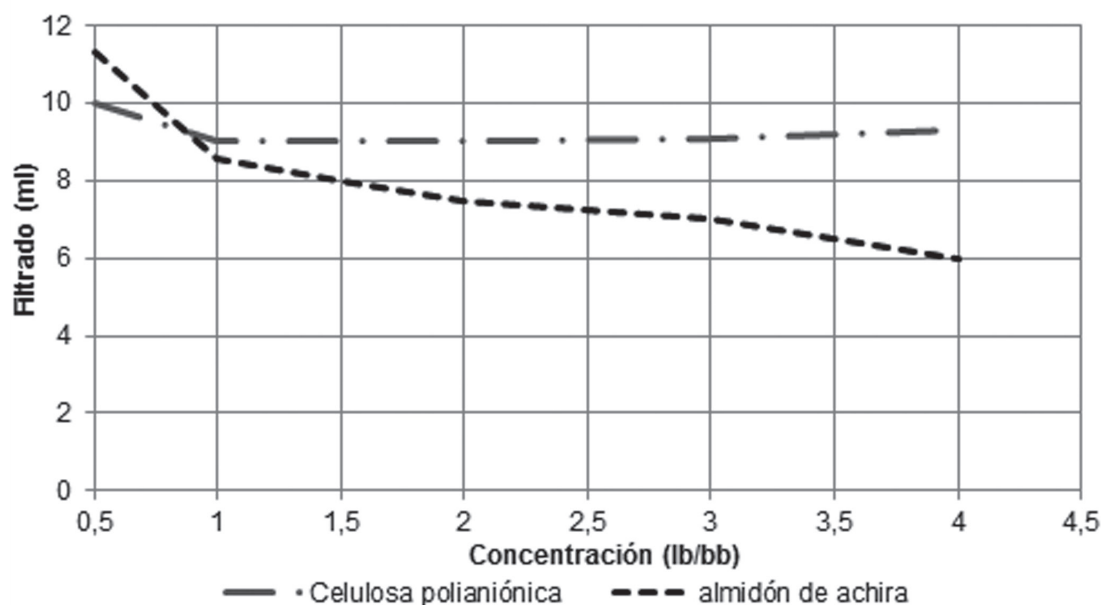


Figura 1. Filtrado a 30min lodo base I.

Tabla 3. Análisis estadístico comparativo celulosa polianiónica-almidón de achira para pérdidas de filtrado a 30min.

	Concentración (lb/bbl)	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación Estándar	Factor de variación	Factor de variación crítico
Celulosa polianiónica	0,5	2	11,125	0,2813	0,5303	1,51	4,38
	1	2	10,8	0,7200	0,8485		
	1,5	2	10,575	0,5512	0,7425		
	2	2	10,35	0,4050	0,6364		
	3	2	9,85	0,1250	0,3536		
	4	2	9,825	0,0612	0,2475		
Achira	0,5	2	11,225	0,0013	0,0354	15,16	4,38
	1	2	10,015	0,4705	0,6859		
	1,5	2	8,975	0,2113	0,4596		
	2	2	8,625	0,2813	0,5303		
	3	2	8,275	0,3613	0,6010		
	4	2	7,125	0,2813	0,5303		

Estos resultados muestran que el almidón de achira sirve como agente controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua. Igualmente, se realizaron pruebas comparativas entre un producto comercial a base de polisacáridos y el almidón de achira. En la Tabla 4 se muestra la

diferencia en la pérdida de filtrado en mililitros (ml) y porcentaje (%vol) del lodo base II más el aditivo comercial a base de polisacárido preservado respecto al que se le adicionó almidón de achira, los valores negativos indican mayor eficiencia del polisacárido.

Tabla 4. Comparación de pérdida de filtrado del polisacárido preservado con el almidón de achira - Lodo Base II.

Concentración (lb/bbl)	Diferencia 5min		Diferencia* 10min		Diferencia 20 min		Diferencia 30 min	
	(ml)	%**	(ml)	%	(ml)	%	(ml)	%
0,5	0,45	9,09	0,45	5,00	1,25	13,16	1,4	12,02
1	0,25	5,56	0,25	4,17	0,70	8,24	0,95	8,84
1,5	0,40	9,09	0,40	23,08	0,90	10,40	1,25	11,90
2	1,45	30,85	1,45	27,34	1,90	21,71	1,25	12,38
3	1,10	26,83	1,10	32,33	1,65	20,25	1,20	12,63
4	0	0,00	0	7,41	0,85	11,72	0,05	0,60
5	-0,30	-8,57	-0,30	0,00	-0,35	-5,30	-0,35	-4,58
6	-0,25	-7,69	-0,25	0,00	0,40	6,06	0,30	3,92
7	0	0,00	0	16,67	1,15	17,29	1,20	16,44

*filtrado (p. preservado)-filtrado (a. achira); Vol. ** $(100 - \frac{\text{filtrado (a. achira)} \times 100}{\text{Filtrado(p. preservado)}})$ vol.

En la Figura 2 se observa que la cantidad de filtrado API (realizado a 30min) es menor, es decir que causa un efecto positivo, cuando se utiliza el almidón de achira como agente controlador de filtrado a concentraciones entre 0,5 - 4lb/bb (0,0014 - 0,011g/cm³).

La diferencia en la pérdida de filtrado obtenido para las concentraciones a diferentes tiempos (5 a 30min), ratifica la eficiencia del almidón de achira

sin modificar [10], como agente controlador de filtrado. En las pruebas de pérdidas de filtrado API (30min) efectuadas entre las concentraciones de 0,5 y 3lb/bbl (0,0014 - 0,00425g/cm³) se presenta una diferencia promedio de 11,5% a favor del almidón de achira. A concentraciones entre 4 y 8 lb/bb no hay diferencia apreciable, pero a una mayor concentración la tendencia es a favor del almidón de achira.

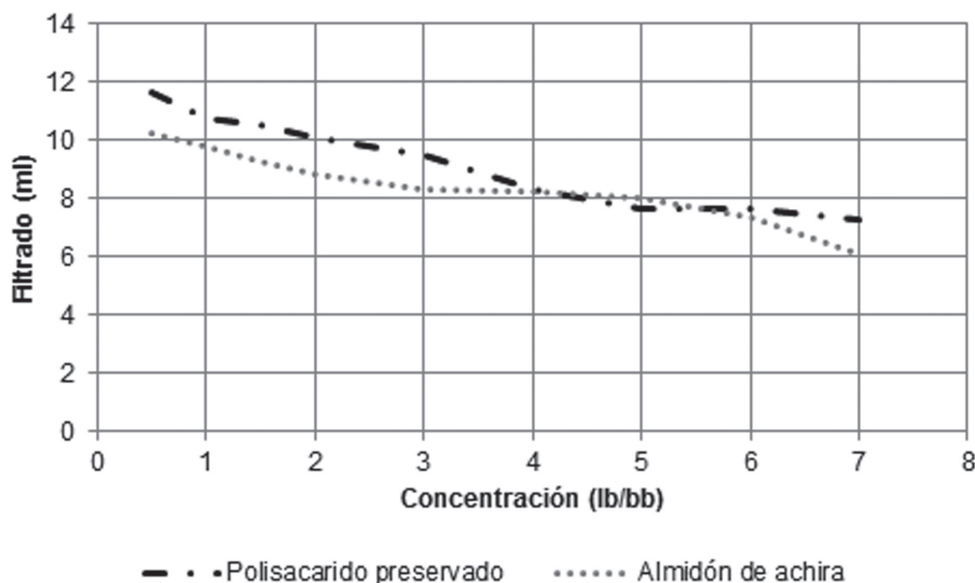


Figura 2. Filtrado API lodo base II.

En la Tabla 5 se presentan los resultados estadísticos en el que se observa que ambos productos (almidón y polisacárido) muestras disminución en las pérdidas de filtrado cuando se incrementa la concentración, lo cual se evidencia en los factores de variación superiores al crítico.

Tabla 5. Análisis estadístico comparativo polisacárido preservado-almidón de achira para pérdidas de filtrado a 30min.

	Concentración (lb/bbl)	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación Estándar	Factor de variación	Factor de variación crítico
Polisacárido preservado	0,5	2	11,65	0,045	0,2121		
	1	2	10,75	1,125	1,0607		
	1,5	2	10,5	0,5	0,7071		
	2	2	10,1	0,02	0,1414		
	3	2	9,5	0,5	0,7071	15,88	3,30
	4	2	8,3	0,5	0,7071		
	5	2	7,65	0,045	0,2121		
	6	2	7,65	0,045	0,2121		
Achira	7	2	7,3	0,08	0,2828		
	0,5	2	10,25	0,125	0,3536		
	1	2	9,8	0,18	0,4243		
	1,5	2	9,25	0,125	0,3536		
	2	2	8,85	0,045	0,2121		
	3	2	8,3	0	0,0000	49,46	3,30
	4	2	8,25	0,045	0,2121		
	5	2	8	0	0,0000		
6	2	7,35	0,045	0,2121			
7	2	6,1	0,02	0,1414			

En términos generales se puede decir que la variación de las propiedades del lodo es mínima (Figura 3) con el incremento de la concentración de achira; en el caso de la viscosidad plástica (Vp) y viscosidad aparente (Va) tienen una leve variación a partir de la adición de 0,5lb/bbl (0,001429g/cm³) de almidón de achira de aproximadamente de 2 Cp, de esta concentración en adelante no hay efecto apreciable. Lo anterior corrobora que el almidón de achira no presenta

efectos viscosificantes y su función principal es como agente controlador del filtrado del lodo. Al fluido de perforación se adicionan productos especiales para dar viscosidad, propiedad importante para la limpieza del hueco, pero se debe tener cuidado cuando se agreguen compuestos para otros propósitos a fin de evitar aumentos en la misma que ocasionen incrementos en las pérdidas de presión.

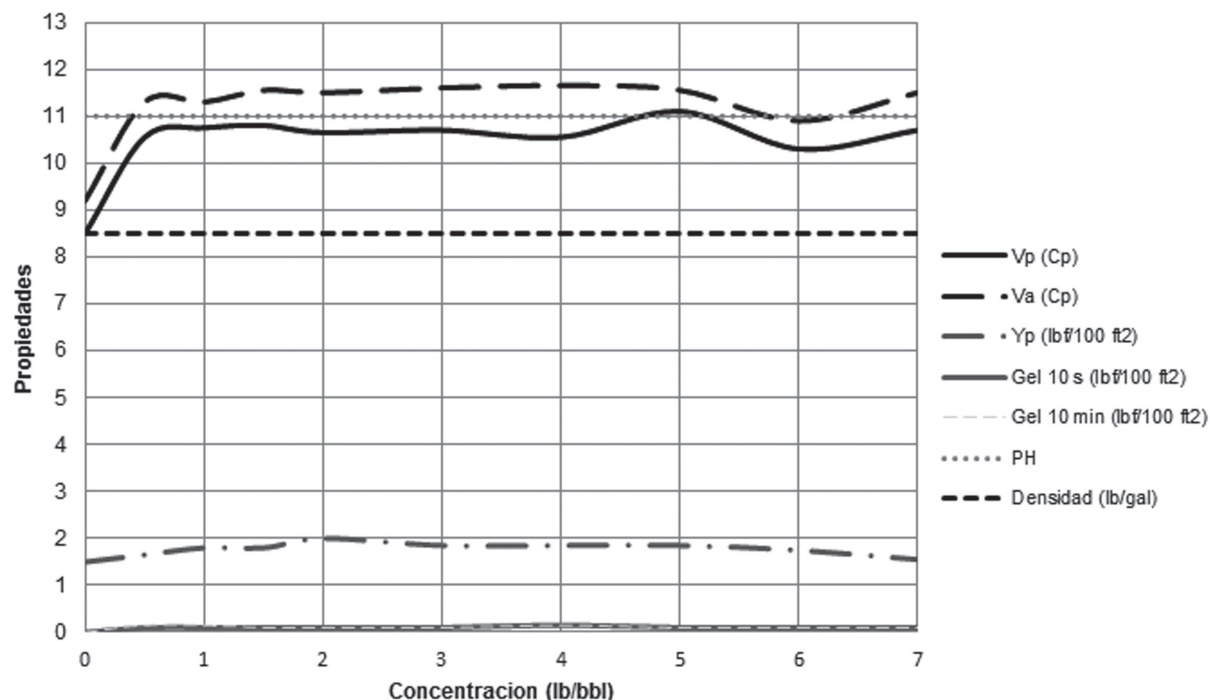


Figura 3. Variación de las propiedades del Lodo con la concentración de achira.

Conclusiones

El almidón de achira funciona de manera efectiva como agente controlador de filtrado en concentraciones que van de 1–4lb/bbl (0,0028 - 0,011g/cm³), con pérdidas de filtrado en rangos comprendidos entre los 6,0 y 11,7ml, presentando un comportamiento similar o mejor comparado con los productos comerciales utilizados en el presente trabajo de investigación. A nivel de laboratorio el uso del almidón de Achira como agente controlador de filtrado, proporciona baja pérdida de filtrado hacia la formación y una torta plástica consistente y de espesor menor a un 1/32 de pulgada (0,012cm). Si se aplica en campo, estas buenas propiedades de filtración mostradas, pueden contribuir a la disminución de problemas durante la perforación tales como suabeo, presencia de secciones apretadas en el pozo (reducción del hueco), pega de tubería, hinchamiento de arcillas, inestabilidad del hueco y daño a la formación.

El almidón de achira como agente controlador de filtrado no presenta mayor incidencia sobre las otras propiedades del lodo de perforación.

El almidón sin tratamiento previo ofrece resistencia a agentes que degradan y modifican las propiedades del lodo, aún sin la adición de

biocidas, manteniendo estable las propiedades del lodo.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Universidad Industrial de Santander, al Laboratorio de Lodos de la Escuela de Ingeniería de petróleos, al Ing. Oscar Fernando López, por la orientación y acompañamiento.

Referencias

- [1] Navarrete RC , Dearing HL, Constien VG, Marsaglia KM, Seheul JM, Rodgers PM. Experiments in fluid loss and formation damage with Xanthan-Based fluids while drilling. SPE Reservoir Eval. Eng. 2000;62732:1-20.
- [2] Lummus James L y Azar JJ. Drilling fluids optimization: a practical field approach. USA: Pennwell corp; 2009.
- [3] MI SWACO Schlumberger Company. Drilling Fluids engineering Manual. USA; 2006.
- [4] Programa Nacional de Maquinaria y poscosecha CORPOICA. Almidón de achira, producción y uso industrial. Bogotá, Colombia: Garcia HR, Arias S, Camacho JH; 1998.

- [5] Reyes G, Boada M. Evaluación de la concentración de amina como inhibidor en el fluido de perforación utilizado en hoyos superficiales en pozos del campo santa Rosa del distrito gas Anaco. Barcelona,Venezuela: Universidad del Oriente, 2009.
- [6] Torres L. Beneficio de la Achira para la obtención del almidón en Colombia. CORPOICA. Disponible en: cipotato.org/artc/Series/.../12_Achira_obtencion_%20almidon.pdf. Colombia. Acceso el 19 de Diciembre de 2012.
- [7] Programa Nacional de Transferencia de Tecnología PRONATTA, CORPOICA. El Almidón de Achira o Sagú (Cannaedulis, Ker) Manual Técnico para su Elaboración. Colombia; 2003.
- [8] Ward I, Chapman JW, Williamson R. New viscosifier for water based muds based on a genetically modified starch. SPE Reservoir Eval. Eng. 2000;50723:1-10.
- [9] Box G, Stuart J, Hunter W. Estadística para investigadores, diseño, innovación y descubrimiento. Aegunda edición. España: Editorial Reverté; 2009.
- [10] Thomas DJ, Atwell W. Starch Modifications. USA: Eagen Press Handbook; 1999.