

FACTIBILIDAD DEL USO DE ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO ADITIVO PARA LODOS DE PERFORACIÓN

FEASIBILITY OF USING PLANTAIN STARCH AS DRILLING FLUID ADDITIVE

EMILIANO ARIZA LEÓN; ADRIAN CAMILO FAJARDO MOLINA*

Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander (UIS),
Cra. 27 Calle 9, Bucaramanga, Colombia.

*adrian_camilo_fajardo@hotmail.com

Fecha Recepción: 17 de junio de 2010

Fecha Aceptación: 31 de marzo de 2011

RESUMEN

El almidón de plátano está conformado por una fracción molecular lineal (amilosa) y por una fracción molecular ramificada (amilopectina), componentes que a nivel práctico han demostrado funcionalidad e interesantes características que contribuyen a la optimización de los fluidos de perforación base agua, tales características permiten: aumentar la viscosidad del fluido de perforación, controlar las pérdidas de filtrado del lodo y mejorar las propiedades de la bentonita como agente potenciador de la viscosidad del lodo.

En este trabajo se evaluó la capacidad del almidón de plátano para aumentar la viscosidad del fluido de perforación base agua, incrementar el rendimiento con respecto a otros aditivos usados comúnmente en la industria como la bentonita y como controlador de pérdidas de filtrado en lodos contaminados con cal, mediante la aplicación de pruebas estándar a condiciones de laboratorio; estas pruebas son: rendimiento en agua dulce y en salmuera, control de filtrado en gran variedad de escenarios de contaminación que se presentan regularmente en la perforación de pozos y extensión de las propiedades de la bentonita en agua dulce.

De acuerdo con los resultados de esta investigación, se comprobó que el almidón de plátano puede ser utilizado como aditivo para lodos de perforación con un rendimiento superior al de otros aditivos similares de amplio uso en la industria petrolera.

Palabras clave: *fluidos de perforación, viscosificantes, controladores de filtrado, bentonita.*

ABSTRACT

Plantain starch is composed of a linear molecular fraction (amylose) and a branched molecular fraction (amylopectin), these components have demonstrated high functionality in field tests and they have shown interesting features that contribute to the optimization of water-based drilling fluids, such features allows: to increase drilling fluids viscosity, to improve filter loss control and to extend bentonite properties as mud viscosity enhancer.

In this study, by applying API standard laboratory tests, was evaluated the capability of plantain starch: to increase the viscosity of water-based drilling fluids, and to improve the performance of other additives commonly used in oil industry such the bentonite, it was also evaluated the response of the plantain starch as filter loss controller in lime contaminated environments; tests carried on in this study were: fresh water and brine yield tests, filtration control tests, performed in a variety of contamination scenarios frequently observed in well drilling operations, and extension of the properties of bentonite in fresh water tests.

According to the results of this investigation it was found that plantain starch can be used as a drilling mud additive due to its outstanding technical performance, superior to other similar products widely used in well drilling activities.

Keywords: *drilling fluids, viscosity, filtration control, bentonite.*

INTRODUCCIÓN

La perforación de pozos en la industria del petróleo ha evolucionado de manera vertiginosa en el desarrollo tecnológico de los equipos utilizados para perforar y en los fluidos usados para alcanzar una profundidad predeterminada, atravesando ambientes de carácter hostil con propiedades únicas relativas a las formaciones rocosas y a las condiciones propias del subsuelo.

Actualmente se busca la formulación de lodos de perforación bajo las premisas de disminuir costos y preservar el medio ambiente. El uso de un nuevo producto de origen natural, de amplia producción en el territorio nacional como el plátano, puede contribuir significativamente a esta causa.

Al referirse a un programa de perforación, se identifica un factor crucial que puede fácilmente generar un mejoramiento en el desarrollo técnico de la actividad; este factor hace referencia a la importancia de los lodos de perforación, ya que al incrementar las propiedades reológicas del lodo se puede obtener un mejor rendimiento, usando así una menor cantidad de recursos y a su vez generando un menor costo [1].

Por consiguiente, la posibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación, podría representar una reducción de costos ya que al presentar un mayor rendimiento que los productos usados comúnmente en la industria, se utilizaría una menor cantidad del producto disminuyendo así los costos operacionales que se generan en una campaña de perforación; esto beneficiaría principalmente a las empresas prestadoras de servicios de perforación, ya que pueden redirigir el excedente de presupuesto a desarrollar nuevas tecnologías o nuevos productos que realimentan el proceso, permitiendo así estabilidad económica frente al escenario financiero. Otro beneficio sería para los cultivadores de plátano que muchas veces pierden sus cosechas por sobreproducción o mal manejo del producto, además generaría un beneficio medio ambiental al aprovechar su característica de bio-degradabilidad. Esta característica es un punto a favor del uso del almidón de plátano, ya que evidenciaría un cambio en la mentalidad de la industria petrolera, la cual siempre ha sido criticada por su gran aporte de contaminación que ha ayudado a desencadenar procesos como la polución que amenaza la

estabilidad del medio ambiente de manera radical, lo cual perjudica nuestra existencia y la de futuras generaciones.

El almidón básicamente está compuesto por dos polímeros, uno lineal llamado amilosa y otro ramificado llamado amilopectina. En presencia de agua y calor, las moléculas de amilosa empiezan a agruparse formando un gel que aumenta la viscosidad del sistema almidón-agua, este gel también es lo suficientemente fuerte para taponar micro fracturas presentes en las paredes del pozo [2].

La ventaja del almidón de plátano radica en contenido extra 10% p más de amilosa que los demás almidones [3]; esto indicaría una mayor funcionalidad como aditivo para lodos de perforación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Obtención del almidón

Se seleccionó el plátano tipo Hartón Dominicó (*Musa Paradisiaca L*) para la obtención del almidón, debido a su gran producción y distribución tanto en el departamento de Santander como a nivel nacional [4]. Al plátano se le quitó la cáscara, su pulpa fue cortada en trozos y posteriormente se molió hasta obtener harina, la cual se secó al sol durante 3 días hasta que toda la humedad se evaporó y finalmente se pasó por tamices de malla fina (hasta 325 mesh o 44 micrómetros). El almidón en polvo recuperado del plátano fue en promedio del 10% en peso.

Debido a la insolubilidad natural de los almidones en agua fría, se requirió de un proceso de pre-gelatinización recomendado por Pacheco y Techeira [5]. Este proceso conlleva la aplicación de calor al almidón en solución acuosa con el fin de liberar la amilosa contenida dentro de la estructura ramificada de la amilopectina. Al aumentar la energía en el sistema, las ramas de la molécula de amilopectina empiezan a separarse y las moléculas lineales de amilosa empiezan a agruparse ordenadamente, este proceso se conoce como retrogradación; a medida que la temperatura del sistema disminuye a temperatura ambiente las moléculas de amilosa agrupadas forman una estructura más resistente y soluble en agua a temperatura ambiente, a esto se le conoce

como proceso de gelatinización del almidón [2]. En este trabajo se aplicó calor hasta alcanzar una temperatura de 100 °C (212 °F) a presión atmosférica y se trabajó con el almidón diluido.

Diseño experimental

Se seleccionó un diseño experimental completamente aleatorio con réplicas, los datos obtenidos se ingresaron al software STAT-Graphics (versión de prueba) [6], en el cual se controla la validez de cada prueba mediante un análisis estadístico de varianza ANOVA en un modelo a una vía de clasificación. Los factores y niveles se presentan para cada una de las pruebas: prueba de rendimiento, de pH y de filtrado API.

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

$$\gamma_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde:

γ_{ij} = valor respuesta, i = número de tratamientos, j = número de repeticiones, μ = media global de las poblaciones combinadas, ε_{ij} = error experimental

Para evaluar la factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo de fluidos de perforación base agua, se programaron tres pruebas estándar contempladas en la norma API RP 13B-1 [7] las cuales se describen brevemente a continuación:

Prueba de rendimiento de viscosificante. Se llama rendimiento a la cantidad de algún aditivo necesaria para alcanzar una viscosidad de 15 cP, una concentración baja de aditivo significa que este producto tiene un rendimiento alto.

Altas concentraciones de aditivo necesarias para alcanzar el valor de viscosidad establecido por el instituto americano del petróleo (15 cP) [7] indican que el rendimiento de ese aditivo es bajo, de acuerdo a la experiencia con productos comerciales se establece como un viscosificante adecuado a aquel que necesite menos de 99,85 kg/m³ (35 lb/barril) de lodo para alcanzar el rendimiento a 15 cP. Para determinar el rendimiento del viscosificante se parte de un lodo base (agua dulce, salmuera saturada 99,85 kg/m³ (35 lb/barril) o salmuera sobresaturada 356,60 kg/m³ (125 lb/

barril) al cual se le va aumentando la cantidad de viscosificante y se mide la viscosidad aparente, hasta encontrar un valor de 15 cP. Con el objetivo de comparar el rendimiento del almidón de plátano con otros aditivos de lodos comúnmente utilizados en la industria petrolera, se realizó esta prueba con arcilla natural, bentonita regular (Halliburton) (nombre genérico de la montmorillonita sódica, arcilla más utilizada a nivel mundial para preparar lodos de perforación, que debe cumplir la norma API -RP 13A) y montmorillonita sódica tratada: Aquagel (Halliburton), la cual es una bentonita sódica de molienda especial y alta calidad que satisface los requisitos de la especificación 13A, sección 4 del Instituto Norteamericano del Petróleo (API). Aquagel proporciona viscosidad y propiedades gelificantes a la mayoría de los fluidos de perforación base agua (aparición polvo de color variable, densidad a granel compacto 1169 kg/m³). También se agregaron pequeñas cantidades de almidón de plátano a la bentonita (viscosificante principal) para evaluar su efectividad como extendedor de las propiedades viscosificantes. En el presente trabajo el rendimiento de cada viscosificante se determinó en laboratorio tomando 350 ml de agua, luego se agregó una cantidad variable del aditivo seleccionado en gramos, se agitó por 3 min a temperatura ambiente y se midió la viscosidad aparente [8]; luego se continuó agregando cantidad del aditivo hasta alcanzar una viscosidad aparente superior a 15 cP.

Finalmente se construyó una curva de concentración del viscosificante *versus* la viscosidad aparente y se leyó la concentración en lb/barril a 15 cP el cual es el rendimiento del viscosificante. Se utilizó un viscosímetro rotacional 35-A (Fann Instrument Company) de acuerdo a las especificaciones del fabricante el error del equipo corresponde a ± 0.5 cP.

Además, se midió el rendimiento en agua dulce de la bentonita, la arcilla natural, el Aquagel y de la bentonita en agua dulce con la adición de 1,43 kg/m³ (0.50 lb/barril) y 2,85 kg/m³ (1 lb/barril) de almidón de plátano para evaluar su efectividad como extendedor.

Prueba de pH. Esta propiedad es fundamental para determinar cuál es el rango de mayor rendimiento del viscosificante, ya que es de vital importancia conocer todas las especificaciones de funcionamiento del producto, en especial

aquellas que están íntimamente relacionadas con la degradación del aditivo. En pozo se pueden observar gran variedad de rangos de pH, por lo tanto se debe conocer la respuesta del almidón de plátano a estos cambios con el fin de determinar si es factible su aplicación en la industria.

Se utilizó un pH meter SensION1 (Hach Company); de acuerdo a las especificaciones de la fábrica, el error es ± 0.01 pH. Esta prueba se llevó a cabo sobre un lodo (mezcla homogénea de almidón gelatinizado y agua dulce) preparado con la cantidad de almidón de plátano necesaria para alcanzar el rendimiento (viscosidad de 15 cP), se le midió el pH y se agregó una pequeña cantidad de NaOH, se midió la viscosidad aparente de nuevo; se continúa con este procedimiento hasta obtener datos suficientes para construir una curva de comportamiento de la viscosidad con el pH.

Prueba de filtrado API. Esta prueba evalúa el comportamiento de un aditivo como controlador de filtrado del lodo de perforación. Cuando se están perforando zonas de roca permeable, el fluido de perforación pierde su fase continua cambiando sus propiedades, lo cual se afecta más cuando se presenta contaminación del fluido con cal, yeso, sal u otros contaminantes.

Por lo tanto es necesario agregar un material de tamaño coloidal al lodo base compuesto por bentonita, copolímero acrílico aniónico Therma-Thin (Halliburton) utilizado en sistemas base agua para controlar las propiedades reológicas y aportar estabilidad a altas temperaturas. El defloculante Therma-Thin es especialmente eficaz en sistemas de agua dulce con baja a mediana concentración de sólidos (apariencia líquida pálida, pH = 8 y gravedad específica 1,24); y celulosa polianiónica PAC-L (Halliburton), utilizado para proveer control de filtrado en la mayoría de los fluidos de perforación base agua. El agente de control de filtrado PAC-L también se puede utilizar en pequeñas concentraciones como adelgazante en agua de mar y fluidos base salmuera (apariencia polvo de color blanco, densidad a granel de 641 a 881 kg/m³, pH 7,75 en solución acuosa al 1%).

La función del agente controlador de filtrado es: ayudar a formar una capa sólida (torta de lodo) sobre las paredes de la formación con el fin de impermeabilizar y disminuir esas pérdidas. La prueba se realiza a 689,5 kPa y temperatura

ambiente en un filtro prensa especialmente diseñado para pruebas de laboratorio a bajas presiones y temperaturas, esta unidad funciona con un compresor de aire (OFI Testing Equipment) a 827,4 kPa, de acuerdo a las especificaciones del fabricante, el error del equipo es ± 0.1 cm³. Se coloca la muestra de lodo 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 30 min; este volumen se conoce como pérdida de filtrado.

También se mide el espesor de la torta (sólido que queda por la filtración) en 1/32 de pulgada, se califica cualitativamente su consistencia y plasticidad; una buena torta debe tener entre 0,079 cm (1/32 pulgada) y 0,015 cm (2/32 de pulgada) además de ser plástica y consistente. A las pérdidas de filtrado y a las características de la torta se les conoce como propiedades de filtrado.

Se realizaron pruebas a un lodo base; posteriormente este fue contaminado por separado con sal, cal, yeso y cloruro de calcio; las propiedades de filtrado de estos lodos contaminados también fueron medidas. A los lodos contaminados se les agregó como controlador de filtrado el almidón de plátano con una concentración de 2,85 kg/m³ (1 lb/barril) y de 5,71 kg/m³ (2 lb/barril) de nuevo se determinaron las propiedades mencionadas. Se utilizó como aditivo de comparación una celulosa polianiónica comúnmente utilizada como controlador de pérdidas de filtrado en lodos de perforación, cuya concentración óptima es de 2,85 kg/m³ (1 lb/barril).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de resultados se utilizó un método estadístico de varianza ANOVA a una vía de clasificación, tomando tan sólo un grado de libertad y un rango de confianza igual al 85% [9]. En la Figura 1 se observa el comportamiento de la viscosidad aparente de cada sistema de fluidos con respecto a la concentración de cada agente potenciador de la viscosidad y en la Tabla 1 se presenta el rendimiento de cada uno. Se observa que la concentración de aditivo más baja (concentración a 15 cP) corresponde al almidón de plátano en un lodo base salmuera sobre saturada (salinidad de 356,60 kg/m³ o 125 lb/barril) y que el peor rendimiento corresponde a la arcilla natural. Todos los aditivos comerciales probados mostraron

un rendimiento muy similar entre ellos, ya que presentan unas estructuras químicas bastante parecidas entre sí, como excepción se presenta la arcilla natural cuya concentración para lograr el rendimiento excede los $99,85 \text{ kg/m}^3$ (35 lb/barril), otros viscosificantes como aquagel, y bentonita están en el rango de $85,58 \text{ kg/m}^3$ (30 lb/barril) a $99,85 \text{ kg/m}^3$ (35 lb/barril), lo cual los clasifica como

agentes viscosificantes adecuados y por último se observa el almidón de plátano el cual necesita 66% menos de producto que los aditivos anteriormente analizados, esto sitúa al almidón de plátano como el mejor viscosificante entre los aditivos probados y por lo tanto lo transforma en un producto con mucha prospectiva para ser utilizado como aditivo viscosificante en lodos de perforación.

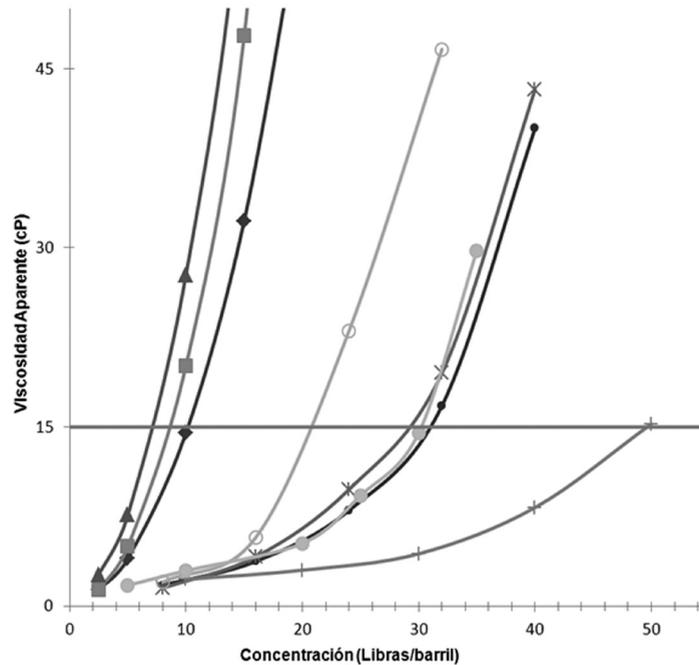


Figura 1. Rendimiento de diferentes aditivos viscosificantes: —◆— Almidón de plátano (Agua dulce), —■— Almidón de plátano (Salmuera 35 lb/barril), —▲— Almidón de plátano (Salmuera 125 lb/barril), —●— Bentonita (Agua dulce), —*— Bentonita + (Almidón de plátano 0,5 lb/barril), —○— Bentonita + (Almidón de plátano 1 lb/barril), —+— Arcilla Natural, —●— Aquagel

De acuerdo con los resultados presentados en la Figura 1 se puede inferir que técnicamente es factible el uso del almidón de plátano como material viscosificante del fluido de perforación base agua, ya que de todos los productos utilizados es aquel que requiere la menor cantidad de material para conseguir una viscosidad igual a 15 cP, es decir el que tiene el mayor rendimiento.

Los resultados del uso del almidón de plátano como extendedor de bentonita, cuya función es servir como aditivo para incrementar la viscosidad del lodo utilizando una menor cantidad de bentonita, se presentan en la Figura 2 donde se puede observar que la cantidad de bentonita necesaria para alcanzar el rendimiento disminuye a medida

que aumenta la cantidad de almidón de plátano en el sistema, así que al adicionar $2,85 \text{ kg/m}^3$ (1 lb/barril), la bentonita necesaria para alcanzar los 15 cP de viscosidad aparente se reduce de $88,44 \text{ kg/m}^3$ (31 lb/barril, sin almidón) a $59,91 \text{ kg/m}^3$ (21 lb/barril); esto indica una reducción de $28,53 \text{ kg/m}^3$ (10 lb/barril) de bentonita, con tan sólo la adición de 1 lb/barril de almidón de plátano. De acuerdo a lo anterior se puede afirmar que en forma técnica el almidón de plátano sirve como aditivo extendedor de la viscosidad aparente de la bentonita, ya que permite una reducción en la cantidad de material viscosificante necesario para la preparación de fluidos de perforación, logrando un ahorro del 35% de bentonita.

Tabla 1. Rendimiento de diferentes aditivos viscosificantes

Producto	Rendimiento (lb/barril)
Almidón de plátano en agua dulce	10,16
Almidón de plátano salmuera (35 lb/barril)	8,62
Almidón de plátano salmuera (125 lb/barril)	7,12
Bentonita de Wyoming	31
Bentonita + Almidón de plátano (0,5 lb/barril)	29,1
Bentonita + Almidón de plátano (1 lb/barril)	20,8
Aquagel	30,23

La mezcla de estos dos aditivos brinda un significativo ahorro de cantidad de bentonita y disminuye el impacto ambiental producido por los lodos de perforación, dado el carácter biodegradable del almidón. Es recomendable

ampliar el estudio para determinar la interacción entre los dos aditivos, que permita definir la industrialización del almidón del plátano.

En la Figura 3 se muestra el comportamiento de la viscosidad aparente con respecto al pH para el fluido base agua dulce preparado con la concentración 28,53 kg/m³ (10 lb/barril) de almidón de plátano equivalente al rendimiento del aditivo; se observa que para un pH entre 8 y 11,5 presenta una disminución en la viscosidad debido a que la fuerza de repulsión creada por las cargas de las partículas del sistema aumenta y a valores superiores a 11,5 por el incremento en la concentración de iones OH⁻, mejoran las fuerzas de atracción y por ende aumenta la viscosidad aparente debido al proceso de agregación [10].

Lo anterior quiere decir que el mejor rendimiento del almidón de plátano como viscosificante se obtiene en ambientes de pH superiores a 11,5. Aunque presenta disminuciones en su rendimiento en el rango de pH (8 – 11,5) el almidón de plátano es apto para trabajar en cualquier ambiente alcalino. La disminución relativa del rendimiento se puede ajustar con la adición de más cantidad de almidón, lo cual es práctica normal con otros viscosificantes.

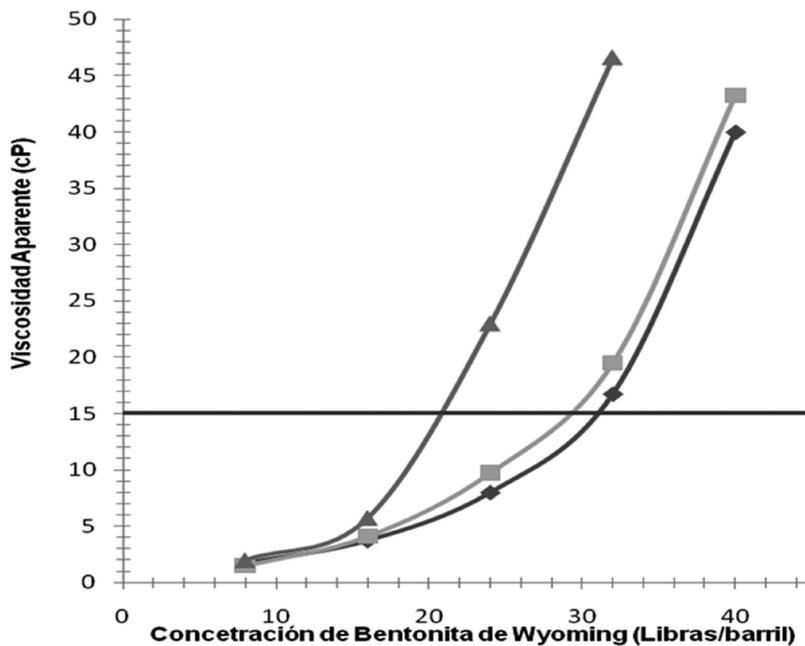


Figura 2. Extensión de la viscosidad de la bentonita: ● Bentonita de Wyoming, ■ Bentonita de Wyoming + (Almidón de plátano 0,5 lb/barril), ▲ Bentonita de Wyoming + (Almidón de plátano 1 lb/barril)

Estos resultados son muy importantes ya que se puede asegurar que el rendimiento del almidón de plátano no va a presentar mayor alteración

bajo las condiciones de pH que normalmente se encuentran durante la perforación de un pozo, las cuales varían entre 9 y 10.

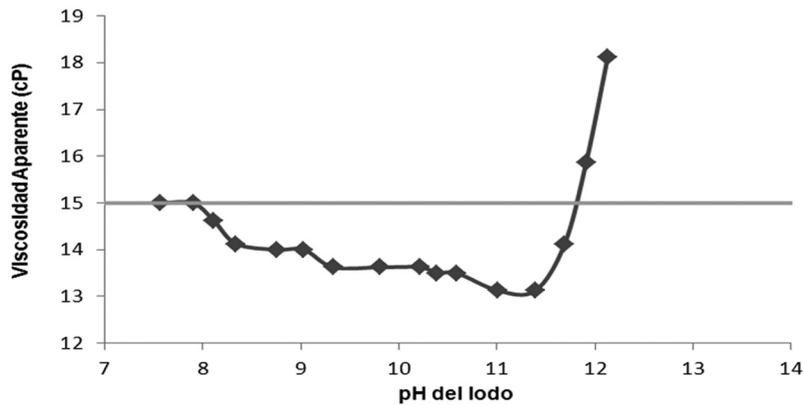


Figura 3. Comportamiento del rendimiento del almidón de plátano con el pH

En la Figura 1 se observó un incremento en la viscosidad del lodo debido a la mezcla de almidón de plátano con sal, pero esta afinidad no se trasladó a las características controladoras de filtrado, por el contrario se destacó un aumento en la cantidad de filtrado, lo cual debe ser corregido con la aplicación de otro aditivo controlador de filtrado. Con respecto a las contaminaciones con yeso y cloruro de calcio se observaron resultados alentadores pero no lo suficientemente buenos como para ofrecer una factibilidad técnica, se debe encontrar una mejor forma de crear una afinidad entre el almidón de plátano y estos dos contaminantes [11].

Los resultados solo fueron técnicamente significativos en el tratamiento de lodos contaminados con cal, los cuales se muestran en la Figura 4.

Los resultados obtenidos que se presentan en la Figura 4 muestran que las pérdidas de filtrado se disminuyeron de 6,4 a 3,8 ml con la aplicación de 2,85 kg/m³ (1 lb/barril) de almidón de plátano y a 3,6 ml con la aplicación de 5,71 kg/m³ (2 lb/barril) de almidón de plátano similar al alcanzado empleando 2,85 kg/m³ (1 lb/barril) de una celulosa polianiónica, controlador de filtrado comúnmente utilizado en la industria petrolera. Se obtuvo una torta de lodo delgada, consistente y plástica.

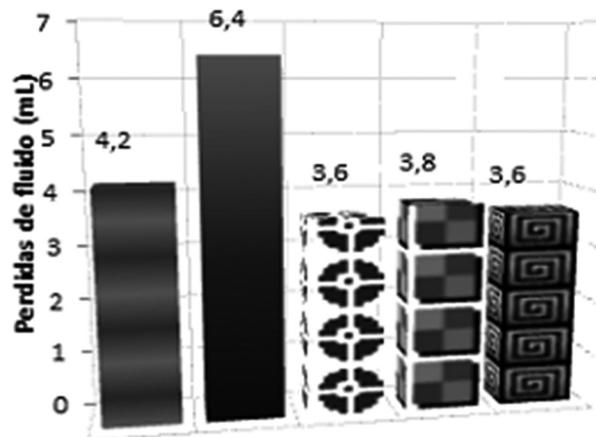


Figura 4. Controladores de filtrado en un ambiente contaminado con cal: ■ Lodo de control, ■ Lodo de control contaminado con cal, ⚙ Celulosa Polianiónica 1 lb/barril, ■ Almidón de plátano 1 lb/barril, ■ Almidón de plátano 2 lb/barril

Esto significa que el almidón de plátano puede ser utilizado como controlador de filtrado en lodos de perforación, en este caso cuando existe una contaminación del lodo con cal; a pesar de presentar factibilidad de uso a nivel de laboratorio, se debe establecer como segunda fase un análisis del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación simulando condiciones de presión y temperatura reales de operación, con el fin de determinar la degradación de este en una base de tiempo definida. A su vez, se requiere realizar un estudio detallado de mercado para determinar la sobreproducción o excedentes del consumo de plátano interno y otros factores económicos y sociales, para determinar la viabilidad del uso industrial como aditivo de lodos de perforación.

CONCLUSIONES

Desde el punto de vista técnico es factible el uso de almidón de plátano como viscosificante en lodos base agua dulce, base agua salada y saturada.

Es viable el uso del almidón de plátano como agente mejorador de las propiedades viscosificantes de la bentonita.

Es factible el uso del almidón de plátano como agente controlador de pérdidas de filtrado para tratar lodos contaminados con cal.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la UIS, a la Escuela de Ingeniería de Petróleos y al grupo de investigación en tecnologías alternativas de hidrocarburos (GITAH).

REFERENCIAS

- [1] J. Lummus; J. Azar. *Drilling fluids optimization: a practical field approach*. Pennwell Corp, USA, 1986, 1-130.
- [2] D. Thomas. *"Thermal Stability of Starch- and Carboxymethyl Cellulose-Based Polymers Used in Drilling Fluids"*. SPE Journal, 22 (2), 1982, 171-180.
- [3] M. Casarrubias; L. Bello; B. Hamaker. *"Preparación de almidón de digestión lenta a partir de almidón de plátano y mango usando tratamientos enzimáticos"*. XII Congreso

Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Guanajuato, Guanajuato, México, Mayo, 2010, 1181-1186.

- [4] Instituto Colombiano de Agricultura. "Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia", Bogotá, Colombia, 2000.
- [5] E. Pacheco de Delahaye; N. Techeira, N. "Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea Alata*)". *Interciencia*, 34 (4) 2009, 280-285.
- [6] Bravo Murillo "Software StatGraphics versión de prueba". StatGraphics. 20 de Febrero de 2010, Disponible: www.statgraphics.net
- [7] MI-SWACO. *MI-Drilling Engineering Manual*. Texas, USA, 1998, 4.1-4.21 y 5.1-5.36.
- [8] Rodríguez Eduardo. "Reestructuración teórico – práctica de la guía de laboratorio de lodos y cementos". Trabajo de grado ingeniería de petróleos. UIS, Colombia, 2007.
- [9] R. Kuehl. *Diseño de experimentos con análisis de varianzas*. Editorial Thomson International, 2001, 1-174.
- [10] A. Palomino; C. Santamarina. *"Fabric map for kaolinite: effects of pH and ionic concentration on behavior"*. *Clays and Clay minerals*, 53 (3), 2005, 209-222.
- [11] Martin Chenevert; Robert Garret. *Drilling fluids and related hole problems Manual*. Pennwell Corp. USA, 1992, 1-14.