

Almidón modificado de yuca como aditivo en fluidos de perforación base agua

Grupo de investigación: Nuevas Tecnologías de perforación
Línea de investigación: Fluidos de perforación
Jorge Ramos• Laura Santamaría Osorio / Camilo Andrés Mendoza Leiva**
William Uribe*** Lillia Polanco****

Recibido: 6 de febrero de 2013 Aceptado: Marzo 22 de 2013

RESUMEN

Se modificó física y químicamente el almidón nativo de yuca con el fin de mejorar su resistencia térmica y el control de filtrado al ser usado en un fluido de perforación. La modificación física consistió en una pregelatinización y la química se realizó mediante un entrecruzamiento con tripolifosfato de sodio. Se planteó el diseño de experimentos superficie de respuesta, mediante el cual se encontró que la mejor concentración de almidón para minimizar el filtrado del lodo es 8 lb/bbl. Se formularon dos fluidos con dicha concentración de almidón y de Paxcell LV (CMC) con el fin de realizar una comparación entre el comportamiento de los dos aditivos y los lodos preparados con ellos. Los dos lodos presentaron un comportamiento similar; sin embargo, el de almidón modificado presentó mayor estabilidad a altas temperaturas y presiones.

Palabras clave: control filtrado, almidón modificado de yuca, entrecruzamiento, fluido perforación, base agua, estabilidad térmica.

ABSTRACT

The yucca starch was modified looking for an improvement in its thermal resistance and fluid loss control to be used as an additive in drilling fluids. The physical modification was made by pregelatinization and the chemical modification was made by cross linking with sodium tripoliphosphate. An experimental design was used to find the best concentration of starch that minimizes the fluid filtrate, this concentration was 8 pounds per barrel. Two muds were formulated with 8 pounds per barrel of modified starch and paxcell LV (CMC) respectively to compare their behavior; both of them showed a similar behavior, however the modified starch had a higher stability at high temperatures and pressures.

Key words: filtrate control, yucca modified starch, crosslinking, drilling fluids, water based, thermal stability.

• Ingeniero de petróleos Universidad de América, Bogotá, Colombia.
•• Estudiante Ingeniería, Universidad de América, Bogotá, Colombia.
••• Ingeniero Ecopetrol depto de perforación.
•••• Ingeniero Depto de perforación Ecopetrol. Proyecto Desarrollado en convenio con Ecopetrol - ICP.

INTRODUCCION

Actualmente se busca la formulación de lodos de perforación bajo las premisas de disminuir costos, reducir el daño a la formación ocasionado por el filtrado del lodo debido a su ineficiente estabilidad a altas temperaturas y presiones, y preservar el medio ambiente pero sin afectar el desempeño del fluido y sus funciones. La formulación incorrecta del fluido causa problemas en el proceso de perforación pues se da la pérdida de filtrado hacia la formación generando un revoque o cake muy grueso; esta condición ocasiona problemas de atascamiento de la tubería, derrumbes en el pozo, pérdida de circulación y disminución de la producción del pozo. Además el uso de aditivos químicos para contrarrestar dichos problemas hace que la disposición de los lodos en superficie sea más complicada y requiera mayores costos de tratamiento.

Una alternativa para lograr buen desempeño del fluido y a su vez disminuir el impacto ambiental es el uso de productos de origen natural como el almidón de yuca. El uso de este almidón como aditivo en un fluido de perforación podría reemplazar algunos aditivos químicos mencionados anteriormente. Además es posible utilizar almidón de yuca modificado químicamente para que el fluido logre mayor estabilidad a altas temperaturas y presiones, condiciones comunes en el fondo de un pozo (Bautista, A. Flórez, E. (2011). Factibilidad del uso del almidón de yuca como aditivo en lodos de perforación. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander UIS. p. 69.)

Basado en lo anterior se realizó la modificación física y química de un almidón de yuca nativo con el fin de utilizarlo en la formulación de un fluido de perforación base agua que funcione eficientemente a 200°F. Posteriormente se seleccionó la concentración de almidón que minimiza el filtrado del lodo y con esta se formuló un fluido de perforación que fue sometido a pruebas de filtrado y reología y además se sometió a envejecimiento para evaluar su comportamiento en condiciones de pozo. Se comparó este

fluido con una formulación con Paxcell LV como controlador de filtrado, un aditivo comercial de la marca Baroid Fluids de Halliburton; esta comparación comprende propiedades reológicas y control de filtrado a diferentes condiciones.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Modificación del almidón de yuca

El almidón de yuca proporcionado por Ecopetrol S.A, se modificó física y químicamente para mejorar sus propiedades espesantes y su resistencia térmica. La modificación química llevada a cabo fue el entrecruzamiento con tripolifosfato de sodio (STPP), siguiendo el método descrito por Paschall (1964) (Ortega, J. Laines, R. Aparicio, M. (2010). Almidón modificado de plátano: Posible uso en el tratamiento de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. p. 90). Este proceso requiere la preparación de una solución que contiene 12.6 gramos de tripolifosfato de sodio en 100 ml de agua, a la cual se le agregan 100 gramos de almidón. Se deja reaccionar por un tiempo de 50 minutos en agitación constante y en medio alcalino adicionando NaOH hasta obtener pH=10.5, posteriormente se filtra el almidón modificado y se seca en una mufla a 45°C por 24 horas. El producto seco se muele hasta que se tenga un tamaño de partícula de 250µm. Luego el producto se calienta a 65°C por 90 minutos y a 155°C por 20 minutos. Finalmente, el producto se lava con agua destilada para eliminar impurezas obtenidas en la modificación y el procedimiento de secado y molienda se repite. La modificación física por pre-gelatinización consiste en aplicar calor al almidón en solución acuosa hasta 100°C para liberar la amilosa contenida dentro de la estructura ramificada de la amilopectina (Ariza, E. Fajardo, A.C. (2011). Factibilidad del uso de almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. *Revista ION, Escuela de ingeniería de petróleo*. p. 16). Posteriormente, el almidón pregelatinizado se secó y se trituró hasta obtener un tamaño de partícula de 250µm; se realizaron pruebas pre experi-

mentales de filtrado API y reología para verificar el comportamiento del almidón modificado en el lodo y teniendo en cuenta los resultados de las mismas se decidió realizar un segundo entrecruzamiento con tripolifosfato siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente.

Diseño experimental

El desarrollo del diseño de experimentos se realizó utilizando una licencia gratuita de evaluación de 30 días del programa Statgraphics Centurión versión 16.1.15 (Statpoint Technologies, Inc. (2012). Software Statgraphics Centurion XVI versión de prueba. Disponible: www.statgraphics.net). Se seleccionó el modelo de superficie de respuesta diseño central compuesto, el cual consta de un factorial 2^k y corridas adicionales en estrella, además de 4 corridas en el punto central con el fin de reducir el error experimental. Se establece que el modelo sea rotatable, en un solo bloque, aleatorizado y con 6 grados de libertad para el error.

Como variables experimentales se seleccionaron la temperatura y la concentración de almidón modificado, y la variable respuesta será el filtrado del lodo. Respecto a los rangos, para el almidón modificado se varió la concentración entre 4 y 8 lb/bbl, y para la temperatura se varió desde 80 a 200°F. Respecto al modelo de estimación del tamaño de muestra para un diseño superficie respuesta mostrado en la **Ecuación 1**, se obtuvieron 12 corridas experimentales. En la **Tabla 1** se muestran las 12 corridas experimentales con sus respectivos valores de filtrado obtenidos.

$$N = 2^k + 2k + n_0 \quad (1)$$

Donde:

N: Número de muestras

K: Factores

n_0 : Puntos al centro.

Las 12 corridas experimentales se evaluaron con la siguiente formulación: 1 lb/bbl de goma xántica (Barazan D Plus), 40 lb/bbl de Carbo-

nato de calcio (Baracarb 5), 0,5 lb/bbl de glutaraldehído (Aldacide G), cantidad variable de almidón modificado de yuca y finalmente 3 lb/bbl de bentonita (Aquagel gold seal). En la **Tabla 1** se muestran las corridas realizadas con sus respectivos resultados.

Tabla 1. Resultados corridas experimentales.

Corrida	Temperatura (°F)	Concentración (lb/bbl)	Filtrado (mL)
1	140	8.828	9.6
2	140	6	14
3	200	4	36
4	80	8	5.2
5	55.147	6	9.6
6	140	6	13.9
7	140	6	14
8	80	4	9
9	140	6	14
10	224.853	6	44
11	200	8	14
12	140	3.172	20

Con base en el análisis de varianza ANOVA, la variable más significativa sobre la variable respuesta es la temperatura y en segundo lugar la concentración de almidón.

Se debe tener en cuenta que para la aplicación del diseño experimental, se evaluaron dos clases de filtrados: filtrado API y filtrado HPHT, según las condiciones de cada una de las corridas experimentales.

Filtrado API. Esta prueba evalúa el comportamiento de un aditivo como controlador de filtrado en una formulación. El filtrado API se corre en un filtro prensa de referencia API la cual mide el filtrado del lodo en condiciones de temperatura ambiente y 100 psi de presión. La prueba dura 30 minutos y el resultado se reporta en mililitros. Para el caso de las corridas experimentales, el filtrado API se evaluó en las corridas 4, 5 y 8.

Filtrado HPHT. Al igual que en el filtrado API, esta prueba evalúa el comportamiento de un aditivo como controlador de filtrado en una formulación. La diferencia es que se realiza en condiciones de alta temperatura y con un diferencial de presión de 500 psi. La prueba tiene una duración de 30 minutos y el resultado se reporta en mililitros. Con respecto a las corridas experimentales, se tomaron filtrados HPHT a las corridas 1, 2, 3, 6, 7, 9, 10,11 y 12.

Una vez obtenidos los resultados de las corridas se generan con ellos los gráficos de respuesta, los cuales se utilizan para ubicar regiones de operación en las cuales la variable de respuesta toma los valores óptimos o requeridos dependiendo del proceso, con infinitas combinaciones de los factores experimentales, en este caso deben identificarse las regiones en las que el filtrado es menor a alta temperatura. En la **Figura 1** se muestra la superficie de respuesta obtenida y en la **Figura 2** su respectiva gráfica de contornos.

Figura 1. Superficie de respuesta.

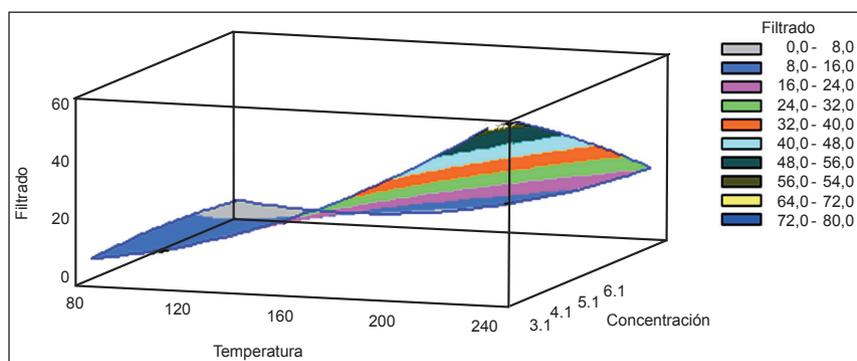
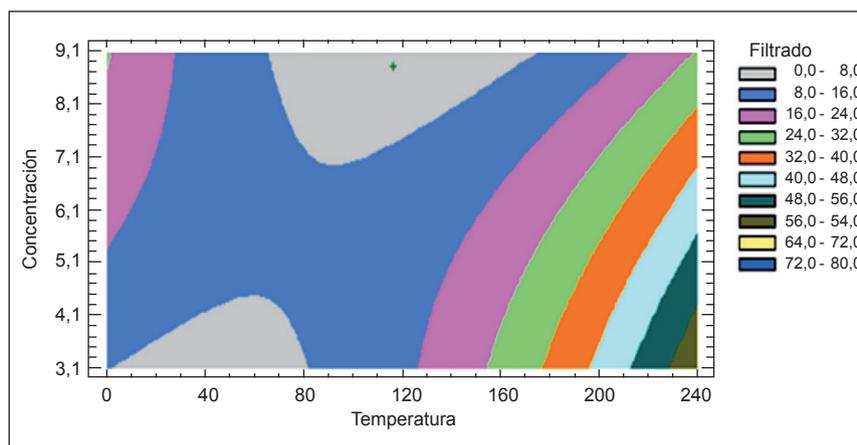


Figura 2. Gráfica de contornos.



Formulación de fluidos

Con base en el diseño de experimentos, la formulación base que presentó el mejor comportamiento en cuanto a control de filtrado fue el de

la formulación que tiene 8.828 libras por barril de almidón modificado, sin embargo según el API la concentración máxima de almidón en el lodo es 8 lb/bbl [5], por lo que los fluidos fueron formulados con dicho valor. Teniendo en cuenta

lo anterior se procedió a preparar formulaciones completas utilizando los siguientes aditivos adicionales a la formulación base descrita anteriormente: 6 lb/bbl de clay seal plus (estabilizador de arcillas), 3 lb/bbl de PAC L y 1.5 lb/bbl de PAC R (celulosa polianiónica), y 40 lb/bbl de Baracarb 325 (carbonato de calcio).

Con el fin de comparar el comportamiento del almidón de yuca modificado se seleccionó el Paxcell LV (mezcla de celulosas), producto de la línea Baroid Fluids de Halliburton. Se preparó un fluido con 8 lb/bbl de Paxcell LV y los demás aditivos en las mismas concentraciones utilizadas para el fluido con almidón de yuca modificado.

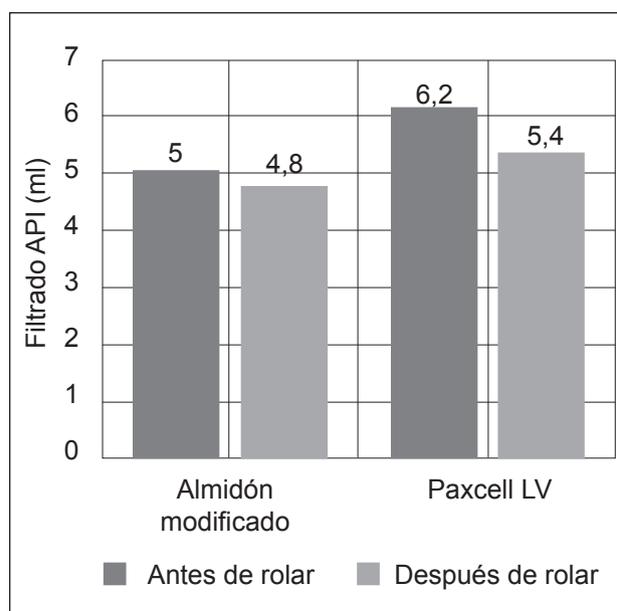
Posteriormente, se procedió a evaluar los fluidos de perforación según las pruebas de laboratorio para fluidos base agua [6], entre las cuales se encuentran: reología fann 35, reología fann 70, filtrado API, filtrado HPHT, filtrado PPT, filtrado fann 90, y pruebas químicas. Adicionalmente se sometió al fluido a envejecimiento en un horno de rolado por 16 horas a 120°F con el fin de correr nuevamente las pruebas después de este proceso y observar la estabilidad del lodo al simular las condiciones de un viaje en el pozo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se realizaron las pruebas de reología y filtrados a diferentes condiciones obteniendo resultados similares para los dos fluidos. De acuerdo a la **Gráfica 1**, se puede observar que el filtrado API mejora cuando el fluido es sometido a un proceso de envejecimiento. Con base en el manual de fluidos de perforación del API (Instituto Americano del Petróleo. (2001). Manual de fluidos de perforación, procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Cap. 22. p. 22D-4), al exponer un fluido de perforación a una condición térmica determinada sus propiedades pueden cambiar haciendo que los agentes controladores de filtrado sean más eficientes y su reología aumente proporcionán-

dole mayor viscosidad al fluido. Con base en la norma API para fluidos base agua [6], el rango máximo de filtración API es de 6 ml con lo cual se puede afirmar que el almidón modificado presentó un mejor resultado asociado al filtrado que el Paxcell LV en condiciones de temperatura ambiente y 100 psi de presión.

Gráfica 1. Resultados filtrado API.

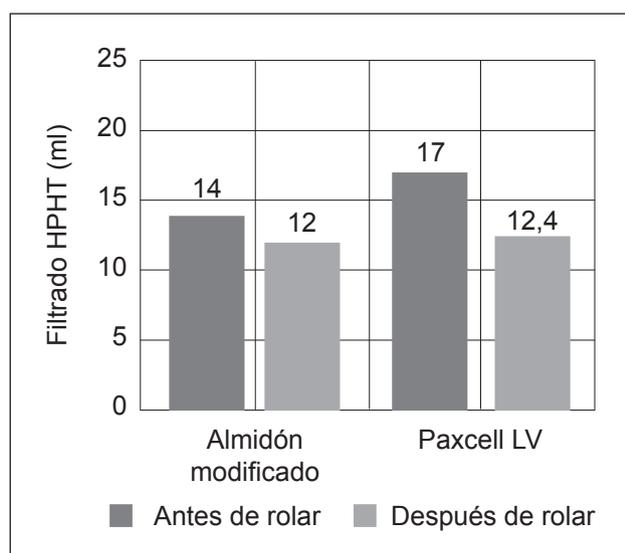


En la **Gráfica 2**, se puede observar un comportamiento muy similar al del filtrado API, con lo cual se puede inferir que el almidón modificado presenta un mejor comportamiento en cuanto a filtrado que el Paxcell LV a condiciones de 200°F y un diferencial de presión de 500 psi. Sin embargo, el API establece que los filtrados HPHT para fluidos base agua deben ser menores a 20 ml, por ende ambas formulaciones presentan buenos resultados a dichas condiciones.

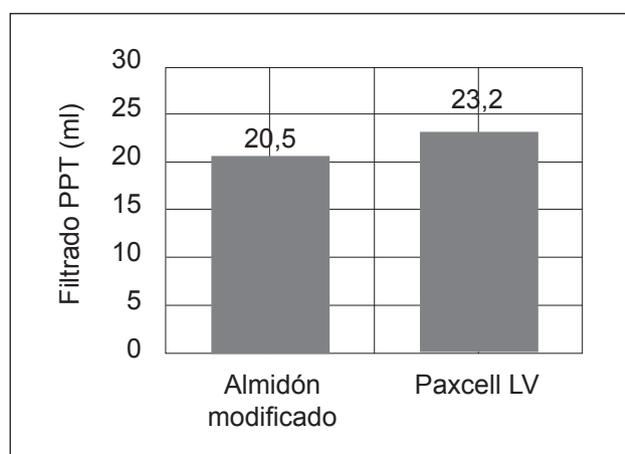
En la **Gráfica 3**, se pueden mostrar los resultados del filtrado PPT o prueba de tapo-namiento de permeabilidad. En esta prueba se utilizó un disco de aloxita de 35µm como medio filtrante con el fin de evaluar el filtrado instantáneo y el filtrado total generado en los 30 minutos de duración de la prueba. La norma API establece que el filtrado PPT en los fluidos base agua deben ser menores a 25 ml por ende ambas for-

mulaciones presentan resultados muy buenos, sin embargo, la formulación con almidón modificado presentó un filtrado menor lo cual implica un menor daño a la formación.

Gráfica 2. Resultados filtrado HPHT.



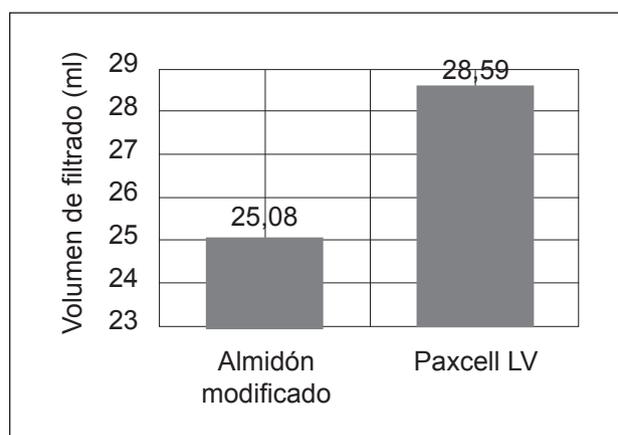
Gráfica 3. Resultados Filtrado PPT



La prueba del fann 90 es similar a la prueba de filtrado PPT, solo que ésta se experimenta en condiciones dinámicas. Al igual que el filtrado PPT, esta prueba se corrió para las formulaciones completas sin rolar para establecer la pérdida de fluido generada con el fluido original. Se debe escoger del mismo modo, un disco de aloxita como medio filtrante para la realización de la prueba. La duración de ésta es una hora

por configuración del equipo fann 90. De acuerdo a la norma, los filtrados fann 90 para fluidos base agua deben ser menores a 25 ml. En la **Gráfica 4** se muestran los resultados de dicha prueba, en la que ambas formulaciones presentan altos valores de filtrado, sin embargo la formulación de almidón modificado está justo en el límite y es menor que la de Paxcell LV.

Gráfica 4. Filtrado fann 90 formulaciones completas almidón modificado y Paxcell LV con fluidos frescos.

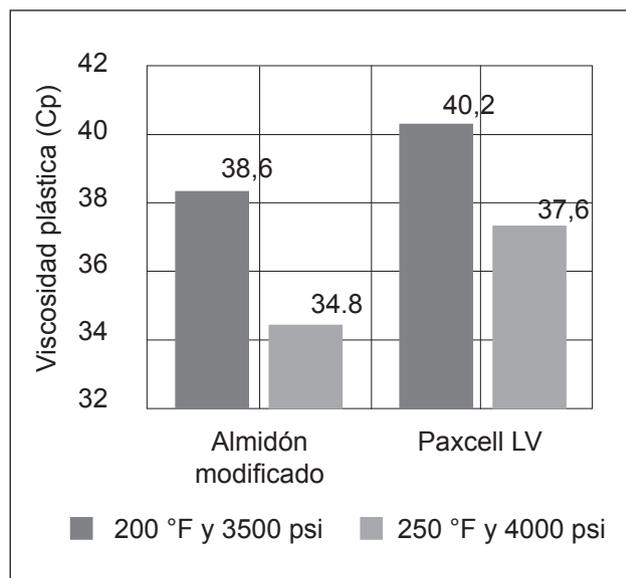


Como se mencionó anteriormente, se corrieron además pruebas reológicas que indican diversas propiedades de los fluidos como lo son viscosidad, punto cedente, resistencia gel, y esfuerzo cedente. La reología se tomó con dos equipos de laboratorio los cuales son el fann 35 y el fann 70. En el equipo fann 35, los parámetros reológicos fueron tomados a una temperatura de 120°F. Por otro lado, la reología del equipo fann 70, se realizó con el fin de simular condiciones de yacimiento a las cuales el fluido puede estar expuesto. Las condiciones a las cuales fue evaluada la prueba fueron de 200 a 250°F y de 3500 a 4000 psi. Con base a ello, los resultados que se obtuvieron en el fann 35 presentaron valores muy altos respecto a la norma. Sin embargo, como los fluidos iban a ser utilizados en condiciones de yacimiento, unos valores altos de medida en el fann 35 daban buen indicio de que a condiciones de yacimiento los fluidos iban a comportarse de manera eficiente y aplicar dentro de la norma establecida por el

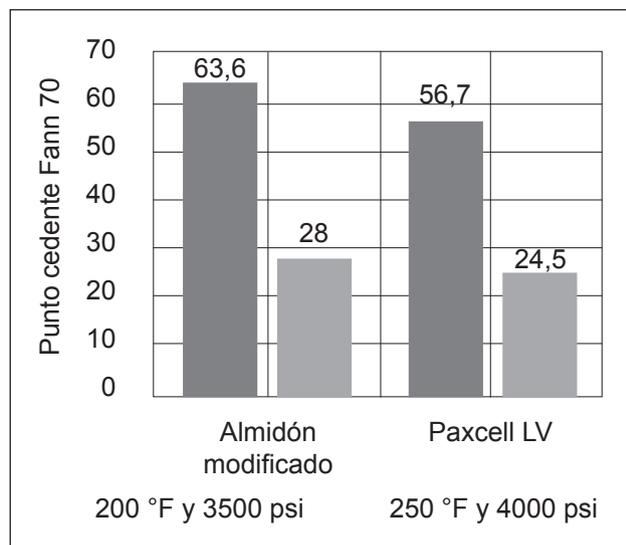
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: FLUIDOS DE PERFORACIÓN

manual de fluidos de perforación del API (American Petroleum institute. (2003). Recommended practice for field testing water-based drilling fluids). En la **Gráfica 5**, **Gráfica 6**, **Gráfica 7**, **Gráfica 8**, y **Gráfica 9**, se presentan los resultados de viscosidad, punto cedente, esfuerzo cedente y resistencia gel a condiciones de yacimiento.

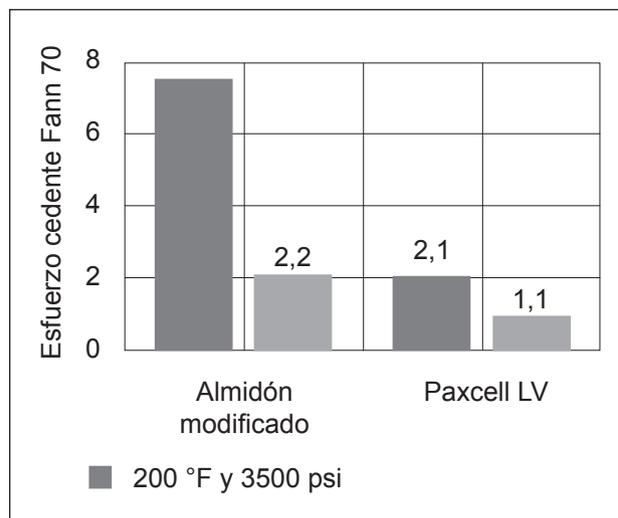
Gráfica 5. Viscosidad plástica a condiciones de yacimiento.



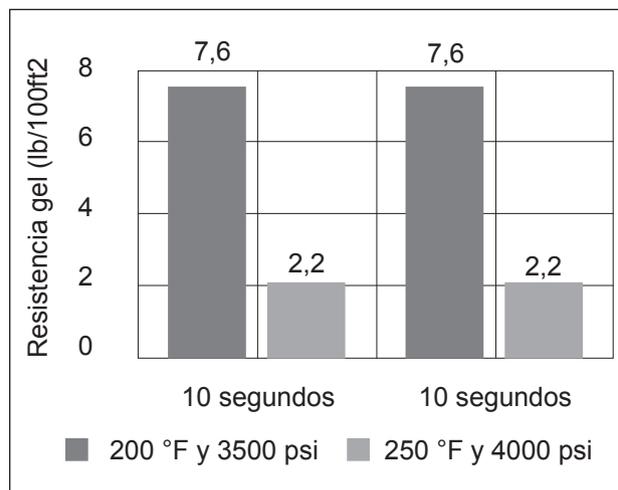
Gráfica 6. Punto cedente a condiciones de yacimiento.



Gráfica 7. Esfuerzo cedente a condiciones de yacimiento.



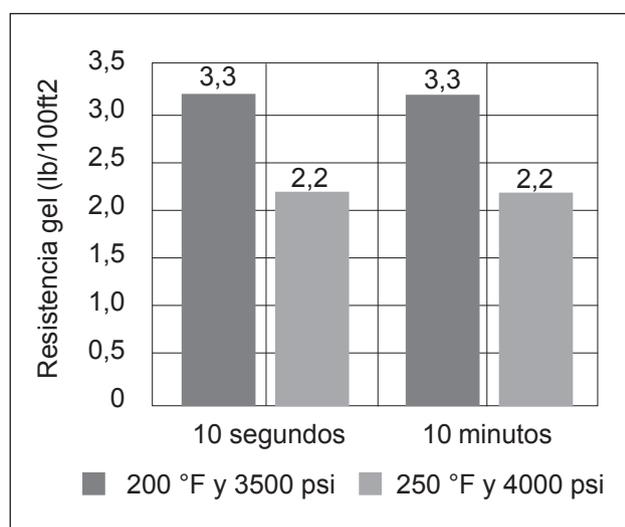
Gráfica 8. Resistencia gel almidón modificado condiciones de yacimiento.



Como se mencionó anteriormente, las propiedades reológicas de los fluidos expuestos a condiciones de alta temperatura y alta presión disminuyeron con respecto al fann 35. Estos resultados pueden ser valores los cuales pueden resultar eficientes a la hora de perforar una zona de yacimiento que presente tales condiciones. Una forma de determinar que los fluidos mejoraron sus características es con el resultado de los geles debido a que se presentan geles planos los cuales no van a generar un gel progresivo que puede generar suabeo o surgencia en

un viaje de tubería. De igual modo, con respecto al esfuerzo cedente, se tienen valores apropiados para la formulación de almidón modificado respecto al manual de fluidos de perforación del API el cual establece un rango óptimo de 6 a 12 lb/100ft².

Gráfica 9. Resistencia gel Paxcell LV a condiciones de yacimiento.



4. CONCLUSIONES

El almidón de yuca modificado presentó mayor resistencia a la temperatura que el almidón nativo a causa del entrecruzamiento y la pregelatinización realizada.

Es factible hacer uso del almidón de yuca modificado como un aditivo controlador de filtra-

do que ayuda a evitar el daño a la formación, en temperaturas comprendidas entre los 80 y 250°F, y presiones comprendidas entre los 0 y 4000 psi; a dichas condiciones el almidón no presentó degradación, por consiguiente el fluido formulado reduce los riesgos de tener problemas de limpieza en el pozo, pegas de tubería, derrumbes, entre otros, los cuales retrasarían la operación y significarían grandes pérdidas económicas.

El desempeño del almidón de yuca modificado como controlador de filtrado es superior al del Paxcell LV con un filtrado HTHP 18% menor.

La formulación que utiliza almidón modificado resultó ser un 19% menos costosa que la que utiliza Paxcell LV.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda aumentar el tiempo de reacción durante el entrecruzamiento con el fin de verificar si mejoran las propiedades del almidón obtenido.

Evaluar la modificación por entrecruzamiento con otros agentes entrecruzantes tales como epiclorhidrina, oxiclóruo de fósforo o trimetafosfato de sodio con el fin de obtener un almidón más estable a la temperatura.

Evaluar el comportamiento y propiedades del lodo formulado al estar expuesto a contaminantes.

BIBLIOGRAFIA

- [1]. Bautista, A. Flórez, E. (2011). Factibilidad del uso del almidón de yuca como aditivo en lodos de perforación. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander UIS. p. 69.
- [2]. Ortega, J. Laines, R. Aparicio, M. (2010). Almidón modificado de plátano: Posible uso en el tratamiento de lixiviados provenientes de rel-
lenos sanitarios. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. p. 90.
- [3]. Ariza, E. Fajardo, A.C. (2011). Factibilidad del uso de almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. *Revista ION, Escuela de ingeniería de petróleos*. p.16.
- [4]. Statpoint Technologies, Inc. (2012). Software Statgraphics Centurion XVI versión de prueba. Disponible: www.statgraphics.net
- [5]. Instituto Americano del Petróleo. (2001). Manual de fluidos de perforación, procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Cap. 22. p.22D-4.
- [6]. American Petroleum institute. (2003). Recommended practice for field testing water-based drilling fluids.