

ALMIDÓN DE CAÑA AGRIA
(*COSTUS SPICATUS*) COMO
ADITIVO CONTROLADOR DE
FILTRADO EN FLUIDOS BASE AGUA
POLIMÉRICOS

AGRIA CADO ALDONT (*COSTUS
SPICATUS*) AS A FILTERING ADDITIVE
IN POLYMERIC WATER-BASED FLUIDS

AGRIA CADO ALDONT (*COSTUS
SPICATUS*) COMO ADITIVO DE
FILTRAGEM EM FLUIDOS
POLIMÉRICOS À BASE DE ÁGUA

Rubén Vega Mejía
Daibrin Guedez Rojas
Betania Romero Guedez

Departamento de ingeniería de
Petróleo, Escuela de Ingeniería y
Ciencias Aplicadas, Universidad de
Oriente. Venezuela,
rvegas@udo.edu.ve,
M21BC7EC@alum.udo.edu.ve,
M20A3EBO@alum.udo.edu.ve

Fecha de Recepción: 7 de julio de 2019
Fecha aprobación: 19 de julio de 2019

Resumen

La industria petrolera ha incorporado productos naturales desde sus inicios para la formulación de fluidos de perforación, como es el caso de los almidones de maíz y papa, a nivel mundial estos productos forman parte de la alimentación diaria, haciéndolo un rubro de exigencia comercial. Es por ello, que a través de esta investigación se analizaron las propiedades del almidón de caña agria (*Costus spicatus*), siendo esta planta de poco uso nacional, bajo costo y de fácil cultivo; con el fin de determinar su capacidad de controlar el filtrado en fluidos de perforación. Se realizaron pruebas químicas y funcionales para la caracterización del mismo, obteniéndose un contenido de almidón de 31%, un pH neutro y un porcentaje de amilosa/amilopectina de 26,36/73,64. Seguidamente, se formularon fluidos de perforación en concentraciones de 2g, 4g, 6g y 8g y se les aplicaron pruebas físicas (Norma API-13B1) comparándose con almidones comerciales. Los mejores valores se obtuvieron para una concentración de 4g. Este fue sometido a las mismas pruebas físicas con incremento de la temperatura (150°F) y se contaminó con cal hidratada. Estadísticamente no presentó diferencias significativas respecto a las propiedades de dos almidones comerciales bajo las mismas condiciones. Se demostró la función del almidón de caña agria como controlador de filtrado.

Palabras clave. amilosa, amilopectina, cal hidratada, pruebas físicas.

Abstract

The oil industry has incorporated natural products since its inception for the formulation of drilling fluids as is the case of maize and potato starches, worldwide these products are part of the daily diet, making it a commercial demanding. That is why, through this research the properties of sour cane starch (*Costus spicatus*) were analyzed, being this plant of little national use, low cost and easy to grow; in order to determine their ability to control filtering in drilling fluids. Chemical and functional tests were carried out for the characterization of the same, obtaining a starch content of 31%, a neutral pH and an amylose/amylopectin percentage of 26.36/73.64. Drilling fluids were then formulated in concentrations of 2g, 4g, 6g and 8g and physical tested (API-13B1) compared to commercial starches. The best values were obtained for a concentration of 4g. It underwent the same physical tests with increased temperature (150oF) and was contaminated with hydrated lime. Statistically, there were no significant differences in the properties of two commercial starches under the same conditions. The function of sour cane starch as a filter controller was demonstrated.

Keywords. Amylose, amylopectin, hydrated lime, physical tests.

Resumo

A indústria do petróleo incorporou produtos naturais desde a sua criação para a formulação de fluidos de perfuração, como é

o caso do milho e amidos de batata, em todo o mundo estes produtos fazem parte da dieta, tornando-se um exigente comercial. É por isso que, através desta pesquisa, foram analisadas como propriedades fazem amido de cana-de-queda azeda (*Costus spicatus*), sendo esta planta de utilidade pouca nacional, baixo custo e fácil de cultivar; A fim de determinar sua capacidade de controlar a filtragem em fluidos de perfuração. Foram realizados testes e funcionais para a caracterização do mesmo, obtendo um teor de amido de 31%, um pH neutro e um percentual de amilose/amilopectin a 26,36/73,64. Os fluidos de perfuração foram então formulados em concentrações de 2g, 4g, 6g e 8g e testes físicos (API-13B1) em com comparação amidos comerciais. Os melhores valores obtidos foram para uma concentração de 4g. Submeteu-se aos mesmos testículos físicos com temperatura aumentada (150oF) e foi contaminado com o limão hidratado. Estatisticamente, não houve diferenças significativas nas propriedades de dois amidos comerciais como mesmas condições. A função do amido ácido do bastão como um controlador do filtro foi demonstrada.

Palavras chaves: amylose, amila, limão hidratado, testes físicos.

Introducción

Durante las operaciones de perforación, se altera el equilibrio físico- químico de la formación, generando un diferencial de presión que puede causar inestabilidad en las

paredes del hoyo. La sobrepresión necesaria para controlar las presiones de los pozos, inducen la invasión de partículas sólidas del fluido de perforación y de filtrado líquido, en la región cercana al pozo (PDVSA-CIED, 2002). Es por eso, que la planeación de un pozo incluye el empleo de un fluido de perforación específico, cuyas funciones esenciales están relacionadas con sus propiedades físico-químicas y con el tipo de formación que se estima penetrar (Santoyo & Morales, 1993).

El éxito de las operaciones de perforación depende de la correcta selección y monitoreo del sistema de fluido de perforación. Teniendo en cuenta los factores tecnoeconómicos y ambientales, la perforación exitosa de un pozo depende en gran medida del sistema de fluidos de perforación (Ademiluyi, Joel, & Amuda, 2011). La selección del tipo y la naturaleza del fluido de perforación y los aditivos depende del entorno de perforación, la complejidad de la operación de perforación, las restricciones ambientales, las limitaciones técnicas, etc. La consideración económica también juega un papel importante en la selección de diferentes aditivos para lodo. Sin embargo, si la ventaja económica se ve compensada por limitaciones técnicas, el costo del producto no es un factor decisivo (Amanullah & Yu, 2004).

La industria petrolera utiliza diferentes tipos de productos químicos y polímeros para diseñar un fluido de perforación que cumpla con los requisitos funcionales esperados, como la reología adecuada, la densidad y el

filtrado (Amanullah, Marsden, & Shaw, 1993). Los materiales de almidón se utilizan predominantemente como coloides protectores efectivos, lo que disminuye la filtración de prácticamente todos los tipos de agua que dispersan los fluidos de perforación con el impacto en el tipo de sal utilizada y además aumenta la viscosidad de los fluidos de perforación (Ademiluyi, Joel, & Amuda, 2011).

El almidón más empleado en la industria petrolera para controlar filtrado es el almidón de maíz, es decir que proviene de un cereal consumido a gran escala por los seres humanos. El maíz (*Zea mays*) es uno de los tres cereales (junto con el trigo y el arroz) más importantes del mundo. Actualmente se produce en casi 100 millones de hectáreas en 125 países en desarrollo y se encuentra entre los tres cultivos más sembrados en 75 de esos países (Food and Agriculture Organization (FAO), 2010). En tal sentido, su excesivo consumo en las distintas industrias ha provocado su disminución y alto costo, porque actualmente en el país no se encuentra almidón de maíz, este aditivo es importado y suministrado por las empresas prestadoras de servicios petroleros, impactando en los costos de producción debido a que existen diversas variaciones de él y por ende de su calidad (Perozo et al., 2010).

En concordancia con lo descrito, el almidón puede obtenerse además de cereales como maíz, trigo y arroz, de tubérculos (papa y ocumo) y raíces (Acosta & Blanco, 2013). En

tal sentido, la planta de caña agria (*Costus spicatus*) carece de uso tanto ornamental como de consumo y de su rizoma es posible elaborar un almidón debido a la presencia de polisacáridos en él. Así en el presente trabajo surgió la pregunta, si dicho almidón puede ser un agente controlador de filtrado y contribuir en la reducción de la demanda de almidón de maíz y papa en el ámbito petrolero.

Con base a lo anterior, se planteó evaluar un nuevo aditivo proveniente de la caña agria (*Costus spicatus*) que desarrolle un revoque delgado, flexible y de baja permeabilidad capaz de mantener sus propiedades durante todo el proceso de circulación en el pozo, con el fin reducir la filtración en la formación y evitar problemas de estabilidad en el pozo; aunado a la reducción de costos que representaría puesto que esta planta suele crecer y adaptarse a diferentes ambientes sin presentar mayores problemas ni afectar la producción de los rizomas.

Materiales y métodos

La investigación dio inicio con la recolección de la planta de caña agria (*Costus spicatus*), en Morichales aledaños a la Universidad de Oriente-Núcleo de Monagas, posteriormente en el laboratorio de fluidos de perforación de dicha casa de estudio, se pelaron y cortaron en trozos los rizomas para obtener el almidón a partir del procedimiento de Pinzón, & Sánchez, (2013). Luego se procedió a su caracterización aplicando las pruebas químicas y funcionales: identificación del almidón de caña agria con iodo a través de la norma COVENIN 920-90 (Comisión

Venezolana de Normas Industriales, 1990), absorción de agua por el método de Hernández, Tocurro, & Guerrero, (2008), Amilosa-amilo pectina (García et al., 2013), pH: Norma COVENIN 920-90, (1990), Contenido de dextrosa: Norma COVENIN 920-90, (1990). Densidad mediante la técnica empleada por Aristizábal et al, 2007, Contenido de almidón: Norma COVENIN 920-90, (1990) y finalmente se observó se identificó el almidón al microscopio: Norma COVENIN 920-90, (1990).

Seguidamente mediante balance de masas y a partir de la gravedad específica (GE) de cada aditivo se formularon 7 fluidos base agua poliméricos, los cuales fueron: un blanco (sin controlador de filtrado), cuatro con almidón de caña agria variando la concentración del almidón en 2 lpb, 4 lpb, 6 lpb y 8 lpb; y dos con almidones comerciales (2 lpb cada uno). En la Tabla 1 se contempla la formulación empleada para la elaboración de dichos fluidos a una densidad de 10 lpg.

Tabla 1. Formulación del fluido base agua para la elaboración de las muestras

Aditivo	G.E	Concentración (lpb)	Volumen (mL)
GomaXántica	1,5	2,00	1,33
Glicol	1,0	7,00	6,98
Almidón	1,04	Según fluido	4,81
Gasoil	0,86	28,00	32,56
Soda cáustica 98%	2,18	0,50	0,23
Agua	1	260,81	260,81
Carbonato	2,7	116,86	43,28

Fuente: autores

Partiendo de la elaboración de los distintos fluidos, se procedió a la realización de las pruebas físicas según la norma API 13-B1 (American Petroleum Institute (API), 2009). Las pruebas mencionadas anteriormente estuvieron comprendidas por: viscosidad plástica, punto cedente, esfuerzo de gel (10 s y 10 min) y filtrado.

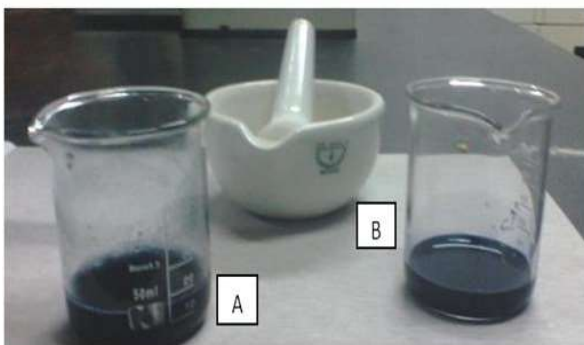
Estudiado el comportamiento de los fluidos con almidón de caña agria se seleccionó el que presentó mejores propiedades físicas, y junto con las muestras comerciales, se sometieron a un proceso de envejecimiento dinámico a 150 °F durante 16 horas continuas. De esta forma se evaluaron los cambios en las propiedades físicas de los fluidos por efecto de la temperatura. Adicionalmente, se contaminaron con 0,7 g de cal y se sometieron nuevamente a envejecimiento dinámico a las mismas condiciones anteriores. La metodología empleada para el cumplimiento de esta fase fue la utilizada por León, Castro, & Gómez (2013).

En esta etapa se empleó un diseño experimental aleatorio simple, mediante la aplicación de una ANOVA ($\alpha=0,05$) y el test de Duncan que permitieron establecer si existían diferencias estadísticas significativas entre cada propiedad de los fluidos comerciales y el mejor fluido con almidón de caña agria. Para ello se prepararon tres barriles de laboratorio de cada fluido lo que permitió repetir cada prueba física en iguales veces.

Resultados y discusión

De acuerdo a la metodología planteada, inicialmente se procedió a la identificación de los almidones con yodo (Fig. 1), se observa que las muestras de almidón de caña agria (A) y maíz comercial (B) presentaron una coloración entre azul y púrpura, debido a la reacción de la amilosa contenida en el almidón al unirse con las moléculas de yodo pertenecientes al lugol (Aguilar et al., 2014), de igual forma el autor expresa que esto ocurre debido a que la amilosa es una estructura lineal que forman hélices que le permite unirse al yodo formando un color azul oscuro, a diferencia de la amilopectina que al ser una estructura ramificada y corta son incapaces de mezclarse con el yodo. Cabe destacar, que la coloración presentada es solo un indicativo de la presencia de almidón y no de la calidad del mismo.

Fig. 1. Identificación de almidón con yodo. A. Caña Agria (Nativo) y B. Maíz (Comercial)



Fuente: Autores

Al observar el almidón de caña agria en el microscopio, este presentó gránulos sin forma definida, es decir, amorfos e irregulares. Los mismos no se asemejan a ningún almidón conocido (Fig.2), aunque la estructura es

típica para almidones, debido que aproximadamente el 70% de la masa de un almidón se considera amorfa y el 30% cristalino (Brumovsky, 2014). El autor anteriormente citado a su vez expresa que en las zonas amorfas se localiza la mayor parte de la amilosa, aunque también una fracción considerable de la amilopectina. A partir de esto es atribuible que el almidón nativo en estudio presenta una forma indefinida en sus gránulos debido al contenido de amilosa que posee.

Fig.2. Gránulos de almidón de caña agria en el microscopio óptico.



Fuente: Autores

En relación a los resultados obtenidos para el pH (Tabla 2), el almidón nativo su valor fue de 7,22, quedando fuera del rango estipulado de 6,0-6,5 para almidones nativos (Aristizabal & Sánchez, 2007). Además, presentó una basicidad poco característica para este tipo de producto. Muchos almidones tienen una base ácida, constituyendo una limitante en cuanto a su uso ya que son sensibles al pH, a la temperatura y a los esfuerzos de corte extremos (Rivas et al., 2008).

El potencial de hidrogeno obtenido para el almidón de caña agría es cercano al almidón de ñame de 7,19 pero difiere del almidón de maíz el cual tiene un pH de 6,57 (Acosta & Blanco, 2013). Esta particularidad reflejada por el almidón de caña agría es posible que contribuya al menor uso de soda caústica en la formulación del fluido, permitiendo así alcanzar un pH que evite problemas de corrosión y contaminación (PDVSA-CIED, 2002).

Tabla 2. Propiedades químicas y densidad del almidón caña agría

pH	Densidad del almidón	Amilosa/Amilopectina	Contenido de almidón
7,22	0,64	26,36/73,64	31%

Fuente: Autores

La densidad reflejada por el almidón de caña agría representó un valor bajo. Según Aristizabal & Sánchez, (2007) el almidón debe tener una densidad promedio de 1,560 g/mL. El resultado obtenido se debió a que el almidón no es 100% puro y los demás compuestos que posee afectan dicho valor. Es por ello, que quizás sea necesaria la incorporación de una mayor cantidad de almidón nativo en los fluidos de perforación al momento de formular.

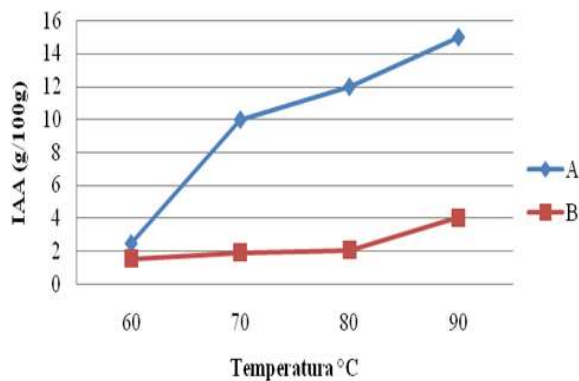
El contenido de almidón nativo de caña agría correspondió a 31%. Este valor resultó bajo respecto a otros almidones, como es el caso del almidón de maíz cuyo contenido es de 70 a 80% de almidón (Acevedo et al., 2007). Por

otra parte, el almidón de achira posee entre 71,1 a 81,3% (León et al., 2013). El comportamiento reflejado por el almidón de caña agría puede atribuirse al método de extracción empleado. El porcentaje restante de la muestra de almidón lo integra una composición proximal de proteína cruda, humedad, grasa cruda, fibra cruda y carbohidratos (Hernández et al., 2008).

La relación amilosa-amilopectina presente en el almidón de caña agría es similar a la que poseen los almidones de maíz y yuca; porcentajes que corresponden a 25,97/74,03 y 27,15/72,85 respectivamente (Acosta & Blanco, 2013) y en el caso del almidón de caña agría fue de 26,36/73,64. Por lo que se puede inferir que al comparar estos almidones y dado la importancia de esta propiedad en un almidón como aditivo en los fluidos de perforación, el almidón caña agría tiene la capacidad de formar películas fuertes y flexibles necesarias para la formación de un buen revoque y reducción de filtrado.

Concerniente al índice de absorción de agua (IAA), el almidón de caña agría (Figura 3), presentó resistencia al hinchamiento entre los 60 y 80 °C (línea casi horizontal), indicativo de necesitar mayores temperaturas de gelatinización, ello debido al contenido de amilosa que la constituye (26,36%). Cabe destacar que el poder de hinchamiento de los almidones es atribuido al contenido de amilopectina, siendo la amilosa un diluyente e inhibidor del hinchamiento (García et al., 2013).

Fig. 3. Índice de absorción de agua (IAA) de: almidón caña Agria (B) y almidón comercial de maíz (A).



Fuente: Autores

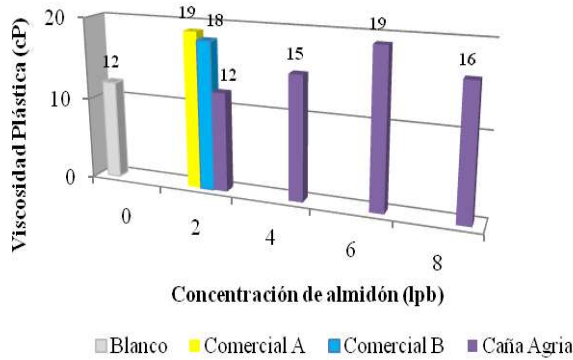
El almidón en estudio mostró una presencia de amilosa cercana al de maíz, aunque su comportamiento difiere, mientras el almidón de maíz aumenta su IAA hasta los 15 g/100g a 90°C, el almidón de caña agria solo alcanzó los 4 g/100g a la misma temperatura. Esto ocurre porque la muestra de almidón de caña agria reflejó bajo contenido de almidón (31%), dificultando la ruptura de los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amorfas, que permiten una absorción irreversible y progresiva del agua (Hernández et al.; 2008).

Caracterizado el almidón, se procedió al estudio de las propiedades físicas de los fluidos propuestos. En tal sentido, en el fluido con almidón de caña agria se generó un incremento de la viscosidad plástica a medida que aumentó la concentración del mismo (Figura 4), ello como resultado de la fricción mecánica de los sólidos en suspensión y la viscosidad de la fase continua.

También se observa, que la viscosidad plástica de los fluidos en estudio se mantuvo por debajo del doble del peso del fluido (10 lpg). Los fluidos con concentraciones de 2lpb y 4lpb de caña agria fueron los que reflejaron valores menores en comparación con los fluidos con almidón comercial, cumpliendo así con el criterio que establece que la viscosidad plástica debe mantenerse en los niveles más bajos posibles para evitar cambios repentinos en la presión durante la perforación (Prieto, 2007).

Igualmente se aprecia que a partir de la adición de 8 lpb, el fluido presentó una disminución de la viscosidad plástica, lo que indica su poca estabilidad como viscosificante, porque a medida que aumentan los sólidos en suspensión dicha viscosidad debería aumentar. Este comportamiento es atribuible a la cantidad, tipo y tamaño de los sólidos presentes en el fluido, factores que afectan directamente a la viscosidad plástica. Destacando también que el aceite emulsionado en los fluidos base agua se comporta como un sólido suspendido e influye en el aumento de la viscosidad plástica de estos fluidos. (Prieto, 2007). En la formulación para las muestras se utilizó gasoil, por lo que puede atribuírsele este aumento de viscosidad y luego la leve declinación en la misma.

Fig. 4. Viscosidad plástica de las muestras de fluidos de perforación base aguas analizadas

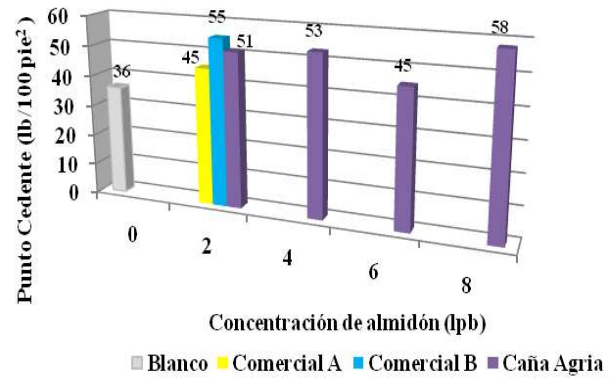


Fuente: Autores

Las muestras de fluidos con almidón comercial y almidón de caña agria reflejaron valores de punto cedente mayor a la viscosidad plástica. El valor del punto cedente debe ser igual o un poco mayor al peso del fluido (10lpb) (Prieto, 2007). Además, el comportamiento descrito se debió a que se estuvo en presencia de fluidos poliméricos, cuyo punto cedente suele ser mayor a la viscosidad plástica, es decir, fluidos de reología inversa (CIED, 2002).

Estos resultados también son atribuibles al contenido de carbonato presente en la formulación, el cual aumenta el punto cedente, pero para este caso, sin llegar al estado de floculación del fluido (Abreu, 2012).

Fig. 5. Punto Cedente de las muestras de fluidos de perforación base aguas analizadas

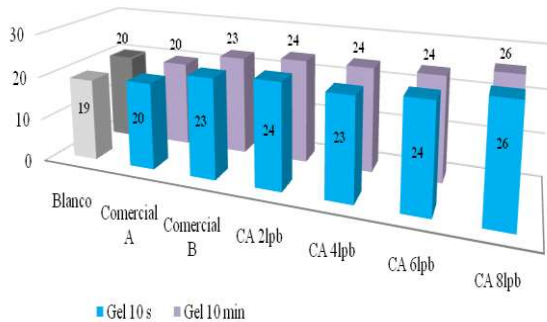


Fuente: Autores

Se puede observar (Figura 5) que los valores de punto cedente de los fluidos preparados con caña agria difieren en poco al comportamiento obtenido de los fluidos con almidón comercial, siendo para el caso del fluido con almidón comercial A y el fluido con una concentración de 6lpb de caña agria iguales (45lb/100 pie²). Esta característica de alto punto cedente que presentaron los fluidos en estudio, no los hace descartables ya que en campo cuando se perfora un hoyo de diámetro grande, el punto cedente en el fluido de perforación debe ser alto con el propósito de beneficiar una limpieza eficiente del pozo, aunque sin alejarse demasiado de los límites establecidos debido a que un alto valor de punto cedente, podría acarrear pérdidas de presión mientras el fluido está siendo circulando (Perfoblogger, 2015).

Los valores de gel inicial y final de los fluidos presentaron un esfuerzo de gel plano (Figura 6), comportamiento que es común en sistemas viscoelásticos (Prieto, 2007). El contenido de carbonato usado en la formulación conduce a generar los valores de gel reflejados, así como también incide en el punto cedente. Por tanto, las propiedades antes mencionadas son afectadas por este tipo de sólido reactivo.

Fig. 6. Esfuerzos de gel (lb/100pies²) de los fluidos de perforación base agua en estudio.



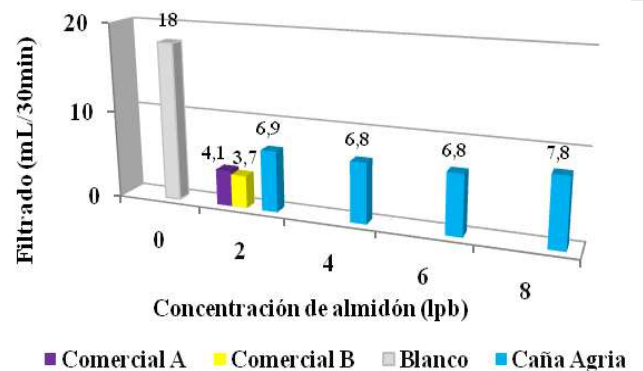
Fuente: Autores

Sin embargo, Prieto (2007) explica que se debe tomar en cuenta que estos valores de gel deben permanecer lo suficientemente bajos para permitir, en el caso de un proceso de perforación, disminuir el efecto de suabeo al sacar tubería, permitir el desprendimiento del gas, lograr el buen funcionamiento de las bombas del taladro, entre otros.

Los fluidos con almidón de caña agria mostraron valores que se asemejan a fluidos viscoelásticos densificados, donde los valores de gel deben ser mayores a 15 (CIED, 2009). Exhibiendo una buena fuerza de atracción en sus partículas, indicativo que el fluido en reposo tiene una buena capacidad de suspensión de ripios.

Referente al filtrado, las muestras con almidón de caña agria reflejan un comportamiento fluctuante, no característico para esta propiedad donde al agregar mayor cantidad de almidón se debería disminuir el filtrado. A pesar del comportamiento descrito, los valores de filtrado obtenidos están dentro del rango de aceptación en laboratorio para este tipo de fluido, es decir, menores a 10mL/30min (Samán Tecnología Integral en Petróleo, 2007) y dichos resultados se encuentran por debajo del valor obtenido por el fluido blanco (sin controlador de filtrado), reflejando una eficiencia aproximada de 61% respecto a éste, lo que corrobora su función como controlador de filtrado.

Fig. 7. Filtrado de las muestras de fluidos de perforación base agua analizada.



Fuente: autores

Cabe destacar que el almidón de caña agria es nativo, es decir, puro sin modificación química y al compararse con los almidones comerciales se observa que tiene un rendimiento más bajo, ya que estos aditivos reflejan un filtrado mucho menor que se debe a que son pregelatinizados. Lo descrito puede deberse al comportamiento obtenido en el IAA y el bajo contenido de almidón

encontrado, lo cual es un indicativo de que el filtrado obtenido fue producto de los sólidos y no del incremento de la viscosidad como segunda función del almidón dentro del fluido.

Finalmente, debido a los resultados obtenidos, se seleccionó el fluido con la concentración de 4 g de almidón de caña agría como muestra para ser envejecida y contaminada con cal. Así aplicado el estudio estadístico de ANOVA y Test de Duncan, se detalla (Tabla 8) que no existen diferencias estadísticas significativas (Letras iguales) en las propiedades de viscosidad plástica, punto cedente, gel 10 s y gel 10 min, cuando los fluidos son envejecidos a 150 °F, difiriendo solo en el filtrado. No obstante, el valor obtenido para caña agría el cual fue el mayor de los tres (7,3 mL/ 30 min) puede considerarse a nivel de laboratorio como aceptable por estar por debajo de los 10 mL/ 30 min.

Tabla 3. Valores promedios de las propiedades físicas de los fluidos sometidos a envejecimiento dinámico y Test de Duncan

Concentración Propiedad	Comercial A	Comercial B	Caña agría 4 g
Viscosidad Plástica (cP)	16 (A)	16 (A)	16 (A)
Punto Cedente (lb/100 pie ²)	43 (A)	45 (A)	47 (A)
Gel 10 s (lb/100 pie ²)	21 (A)	23 (A)	23 (A)
Gel 10 min (lb/100 pie ²)	21 (A)	23 (A)	23 (A)
Filtrado (mL/30min)	4,6 (A)	4,9 (A)	7,3 (B)

Nota: letras distintas señalan diferencias estadísticas significativas.
Fuente: Autores.

Igual comportamiento se observó cuando los fluidos fueron contaminados con cal y sometidos a envejecimiento dinámico. Otra vez no existen diferencias estadísticas significativas en las propiedades de viscosidad plástica, punto cedente, gel 10 s y gel 10 min, existiendo solo en el filtrado. Nuevamente el mayor valor lo obtuvo el fluido con almidón de caña agría (6,5 mL/ 30 min) considerándose aceptable por las razones explicadas anteriormente.

Tabla 4. Valores promedios de las propiedades físicas de los fluidos sometidos a envejecimiento dinámico, contaminado con cal y Test de Duncan

Concentración Propiedad	Comercial A	Comercial B	Caña agría 4 g
Viscosidad Plástica (cP)	21 (A)	21 (A)	20 (A)
Punto Cedente (lb/100 pie ²)	51 (A)	54 (A)	59 (A)
Gel 10 s (lb/100 pie ²)	23 (A)	25 (A)	25 (A)
Gel 10 min (lb/100 pie ²)	24 (A)	25 (A)	25 (A)
Filtrado (mL/30min)	4,2 (A)	4,1 (A)	6,5 (B)

Nota: letras distintas señalan diferencias estadísticas significativa

Fuente: autores

De acuerdo a los resultados obtenidos, se infiere, que los mismos fueron favorables y que el almidón en estudio compite con los comerciales en relación a propiedades después de ser sometidos a efectos de temperatura y contaminación con cal. A pesar de no presentarse diferencias

estadísticas significativas en la mayoría de las propiedades, al comparar el valor de las medias obtenidas, se observa que, en el caso de las muestras de almidón comerciales después de ser sometidos a envejecimiento dinámico, presentaron una disminución de la viscosidad plástica, mientras que el almidón nativo reflejó un leve aumento. El comportamiento anterior es un indicativo de buena resistencia a altas temperaturas (150°F).

Los valores de filtrado obtenidos para todos los fluidos tuvieron un leve aumento, debido a la disminución de la viscosidad plástica en ambos tipos de fluidos. Astroth, (2011) al respecto expone que al no tener la presencia de una mayor viscosidad el volumen de filtrado no disminuye, sino que aumenta.

Igualmente, se observa una disminución del punto cedente para los fluidos tanto con almidón comercial como almidón nativo, demostrando la buena fuerza de atracción y la resistencia de los fluidos al aumento de temperatura y presión. En el caso del almidón nativo en estudio se aprecia que, a condiciones de presión y temperatura de campo, el valor de punto cedente del fluido mejora sus propiedades, presentando valores similares al de los fluidos con aditivos comerciales.

Los esfuerzos de gel se mantuvieron planos para todas las muestras, debido a esto se puede indicar que el fluido con almidón de caña agria ofrece la capacidad de mantener su tixotropía a pesar de estar sometido a las

condiciones ya mencionadas, debido a que su capacidad de suspensión no fue afectada teniendo una buena atracción de sus partículas en estado de reposo.

El comportamiento mostrado por los fluidos al ser contaminados se debió a que el agua presente en los fluidos formulados reaccionó con los componentes presentes en el cemento generando ciertas cantidades de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Dando como resultado un aumento de los sólidos en suspensión y a su vez un aumento en las propiedades físicas como la viscosidad plástica, punto cedente y fuerza de gel, los cuales son dependientes de la cantidad de partículas sólidas contenidas en el fluido.

Normalmente cuando un fluido es contaminado por cal hidratada sufre un aumento en el filtrado, caso contrario ocurrido en el fluido con almidón de caña agria, el cual presentó una disminución de filtrado comparándose con este mismo sin ser sometido a contaminación. Esta tendencia es efecto del aumento de viscosidad y de la buena capacidad de dicho almidón para el control de filtrado en fluidos base agua aun siendo estos expuestos a contaminación.

Finalizado el estudio se observó que los resultados de las pruebas muestran que los valores reológicos disminuyeron al someterse los fluidos a pruebas de envejecimiento, coincidiendo con los estudios previos de Joel & Nwokoye, (2010) y Ademiluyi, Joel, & Amuda, (2011). La muestra de almidón seleccionada se mostró térmicamente

estable a la temperatura de 150 °C, concordando con el estudio de Amanullah & Yu, (2004), los cuales exponen que es la máxima temperatura que soportan los almidones nuevos. Igualmente, la concentración seleccionada está dentro del rango de concentración de trabajo de 2-8 lpb para la mayoría de nuevos productos de almidón empleados para el control de filtrado sugerido por Amanullah & Yu, (2004).

Conclusiones

El contenido de almidón de caña agria (*Costus spicatus*), es bajo, comportamiento atribuible al método de obtención empleado.

Ademas, presentó un pH neutro, ocasionando un aumento del uso de soda cáustica en los fluidos base agua formulados.

Los almidones comerciales utilizados para comparar poseen mejor eficiencia en la reducción del filtrado que el almidón en estudio.

La concentración de almidón de caña agria que presentó mejores propiedades físicas como controlador de filtrado, fue el fluido formulado a 4 lpb.

El almidón de caña agria demostró su función como controlador de filtrado antes y después del proceso de envejecimiento dinámico.

El fluido con almidón caña agria contaminado con cal hidratada posee un buen desempeño al ser expuesto ante sólidos reactivos.

El análisis ANOVA realizado a los fluidos después de ser sometidos a envejecimiento y contaminación condujeron a establecer que no existen diferencias estadísticas significativas entre las propiedades físicas de los fluidos con almidón comercial y el fluido con almidón de caña agria excepto en el filtrado.

Referencias

- Abreu, L. (2012). Formulación de un sistema de fluido de perforación base agua y glicol resistente a rangos elevados de temperatura. Trabajo de grado no publicado. Maturín: Univesidad de Oriente.
- Acosta, A., & Blanco, C. (2013). Obtención y caracterización de almidones colombianos para su evaluación como posibles alternativas en la industria alimentaria. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Cartagena, Cartagena de Indias.
- Ademiluyi, T., Joel, O. F., & Amuda, A. (2011). Investigation of local polymer (cassava starches) as a substitute for imported sample in viscosity and fluid loss control of water based drilling MUD. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6 (12), 43-48.
- Amanullah, M., Marsden, J., & Shaw, H. (1993). An Experimental Study of the Swelling Behaviour of Mudrocks in the Presence of Drilling Mud Systems. *Canadian Journal of Petroleum Tech*, 36 (3), 45-50.

- American Petroleum Institute. (2009). Recommended practice for field testing water based fluids drilling fluids. API RP 13B-1. Nueva York: API.
- Aristizabal, J., & Sánchez, T. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO . Roma: Food And Agriculture Organization.
- Astroth, L. (2011). Ingeniería Petrolera. Recuperado el 2018 de Abril, de Fluidos de perforacion. : <http://ingpetroleraemi.blogspot.com/2011/07/fluidos-de-perforacion.html>.
- Brumovsky, L. (2014). Química del almidón. Posadas: Universidad Nacional de Misiones.
- Comisión Venezolana de Normas Industriales. (1990). Almidón de maíz no modificado. COVENIN 920-90. Caracas: Fondonorma.
- Comité Venezolano de Normas Industriales. (1990). Almidón de maíz no modificado. COVENIN 920-90. Caracas: Fondonorma.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2010). Recuperado el ENERO de 2018, de FAOSTAT: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx>.
- PDVSA-CIED. (2002). Fluidos de perforación. Caracas: Centro Internaxional de Educación y Desarrollo.
- Perfoblogger. (2015). Perfoblogger . Recuperado el Marzo de 2018, de ¿Qué es el Punto Cedente?: <http://perfob.blogspot.com/2015/07/que-es-el-punto-cedente.html>.
- Prieto, A. (2007). Tecnología de los fluidos de perforación . Maracaibo: APOCA.
- Samán Tecnología Integral en Petróleo. (2007). Manual de calidad de fluidos de perforación. Maturín: S.E.
- Santoyo, S., & Morales, J. (1993). Aditivos poliméricos para fluidos de perforación de pozos geotérmicos. Geofísica Internacional, 32 (2), 341-350.