

## Control de filtrado de fluidos de perforación petrolero de bajo impacto ambiental mediante el uso de almidón de yuca

### *Low environmental impact oil drilling fluid filtration control using cassava starch*

Fausto Ramos Aguirre<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8725-1878>  
Olga Chadrina<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-5134-129X>  
Fausto Freire Carrera<sup>1\*</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-4307-5048>  
Jonathan Guaquipana Paredes<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-3531-4870>  
Henry Romero Cortez<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-2848-3502>

Recibido 20 de diciembre de 2021, aceptado 11 de enero de 2023  
*Received: December 20, 2021 Accepted: January 11, 2023*

### RESUMEN

El filtrado de fluidos durante las perforaciones petroleros es una anomalía técnica que conlleva a pérdidas debido a una extracción inadecuada y por el desplazamiento del petróleo dentro del pozo, actualmente existen un sin número de controladores de filtrado, sin embargo, los mismos resultan altamente costosos. En los últimos años se ha usado el almidón de yuca (*Manihot esculatum*) por sus propiedades físico-químicas, resultando una alternativa sustentable. Por lo tanto, el propósito de esta investigación fue obtener y evaluar un controlador de filtrado para fluidos de perforación de pozos petroleros, en base a almidón de yuca. Para ello se realizaron pruebas de control de filtrado y reología usando como tratamiento almidón de yuca nativa fermentada y las mismas fueron analizadas y comparadas con norma de Especificación API 13A 18ª edición, para fluidos de perforación. Los resultados obtenidos muestran que el controlador de filtrado a una concentración de 10 lb/1bl H<sub>2</sub>O, mantiene valores mínimos de reología que no afectan al controlador, con valores similares a los estándares usado para fluidos de perforación, sin embargo la hidrólisis del almidón no fue eficiente para mejorar sus cualidades, dado que mayor tiempo del control del filtrado es menos eficiente y el fluido incrementa la acidez, afectando sus propiedades reológicas, el uso del almidón de yuca es una alternativa para el control de filtrado de fluidos de perforación con mínimo impacto ambiental, al no poseer el almidón de yuca, componentes tóxicos para la fauna y flora de ecosistema intervenido.

Palabras clave: Hidrocarburos, impacto ambiental, reología.

### ABSTRACT

*Fluid filtration during oil drilling is a technical anomaly resulting in losses due to inadequate extraction and displacement of oil within the well; currently, there are several filtration controllers, although they are quite expensive. In recent years, cassava starch (Manihot esculatum) has been used for its physical-chemical properties, resulting in a sustainable alternative. Therefore, this research aimed to obtain and evaluate a filtering controller for oil well drilling fluids based on cassava starch. For this purpose, filtrate and rheology control tests were carried out using fermented native cassava starch as treatment. These were*

<sup>1</sup> Universidad UTE. Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias. Bourgeois y Rumipamba, Quito, Ecuador.  
E-mail: fausto.ramos@ute.edu.ec; olga.chadrina@ute.edu.ec; ffreire@ute.edu.ec; jguaquipana@orionecuador.com; hromero@ccdc-ec.com

\* Autor de correspondencia: ffreire@ute.edu.ec

*analyzed and compared with API Specification 13A 18th edition, for drilling fluids. The results obtained show that the filtrate controller at a concentration of 10 lb/1bl H<sub>2</sub>O maintains minimum rheology values that do not affect the controller, with values similar to the standards used for drilling fluids; however, the hydrolysis of the starch was not efficient to improve its qualities, Since the filtrate control time is less efficient and the fluid increases the acidity, affecting its rheological properties, the use of cassava starch is an alternative for the filtrate control of drilling fluids with minimum environmental impact since cassava starch does not have toxic components for the fauna and flora of the intervened ecosystem.*

*Keywords: Hydrocarbons, environmental impact, rheology.*

## INTRODUCCIÓN

En la industria petrolera la búsqueda de nuevos yacimientos petroleros es una actividad que tiene distintas características a considerar, durante el proceso de perforación de pozos se debe controlar la temperatura y presión, por medio de los fluidos de perforación que presenta características físicas y químicas, adecuadas para garantizar su buen desarrollo y controlar de forma efectiva la invasión del filtrado hacia los pozos petroleros [1, 2].

El filtrado de los fluidos de perforación es uno de los factores que afecta en gran medida la productividad de la formación, ocasionando el taponamiento del medio poroso, bloqueos por agua, alteración de la permeabilidad, formación de emulsiones y el hinchamiento de las arcillas [3, 4], lo cual impide una adecuada extracción del petróleo dentro del pozo, lo que ocasiona, pérdida de tiempo e incremento de los costos durante el proceso de extracción.

El fenómeno de filtrado, se incrementa considerablemente en aquellas rocas con alta permeabilidad, las cuales permiten que se produzca grandes pérdidas de fluido, por lo que es de gran importancia que el valor de filtrado sea reducido al mínimo, para que el control de filtrado sea eficiente, es necesario contar con controladores de filtrado que garanticen un buen sellado en las zonas permeables e impedir una pérdida excesiva del mismo [5, 6].

Según [7, 8] un control de filtrado ineficiente conllevan a: daños a la formación causados por la invasión de filtrado y sólidos; prueba invalida de muestreo del fluido de la formación; Inestabilidad de la formación; dificultades en la evaluación de la formación causados por la invasión excesiva de filtrado, mala transmisión de las propiedades eléctricas a través de revoques gruesos y posibles

problemas mecánicos al bajar y recuperar las herramientas de registro; todos estos problemas pueden conllevar a mediciones erróneas durante la extracción de los yacimientos petroleros, ocasionando que las zonas de crudo y gas pueden pasar desapercibidas porque el filtrado está desplazando a los hidrocarburos, alejándolos del pozo.

Para que los fluidos de perforación presenten un mínimo de filtración posible y se reduzca la invasión hacia la formación, se debe considerar que la tasa de filtración depende de la capacidad que tiene el fluido para formar el revoque en las secciones del pozo, por lo que es necesario añadir aditivos que mantengan las funciones del fluido de perforación, lo que permite el control efectiva de las pérdida del mismo por filtración [9, 10].

Para el control del filtrado en pozo petrolero, se han desarrollado diferentes alternativas tecnológicas como el mejoramiento de los fluidos usados en la perforación petrolera como el uso de nanopartículas para mejorar el desempeño de los fluidos de perforación [11, 12, 13, 14]. Así mismo se han desarrollado una gran gama de aditivos como granitos, materiales asfálticos, carbonato de calcio, y polímeros para control de filtrado [15, 16], los cuales pueden resultar costosos por lo que se deben desarrollar procesos basados en la biotecnología para buscar desarrollar aditivos para el control del filtrado con recursos locales.

En tal sentido el uso de almidón de yuca como controlador de filtrado resulta promisorio, dado que la adición de almidones en los fluidos de perforación base agua no solo ayudan a controlar el volumen de filtrado sino que permiten que el lodo se estabilice, debido a que al entrar en contacto con el mismo, las partículas del almidón se expanden de tal manera que absorben el agua como una esponja y se gelatinizan permitiendo el control del filtrado del agua libre [17].

Además de la capacidad de filtrado y el mantenimiento de las propiedades reológicas, autores como [18] [19], afirman que se deben generar nuevos fluidos que sean amigables con el ambiente en términos que replacen a los aditivos ya existentes, no solo en términos de eficiencia, sino en cualidades ambientales como baja toxicidad, mínimo daño a la formación productora, bajo costo y facilidad para la deposición de residuos de los fluidos generados.

Anteriormente se usaban aditivos a base diésel, los cuales poseían un alto impacto ambiental, afirman [20, 21] que este aceite presenta un alto contenido de aromáticos (>22%), componente que impacta la fauna acuática, retarda la regeneración de la capa vegetal y crea efectos contaminantes severos al ambiente que necesitan de tratamientos costosos para reducir el impacto generado por los desechos sólidos.

En tal sentido la presente investigación tuvo como objetivo obtener un controlador de filtrado a base

de almidón de yuca, obtenido mediante proceso formularlo en agua y a diferentes concentraciones, el cual fue posteriormente analizado en relación a sus propiedades de retención del filtrado y se comparó su eficiencia usando los parámetro indicados en la norma de especificación API 13A 18ª edición y propiedades reológicas, para que estas no afecten a las mismas una vez formuladas en el fluido de perforación.

## METODOLOGÍA

### Proceso de extracción del almidón de yuca

El proceso de extracción del almidón de yuca fue desarrollado en los laboratorios de fluidos de perforación de la empresa CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited Brand Ecuador (CCDC). El proceso consistió en una serie de operaciones que por vía húmeda permiten la extracción del almidón que contienen las raíces de la yuca, obteniendo almidón fresco (dulce) o agrio (fermentado), según se describe en la Figura 1.

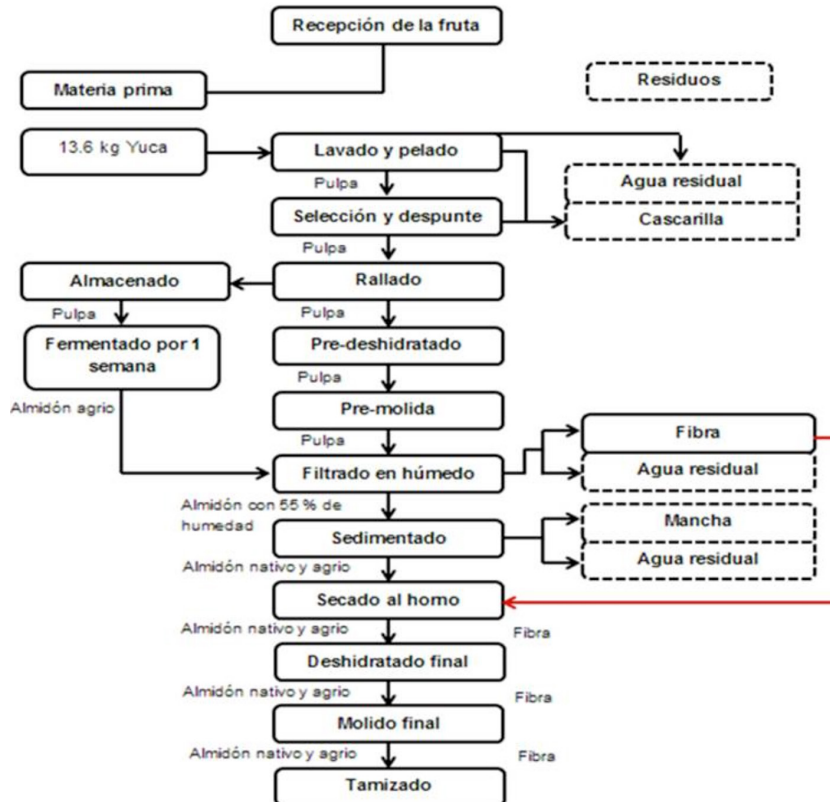


Figura 1. Esquema del proceso de extracción de almidón de yuca.

### Tratamiento térmico del almidón de yuca

Debido a la insolubilidad natural de los almidones en agua fría, se implementó un proceso de pregelatinización recomendado por [22]. Este proceso conlleva la aplicación de calor al almidón en solución acuosa con el fin de liberar la amilasa contenida dentro de la estructura ramificada del amilopectina. En el desarrollo de la investigación en las diferentes concentraciones se aplicó calor hasta alcanzar una temperatura de 80 °C (176 °F) a presión atmosférica y para lo cual se trabajó con el almidón diluido.

### Proceso de transformación del almidón

El proceso de transformación del almidón consistió en el rompimiento de las cadenas que conforman al almidón con el fin de permitir el paso de moléculas de agua y cambiar la tendencia del almidón para ser soluble en agua, este parámetro es un factor importante en los fluidos de perforación, para ellos se utilizaron la hidrólisis ácida y la fermentación.

### Diseño experimental y de tratamientos

Para evaluar al almidón de yuca como controlador de filtrado para fluidos de perforación de pozos petroleros, se programaron pruebas estándares contempladas en el manual de laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CCDC, el diseño de experimento fue completamente aleatorizado con 5 repeticiones. El diseño de tratamiento fue de tipo factorial, donde los factores evaluados fueron el controlador, en sentido se tienen dos niveles: uno filtrado a base de almidón de yuca fermentado y uno sin fermentar, el otro factor evaluado fue la concentración del aditivo, el cual fue evaluado a dos concentraciones (5 lb/1 lb H<sub>2</sub>O y 10 lb/1 lb H<sub>2</sub>O).

Un segundo ensayo fue realizado para evaluar el efecto de la hidrólisis con HCL sobre las propiedades del almidón como controlador de fluidos, para la aplicación de hidrólisis ácida en el almidón se realizaron 4 pruebas manteniendo la misma concentración, pero aplicando a cada una un porcentaje en volumen de HCl diferente, las concentraciones fueron de: 0,005%; 0,02%; 0,03% y 0,05%. Cada concentración fue expuesta a calor hasta alcanzar una temperatura de 80 °C mediante una placa calefactora, posteriormente se realizaron las pruebas de filtrado API y medición de pH.

### Variables evaluadas

Las variables evaluadas fueron pruebas de filtrado API, medición de pH, viscosidad y pruebas de reología.

### Análisis de los datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias entre los tratamientos evaluados en ambos experimentos, de existir diferencias se realizaron comparaciones de media usando la prueba de Tukey por tratarse de muestras múltiples de medias, el valor de probabilidad usado fue  $P < 0,05$ , el análisis estadístico fue realizado usando el programa estadístico INFSTAT.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las pruebas en el laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company Limited Brand Ecuador (CCDC). Las diferentes concentraciones del almidón y almidón fermentado fueron sometidas a una temperatura de 150 °C en el horno de rolado. Posteriormente se realizaron las pruebas de filtrado API, reología y medición de pH, sus resultados se representan a continuación (Tabla 1).

En la Tabla 1, se observa que a la concentración de 10 lb/1 bl se logró una reducción del volumen de filtrado al compararse con los valores obtenidos a la concentración de 5 lb/1 H<sub>2</sub>O, el proceso de fermentación del almidón no logró reducir el volumen de filtrado, y por el contrario condujo a la acidificación del fluido y al cambio de las propiedades reológicas del mismo, particularmente la referida a la viscosidad.

Estos resultados se observan con mayor detalle en la Figura 2, los resultados de la prueba de calidad de controlador muestran cómo se describió previamente que el almidón con la concentración de 10 lb/1 bl H<sub>2</sub>O es más eficiente que el almidón fermentado, ya que se obtiene un valor de control de 13,5 ml/30 min. Este valor se comparó con el estándar de filtrado dado en la norma API Specification 13A, 2010, que indica un valor máximo para agua salada de 10 ml/30 min y una lectura de viscosidad a 600 RPM de un máximo de 18 unidades.

Estos resultados demuestran que el almidón o almidón fermentado de yuca podrían servir como

Tabla 1. Prueba de la fibra de yuca nativa.

Concentración	Almidón		Almidón fermentado	
	5 lb/1 bl H <sub>2</sub> O	10 lb/1bl H <sub>2</sub> O	5 lb/1 bl H <sub>2</sub> O	10 lb/1bl H <sub>2</sub> O
	14,27 (kg/m <sup>3</sup> )	28,58 (kg/m <sup>3</sup> )	14,27 (kg/m <sup>3</sup> )	28,58 (kg/m <sup>3</sup> )
Filtrado API (ml)@30 min	92	95	350	116
pH	8,18	8,25	7,24	7,20
600 RPM	3,0	4,0	2,0	3,0
300 RPM	2,0	3,0	2,0	2,0
200 RPM	2,0	2,0	1,0	2,0
100 RPM	1,0	2,0	1,0	1,0
6 RPM	1,0	1,0	1,0	1,0
3 RPM	1,0	1,0	1,0	1,0
Vp (cP)	1,0	1,0	0,0	1,0
Yp (lb/100 ft <sup>2</sup> )	1,0	2,0	2,0	1,0
Va (cP)	1,5	2,0	1,0	1,5

Legenda: Vp: viscosidad plástica, Yp: punto de cedencia; va: viscosidad aparente.

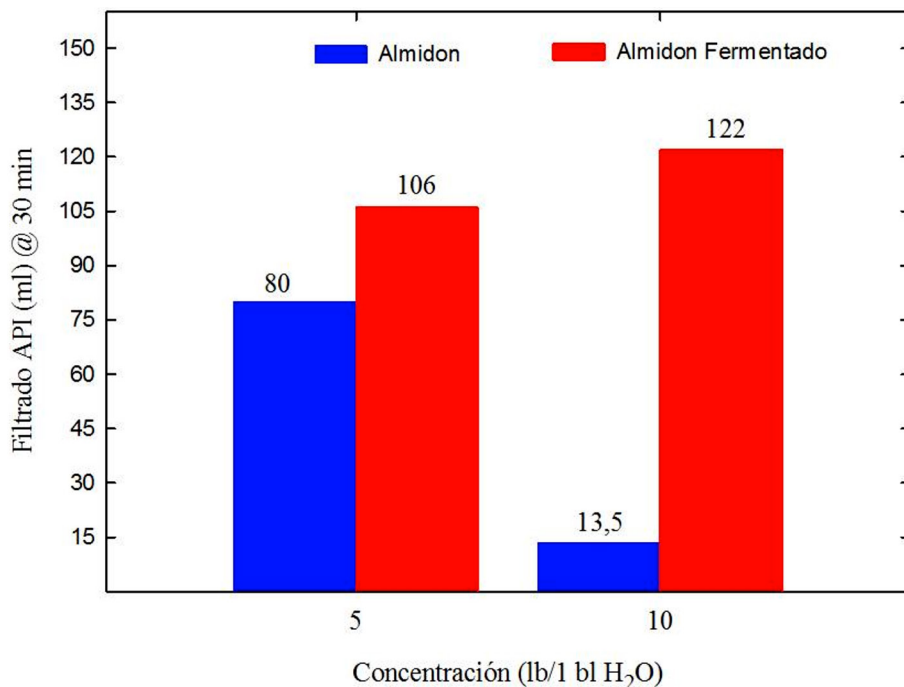


Figura 2. Resultado del filtrado del almidón y almidón fermentado.

agente controlador de filtrado. A pesar que los resultados obtenidos no tuvieron un comportamiento similar a los valores del almidón establecido en la norma. Los valores de filtrado son similares a los reportados por [23] quienes encontraron valores de filtrado por debajo de la norma API al usar

almidón de papa, sin embargo, a diferencia de este trabajo los autores debieron someter el almidón a un tratamiento adicional con NaOH de sodio para mejorar las propiedades reológicas y el control, de filtrado del almidón de papa, lo que puede incrementar los costos del proceso.

Para la evaluación del controlador de filtrado se realizó el análisis de la viscosidad a diferentes concentraciones. La Figura 3 muestra los valores mínimos de reología obtenidos. En el caso de la concentración de 10 lb/1 bl H<sub>2</sub>O de almidón, se obtiene un valor de viscosidad aparente de 2,5 cP, por lo tanto, es el controlador de filtrado que no modifica las propiedades reológicas.

De acuerdo a lo señalado [23] las ventajas es que poseen los aditivos a base de almidón, es que el mismo está compuesto por dos polímeros: amilasa y amilopectina. En presencia de agua y calor las moléculas tienen la capacidad de formar un gel, lo cual aumenta la viscosidad del sistema y es lo suficientemente fuerte para taponar microfracturas presentes en las paredes del pozo, reduciendo el filtrado y manteniendo la porosidad y estructura del mismo.

En la Figura 4 se presentan los resultados de reología a diferentes concentraciones de almidón. Estos

resultados demuestran que el almidón no modifica la reología del fluido.

El mantenimiento de las propiedades reológicas es fundamental para mantener la calidad de un controlador de filtrado, cuyo propósito es que las cualidades reológicas sean similares a los estándares establecidos dado que las mismas están asociadas a la limpieza, capacidad de recorte y control de filtrado [18], así mismo un buen aditivo debe tener propiedades de inhibición y lubricación, además del control de filtrado.

Otro de los aspectos que deben considerarse durante los estudios reológicos es la dispersión de las arcillas, sobre todo si se considera que muchos de los pozos petroleros se desarrollaron en arcillas de tipo esmectita las cuales son de alta reactividad, cualquier fluido que se desarrolle e interactúe con las arcillas pueden generar un proceso de dispersión lo cual afecta la estructura del pozo, alterando la

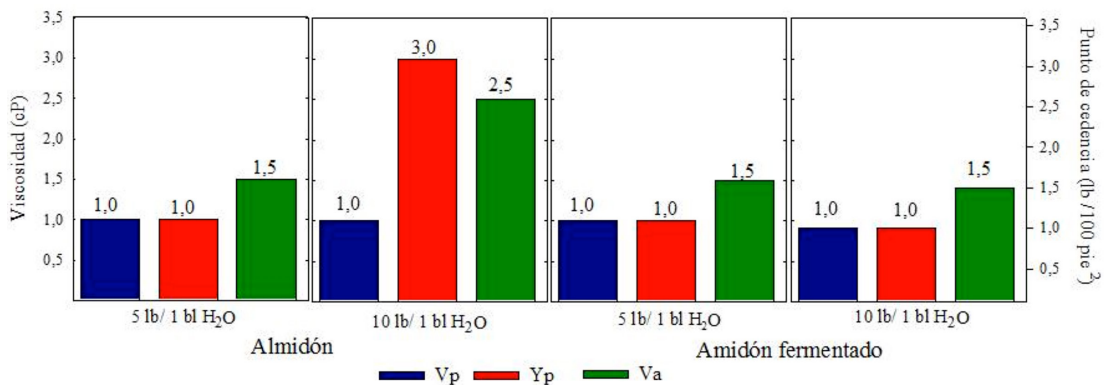


Figura 3. Viscosidades del almidón y almidón fermentado.

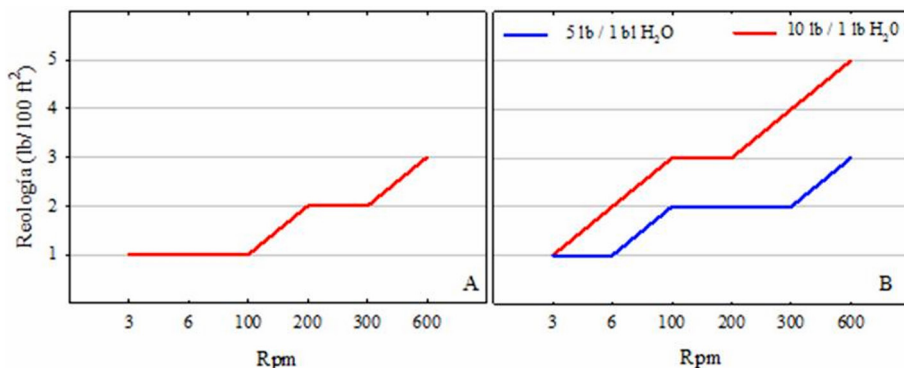


Figura 4. Reología almidón (A) y Reología almidón fermentado (B).



porosidad, afectando los procesos de filtrados y pudiendo incluso ocasionar el desmoronamiento del pozo.

**Aplicación de hidrolisis ácida en el almidón y almidón fermentado**

La presencia del ácido HCl en la concentración modifica al almidón haciéndolo más soluble. En la Figura 5 se evidencia las 4 concentraciones que se tiene como controlador de filtrado, se observa que resultados del filtrado API tomados a 1 hora son poco favorables ya que solamente dos concentraciones

son capaces de actuar como controlador de filtrado. La concentración donde se aplica 0,005% de HCl es la mejor concentración ya que presenta un valor de 16,5 ml/30 min.

Para el almidón fermentado la aplicación del ácido HCl en la concentración también modifica al mismo convirtiéndolo en más soluble. Al evaluar las 4 concentraciones que se usaron para mejorar las cualidades del controlador mediante hidrolisis acida (Figura 6), se observan resultados del filtrado API tomados al tiempo de una hora. Son poco favorables

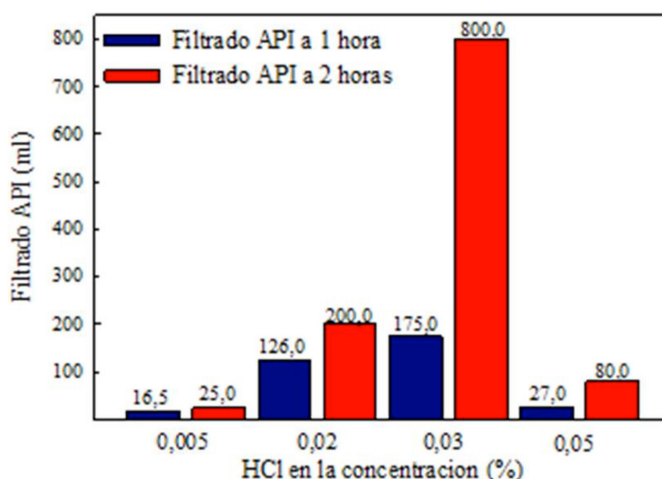


Figura 5. Resultados de filtrado a diferentes concentraciones de HCl en el almidón nativo.

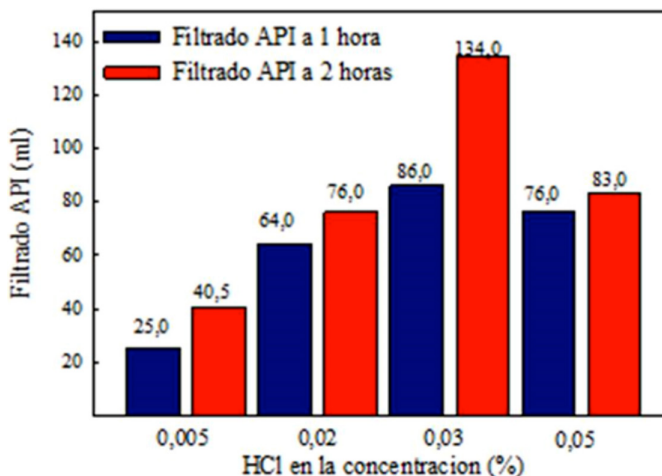


Figura 6. Filtrado a diferentes concentraciones de HCl con el almidón fermentado.

ya que solamente una con concentración dada es capaz de actuar como controlador de filtrado. El mejor resultado es con el contenido de 0,005% de HCl por que presenta un valor de 25 ml/30 min en el filtrado. El resultado presenta una gran diferencia con el almidón patrón que se está comparando.

Si bien la hidrólisis con HCL no logra mejorar las cualidades del almidón, otros ensayos usando NaOH, si han sido efectivo para mejor las cualidades del controlador de fluido, en tal sentido [24] en pruebas de reología realizadas a un almidón de papa observaron un incremento en la viscosidad y en el punto de cadencia ( $Y_p$ ) al usar concentraciones de NaOH de entre 0,27 y 0,37 lb/bbl.

Las propiedades exotérmicas del NaOH, lo cual activa térmicamente al Almidón de Papa, por lo que se nota el incremento de la viscosidad en las muestras, encontrando que a mayor concentración de NaOH disminuye el valor de viscosidad al igual, un mejoramiento de las propiedades reológicas del almidón se traduce en un mejor control de filtrado [17]. El control de filtrado fue más eficiente a concentraciones de 1,5 lb/bbl pero cuando se sometió al almidón a tratamiento de hidróxido de sodio, el volumen de filtrado fue de 9,7 inferior a lo establecido en las normas API e inferior a lo reportado en la presente investigación.

## CONCLUSIONES

Las pruebas de filtrado API indican que el controlador de filtrado a base de almidón de yuca fermentando es eficiente a una concentración de 10 lb/barril de agua, dado que mantiene valores mínimos de reología que no afectan al controlador, con valores similares a los estándares usado para fluidos de perforación.

La hidrólisis acida tanto del almidón nativo como fermentado logró mejorar el control de filtrado para el caso del almidón nativo a concentraciones de 0,005% y 0,01%, para el caso del almidón fermentado la hidrólisis solo logro reducir el volumen de filtrado a la concentración de 0,005%, pero con valores superiores a las normas establecidas.

No es factible el uso de almidón de yuca hidrolizado mediante HCl como agente controlador de filtrado para fluidos de perforación porque a mayor tiempo de exposición la concentración tiende a controlar

menos el filtrado del fluido y volverse más ácida, afectando sus propiedades reológicas, es necesario usar alternativas como el NaOH el cual ha sido efectivo para mejorar el filtrado en almidón de papa.

## REFERENCIAS

- [1] R. Vega, L. Martín y L. Patricia, “Coque de petróleo como controlador de filtrado en fluidos de perforación base aceite”, *Enfoque UTE*, vol. 9, no. 2, pp. 188-197, 2018, doi:10.29019/enfoqueute.v9n2.218.
- [2] E.I. Epelle and D.I. Gerogiorgis, “A review of technological advances and open challenges for oil and gas drilling systems engineering,” *AIChE Journal*, vol. 66, no. 4, 2020, e16842, doi:10.1002/aic.16842.
- [3] J.V. Clavijo *et al.*, “Influence of size and surface acidity of silica nanoparticles on inhibition of the formation damage by bentonite-free water-based drilling fluids. Part I: nanofluid design based on fluid-nanoparticle interaction,” *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*, vol. 10, no. 4, pp. 045020, 2019. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6254/ab5c17/pdf>
- [4] M. Mohammadi and H. Mahan, “Insights into the Pore-Scale Mechanisms of Formation Damage Induced by Drilling Fluid and Its Control by Silica Nanoparticles,” *Energy & Fuels*, vol. 34 no. 6, pp. 6904-6919, 2020, doi: 10.1021/acs.energyfuels.0c00605.
- [5] P. Talukdar, S. Kalita, A. Pandey, U. Dutta, and R. Singh, “Effectiveness of different starches as drilling fluid additives in non damaging drilling fluid,” *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 16, pp. 12469-12474. 2018. [Online]. Available: [https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n16\\_08.pdf](https://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n16_08.pdf)
- [6] A.A. Sarah and A.T. Ebidiseghabofa, “Evaluating the Effect of Drying Methods on the Properties of a Water Base Drilling Mud,” *American Journal of Mechanical and Materials Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 18-22, doi: 10.11648/j.ajmme.20210501.14.
- [7] H. Zhong *et al.*, “Minimizing the HTHP filtration loss of oil-based drilling fluid with swellable polymer microspheres,” *Journal*



- of *Petroleum Science and Engineering*, no. 172, pp. 411-424, 2019, doi: 10.1016/j.petrol.2018.09.074.
- [8] I. Benítez Cortés, J. Ricardo, M. Caballero Calderón and J.E. Miño Valdés, "Rheological characteristics of paste for portland cement production", *Revista Científica de la UCSA*, vol. 3, no. 1, pp. 13-23, 2016, doi:10.18004/uca/2409-8752/2016.003(01)013-023.
- [9] A. Marques and S.M. D Luz, "Use of biodegradable polymer for development of environmental tracers: a bibliometric review," *Polímeros*, vol. 31, no. 1, 2021, doi:10.1590/0104-1428.00221.
- [10] W. Xia, J.H. Li, X.Y. Wei, F. Wang, and Y.Y. Lin, "Effect of micronization on the solubility, viscosity and structural properties of tapioca starch," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 231, no. 1, p. 012128, 2017, doi:10.1088/1757-899X/231/1/012128.
- [11] G. Cheraghian, "Nanoparticles in drilling fluid: A review of the state-of-the-art", *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 13, pp. 737-753, 2021, doi:10.1016/j.jmrt.2021.04.089.
- [12] A. Özkan, "Effect of gold nanoparticle functionalized multi-walled carbon nanotubes on the properties of Na-bentonite water based drilling fluid," *Fresenius Environmental Bulletin*, vol. 29, no. 1, pp. 143-151, 2020, doi: 10.18586/msufbd.489389.
- [13] R. Saboori, S. Sabbaghi, A. Kalantariasl, and D. Mowla, "Improvement in filtration properties of water-based drilling fluid by nanocarboxymethyl cellulose/polystyrene core-shell nanocomposite," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 445-454, 2018, doi: 10.1007/s13202-018-0432-9.
- [14] A.E. Bayat and R. Shams, "Appraising the impacts of SiO<sub>2</sub>, ZnO and TiO<sub>2</sub> nanoparticles on rheological properties and shale inhibition of water-based drilling muds," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, vol. 581, p. 123792, 2019, doi: 10.1016/j.colsurfa.2019.123792.
- [15] S. Kashefi, M.N. Lotfollahi, and A. Shahrabadi, "Investigation of asphaltene adsorption onto zeolite beta nanoparticles to reduce asphaltene deposition in a silica sand pack," *Oil & Gas Sciences and Technology-Revue d'IFP Energies nouvelles*, vol. 73, no. 2, pp. 1-12, 2018, doi: 10.2516/ogst/2017038.
- [16] D. Montes, F.B. Cortés, and C.A. Franco, "Reduction of heavy oil viscosity through ultrasound cavitation assisted by NiO nanocrystals-functionalized SiO<sub>2</sub> nanoparticles," *Dyna*, vol. 85, no. 207, pp. 153-160, 2018, doi: 10.15446/dyna.v85n207.71804.
- [17] B.F.C. Nwosu, F.T. Ademiluyi, J.G. Akpa and M.F.N. Abowei, "Review of the Effect of Preservatives on the Stability of Cassava Starch-Bentonite Muds for Water-Base Drilling Fluid Formulations," *Journal of Newviews in Engineering and Technology (JNET)*, vol. 3, no. 1, pp. 21-33, 2021. [Online]. Available: <http://rsujnet.org/articles/2021/JNET3104.pdf>
- [18] F.E. Gallardo, E. Erdmann, and R. Abalos, "Evaluación reológica de fluidos de perforación base agua con nanosílice", *Rev. Matéria*, vol. 23, no. 2, pp. 1-11, 2018, doi: 10.1590/S1517-707620180002.0470.
- [19] S. Haider, M.Z. Messaoud-Bouregghda, H. Aknouche, A., L. AkkoucheHammadi and B. Safi. "An ecological water-based drilling mud (WBM) with low cost: substitution of polymers by wood wastes," *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 307-313, 2019, doi:10.1007/s13202-018-0469-9.
- [20] J. Correía, G. Godoy, M. García y R. Vega, "Formulación de un fluido de perforación base diésel de bajo impacto ambiental", *Boletín de Geología*, vol. 37, no. 2, pp. 75-82, 2015. [En línea]. Disponible: <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaboletindegologia>
- [21] L.S. Castillo, G.A.C. García and A.B. Cáceres, "Algunos aportes en la extracción de vanadio, níquel y azufre en petrococoque", *Revista Bases de la Ciencia*, vol. 1, no. 1, pp. 1-12, 2016, doi: 10.33936/rev\_bas\_de\_la\_ciencia.v1i1.93.
- [22] E. Pacheco de Delahaye y N.Techeira, "Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (*Dioscorea alata*)", *Interciencia*, vol. 34, no. 4, pp. 280-285. 2009. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33911575010.pdf>

- [23] R. Saboori, S. Sabbaghi, D. Mowla, and A. Soltani, "Decreasing of water loss and mud cake thickness by CMC nanoparticles in mud drilling," *International Journal of Nano Dimensión*, vol. 3, no. 2, pp. 101-104, 2012, doi: 10.7508/ijnd.2012.02.002.
- [24] J.C. Santivañez, W.E. Cano, D. Ordoñez y A. Bohórquez, "Evaluación del uso de almidón de papa como aditivo para lodos de perforación", *Fuentes, El Reventón Energético*, vol. 17, no. 1, pp. 19-28, 2019, doi:10.18273/revfue.v17n1-2019002.