

# Desempeño del almidón natural de plátano en el control de propiedades físicas en un fluido de perforación polimérico a nivel de laboratorio

## Performance of natural banana starch, in the control of physical properties in a polymeric drilling fluid at the laboratory

Alexandra Aguirre Mogollón<sup>1</sup>, Juan David Ortiz Romero<sup>2</sup>, Jorge Andrés Tovar Moreno<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fundación Universidad de América, Colombia. Correo electrónico: alexa160398@gmail.com.

<sup>2</sup> Fundación Universidad de América, Colombia. Correo electrónico: juandavidortizromero@gmail.com.

<sup>3</sup> Fundación Universidad de América, Colombia.  
Correo electrónico: jatm010@hotmail.com. Orcid: 0000-0002-1376-1816.

**Recibido:** 13 abril, 2021. **Aceptado:** 12 de mayo, 2021. **Versión final:** 1 junio, 2022.

### Resumen

Los fluidos de perforación poliméricos son uno de los productos más utilizados en la industria del petróleo, sin embargo, los aditivos usados para este lodo como el PAC-L y PAC-R elevan el costo de formulación. Se busca evaluar el desempeño del almidón de plátano en el control de las propiedades físicas como reología, lubricidad y filtrado. Para esto se obtuvo almidón a partir de la síntesis de la cáscara de plátano, se diseñó un fluido base con el objetivo de compararlo con otros 10 fluidos de perforación en los cuales se usó almidón de plátano como sustituyente de los aditivos PAC-L y PAC-R a diferentes concentraciones. Se realizaron pruebas de reología, lubricidad y filtrado. A partir de esto se determinó la concentración óptima de almidón que se debe usar para obtener un fluido de perforación semejante al lodo base de estudio. La concentración de almidón de plátano que mantiene propiedades con el fluido en estudio (filtrado API, viscosidad plástica, punto cedente, geles y lubricidad) es del 5,5% de almidón de plátano. Esta concentración se escogió con las pruebas más relevantes entre las mencionadas anteriormente porque aseguran un adecuado rendimiento del fluido de perforación, que permite alcanzar buenas características reológicas y tixotrópicas con las cuales se evitan problemas operativos como la pérdida del lodo, daño de formación, pega de tubería, sobrecalentamiento en la sarta, entre otros. Estos resultados nos confirman que el almidón de plátano “macho” puede reemplazar el PAC-L, PAC-R y la goma Xantica, siendo viable técnicamente para el uso de este aditivo en operaciones en campo. Así mismo, puede llegar a ser viable económicamente; por esta razón se recomienda hacer un análisis financiero que ayude a confirmar todas las variables estudiadas en un proyecto de investigación y que así sea factible tanto a nivel técnico como económico.

**Palabras clave:** cáscaras plátano; almidón plátano; fluido perforación; lodo polimérico; reología; control filtrado; lubricidad.

---

**Como citar:** Aguirre Mogollón, A., Ortiz Romero, J., & Tovar Moreno, J. (2022). Desempeño del almidón natural de plátano, en el control de propiedades físicas en un fluido de perforación polimérico a nivel de laboratorio. Revista Fuentes: El Reventón Energético, 20(1), 21–30. <https://doi.org/10.18273/revfue.v20n1-2022003> 

## **Abstract**

Polymeric drilling fluids are one of the most widely used products in the oil industry, however, the additives used for this mud such as PAC-L and PAC-R raise the cost of formulation. It seeks to evaluate the performance of banana starch in the control of physical properties such as rheology, lubricity and filtering. For this, starch was obtained from the synthesis of banana peel, a base fluid was designed in order to compare it with 10 other drilling fluids in which banana starch was used as a substitute for the PAC-L and PAC additives. -R at different concentrations. Rheology, lubricity and filtering tests were performed. From this, the optimal concentration of starch that should be used to obtain a drilling fluid similar to the base mud of the study was determined. The concentration of banana starch that maintains properties with the fluid under study (API Filtration, Plastic Viscosity, Yielding Point, Gels and lubricity) is 5.5% banana starch. This concentration was chosen with the most relevant tests among those mentioned above because they ensure adequate performance of the drilling fluid, which allows it to achieve good rheological and thixotropic characteristics with which operational problems such as mud loss, formation damage, sticking of tubing, overheating in the string, among others. These results confirm that “macho” plantain starch can replace PAC-L, PAC-R and Xanthan gum, being technically feasible for the use of this additive in field operations. Likewise, it can become economically viable; For this reason, it is recommended to carry out a financial analysis that helps confirm all the variables studied in a research project and that is thus feasible both technically and economically.

**Keywords:** Banana peels, Banana starch, Drilling fluid, Polymeric mud, Rheology, Filtering control, Lubricity.

## **1. Introducción**

El fluido de perforación más común está compuesto de agua y una sustancia coloidal, el lodo polimérico o PHPA. Este es uno de los más usados en operaciones de perforación, sin embargo, los aditivos empleados como el PAC-L o el PAC-R son costosos; en consecuencia, el costo en la formulación de estos lodos resulta dentro de los más altos en el mercado. Por otro lado, los residuos de cáscara de plátano generados en Colombia no son aprovechados, lo que crea un impacto ambiental y un mayor uso de los rellenos sanitarios (Efraín, 1985).

La cáscara de plátano “Macho” representa del 35% al 40% del fruto, lo que equivale de 1'075.541 a 1'229.189 toneladas en residuos generados anualmente en Colombia (Melo, Yennifer, Serna, & Torres, 2015). Estos residuos se pueden aprovechar para la extracción del almidón como aditivo químico.

Al reemplazar los aditivos PAC-L y el PAC-R por el almidón elaborado a partir de la cáscara de plátano, se generará una disminución en costos de formulación del fluido, esto debido a que el costo de un saco de 25 kg del aditivo PAC-L o PAC-R es de 150 USD (Okoro, Dosunmu, & Iyuke, 2018), sin tener en cuenta los gastos de importación. Por otro lado, al aprovechar estos residuos sólidos provenientes del consumo de plátano generará un impacto ambiental positivo.

## **2. Metodología**

Esta investigación se realizó en cuatro fases, con el fin de completar las etapas propuestas.

### **Fase I: elaboración almidón natural a partir de la síntesis de las cáscaras de plátano**

Para realizar la fabricación del almidón se seleccionaron y recolectaron cáscaras verdes de plátano Macho, esto debido a que los frutos verdes tienen más contenido de almidón que los frutos maduros; toda la cáscara recolectada tuvo un peso de 6.9 Kg, esta cáscara fue lavada con agua potable.

Las cáscaras se depositaron en un recipiente, para ser desinfectadas con 20 litros de una solución de hipoclorito de sodio al 1% v/v. Debido a que el hipoclorito de sodio solo se comercializa a una concentración mínima del 5% v/v, se realizó la dilución de este producto, hasta el 1% recomendado. Una vez obtenida esta solución, se sumergió toda la cáscara en el recipiente con la solución por un lapso de 10 min, desinfectando el producto.

Con la cáscara de plátano desinfectada, se retiró la mayor cantidad de aerénquima (tejido vegetal que se encuentra entre la cáscara y la pulpa del plátano), el peso del aerénquima fue de 1,78 Kg.

Con el fin de evitar el pardeamiento y prologar la conservación del producto final, se sumergió todo el aerénquima por un periodo de 15 minutos en una solución al 3% de ácido cítrico (210 g de ácido cítrico en 7 litros de agua).

Para el proceso de secado, el producto se llevó a un horno a una temperatura de 130°C por 2 horas, al

observar que el producto solo se estaba deshidratando en la parte exterior, se procedió a licuarlo con el fin de disminuir la compactación y aumentar el área de contacto en el horno, una vez licuado el producto, se ingresó nuevamente al horno, a una temperatura de 70° por 2 horas, en este lapso de tiempo se realizó constante movimiento del producto para así obtener un secado uniforme.

Con el fin de disminuir el tamaño del grano del producto, se utilizó un molino casero donde se realizó la molienda; de esta manera se obtuvo 480 g de almidón de plátano. El producto se almacena en recipientes herméticamente aislados y se guardó en un lugar seco y oscuro, con el fin de evitar la humedad del ambiente y la conservación del producto.

Finalmente, se realizó la prueba del yodo para confirmar la presencia de almidón en el producto obtenido, en esta prueba se utilizaron 100 ml de agua, 10 gr de almidón de plátano y 3 gotas de Lugol (indicador de almidón), dando como resultado un color azul lo que confirmó la presencia de almidón.

## Fase II: diseño de lodo polimérico convencional y 9 fluidos de perforación poliméricos utilizando almidón natural

La segunda etapa consistió en el diseño del lodo base (lodo polimérico convencional base agua), que se tomó como base comparativa para la elaboración respectiva de los 9 fluidos de perforación con variación en las concentraciones del almidón natural fabricado en la fase I.

Para el diseño del lodo base se tomó como referencia el fluido presentado en el paper “Experimental analysis of drilling fluid prepared by mixing iron (III) oxide nanoparticles with a KCl–Glycol–PHPA polymer-based mud used in drilling operation” (Ahmed, Alam, & Salam, 2020); sin embargo, es pertinente aclarar que no se utilizarán los aditivos (Sulphonated asphalt, biocida y Glydril) pues estos son usados para controlar la corrosión y no es una variable que se tendrá en cuenta en el análisis de resultados. Debido a que no se usaron los aditivos anteriormente mencionados y el fluido que se realizó en el artículo fue a condición de presión y temperatura diferentes, las propiedades físicas y químicas que se tendrán en cuenta serán las obtenidas en esta investigación, por consiguiente, los resultados que se muestran en el artículo no serán de referencia en esta investigación. La formulación del lodo base se presenta en la **tabla 1**.

**Tabla 1.** Formulación de lodo polimérico convencional base agua (lodo base)

Aditivos	Cantidades
Agua (ml)	1000
Soda cáustica (g)	0,5
KCl (g)	65
PAC - LV (g)	4
PAC - RV (g)	3
Goma Xantana (g)	2
Barita (g)	202
Potasa Cáustica (g)	1
PHPA (g)	2

Para preparar el lodo base se agregaron los aditivos de la **tabla 1**, en el orden en que esta tabla los muestra. Se realizó la mezcla de estos aditivos uno por uno, lentamente y hasta obtener una homogenización del fluido. El diseño de los 9 fluidos de perforación está basado en la formulación del lodo base; sin embargo, se sustituyeron los aditivos PAC-LV y PAC-RV por el almidón de plátano.

Para determinar la concentración de almidón por masa usada, se usó la ecuación de % p/v (Chang & Goldsby, 2017) y sabiendo que la disolución es de 1000ml, se puede determinar que cada 5 g de almidón, aumenta la concentración en un 0,5% p/v. Se comenzó con una concentración del 2% p/p de almidón de plátano, y se fue aumentando cada 0,5% p/p hasta llegar al lodo 9 cuya concentración es de 6% p/p, los gramos utilizados se muestran en la **tabla 2**.

**Tabla 2.** Concentración de almidón obtenido según gramos utilizados

Gramos para utilizar por cada 1000ml	Concentración de almidón % p/v	
Lodo 1	20	2,0%
Lodo 2	25	2,5%
Lodo 3	30	3,0%
Lodo 4	35	3,5%
Lodo 5	40	4,0%
Lodo 6	45	4,5%
Lodo 7	50	5,0%
Lodo 8	55	5,5%
Lodo 9	60	6,0%

**Nota.** La tabla muestra la concentración de almidón obtenido, según los gramos utilizados de almidón en cada 1000ml.

En la formulación de los lodos, el lodo 1 fue el único donde se utilizó Goma Xantana, esto debido a que el aditivo impide la disolución del almidón en la mezcla, y en consecuencia no se podría analizar de forma correcta qué efecto tiene el almidón en las propiedades de estudio, por esto se toma la decisión de no hacer uso de este aditivo, desde el lodo 2 hasta el lodo 9.

### Fase III: ejecución de pruebas de laboratorio según la norma API RP 13B -1

La tercera etapa consistió en la ejecución de pruebas físicas y químicas de todos los fluidos de perforación realizados, donde se sigue la norma API RP 13B-1 (American Petroleum Institute, 2017) y el “Manual de los Fluidos de Perforación” (MI - SWACO, 1998). Las pruebas físicas y químicas que se realizaron a los fluidos de perforación fueron: peso del lodo, viscosidad de embudo, reología con reómetro, filtro-prensa API, prueba de retorta, evaluación del contenido de arena del lodo, prueba de lubricidad, pH, alcalinidad y dureza; sin embargo, las pruebas de reología, filtro-prensa API y lubricidad serán las únicas variables de referencia en el análisis de resultados. Las pruebas del lodo base se realizaron 3 veces, y para los demás fluidos se realizaron 2 veces, esto con el fin de garantizar que los valores obtenidos fueran leídos de manera precisa.

### Fase IV: establecer la concentración y rendimiento óptimo del almidón natural

En esta última etapa del proyecto se contrastarán las propiedades del lodo base con los 9 fluidos que contienen almidón, y aquel lodo que cumpla o se asemeje a los resultados del lodo base mostrados en la **tabla 3** será el que determine la concentración óptima de almidón. Cabe resaltar que las pruebas que tendrán más relevancia a la hora de elegir la concentración óptima de almidón serán las de filtrado y lubricidad pues estas propiedades no se pueden mejorar a nivel operativo a diferencia de la reología la cual se puede mejorar aumentando el galonaje en el pozo. En la **tabla 3** se encuentran los valores del lodo base los cuales se utilizarán para elegir el mejor lodo experimental.

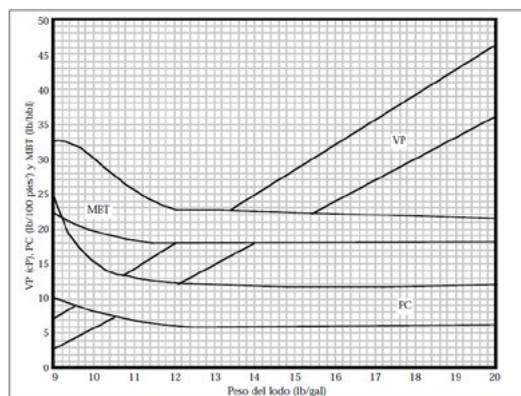
**Tabla 3.** Propiedades lodo base

Lodo Base	Rangos
Filtrado API	12,50 cc/30min
Viscosidad Plástica	16,17 cP
Yield Point	13 (lb/100ft)
Gel instantáneo	3,67 (lb/100ft)
Gel 10 min	4,33 (lb/100ft)
Lubricidad	0.238

**Nota.** La tabla muestra las propiedades obtenidas del lodo base.

Una vez obtenidos los valores para todos los lodos, se realizó un gráfico de barras por cada propiedad (reología, filtrado y lubricidad) donde el eje “X” representó la concentración de almidón usada en cada uno de los lodos y el eje “Y”, los valores de la propiedad que se estén analizando. Estas gráficas nos ayudarán a comparar el lodo base, con los 9 fluidos experimentales y determinar cuál de estos fluidos se asemeja más al lodo base, estableciendo cuál es la concentración óptima de almidón y cómo las propiedades analizadas varían respecto a la concentración de almidón usada.

Para el análisis de la viscosidad plástica y punto cedente se tomó como referencia la **figura 1** (American Petroleum Institute, 2017), la cual muestra los rangos de viscosidad plástica y punto cedente óptimos a los que deberían estar los lodos base agua según la densidad del fluido; esta figura solo se podrá usar con fluidos que tengan una densidad desde 9ppg a 20ppg.



**Figura 1.** Rangos de viscosidad plástica y punto cedente según densidad del lodo

### 3. Resultados y discusiones

En la primera parte se determinará el rendimiento, el agua extraída del almidón y si el producto obtenido tiene presencia de almidón, seguido a esto se mostrarán los resultados obtenidos de la fase III, con sus respectivos promedios y cálculo de todas las propiedades físicas y químicas, para finalizar y dar cumplimiento al cuarto objetivo específico, el cual es establecer la concentración óptima del almidón, donde se compara los resultados obtenidos de las pruebas físicas de reología, filtro-prensa API y lubricidad.

#### Resultados fase I. Elaboración almidón natural a partir de la síntesis de las cáscaras de plátano

Durante la elaboración del almidón se presentaron diferentes pesos, los cuales se presentan en la **tabla 4**.

**Tabla 4.** Pesos obtenidos en la elaboración de almidón de plátano

	Peso (gramos)
Cáscaras de plátano	6900
Aerénquima extraído	1780
Almidón obtenido	480
Eficiencia almidón	6,9565%
Agua extraída	73.03%

**Nota.** Esta tabla muestra los pesos en gramos, obtenidos en todo el proceso de obtención de almidón de plátano.

Para determinar la presencia de almidón en el producto obtenido, se realizó la prueba de yodo, la cual es usada para determinar la presencia de almidón u otros polisacáridos; la reacción resultante fue un cambio de color en la solución de un blanco semitransparente a un azul oscuro, confirmando así la presencia de almidón en el producto, ver **figura 2**.



**Figura 2.** Prueba del yodo

Para definir el tamaño de grano del almidón, se utilizaron tamices de 1mm, 710 US, 600 US y 425 US. Con esta prueba se pudo determinar que el almidón al quedar en el tamiz de 425 US tiene un tamaño de grano de 34 micras, ver **figura 3**.



**Figura 3.** Prueba del Tamiz

#### 3.1.1. Resultados fase III. Ejecución pruebas de laboratorio según la norma API RP 13B-1

Los datos que se muestran en la **tabla 5**, son resultados ponderados obtenidos de las pruebas de filtrado, viscosidad plástica, viscosidad aparente, Yield point, gel instantáneo, gel 10 minutos y lubricidad.

#### 3.1.2. Resultados fase IV. Establecer la concentración y rendimiento óptimo del almidón de plátano evaluando las propiedades de lubricidad, reología y filtrado API

Las pruebas químicas mostraron resultados elevados de alcalinidad total, dureza y cal, esto debido a la composición química que tiene el plátano macho, pues al aumentar la concentración de almidón los valores de las pruebas aumentan proporcionalmente, este comportamiento se puede evidenciar en los resultados de bicarbonatos y carbonatos obtenidos tanto del lodo como del filtrado. También se puede observar un valor alto en la dureza total, esto debido a que el contenido de iones de calcio y magnesio presentes en el agua aumentaron por el uso del almidón de plátano, en consecuencia, el contenido de cal o hidróxido de calcio también aumentó significativamente, con excepción del lodo base, se debe tener presente que las pruebas químicas realizadas no son propiedades que se tendrán en cuenta para esta investigación; sin embargo, es valioso tener el comportamiento químico del uso de almidón natural frente a los almidones sintéticos.

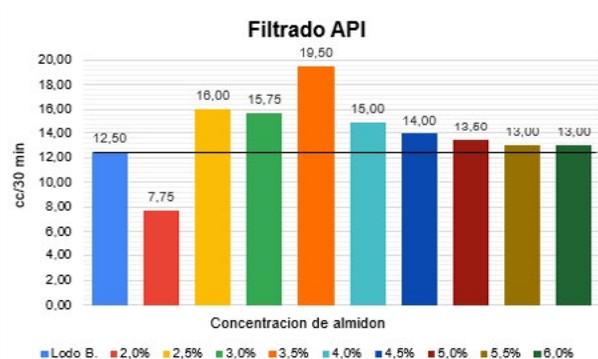
**Tabla 5.** Resultados objeto de estudio

	Lodo Base	2,0%	2,5%	3,0%	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%
<b>Filtrado (cc/30 min)</b>	12,50	7,75	16,00	15,75	19,50	15,00	14,00	13,50	13,00	13,00
<b>Viscosidad plástica (cP)</b>	16,17	14,00	8,00	6,00	5,75	5,00	5,00	4,75	5,25	5,00
<b>Viscosidad Aparente (cP)</b>	9,67	12,00	6,50	5,00	4,00	2,50	2,00	3,50	2,50	2,50
<b>Yield Point (lb/100ft<sup>2</sup>)</b>	13,00	4,00	3,00	2,00	3,50	5,00	6,00	2,50	5,50	5,00
<b>Gel instantáneo (lb/100ft<sup>2</sup>)</b>	3,67	3,00	2,00	5,00	4,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,50
<b>Gel 10 min (lb/100ft<sup>2</sup>)</b>	4,33	7,00	3,00	6,00	6,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,50
<b>Lubricidad</b>	0,238	0,261	0,264	0,259	0,256	0,259	0,254	0,246	0,242	0,319

**Nota.** Esta tabla muestra el resultado de las pruebas objeto de estudio en esta investigación.

### Filtrado (cc/30 min)

Los valores de Filtrado API se obtuvieron en las pruebas de laboratorio. El filtrado del lodo base da un valor de 12,50 ml el cual es significativamente alto respecto al valor recomendado por la norma API 13B1, el mayor valor de ml perdidos es de 19,50 ml que se evidencia en el lodo 4, con un revoque de 4 mm con una concentración del 3,5% de almidón de plátano.



**Figura 4.** Datos obtenidos en la prueba de filtro prensa

El análisis anterior llega a la conclusión que el lodo 1 es el fluido con menor cantidad de ml perdido; como el lodo base es nuestro fluido a comparar, se puede evidenciar que los lodos del 5 al 9 son los fluidos que más se acercan al valor de ml perdidos del lodo base, por este motivo los valores más óptimos para el filtrado API son el lodo 8 con una concentración del 5,5% y el lodo 9 con una concentración del 6,0%. El revoque para todos los lodos dio menor de 1/32" lo que indica un comportamiento bueno para la mayoría de los

lodos, excepto el lodo 4 porque mostro el mayor valor de ml perdidos y tuvo un comportamiento extraño con la forma final del revoque con una medida de 4 mm (ver **figura 5**), deduciendo que este comportamiento extraño se pudo dar por el tiempo que llevaba el lodo preparado o por alguna falla en la presión o en el equipo. Se debe tener en cuenta la medida del revoque, pues un revoque malo brinda problemas de pérdidas de fluido, daño de formación, contaminación, entre otros.



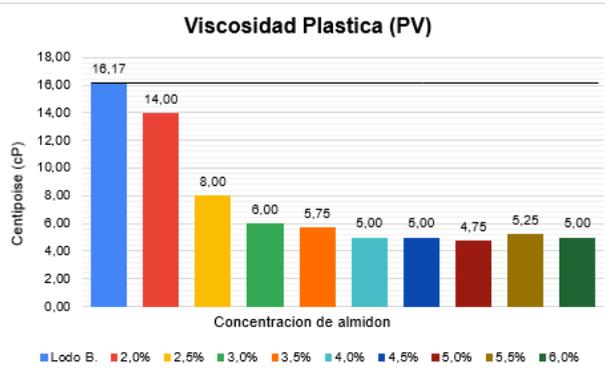
**Figura 5.** Revoque lodo 4.

Por lo mencionado anteriormente se recomienda usar una concentración del 5,5% de almidón de plátano,

pues con esta concentración el lodo tiene un filtrado de 13ml, lo que representa solo 0,5 ml más del filtrado obtenido en el lodo base; sin embargo, un filtrado óptimo debe ser menor a 10 ml según la norma API 13B1 por lo que se recomienda la mejora o activación química del almidón o el uso de aditivos como atapulgita, sepiolita y bentonita de sodio que mejoren el filtrado.

### Viscosidad plástica (cP)

Los valores de viscosidad plástica que se obtuvieron en las pruebas de laboratorio. El lodo base obtuvo un valor de 16,17cP, lo cual representa un valor alto pues para una densidad de 9,2 lb/gal, el rango óptimo debe estar entre 3,5cP a 8cP, esto representa un alto contenido de sólidos en el fluido. Por otro lado, el rango de los fluidos con almidón de plátano debe ser 6cP a 10,5cP, debido a que estos fluidos tienen una densidad de 9,9 a 10 lb/gal; como se puede observar en la **figura 6**, este rango solo lo cumple el lodo 2 y 3, cuya concentración de almidón es de 2,5% y 3% respectivamente. Los demás fluidos se salen por debajo del rango óptimo, por lo cual se deduce que estos fluidos son pobres en aditivos que aumenten la viscosidad tales como: bentonita, goma Xantica o celulosa polianiónica.



**Figura 6.** Datos obtenidos en la prueba de viscosidad plástica.

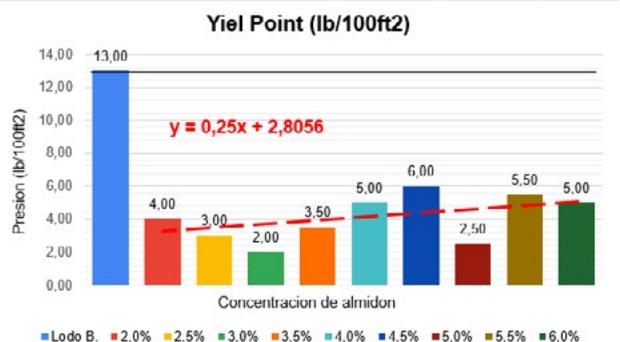
Haciendo relación con la prueba de filtrado y viscosidad se puede evidenciar una relación inversamente proporcional. Es decir, a mayor cantidad de sólidos, menor cantidad de ml perdidos en el filtrado y a menor cantidad de sólidos, mayor cantidad de ml perdidos. El lodo 2 y 3 son los fluidos que cumplen con el rango recomendado por el manual de fluidos de perforación (American Petroleum Institute, 2017), pero no son cercanos al valor del lodo base y tampoco a la concentración elegida anteriormente. La prueba de

filtrado y lubricidad serán las de mayor relevancia; se escogerá la concentración de 5,5 % que da un valor en la viscosidad plástica de 5,25 cP, siendo un valor bajo respecto al lodo base y a la norma API 13B1. Cabe mencionar que la viscosidad a nivel operativo se puede modificar o llegar a niveles óptimos solamente aumentando el galonaje.

### Yield Point (lb/100ft<sup>2</sup>)

Para el lodo base se obtuvo un valor de 13 lb/100ft<sup>2</sup>, como este lodo tiene una densidad de 9,2 lb/gal, se logra determinar con la **figura 1**, que se encuentra en el rango óptimo de punto cedente (10 lb/100ft<sup>2</sup> a 22 lb/100ft<sup>2</sup>), esto representa una buena atracción electroquímica en el fluido lo cual permitirá una buena suspensión de recortes y un buen transporte de estos. Los fluidos con almidón de plátano deben tener un punto cedente entre 8 lb/100ft<sup>2</sup> a 15 lb/100ft<sup>2</sup>, debido a que estos fluidos tienen una densidad de 9,9 a 10 lb/gal como se puede observar en la **figura 7**, todos los fluidos con almidón de plátano se encuentran por debajo de este rango, para determinar una posible concentración óptima de almidón, se realizó una línea tendencia (línea punteada roja de la figura 19) con los datos experimentales, sin embargo su regresión lineal “R<sup>2</sup>” fue igual a 0,2385, por lo cual esta línea tendencia, no es representativa para determinar una concentración de almidón.

En la **figura 7**, se puede observar los valores de punto cedente que se obtuvieron en las pruebas de laboratorio, para analizar esta propiedad se tomó la **figura 1** con el fin de terminar el rango óptimo de punto cedente.



**Figura 7.** Datos obtenidos en la prueba de Yield point.

Del análisis anterior, se deduce que el almidón de plátano no genera buenas atracciones electroquímicas en los fluidos por su composición química y porque es un producto natural. Las prueba de filtrado y lubricidad serán las de mayor relevancia, se escogerá

la concentración de 5,5 % que da un valor en el Yield point de 5,50 Lb/100ft<sup>2</sup>, siendo un valor bajo respecto al lodo base y a la norma API 13B1. Cabe mencionar que el punto cedente a nivel operativo se puede modificar o llegar a niveles óptimos solamente aumentando el galonaje. Sin embargo, se recomienda activar el almidón volviéndolo un biopolímero que mejore las propiedades químicas o agregar aditivos que puedan aumentar la reología como la bentonita, goma Xantica o celulosa polianiónica.

### Geles (lb/100ft<sup>2</sup>)

Los valores de geles se obtuvieron en las pruebas de laboratorio. Para poder escoger un rango óptimo en las pruebas de geles, se debe tener presente que para el valor de 10 segundos y para el de 10 minutos, estos deben tener una mínima diferencia, ni que estén por fuera del rango porque podría llegar a ser un gel instantáneo, por otro lado, si la diferencia entre estos valores es muy alta representaría un gel progresivo lo cual es indeseable. El lodo base muestra valores para el gel instantáneo de 3,67 lb/100ft<sup>2</sup> y el gel de 10 minutos de 4,33 lb/100ft<sup>2</sup> con una diferencia entre los dos de 0,66 lb/100ft<sup>2</sup>, reflejando una tendencia a formar un gel deseable (gel plano) que aumentará poco respecto al paso del tiempo. Por otro lado, el lodo 1 muestra una mayor diferencia entre el gel instantáneo y el de 10 minutos, con un valor de 4 lb/100ft<sup>2</sup>, en este caso los lodos van a tener la tendencia a formar geles progresivos, generando riesgos de empaquetamiento, pistoneo, surgencia, retención de gas o arena, entre otros, lo que descarta la opción de escoger este lodo. Por otro lado, en los fluidos del 2 al 9 representan geles poca diferencia entre ellos, no más de 2 lb/100ft<sup>2</sup> aproximadamente, representando geles deseables (geles planos).

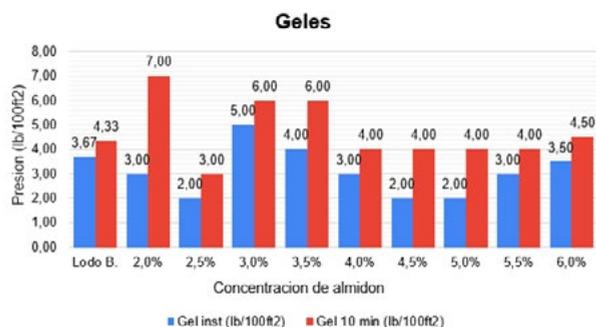


Figura 8. Datos obtenidos en las pruebas de geles.

El análisis anterior descarta el lodo 1, por su amplia diferencia entre valores, los lodos que más se acercan y tienen la menor diferencia entre el valor de gel instantáneo y gel a 10 minutos son los lodos con concentraciones del 2,5%, 4,0%, 5,5% y 6,0% y el lodo que más se asemeja al lodo base es el lodo número 8 con una concentración del 5,5% por lo que se recomienda usar aditivos que ayuden a mantener y a mejorar las propiedades tixotrópicas como la bentonita, almidones o defloculantes.

### Coefficiente de fricción

El coeficiente de fricción del lodo base dio un valor de 0,227 lo que para el fluido y para los lubricantes usados es un valor bueno. Al momento de compararlo con los demás lodos estos están con muy poca diferencia al lodo base, lo que significa que las concentraciones son buenas excepto el del lodo con concentración de almidón del 6,0% que muestra un valor para el coeficiente de fricción de 0,325 siendo equivalente a un 30% más alto al valor del lodo base.

Los resultados obtenidos en la prueba de lubricidad se desarrollan en la figura 9 con los valores del coeficiente de fricción.

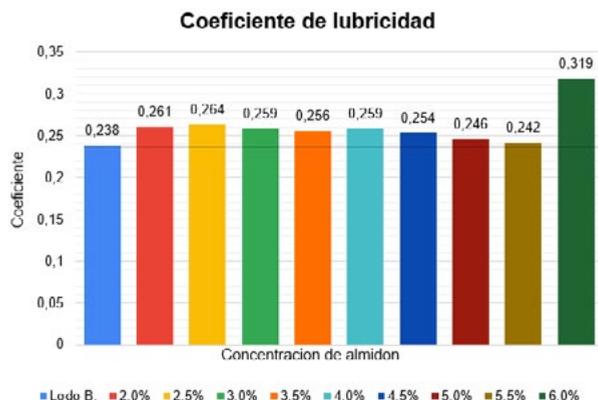


Figura 9. Datos obtenidos en la prueba lubricidad.

El análisis anterior se tomará como la concentración óptima el 5,5% de almidón con un valor en el coeficiente de fricción de 0,242 siendo este el fluido con el valor más cercano a 0,227 que es el del fluido base. Se recomienda mejorar el almidón químicamente o usar aditivos lubricantes.

La concentración de almidón de plátano que cumple con las propiedades en estudio (Filtrado API,

viscosidad plástica, punto cedente, geles y lubricidad) es la del 5,5% de almidón de plátano. Cabe resaltar que esta concentración se escogió con las pruebas más relevantes entre las mencionadas anteriormente las cuales son filtrado API y lubricidad, porque son propiedades principales que nos ayudan a identificar el comportamiento del fluido en pozo y así evitar problemas graves como la pérdida del lodo, daño de formación, pega de tubería, sobrecalentamiento en la sarta, entre otras. Las propiedades reológicas a nivel operativo se pueden solucionar con un galonaje alto si estas llegan a presentar valores bajos como en nuestro caso. Aun así, se recomienda la activación del almidón natural por medio de procedimientos químicos; para que así cumpla todos los parámetros establecidos por la norma, las características que posea el fluido base y el pozo. A continuación, se muestra en la **tabla 11** la formulación del lodo 8 con la concentración de almidón del 5,5%.

**Tabla 11.** Formulación lodo base y lodo óptimo

Aditivos	Lodo Base	Lodo 8 (5,5% de almidón)
Concentraciones % (p/v)	NA	5.5
Agua (ml)	1.000	1000
Soda cáustica (g)	0,5	0,5
KCl (g)	65	65
Almidón de plátano (g)	0	55
Goma Xantana (g)	2	NA
Barita (g)	202	202
Potasa cáustica (g)	1	1
PHPA (g)	2	2
PAC-LV (g)	4	NA
PAC-RV (g)	3	NA

**Nota.** Formulación lodo base y lodo 8 con la concentración del 5,5%

A continuación, se muestra en la **tabla 12** la comparación de los resultados en las propiedades estudiadas (Filtrado API, Reología y Lubricidad).

**Tabla 12.** Resultados propiedades estudiadas

	Lodo Base	Lodo 8 (5,5% de almidón)
<b>Filtrado (cc/30 min)</b>	12,50	13,00
<b>Viscosidad plástica (cP)</b>	16,17	5,25
<b>Viscosidad aparente (cP)</b>	9,67	2,50
<b>Yield Point (lb/100ft<sup>2</sup>)</b>	13,00	5,50
<b>Gel instantáneo (lb/100ft<sup>2</sup>)</b>	3,67	3,00
<b>Gel 10 min (lb/100ft<sup>2</sup>)</b>	4,33	4,00
<b>Lubricidad</b>	0,238	0,242

**Nota.** Esta tabla muestra la comparación del lodo base con el lodo óptimo del 5,5%

Estos resultados nos confirman que el almidón de plátano macho puede reemplazar el PAC-L, PAC-R y la goma Xantica, siendo viable técnicamente para el uso de este aditivo en operaciones en campo, así mismo puede llegar a ser viable económicamente; por esta razón se recomienda hacer un análisis financiero que ayude a confirmar todas las variables estudiadas en un proyecto de investigación y que así sea factible tanto a nivel técnico como económico.

### Conclusiones

1. El rendimiento obtenido de las cáscara de plátano (6900g) hasta el almidón de plátano (480g) fue del 6,96%, con un porcentaje alto de agua extraída del 73% del aerénquima húmedo (1780g).
2. Se evidenció que, para un secado uniforme del producto, este debe ser sometido a un proceso de licuado para aumentar el área de contacto en el horno, el cual debe estar a una temperatura menor de 130°C, pues esta solo deshidrata el producto en la parte exterior.
3. Se determinó que la síntesis de cáscara de plátano contiene almidón, pues al realizar la prueba de yodo (100ml de agua + 10g de almidón + 3 gotas de Lugol), se produce un efecto de óptico en la solución cambiando de un color semitransparente a un color azul oscuro.

### Recomendaciones

1. Se recomienda realizar la síntesis del aerénquima por el método húmedo para determinar si el almidón obtenido mejora las propiedades físicas y

- químicas de los fluidos de perforación.
2. Se recomienda, cuando se extraiga el aerénquima, depositarla inmediatamente en la solución con ácido cítrico para evitar el pardeamiento y mejorar la conservación del producto.
  3. Al realizar la molienda del almidón, se debe tratar de llegar al menor tamaño de partícula posible, pues esto ayudara a que el almidón se disuelva más fácilmente con la fase continua y así evitar grumos.
  4. Realizar un análisis financiero aplicado en campo para determinar la viabilidad económica de remplazar el PAC-L y PAC-R por almidón de plátano, y así saber si es factible tanto técnica como económicamente.
  5. Realizar pruebas de reología a condiciones de pozo y a diferentes temperaturas, con el fin de determinar el comportamiento del fluido durante la perforación.
  6. Realizar pruebas de temperatura de degradación (TY y TSS) para definir las propiedades térmicas del fluido y la degradación terminal del almidón.
  7. Determinar la masa molar del almidón de plátano, por métodos espectroscópicos como el de resonancia magnética nuclear e infrarrojo, y de esta manera caracterizar los grupos activos del plátano “macho” y poder entender las interacciones moleculares que este genera.

## Referencias

Ahmed, N., Alam, M. S., & Salam, M. (2020). *Experimental analysis of drilling fluid prepared by mixing iron (III) oxide nanoparticles with a KCl–Glycol–PHPA polymerbased mud used in drilling operation*. Bangladesh: Journal of Petroleum Exploration and Production Technology.

American Petroleum Institute. (2017). *Recommended practice for field testing water based Drilling fluids*. Washington.

Ariza, E., Castro, A., & Gómez, J. (2013). Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua. *ION*, 26(1), 63, 71. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2013000100007&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2013000100007&lng=en&tlng=es).

Chang, R., & Goldsby, K. A. (2017). *Química*. Mexico D.F: McGRAW-HILL.

Efraín, B. (1985). *El Pozo Ilustrado*. Caracas, Venezuela: Filial de Petróleos de Venezuela, S.A.

Mazzeo, M., Alzate, A., & Marín, M. (2008). Obtención de Almidón a partir de residuos poscosecha del plátano Dominicano Hartón Musa AAB SIMMONDS. *Vector*, 3, 57-69. Obtenido de [http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3\\_6.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector3_6.pdf)

Melo, D., Yennifer, T., Serna, J., & Torres, L. (2015). Aprovechamiento de pulpa y cáscara de plátano (Musa Paradisiaca SPP) para la obtención de maltodextrina. doi:10.18684/BSAA(13)76-85

MI - SWACO. (1998). *Drilling engineering*. Texas: Texas.

Okoro, E., Dosunmu, A., & Iyuke, S. (2018). Data on cost analysis of drilling mud displacement during drilling operation. doi:10.1016/j.dib.2018.05.075

Santiváñez, J., Cano, W., Ordóñez, D., & Bohórquez, A. (2019). Evaluación del uso de almidón de papa como aditivo para lodos de perforación. *El Reventón Energético*, 17(1). Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7018585>