



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E  
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**OBTENCIÓN DE UN CONTROLADOR DE FILTRADO PARA  
FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA A PARTIR DEL  
ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE (*Musa x paradisiaca*) Y  
CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y  
REOLÓGICAS, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO DE PETRÓLEOS**

**ANDREA ESTEFANÍA CAMPAÑA VALENCIA**

**DIRECTOR: ING. FAUSTO RENÉ RAMOS AGUIRRE**

**Quito, julio 2018**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2018  
Reservados todos los derechos de reproducción

## FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	171832458-3
APELLIDO Y NOMBRES:	Campaña Valencia Andrea Estefanía
DIRECCIÓN:	Calle Apuela s26-215 y Cusubamba
EMAIL:	andrea.campana.valencia1994@gmail.com
TELÉFONO FIJO:	(02) 622 867
TELÉFONO MÓVIL:	099 737 0116

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	Obtención de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de plátano verde (musa x paradisiaca) y caracterización de propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos de laboratorio
AUTOR:	Campaña Valencia Andrea Estefanía
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	05 de julio de 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Fausto René Ramos Aguirre
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero de Petróleos
RESUMEN:	El objetivo del trabajo de titulación fue obtener un controlador de filtrado a partir del almidón de plátano verde para fluidos de perforación base agua y determinar su funcionalidad mediante ensayos de laboratorio. El

almidón de plátano verde se obtuvo mediante el método húmedo. A partir de este almidón, se prepararon distintas formulaciones con almidón, almidón más fibra y almidón modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico. Cada una de las formulaciones fueron sometidas a ensayos de filtrado API y reología (viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente). Se obtuvo 2000 g de almidón y 4500 g de fibra a partir de 10 kg de plátano verde sin cáscara, lo que representó un rendimiento de 20% para el almidón y 45 % para la fibra. La formulación de 15 g de almidón nativo en 350 mL dio como resultado 8.6 mL/30 min en el ensayo de filtrado. En el ensayo de reología, el punto cedente fue de 27 lb/100 pies<sup>2</sup>, estos dos resultados se encontraron dentro de las especificaciones establecidas en la norma API Specification 13-A 18<sup>a</sup> edición. La formulación 15 g de almidón en 350 mL de agua (equivalente a 15 lb de almidón por 1 barril de agua) modificado a través de hidrólisis ácida (30 min) con ácido clorhídrico, fue la de mejor rendimiento. Esta formulación dio como resultado un volumen de filtrado de 6.2 mL/30 min, además los valores de viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente fueron 13 cP, 10 cP y 9 lb/100 pies<sup>2</sup> respectivamente. Como resultado de este estudio se obtuvo que el almidón de plátano verde en una formulación de 15 g/350 mL modificado por hidrólisis ácida (30 min) puede ser utilizado como agente controlador de filtrado en fluidos de perforación base agua, ya que cumple con todas las especificaciones de la norma API Specification 13-A 18<sup>a</sup> edición.

**PALABRAS CLAVES:**

Almidón de plátano verde, controlador de filtrado, reología, fluidos de perforación, hidrólisis ácida.

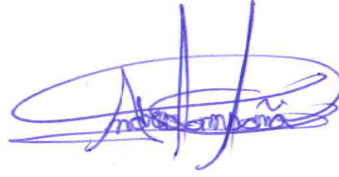
**ABSTRACT:**

The aim of the titration work was to obtain a filtering controller from green plantain starch for water-based drilling fluids and determine their functionality through laboratory tests. The green banana starch was obtained by the wet method. From this starch, different formulations were prepared with starch, starch plus fiber and modified starch by acid hydrolysis with hydrochloric acid. Each of the formulations were subjected to API filtering and rheology tests (apparent viscosity, plastic viscosity and yield point). 2000 g of starch and 4500 g of fiber were obtained from 10 kg of green plantain without husk, which represented a yield of 20% for starch and 45% for fiber. The formulation of 15 g of native starch in 350 mL resulted in 8.6 mL / 30 min in the filter assay. In the rheology test, the yield point was 27 lb / 100 ft<sup>2</sup>, these two results were found within the specifications established in the API Specification 13-A 18th edition. The formulation 15 g of starch in 350 mL of water (equivalent to 15 lb of starch per 1 barrel of water) modified through acid hydrolysis (30 min) with hydrochloric acid, was the best yield. This formulation resulted in a filtration volume of 6.2 mL / 30 min, in addition the values of plastic viscosity, apparent viscosity and yield point were 13 cP, 10 cP and 9 lb / 100 ft<sup>2</sup> respectively. As a result of this study it was obtained that the green banana starch in a 15 g / 350 mL formulation modified by acid hydrolysis (30 min) can be used as a filter-controlling agent in water-based drilling fluids, since it complies with all the specifications of the API Specification 13-A 18th edition.

**KEYWORDS**

Green plantain starch, filtering controller, rheology, drilling fluids, acid hydrolysis.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andrea Estefanía', is positioned above a horizontal line.

---

CAMPAÑA VALENCIA ANDREA ESTEFANÍA

C.I. 171832458-3

# DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CAMPAÑA VALENCIA ANDREA ESTEFANÍA**, CI: 171832458-3 autor del proyecto titulado: **Obtención de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de plátano verde (*Musa x paradisiaca*) y caracterización de propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos de laboratorio**, previo a la obtención del título de **INGENIERO DE PETRÓLEOS** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, de julio de 2018



---

CAMPAÑA VALENCIA ANDREA ESTEFANÍA

C.I. 171832458-3

## DECLARACIÓN

Yo **CAMPAÑA VALENCIA ANDREA ESTEFANÍA**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Andrea Estefanía', is positioned above a horizontal line.

Campaña Valencia Andrea Estefania

C.I. 171832458-3





Company Limited

探 厄 瓜 多 尔 分 公 司 (CCDC Ecuador Branch)

CNPC Chuanqing Drilling Engineering

川 庆 钻

## CERTIFICADO

*Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC)*, certifica que la señorita Campaña Valencia Andrea Estefania con cédula de identidad No. 1718324583 realizó su tesis para la obtención del Título de Ingeniero en Petróleos; siendo el tema de tesis "OBTENCIÓN DE UN CONTROLADOR DE FILTRADO PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA A PARTIR DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE (*Musa x paradisiaca*) Y CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y REOLÓGICAS, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO" desde el 05 de Marzo del 2018 al 28 de Mayo del 2018.

El portador del presente documento certificado; puede hacer uso como ha bien tuviere.

Sin otro particular, nos suscribimos,

Atentamente,

*Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC)*

Henry Romero

Ingeniero de Laboratorio CCDC

Quito, Julio del 2018

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Obtención de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de plátano verde (*Musa x paradisiaca*) y caracterización de propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos de laboratorio**”, que, para aspirar al título de Ingeniero de Petróleos fue desarrollado por **Campaña Valencia Andrea Estefanía**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 19, 27 y 28.



Ing. Fausto René Ramos Aguirre

**DIRECTOR DEL TRABAJO**

C.I.170513410-2

## DEDICATORIA

A **Dios**, por guiar mi camino, por darme la fuerza e inspiración y permitirme alcanzar esta meta.

A mi madre, **Ninfa Valencia**, por siempre confiar en mí, por apoyarme incondicionalmente y ser el pilar fundamental para alcanzar cada uno de mis sueños y objetivos. Gracias mamá por todo tu amor.

A mis hermanas, **Katherine Campaña y Vanessa Campaña**, por apoyarme en cada paso que he dado en el camino y por sus consejos, gracias por todo el amor y soporte que me han brindado.

A mis amigos que me apoyaron a lo largo de la carrera, gracias por sus enseñanzas y amistad incondicional.

## AGRADECIMIENTO

A Dios le agradezco por permitirme alcanzar este objetivo y darme la fortaleza y perseverancia en cada etapa de mi carrera.

A mi madre, **Ninfa Valencia**, gracias por tu amor, apoyo y confianza este logro te lo dedicó a ti completamente, has sido mi mayor soporte y siempre te estaré agradecida por luchar junto a mí para cumplir este sueño.

A mis hermanas, **Katherine Campaña**, gracias por todos tus consejos, por tu apoyo en la realización de este trabajo y en mi vida y **Vanessa Campaña**, gracias por todo tu amor, cariño y apoyo, gracias hermanas por estar junto mí en cada paso de este camino.

Agradezco al **Ing. Fausto Ramos Msc**, por compartir conmigo sus conocimientos y por su apoyo en la realización del presente trabajo.

Agradezco a la empresa **CNPC-CCDC** (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) Ecuador, por su apoyo en la realización del presente trabajo y al ing. Henry Romero por su guía y ayuda en el desarrollo presente proyecto de titulación.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	2
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	3
1.1 OBJETIVOS	7
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
<b>2. METODOLOGÍA</b>	8
2.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE	8
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE	9
2.2.1 PRUEBA DE LUGOL	9
2.3 FORMULACIONES DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE EN AGUA	9
2.4 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA	10
2.4.1 GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN	10
2.4.2 MEDICIÓN DE PH	10
2.4.3 ENSAYO DE FILTRADO API	10
2.4.4 ENSAYO DE REOLOGÍA	11
2.5 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN	11
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	12
3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE	12
3.1.1 PRUEBA DE LUGOL	13
3.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE	13
3.3 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DE ALMIDÓN + FIBRA NATIVO DE PLÁTANO VERDE	16

	<b>PÁGINA</b>
3.4 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA CON ALMIDÓN MODIFICADO MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA	18
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>20</b>
4.1 CONCLUSIONES	20
4.2 RECOMENDACIONES	20
<b>5. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>21</b>
<b>6. ANEXOS</b>	<b>23</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 1.</b> Propiedades físicas y químicas del fluido de perforación.	3
<b>Tabla 2.</b> Resumen de ensayos de controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de papa	5
<b>Tabla 3.</b> Resumen de ensayos de controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de yuca	6
<b>Tabla 4.</b> Especificaciones físicas del almidón industrial para fluidos de perforación	7
<b>Tabla 5.</b> Formulaciones de las distintas concentraciones de almidón y fibra nativo de plátano verde	9
<b>Tabla 6.</b> Características del almidón nativo y almidón industrial	12
<b>Tabla 7.</b> Resultado de la prueba de Lugol	13
<b>Tabla 8.</b> Viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente del almidón nativo	15
<b>Tabla 9.</b> Viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente de la mezcla almidón+fibra nativo	17
<b>Tabla 10.</b> Viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente de la muestra F4 modificada por hidrólisis ácida	19

# ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama de flujo del proceso de extracción del almidón nativo y fibra del plátano verde	8
<b>Figura 2.</b> Resultados del ensayo de filtrado API del almidón nativo	14
<b>Figura 3.</b> Resultados del ensayo de filtrado API de la mezcla almidón + fibra nativo	16
<b>Figura 4.</b> Resultados del ensayo de filtrado API de la muestra F4 modificada mediante hidrólisis ácida	18



# ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO 1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE</b>	23
<b>ANEXO 2. PROCESO DE CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE</b>	24
<b>ANEXO 3. PROCESO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE</b>	24

## RESUMEN

El objetivo del trabajo de titulación fue obtener un controlador de filtrado a partir del almidón de plátano verde para fluidos de perforación base agua y determinar su funcionalidad mediante ensayos de laboratorio. El almidón de plátano verde se obtuvo mediante el método húmedo. A partir de este almidón, se prepararon distintas formulaciones con almidón, almidón más fibra y almidón modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico. Cada una de las formulaciones fueron sometidas a ensayos de filtrado API y reología (viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente). Se obtuvo 2000 g de almidón y 4500 g de fibra a partir de 10 kg de plátano verde sin cáscara, lo que representó un rendimiento de 20% para el almidón y 45 % para la fibra. La formulación de 15 g de almidón nativo en 350 mL dio como resultado 8.6 mL/30 min en el ensayo de filtrado. En el ensayo de reología, el punto cedente fue de 27 lb/100 pies <sup>2</sup>, estos dos resultados se encontraron dentro de las especificaciones establecidas en la norma API Specification 13-A 18ª edición. La formulación 15 g de almidón en 350 mL de agua (equivalente a 15 lb de almidón por 1 barril de agua) modificado a través de hidrólisis ácida (30 min) con ácido clorhídrico, fue la de mejor rendimiento. Esta formulación dio como resultado un volumen de filtrado de 6.2 mL/30 min, además los valores de viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente fueron 13 cP, 10 cP y 9 lb/100 pies <sup>2</sup> respectivamente. Como resultado de este estudio se obtuvo que el almidón de plátano verde en una formulación de 15 g/350 mL modificado por hidrólisis ácida (30 min) puede ser utilizado como agente controlador de filtrado en fluidos de perforación base agua, ya que cumple con todas las especificaciones de la norma API Specification 13-A 18ª edición.

**Palabras clave:** Almidón de plátano verde, controlador de filtrado, reología, fluidos de perforación, hidrólisis ácida.

## ABSTRACT

The aim of the titration work was to obtain a filtering controller from green plantain starch for water-based drilling fluids and determine their functionality through laboratory tests. The green banana starch was obtained by the wet method. From this starch, different formulations were prepared with starch, starch plus fiber and modified starch by acid hydrolysis with hydrochloric acid. Each of the formulations were subjected to API filtering and rheology tests (apparent viscosity, plastic viscosity and yield point). 2000 g of starch and 4500 g of fiber were obtained from 10 kg of green plantain without husk, which represented a yield of 20% for starch and 45% for fiber. The formulation of 15 g of native starch in 350 mL resulted in 8.6 mL / 30 min in the filter assay. In the rheology test, the yield point was 27 lb / 100 ft<sup>2</sup>, these two results were found within the specifications established in the API Specification 13-A 18th edition. The formulation 15 g of starch in 350 mL of water (equivalent to 15 lb of starch per 1 barrel of water) modified through acid hydrolysis (30 min) with hydrochloric acid, was the best yield. This formulation resulted in a filtration volume of 6.2 mL / 30 min, in addition the values of plastic viscosity, apparent viscosity and yield point were 13 cP, 10 cP and 9 lb / 100 ft<sup>2</sup> respectively. As a result of this study it was obtained that the green banana starch in a 15 g / 350 mL formulation modified by acid hydrolysis (30 min) can be used as a filter-controlling agent in water-based drilling fluids, since it complies with all the specifications of the API Specification 13-A 18th edition.

**Keywords:** Green plantain starch, filtering controller, rheology, drilling fluids, acid hydrolysis.

## **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

La industria petrolera constituye una fuente de recursos económicos indispensables en varios países del mundo. En Ecuador, el ingreso de la industria petrolera representa 14.7% de los ingresos del sector público no financiero (SPNF) (Banco Central del Ecuador, 2018). El proceso de extracción de petróleo en el Ecuador, brevemente, involucra perforar un pozo, bajar la tubería de revestimiento, bajar un cañón y perforar la tubería de revestimiento al nivel del yacimiento para empezar a producir el petróleo (Ruiz & Vílchez, 2015).

La perforación consiste en hacer un agujero a través de la rotación de la sarta de perforación y la aplicación de una fuerza de empuje a la broca para llegar al fondo. Este proceso permite conectar el yacimiento de hidrocarburos con la superficie. El equipo de perforación está compuesto por cinco sistemas: el sistema de izado de cargas, el sistema de rotación, el sistema de circulación de fluidos, el sistema de potencia y el sistema de seguridad (Contreras, 2011; Sánchez, 2016).

En el sistema de circulación uno de los componentes más importantes es el fluido de perforación, el cuál debe ser diseñado correctamente para lograr una perforación exitosa. En general es un fluido que puede ser líquido, gaseoso y mezclas de fluidos y sólidos, que debe cumplir con propiedades físicas y químicas específicas para evitar problemas de estabilidad del hoyo, problemas operacionales, daño de las formaciones productoras y permitir una perforación segura (PDVSA, 2002).

En la tabla 1 se presentan las propiedades físicas y químicas de un fluido de perforación en general.

**Tabla 1.** Propiedades físicas y químicas del fluido de perforación.

Propiedades físicas		Propiedades Químicas
Densidad		Dureza
Reología	Viscosidad	Cloruros
	Punto cedente	Alcalinidad
	Gelificación	
Filtrado		
pH		
Contenido de arena		
Contenido de sólidos y líquidos		

(PDVSA, 2002)

El fluido de perforación base agua está compuesto por varios aditivos químicos que se utilizan para: densificar, viscosificar, controlar el filtrado, controlar reología, controlar el pH, remover sólidos, estabilizar lutitas, evitar la corrosión, controlar bacterias, precipitar contaminantes y lubricar (PDVSA, 2002).

El controlador de filtrado tiene como función evitar que la fase líquida del fluido de perforación ingrese a través del revoque a la formación productora, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial. Un volumen excesivo de filtrado puede provocar la inestabilidad del pozo, daño a la humectabilidad natural en la formación y cambios en la permeabilidad de la formación productora, así como condiciones de hoyo reducido, aumento de torque, aumento de arrastre, tuberías pegadas y pérdida de circulación, teniendo como consecuencia la reducción de la producción del pozo. Por lo tanto, es importante la selección adecuada de un controlador de filtrado que reduzca el volumen de fluido que ingresa a la formación, y además no afecte la reología del fluido de perforación (Coinspetrol Ltda, 2009; Schlumberger, 2018; Vallejo, 2015).

Los controladores de filtrado deben cumplir con características químicas y físicas compatibles con la formación productora, deben ser inertes a las contaminaciones con minerales o sales, inmunes al desarrollo de bacterias y estables a altas temperaturas, además no deben ser tóxicos, corrosivos o inflamables (PDVSA, 2002).

El control de filtrado es eficiente cuando los volúmenes de filtrado son bajos y el revoque o costra de lodo es delgado y de la permeabilidad adecuada, mientras que volúmenes grandes de filtrado y un revoque más grueso indican un control de filtrado ineficaz (Bello, 2017).

Por otro lado, una de las problemáticas que tiene la industria petrolera es que la mayoría de los controladores de filtrado no se producen dentro del país, hay que importarlos de otros países, lo que provoca que los costos operacionales se eleven. Así, el petróleo ecuatoriano se vuelve menos competitivo en el mercado.

Diferentes químicos y polímeros se han utilizado en la industria para formular el fluido de perforación para que este cumpla con los requisitos técnicos de reología, densidad y control de filtrado, entre otros. Como alternativa a los polímeros químicos que actualmente se utilizan como controladores de filtrado, se han investigado y usado almidones naturales que debido a su configuración estructural funcionan de manera similar a los polímeros.

En Estados Unidos, se ha utilizado almidón de maíz local como aditivo en los fluidos de perforación obteniendo mejores propiedades para controlar el filtrado que el almidón importado (Krueger, 2010).

Se han desarrollado almidones a partir de la yuca como controladores de filtrado en fluidos de perforación base agua. Esta opción en Venezuela, resultó económicamente viable comparado con los aditivos controladores de filtrado industriales (González, Martínez, Vega, & Otahola, 2012).

Actualmente se buscan aditivos para los fluidos de perforación que cumplan con el propósito de disminuir costos y conservar el medio ambiente. Aproximadamente hace cuatro años, en Ecuador se han comenzado a investigar alternativas a los controladores de filtrado comerciales para reducir los costos operacionales. En este país se han investigado los almidones de papa y yuca como alternativas de aditivos de fluidos de perforación.

En la tabla 2, se reportan los resultados que se obtuvieron con el almidón de papa después de varios ensayos de laboratorio. A una concentración de 10g de almidón alcanzaron el menor volumen de filtrado API. Las propiedades reológicas de viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente se mantuvieron dentro de las especificaciones exigidas por la industria. En esta investigación, la modificación mediante hidrólisis enzimática perjudicó la capacidad del almidón como controlador de filtrado. Por lo tanto, este estudio concluyó que el almidón nativo sin modificaciones puede ser utilizado como aditivo controlador de filtrado (Rivera, 2017).

**Tabla 2.** Resumen de ensayos de controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de papa

Producto	Concentración (g/350mL H <sub>2</sub> O)	Viscosidad aparente (cP)	Viscosidad plástica (cP)	Punto cedente (lb/100 pies <sup>2</sup> )	Filtrado API (mL/30min)
Almidón nativo	10	18.5	13	11	9.8
Almidón/fibra nativo	10 (90%/10%)	17.5	11	13	9.8
Almidón modificado con hidrólisis enzimática	10	8.5	3	11	350

(Rivera, 2017)

En la tabla 3 se presentan los resultados del almidón de yuca. El valor reportado de filtrado API con 10 g de almidón nativo fue mayor al que obtuvieron con la mezcla de almidón/fibra (9 g/1 g). Además, con esta

mezcla las propiedades reológicas fueron adecuadas, mientras que con el almidón modificado el volumen de filtrado API aumentó respecto a la mezcla almidón-fibra. En este estudio se concluyó que la mezcla de almidón más fibra de yuca se podría utilizar como controlador de filtrado en fluidos de perforación base agua (Guaquipana, 2017).

**Tabla 3.** Resumen de ensayos de controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de yuca

Producto	Concentración (g/350mL H <sub>2</sub> O)	Viscosidad aparente (cP)	Viscosidad plástica (cP)	Punto cedente (lb/100 pies <sup>2</sup> )	Filtrado API (mL/30min)
Almidón nativo	10	2.5	1	3	13.5
Almidón/fibra nativo	10 (90%/10%)	12	8	8	10.5
Almidón modificado con hidrólisis ácida	22	N/A	N/A	N/A	16.5

(Guaquipana, 2017)

Con estos antecedentes, la presente investigación está enfocada en plantear una alternativa a los controladores de filtrado comerciales utilizando almidón de plátano verde (*Musa x Paradisiaca*) como controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua.

En este estudio se ha escogido el almidón de plátano verde como alternativa de controlador de filtrado debido a su amplia producción en el territorio nacional y las características físico químicas de este polímero natural. Esta planta es idónea dado que se producen 6.53 millones de toneladas métricas por año en el Ecuador. Así la producción del controlador de filtrado a base de este almidón permitiría el desarrollo de la economía local (Corporación Financiera Nacional, 2017).

El almidón de plátano verde está conformado por dos compuestos de diferente estructura, la amilosa que es lineal y la amilopectina que es ramificada. Es una molécula estructural de carácter aniónico, considerada hidrófila, es decir que al estar en contacto con agua y calor, las moléculas de amilosa empiezan a agruparse gelatinizando el almidón, lo cual le permite absorber grandes cantidades de agua y aumentar la viscosidad del sistema: almidón-agua. El almidón gelificado actúa como controlador de filtrado en las paredes del pozo disminuyendo la pérdida de fluido en la formación. El plátano verde contiene un 10% en peso extra de amilosa comparado con otros almidones; esta característica le proporciona una mayor funcionalidad



como agente controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua (Ariza & Fajardo, 2011).

En la presente investigación se detalla la obtención de un controlador de filtrado a partir del almidón de plátano verde y los ensayos de laboratorio regidos por las normas API Recomendado 13 B -1 (2003) y API Specification 13 A (2010), cuyas especificaciones para el almidón se muestran en la tabla 4, para comprobar su eficiencia y su posible uso como una alternativa amigable con el medio ambiente.

**Tabla 4.** Especificaciones físicas del almidón industrial para fluidos de perforación

Parámetro de prueba	Especificación
Propiedades de suspensión	N/A
Lectura del viscosímetro dial a 600 r/min	Máximo 20
Viscosidad aparente, cP	Máximo 10
Volumen de filtrado, mL/30min	Máximo 10
Viscosidad plástica, cP	Máximo 15
Punto cedente, lb/100pies <sup>2</sup>	Máximo 35
Tamizado, residuo superior a 2000 $\mu$ m	No deja residuos

(API Specification 13A, 2010)

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de plátano verde determinando su funcionalidad mediante pruebas de laboratorio

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener el almidón a partir del plátano verde mediante el método húmedo.
- Caracterizar las formulaciones del almidón de plátano verde, almidón más fibra y almidón modificado por hidrólisis ácida con ácido clorhídrico, mediante ensayos de filtrado API y reología (viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente).

## **2. METODOLOGÍA**

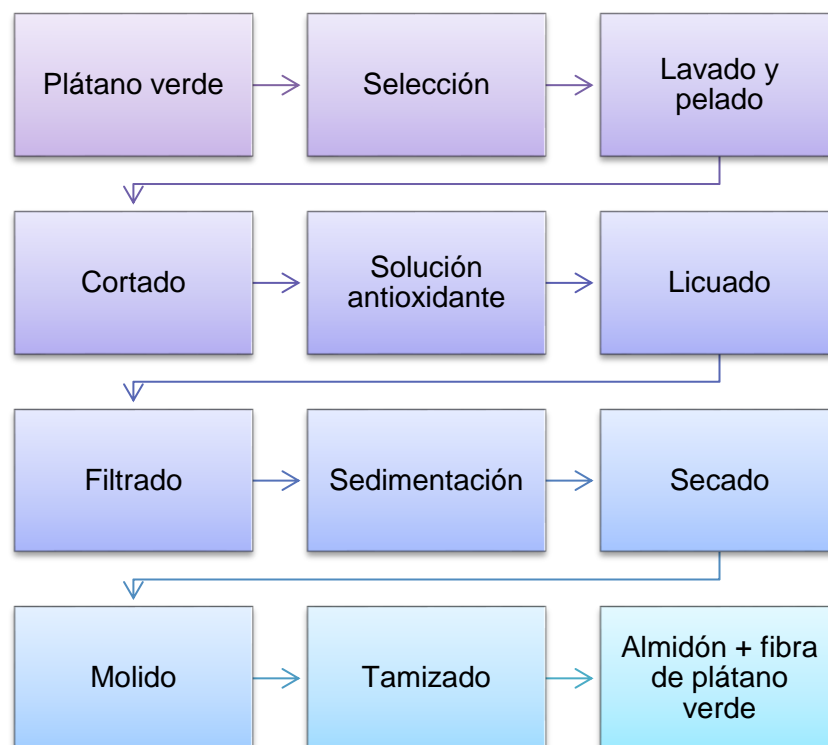
## 2. METODOLOGÍA

La obtención del controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de plátano verde, fue un trabajo de tipo experimental mediante pruebas de filtrado API y reología, se desarrolló de manera íntegra en el laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CNPC - CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) Ecuador, en las instalaciones de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

### 2.1 PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE

La extracción de almidón de plátano verde nativo se realizó mediante el método húmedo, ver anexo 1. Se tomó como base los procedimientos recomendados por los autores: Dávila (2014) y Flores, y otros, (2004).

En la Figura 1, se muestra el resumen del proceso de extracción de almidón y fibra del plátano verde.



**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso de extracción del almidón nativo y fibra del plátano verde

## 2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE

Se realizó la caracterización de las propiedades físicas y reológicas del almidón de plátano verde, mediante los ensayos de gelatinización del almidón, medición de pH y reología (viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente). Estos procedimientos se realizaron de acuerdo al Manual de Pruebas de Laboratorio de la empresa CNPC-CCDC (2017) y siguiendo la norma API Recomendado 13 B-1 (2003), ver anexo 2. Se comparó las características del almidón de plátano verde con el almidón industrial.

### 2.2.1 PRUEBA DE LUGOL

Para verificar la presencia de almidón se realizó una prueba cualitativa de lugol. Esta prueba permite evidenciar la presencia de polisacáridos como el almidón. Se preparó una solución con 5 g de almidón de plátano verde en 25 mL de agua. Se añadió 6 gotas de lugol a la muestra. Se reportó la coloración que tomó la solución. El procedimiento que se realizó fue el recomendado en el Manual de prácticas de laboratorio de: Biología General (2014).

## 2.3 FORMULACIONES DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE EN AGUA

La concentración del almidón de plátano verde y el volumen de agua, se determinó mediante el Manual de fluidos de perforación y completación de la empresa CNPC – CCDC (2017). Se realizó 5 formulaciones con distintas concentraciones de almidón nativo y agua fresca desde F0 hasta F4 y 5 formulaciones con almidón nativo más fibra y agua fresca desde F5 hasta F9, como lo muestran los datos presentados en la tabla 5.

**Tabla 5.** Formulaciones de las distintas concentraciones de almidón y fibra nativo de plátano verde

Productos	Concentración									
	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Formulación	F0	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
Almidón nativo (g)	3	6	9	12	15	13.5	12	10.5	9	7.5
Fibra (g)						1.5	3	4.5	6	7.5
Almidón comercial (g)										
Agua (mL)	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350

Con la misma identificación de las formulaciones que se muestra en la tabla 5, se presentarán las posteriores figuras y tablas. Además, se realizaron reacciones de hidrólisis ácida en diferentes periodos de tiempo con una sola formulación con almidón nativo (F4), con el objetivo de verificar de la funcionalidad del controlador de filtrado.

## **2.4 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA**

Se ejecutó ensayos de filtrado API y reología para las diferentes formulaciones de almidón de plátano verde y almidón más fibra, dadas en la tabla 5. Con el propósito de determinar la funcionalidad del almidón de plátano verde como controlador de filtrado

Para realizar los ensayos de filtrado API y reología, primero se gelatinizó el almidón y se midió el pH, como se detalla a continuación:

### **2.4.1 GELATINIZACIÓN DEL ALMIDÓN**

Se preparó la solución acuosa de almidón y agua con las formulaciones presentadas en la tabla 5. Se administró calor y agitó cada solución por 20 minutos hasta alcanzar la temperatura de 194 °F, mediante un agitador magnético con calentamiento marca CORNING modelo PC-620D, ver anexo 4. Este proceso permitió que el almidón se diluya y se gelifique de manera adecuada. Se dejó enfriar cada solución hasta la temperatura ambiente, este proceso se repitió para todas las concentraciones de almidón y almidón más fibra. Se trabajó con almidón y fibra diluidos. Este proceso se basó en el recomendado por Martínez, Calderón, Rodríguez, Cabrera, & Valle (2015).

### **2.4.2 MEDICIÓN DE pH**

Se midió el pH para las diferentes concentraciones de almidón y almidón más fibra con el potenciómetro sensiON™ + portable meter marca HACH. Para el almidón modificado con hidrólisis ácida, el pH se midió al inicio y al final de la hidrólisis. Este procedimiento se basó en el establecido en la norma API Recommended 13 B-1 (2003). Después de medir el pH se realizó los ensayos de filtrado API y reología.

### **2.4.3 ENSAYO DE FILTRADO API**

Se desarrolló la prueba de filtrado mediante el uso del filtro prensa API, marca OFITE. Con este ensayo se determinó la funcionalidad las distintas formulaciones de almidón nativo, almidón más fibra y almidón modificado con hidrólisis ácida como controlador de filtrado para fluidos de perforación

base agua. Este procedimiento se basó en el establecido en la norma API Recommended 13 B-1.

#### 2.4.4 ENSAYO DE REOLOGÍA

Se realizó el ensayo mediante el uso del viscosímetro marca OFITE modelo 800. Las lecturas se realizaron a 120 °F, de acuerdo al procedimiento establecido en la norma API Recommended 13 B-1. El viscosímetro se utilizó para establecer las propiedades reológicas del fluido, es decir, la viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente de las diferentes formulaciones, ver tabla 5.

- **Viscosidad aparente**

La viscosidad aparente se calculó mediante la ecuación 1.

$$Va(cP) = \frac{Lectura600RPM}{2} \quad [1]$$

- **Viscosidad plástica**

La viscosidad plástica se calculó mediante la ecuación 2

$$Vp(cP) = Lectura600RPM - Lectura300RPM \quad [2]$$

- **Punto cedente (Yield point)**

El punto cedente se calculó mediante la ecuación 3

$$Yp\left(\frac{lbs}{pie^2}\right) = Lectura300RPM - Vp \quad [3]$$

#### 2.5 MODIFICACIÓN DEL ALMIDÓN

Para mejorar la funcionalidad del almidón plátano verde como controlador de filtrado se realizó una modificación a través de una reacción de hidrólisis ácida. La transformación del almidón se realizó con ácido clorhídrico HCl, con el objetivo de hidrolizar al almidón de un polisacárido a sus componentes monosacáridos, mediante el rompimiento de los enlaces glucosídicos, ver anexo 3. El proceso que se utilizó fue el recomendado por Bolaños, Lutz, & Herrera (2003).

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE

Las propiedades físicas del almidón son importantes a la hora de establecer las formulaciones para el controlador de filtrado. Por tanto, el primer objetivo de este estudio fue obtener almidón de plátano verde para realizar los ensayos de laboratorio. A partir de 10 kg de plátano verde se obtuvieron 2000 g de almidón y 4500 g de fibra que representó un rendimiento de 20% para el almidón y 45% para la fibra.

Se evaluaron diferentes características y se compararon con las propiedades del almidón industrial, ver tabla 7.

**Tabla 6.** Características del almidón nativo y almidón industrial

Características	Almidón nativo	Almidón industrial
Color	Beige	Blanco
Estado físico	Sólido	Sólido
pH disuelto en agua	7.5	7.2
Viscosidad aparente (cP)	44.5	35.5
Viscosidad plástica (cP)	31	26
Punto cedente (lb/100 pies <sup>2</sup> )	27	19
Temperatura de Gelatinización (°F)	180-194	176-194

El potencial hidrogeno es una característica importante del almidón diluido, dado que al encontrarse en un ambiente ácido puede contaminarse de microorganismos y entrar en un proceso de degradación. El pH del almidón nativo fue 7.5 y el del almidón industrial fue 7.2. El almidón nativo se encuentra en un valor de pH neutro y está dentro de los criterios establecidos en el manual de fluidos de perforación de PDVSA (2002).

El almidón nativo tiene valores de viscosidad aparente de 44.5 cP, viscosidad plástica de 31 cP y punto cedente de 27 lb/100 pies<sup>2</sup>. Estos valores son mayores a los registrados por el almidón industrial que fueron de 35.5 cP, 26 cP y 19 lb/100 pies<sup>2</sup> respectivamente. Los valores de viscosidad son propios de cada tipo de almidón y varían de acuerdo a la fuente.

El almidón de plátano verde gelatinizó en un rango de temperatura de 180-194 °F. La temperatura de gelatinización es otro parámetro que se debe



definir, ya que un almidón gelatinizado absorbe agua, característica que le permite actuar como controlador de filtrado.

### 3.1.1 PRUEBA DE LUGOL

Para comprobar la presencia de almidón de plátano verde, se realizó la prueba de lugol, tabla 8.

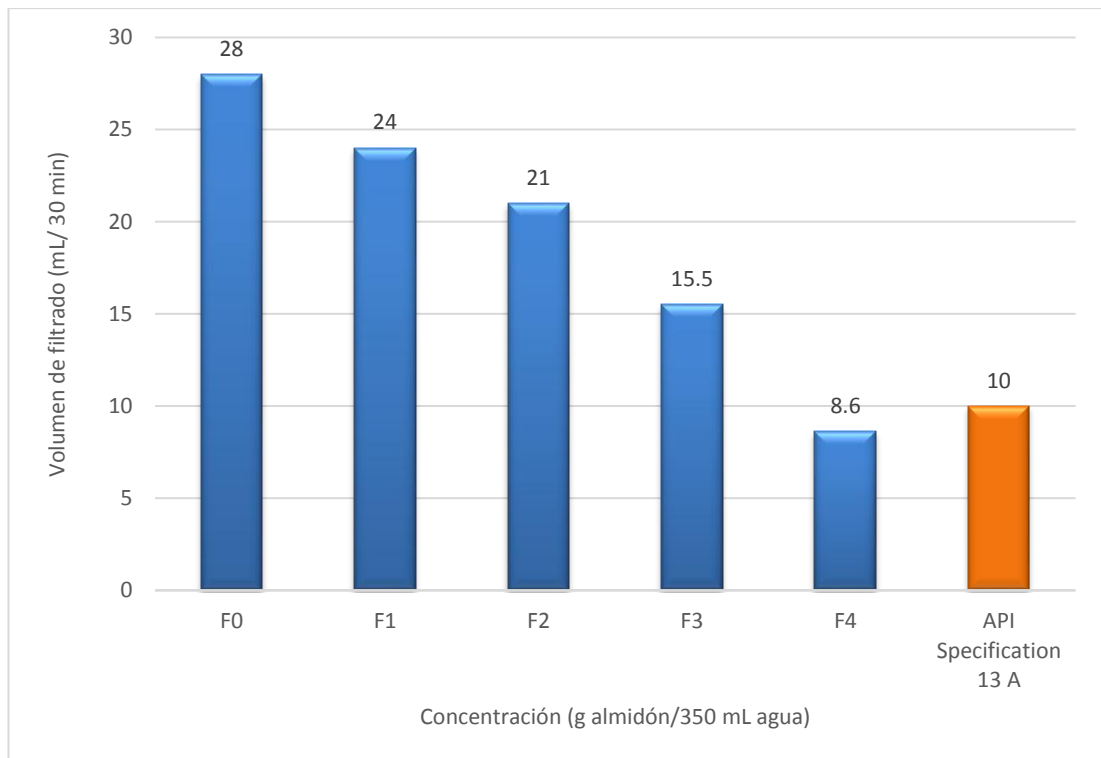
**Tabla 7.** Resultado de la prueba de Lugol

Solución	Color inicial de la solución	Color al añadir el lugol	Resultado de la prueba
5g muestra + 25 mL de agua	Beige	Azul	Positivo

La prueba de lugol resultó positiva para la presencia de almidón. Las moléculas de almidón reaccionaron con el yodo provocando la coloración azul. Las características del almidón de plátano verde fueron apropiadas para proceder con los ensayos de laboratorio. El almidón tiene las propiedades básicas recomendadas por el manual de fluidos de perforación de PDVSA para considerarlo como un potencial controlador de filtrado.

## 3.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE

Como se describió en la metodología se evaluaron diferentes concentraciones de almidón desde 3 g hasta 15 g. La funcionalidad está determinada por la cantidad de filtrado (agua) que se obtiene al final de la prueba. El volumen de filtrado que se obtuvo con cada concentración es inversamente proporcional a la cantidad de almidón que se utilizó. La disminución del filtrado es gradual hasta llegar a la concentración de 15 g de almidón. Ver la figura 2.



**Figura 2.** Resultados del ensayo de filtrado API del almidón nativo

Con la concentración que se obtuvo mejor rendimiento es con 15 g de almidón donde se logró un filtrado de 8.6 mL/30min, que está dentro de la norma API Specification 13 A, donde el volumen máximo de filtrado permitido es 10 mL/30min. Por lo tanto, el almidón nativo se puede considerar como controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua, corroborado con estos resultados.

Diversos almidones se han investigado como alternativas a los controladores de filtrado industriales. En la tabla 2, se muestran los resultados del estudio que se realizó con almidón de papa nativo como controlador, donde alcanzó un filtrado de 9.8 mL/30min con 10 g de almidón. En la tabla 3, se reporta los valores que se obtuvieron con almidón de yuca nativo como controlador y obtuvo un filtrado de 13.5 mL/30min con 10 g de almidón.

Estos valores no fueron favorables puesto que sobrepasan el valor máximo de filtrado establecido en la norma API Specification 13 A, mientras que el almidón de plátano verde se mantuvo dentro de las especificaciones de la norma.

En el Manual de fluidos de perforación y completación de CCDC (2017), se indica que por lo general se utiliza de 2 a 10 g de almidón por cada 350 mL de agua. Sin embargo, la norma indica que se puede aumentar la cantidad almidón bajo la condición de no afectar las propiedades reológicas del fluido.

Dado que en el ensayo de filtrado API, se obtuvo mejor resultado con 15 g de almidón, se decidió utilizar esta formulación (F4) para los posteriores ensayos.

En la tabla 9, se muestran los valores de viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente para las formulaciones de almidón nativo evaluados a una temperatura de 120 °F.

**Tabla 8.** Viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente del almidón nativo

Formulación	Viscosidad plástica (cP)	Viscosidad aparente (cP)	Punto cedente (lb/100 pies <sup>2</sup> )
F0	1	2	2
F1	2	3	2
F2	6	7.5	3
F3	18	25.5	15
F4	31	44.5	27
API Specification 13A	15	10	35

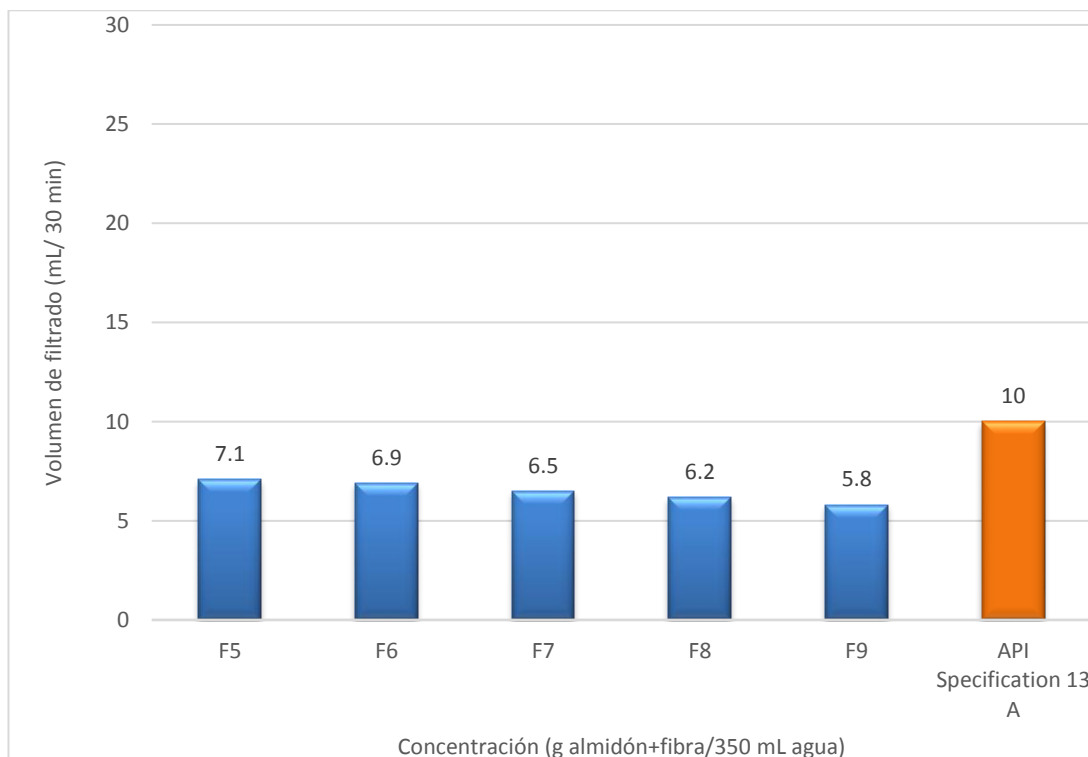
La viscosidad plástica para la concentración de 15 g de almidón (F4) fue 31 cP y la viscosidad aparente fue de 44.5 cP, estos valores fueron mayores a los establecidos por la norma API Specification 13 A. Esto indica que a mayor concentración de almidón la viscosidad es mayor. Al incrementar las partículas sólidas en la solución, aumenta la fricción entre las mismas y por lo tanto aumenta la resistencia de esta mezcla al flujo.

El punto cedente fue de 27 lb/100pies<sup>2</sup>. Este valor se encuentra dentro de las especificaciones establecidas por la norma API Specification 13 A, ver tabla 4. Los valores de viscosidad y punto cedente no afectaron a la reología de la solución almidón-agua. La viscosidad aparente, la viscosidad plástica y punto cedente que se obtuvieron con 15 g del almidón nativo fueron mayores a los valores reportados para el almidón de papa y el almidón de yuca, ver tabla 2 y 3. La diferencia se debe, principalmente, a la cantidad de almidón que se usa para la prueba. En ambos estudios usaron 10 g de almidón, por lo tanto la concentración de sólidos, la fricción mecánica y atracción entre las partículas fue menor.

De acuerdo a los resultados que se obtuvieron, la formulación seleccionada fue 15 g /350mL (F4). Esta fue la única muestra que cumplió con la propiedad reológica de punto cedente y volumen de filtrado exigidos por la norma API Specification 13 A.

### 3.3 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DE ALMIDÓN + FIBRA NATIVO DE PLÁTANO VERDE

Para encontrar una mejor formulación para controlar el filtrado se usó como aditivo fibra de plátano verde. Se realizaron cinco formulaciones con almidón y fibra desde F5 a F9, que se detallan en la tabla 5. Se evaluó la funcionalidad de estas con las pruebas de filtrado API y reología, que se muestran a continuación, en la figura 4 y tabla 10, respectivamente.



**Figura 3.** Resultados del ensayo de filtrado API de la mezcla almidón + fibra nativo

Como se observa en la figura 3, se evaluaron diferentes mezclas de almidón más fibra. El volumen de filtrado que se obtuvo con cada formulación fue disminuyendo a medida que se aumentó la cantidad de fibra. La disminución del filtrado fue gradual hasta llegar a la concentración de 7.5 g de almidón más 7.5 g de fibra (F9). Con esta formulación se alcanzó el filtrado de 5.8mL/30min, este volumen fue menor al que se obtuvo con el almidón nativo (F4). Sin embargo, el punto cedente fue mayor al establecido en la norma, ver tabla 4. La formulación F9 no se consideró como una opción para controlar el filtrado dado el valor del punto cedente.

La formulación F9 presentó un comportamiento distinto a la mezcla almidón-fibra de papa (tabla 2) y a la mezcla almidón-fibra de yuca (tabla 3). En los estudios de esos almidones disminuyó el filtrado a medida que aumentaba la concentración de almidón en la mezcla. Con el almidón de papa se obtuvo

9,8 mL/30min y con el de yuca 10,5 mL/30min, con 9 g de almidón y 1 g de fibra en ambos casos. Básicamente, tanto en el almidón de yuca como en el de papa la fibra como aditivo en las mezclas resultó favorable en la formulación del controlador del filtrado, contrario a los resultados que se obtuvieron con la mezcla almidón-fibra del plátano verde. Un factor que probablemente tiene influencia en estos resultados es el proceso de gelatinización que se utilizó en cada caso.

Respecto a los ensayos de viscosidad, en la tabla 10 se muestra que al aumentar la fibra en la mezcla la viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente también aumentan.

**Tabla 9.** Viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente de la mezcla almidón+fibra nativo

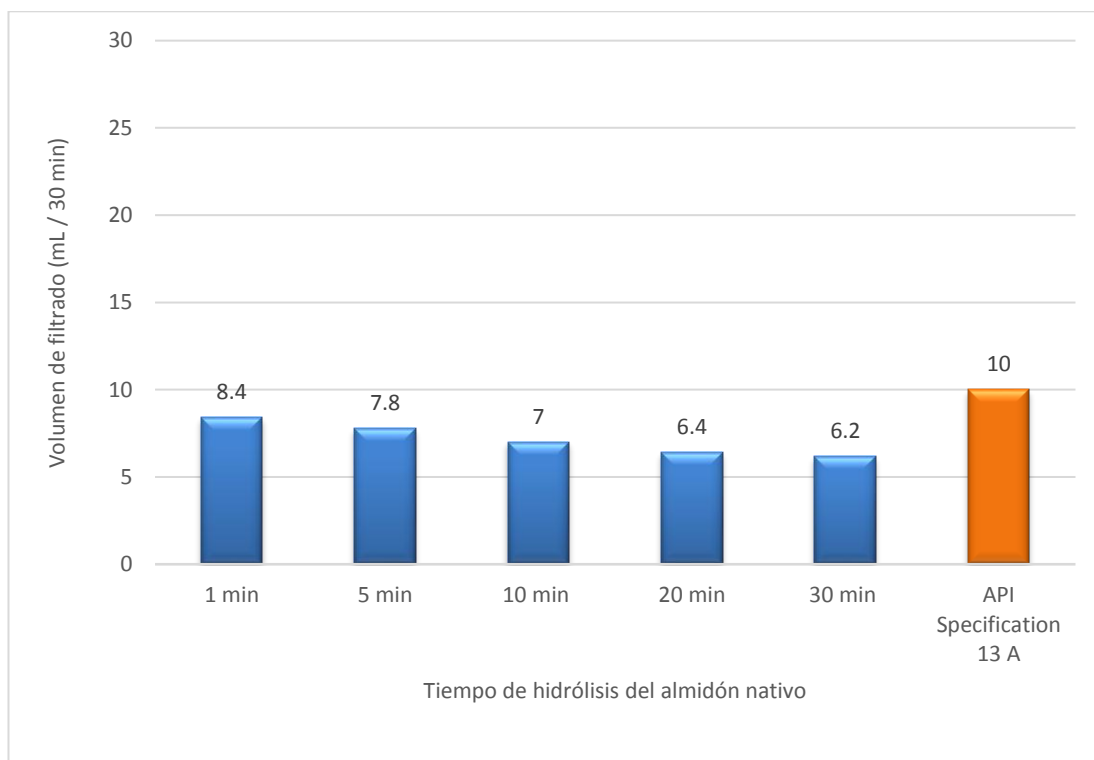
<b>Formulación</b>	<b>Viscosidad plástica (cP)</b>	<b>Viscosidad aparente (cP)</b>	<b>Punto cedente (lb/100 pies<sup>2</sup>)</b>
F5	44	62	36
F6	45	65	40
F7	46	66	40
F8	45	68.5	47
F9	47	71	48
API Specification 13A	15	10	35

La formulación F9 presentó el volumen de filtrado más bajo. La viscosidad plástica fue 47 cP y la viscosidad aparente fue 71 cp, valores altos respecto a los que se alcanzaron con F4 (tabla 9). Es importante destacar que las viscosidades deben mantenerse al nivel más bajo posible. El punto cedente fue alto con un valor de 48 lb/100pies<sup>2</sup>, estos valores no satisfacen los requerimientos de la industria y no cumplen con las especificaciones establecidas por la norma API Specification 13 A. Entonces, F9 que constituye la mezcla de almidón y fibra no se puede utilizar como controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua.

Ninguna de las formulaciones de almidón más fibra cumplió con las propiedades reológicas exigidas por la norma API Specification 13 A, a pesar de cumplir con las especificaciones en la prueba de filtrado API. Por lo tanto, no se escogió ninguna muestra para continuar con el estudio.

### 3.4 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA CON ALMIDÓN MODIFICADO MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA

Se realizaron reacciones de hidrólisis ácida con el almidón en diferentes periodos de tiempo, ver figura 4.



**Figura 4.** Resultados del ensayo de filtrado API de la muestra F4 modificada mediante hidrólisis ácida

El volumen de filtrado disminuía a medida que se aumentó el tiempo que se dejó actuar al ácido. La disminución del filtrado fue gradual hasta llegar a 30 min con 15 g de almidón (F4), con esta formulación y periodo de tiempo se alcanzó un filtrado de 6.2 mL/30min. Este volumen fue menor al que se obtuvo en pruebas de filtrado API previas. El ácido clorhídrico reaccionó con el almidón formando un gel más fuerte, es así, que al aumentar el tiempo de reacción del ácido también mejoró el volumen de filtrado.

El almidón de yuca con una concentración de 22 g modificado por hidrólisis ácida no obtuvo resultados positivos en el volumen de filtrado y aumentó a 16.5 mL/30min, tabla 3. Pasados los 30 min, si sigue actuando el ácido, los polisacáridos se convierten monómeros estos ya no pueden formar la misma distribución estructural, por lo tanto el almidón pierde su capacidad de retención de líquidos. En resumen, con una mayor exposición del almidón frente al ácido se afecta la capacidad del almidón para controlar el filtrado.

En relación a los valores de viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente de la muestra F4 modificada disminuyeron a medida que aumentó el tiempo de acción del ácido clorhídrico, lo que se observa en la tabla 11.

**Tabla 10.** Viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente de la muestra F4 modificada por hidrólisis ácida

Formulación F4 15g/350mL	Tiempo de hidrólisis ácida (min)					API Specification 13A
	1	5	10	20	30	
pH inicial	1.78	1.89	1.84	1.92	1.83	N/A
pH final	6.06	6.09	6.38	6.14	6.04	N/A
Viscosidad plástica (cP)	21	21	17	16	13	15
Viscosidad aparente (cP)	35	30	25.5	18	10	10
Punto cedente (lb/100 pies <sup>2</sup> )	28	18	17	14	9	35

La viscosidad plástica y la viscosidad aparente para el periodo de tiempo de 30 min fueron 13 cP y 10 cP, respectivamente. Estos resultados fueron favorables puesto que el almidón formó un gel más resistente y menos viscoso. Al disminuir la viscosidad del fluido de perforación hay mejor flujo en el espacio anular para limpiar el pozo, así como la reducción del consumo de combustible y menor desgaste de los equipos. El punto cedente para 30 min fue de 9 lb/100pies<sup>2</sup>, valor que se encuentra dentro de las especificaciones establecidas por la norma API Specification 13 A.

La formulación 15 g/350mL (F4) modificada por 30 min, fue la única formulación con almidón modificado que cumplió con las condiciones de viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente establecidas en la norma API Specification 13 A. Esta se podría utilizar en fluidos de perforación base agua como controlador de filtrado.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

- Se obtuvo a partir de 10 kg de plátano verde sin cáscara 2000 g de almidón y 4500 g de fibra, lo que representó un rendimiento de 20% para el almidón y 45 % para la fibra.
- La formulación de 15 g/350mL equivalente a 15lb/bbl, modificado por 30 min con hidrólisis ácida, cumplió con todas las especificaciones de viscosidad plástica, viscosidad aparente, punto cedente y volumen de filtrado de la norma API Specification 13 A, por lo tanto, se podría utilizar como agente controlador de filtrado en fluidos de perforación base agua.
- La adición de fibra de plátano verde en cualquier concentración no permite que el almidón cumpla con las propiedades reológicas, sin embargo, si cumplió con el volumen de filtrado especificado en la norma API Specification 13 A.

### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Se recomienda no adicionar fibra al almidón para utilizarlo como controlador de filtrado
- A partir de este estudio, se recomienda utilizar la formulación de 15g/350mL de almidón modificado por 30 min, en conjunto otros aditivos en el fluido de perforación, y evaluar su comportamiento.
- Se recomienda utilizar las concentraciones de almidón y almidón más fibra propuestas en este estudio y evaluarlas en fluidos de perforación a base de agua salada.
- Con los resultados que se obtuvieron en este estudio, se recomienda determinar el posible uso del almidón de plátano como aditivo viscosificante.

## **5. BIBLIOGRAFÍA**

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- API Recommended 13 B-1. (2003). *Recommended Practice for field testing water-based drilling fluids*.
- API Specification 13A. (2010). Petroleum and natural gas industries - Drilling Fluids - Specifications and Testing . En A. P. Institute. Texas.
- Ariza, E., & Fajardo, A. (2011). Factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. *Rev. ION*, 24(1), 15-22. Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-100X2011000100003](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-100X2011000100003)
- Banco Central del Ecuador. (2018). *Estadísticas macroeconómicas*. Obtenido de <https://www.bce.fin.ec/index.php/estadisticas-economicas>
- Bello, R. (2017). *Perforación*. Obtenido de <https://www.academia.edu/17262740/perforacion>
- Bolaños, N., Lutz, G., & Herrera, C. (2003). *Química de Alimentos: Manual de Laboratorio*. San José: Universidad de Costa Rica.
- CNPC-CCDC. (2017). *Manual de fluidos de perforación y completación*. Quito.
- CNPC-CCDC. (2017). *Manual de Pruebas de Laboratorio*. Quito.
- Coinspetrol Ltda. (2009). *Fluidos de control*. Obtenido de <https://issuu.com/biliovirtual/docs/fluidos-de-control>
- Contreras, Á. (2011). *Los 5 sistemas básicos del equipo de perforación*. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/58265643/LOS-5-SISTEMAS-BASICOS-DEL-EQUIPO-DE-PERFORACION>
- Corporación Financiera Nacional. (2017). *Ficha sectorial: Banano y Plátano*. Obtenido de <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2017/09/Ficha-Sectorial-Banano.pdf>
- Dávila, V. (2014). Determinación de los parámetros para la extracción de almidón del plátano bellaco (*Musa paradisiaca*). *Revista de Investigación Universitaria*, 3(2), 23-28.
- Flores, E., García, F., Flores, E., Nuñez, M., González, R., & Bello, L. (2004). Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*Musa paradisiaca*). Estudio en planta piloto. *Acta Científica Venezolana*, 55(1), 86-90.
- González, J., Martínez, Á., Vega, R., & Otahola, J. (2012). Almidón de yuca (*Manihot esculenta*) como aditivo controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua. *10th LACCEI Latin American and Caribbean Conference* (págs. 1-5). Panamá: Universidad de Oriente.
- Guaquipana, J. (2017). Obtención de un controlador de filtrado para fluidos de perforación de pozos petroleros, en base a almidón de yuca. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

- Krueger, R. (2010). Evaluation of Drilling Fluid Filter Loss Additives Under Dynamic Conditions. *Society of Petroleum Engineers*. doi:10.2118/431-PA
- Martínez, O., Calderón, B., Rodríguez, J., Cabrera, C., & Valle, F. (2015). Mecanismos de gelatinización del almidón nativo de banano exportable del Ecuador. *Revista Colombiana de Química*, 44(2).
- PDVSA. (2002). *Fluidos de perforación*. Obtenido de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmFjcnVkbWVhcnJlcmF8Z3g6MjlxMjI1ZjA5MWFkZWY3>
- Rivera, P. (2017). Obtención de un controlador de filtrado en base a almidón de papa para fluidos de perforación, base agua, para pozos petroleros. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Rodríguez, J., & Chacón, M. (2014). *Manual de prácticas de laboratorio de: Biología General*. EUNED.
- Rodríguez, P., & Franklig, R. (2002). Evaluación del producto FR-021M como agente de control del filtrado en fluidos de perforación base agua. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Central de Venezuela, Caracas.
- Ruiz, R., & Vílchez, M. (2015). *Un futuro distinto para el petróleo*. Obtenido de [http://www.iesseneca.net/revista/spip.php?page=imprimir\\_articulo&id\\_article=524](http://www.iesseneca.net/revista/spip.php?page=imprimir_articulo&id_article=524)
- Sánchez, I. (2016). Perforación en la industria petrolera. (*Tesis de Pregrado*). Instituto Politécnico Nacional, México D.F.
- Schlumberger. (2018). *Daño de la formación*. Obtenido de [http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/f/formation\\_damage.aspx?p=1](http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/f/formation_damage.aspx?p=1)
- Vallejo, D. (2015). Análisis y formulación del fluido de perforación base agua de la compañía CCDC (CNPC CHUANQUING DRILLING COMPANY) aplicado a la perforación del pozo "DV 101" del campo Sacha, del PAD 290 de la Cuenca Oriente Ecuatoriana. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.

## **6. ANEXOS**

## 6. ANEXOS

### ANEXO 1. PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE

1. **Recepción de la materia prima:** El plátano verde adquirió en el Mercado Mayorista al sur de Quito, se transportó inmediatamente al lugar donde fue procesado para evitar el deterioro y maduración del fruto.
2. **Selección:** Se seleccionó los plátanos verdes en óptimo estado, desechando los dañados o amarillos, ya que contienen azúcares y por lo tanto tienen menor contenido de almidón.
3. **Lavado y pelado:** Se lavó los plátanos para eliminar la tierra con agua potable. Se retiró la cáscara del fruto manualmente mediante el uso de un cuchillo.
4. **Cortado:** El plátano verde pelado se cortó en trozos de 2 - 4 centímetros.
5. **Solución antioxidante:** Se evitó que se oxide el plátano verde colocando los trozos del fruto en un recipiente de 4 litros con una solución antioxidante de ácido cítrico al 0,3% de concentración por 10 minutos.
6. **Licuada:** Los trozos de plátano verde junto con agua potable se colocaron en una licuadora casera marca Oster serie BPSTO2-BOO, a velocidad máxima por 4 minutos.
7. **Filtrado:** La pulpa se pasó por una tela de filtrado, para separar el almidón de la fibra, la cual posteriormente se secó y almacenó.
8. **Sedimentación:** Se realizó por un tiempo de 24 horas para separar el almidón suspendido en el agua.
9. **Secado:** El almidón húmedo se secó a 50 ° C por 24 horas en una estufa universal marca Memmert modelo UN 110, para reducir la humedad del almidón.
10. **Molido:** El almidón seco se molió en un mortero de porcelana hasta convertirlo en polvo.
11. **Tamizado:** Se tamizó el almidón en una Malla No.200
12. **Empacado:** El almidón se almacenó en bolsas de polietileno hasta su utilización.

## **ANEXO 2.**

### **PROCESO DE CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE**

1. Se tomó una muestra de 15 g de almidón de plátano
2. Se diluyó la muestra en 350 mL de agua para determinar la temperatura de gelatinización del almidón
3. Se aplicó temperatura hasta observar un cambio de color en la solución
4. Se tomó la temperatura en ese punto.
5. La muestra se sometió al ensayo de reología mediante el uso del viscosímetro marca OFITE modelo 800, con el cuál se obtuvo la viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente
6. Se sometió al mismo proceso al almidón industrial, para comparar sus características con el almidón de plátano verde.

## **ANEXO 3.**

### **PROCESO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO VERDE**

7. Para hidrolizar el almidón se diluyó 15 g de almidón nativo en 350 mL de agua, lo cual equivale a 15 lb de almidón nativo en un barril de agua a nivel de laboratorio, proceso establecido en el Manual de fluidos de perforación y completación de CCDC-CNPC (2017).
8. Se calentó y agitó (500 RPM) esta solución en un agitador magnético con calentamiento marca CORNING modelo PC-620D por 20 minutos hasta alcanzar la temperatura de 194 °F.
9. Se añadió 3 mL de ácido clorhídrico 5 N a la solución.
10. Se repitió este proceso y se dejó actuar al ácido 1, 5, 10, 20 y 30 minutos.
11. Finalmente, se añadió sosa caustica 5 N, para neutralizar la solución hasta alcanzar un pH entre 6 y 8.