



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 MAÍZ Y
CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y REOLÓGICAS,
MEDIANTE ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO**

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

JEFFERSON ELÍAS MORALES DÍAZ

DIRECTOR: ING. FAUSTO RAMOS A.

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:	100385578-8
APELLIDO Y NOMBRES:	Morales Díaz Jefferson Elías
DIRECCIÓN:	Av. De los Nogales y Pasaje "C" E14-87
EMAIL:	jeff_md05@outlook.es
TELÉFONO FIJO:	(022) 514 8371
TELÉFONO MÓVIL:	099 409 7594

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Obtención de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de maíz y caracterización de propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos realizados en laboratorio
AUTOR:	Morales Díaz Jefferson Elías
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	05 de julio de 2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Fausto Ramos Aguirre
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero de Petróleos
RESUMEN: Mínimo 250 palabras	El objetivo de esta investigación fue obtener un controlador de filtrado para el fluido de perforación base agua a partir del almidón de maíz determinando su funcionalidad mediante pruebas de laboratorio. El

almidón de maíz se obtuvo mediante el proceso húmedo, a partir de este almidón se diseñaron diferentes formulaciones con almidón, almidón más fibra y almidón más fibra modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl). Posteriormente con estas formulaciones se procedió a realizar las pruebas de filtrado API, viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente basándose en el procedimiento establecido por la norma API Recommended 13 B – 1. Se obtuvo 2000 g de almidón y 1000 g de fibra a partir de 4 kg de maíz, con un rendimiento del 50% para el almidón y 25% para la fibra. La formulación de 22 g de almidón de maíz presentó valores para volumen de filtrado de 5.4 mL/30 min y punto cedente de 14 lb/100 pies². Con la formulación de almidón más fibra de maíz a una concentración de 60% almidón (13.3 g) y 40% fibra (8.8 g) se obtuvo un volumen de filtrado de 3.8 mL/30 min, una viscosidad plástica de 14 cP y un punto cedente de 8 lb/100 pies². La formulación de almidón más fibra de maíz a una concentración de 60% almidón (13.3 g) y 40% fibra (8.8 g) modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl), presentó un volumen de filtrado de 3.4 mL/30 min. La viscosidad plástica fue 12 cP, la viscosidad aparente fue 9 cP y el punto cedente fue 7 lb/100 pies². La mezcla de almidón más fibra de maíz a una concentración de 60% almidón (13.3 g) y 40% fibra (8.8 g), modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl), cumple con todas las especificaciones establecidas en la norma API Specification 13 A, para un controlador de filtrado y puede ser utilizado en fluidos de perforación base agua.

PALABRAS CLAVES:

Almidón de maíz, controlador de filtrado, fluidos de perforación

ABSTRACT:

The aim of this titration was to obtain a filtering controller for the water-based drilling fluid from corn starch, determining its functionality through laboratory tests. The corn starch was obtained by the wet process, from this starch different formulations were designed with starch, starch plus fiber and starch plus modified fiber by acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl). Subsequently, with these formulations, the API filtering tests, apparent viscosity, plastic viscosity and yield point were carried out based on the procedure established by API Recommended 13 B-1. 2000 g of starch and 1000 g of fiber were obtained from 4 kg of corn, with a yield of 50% for starch and 25% for fiber. The formulation of 22 g of corn starch presented values for filtrate volume of 5.4 mL / 30 min and yield point of 14 lb / 100 ft². With the formulation of starch plus corn fiber at a concentration of 60% starch (13.3 g) and 40% fiber (8.8 g), a filtrate volume of 3.8 mL / 30 min was obtained, a plastic viscosity of 14 cP and a point 8 lb / 100 ft² transfer. The formulation of starch plus corn fiber at a concentration of 60% starch (13.3 g) and 40% fiber (8.8 g) modified by acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl), presented a filtrate volume of 3.4 mL / 30 min. The plastic viscosity was 12 cP, the apparent viscosity was 9 cP and the yield point was 7 lb / 100 ft². The mixture of starch plus corn fiber at a concentration of 60% starch (13.3 g) and 40% fiber (8.8 g), modified by acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl), meets all the specifications established in the API Specification standard 13 A, for a filter controller and can be used in water-based drilling fluids.

KEYWORDS

Corn starch, filtering controller, drilling fluids

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



MORALES DÍAZ JEFFERSON ELÍAS

C.I. 100385578 – 8

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **MORALES DÍAZ JEFFERSON ELÍAS**, CI: **100385578-8** autor del proyecto titulado: **Obtención de un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de maíz y caracterización de propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos realizados en 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, 05 de julio de 2018



MORALES DÍAZ JEFFERSON ELÍAS

C.I. 100385578 – 8

DECLARACIÓN

Yo **MORALES DÍAZ JEFFERSON ELÍAS**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún gado 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.



Morales Díaz Jefferson Elías

C.I. 100385578 – 8



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 el señor **Morales Díaz Jefferson Elías** con cédula de identidad No. 1003855788 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 MAÍZ Y CARACTERIZACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y REOLÓGICAS, MEDIANTE ENSAYOS REALIZADOS EN LABORATORIO”** desde el 01 de Marzo del 2018 al 03 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 maíz y caracterización de propiedades físicas y reológicas, mediante ensayos realizados en laboratorio**”, que, para aspirar al título de Ingeniero de Petróleos fue desarrollado por **Morales Díaz Jefferson Elías**, 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 Ramos Aguirre
DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 170513410 – 2

DEDICATORIA

A Dios, por haberme permitido llegar hasta aquí, por haberme dado el enfoque que necesitaba para lograr este triunfo, por guiarme con su infinito amor y darme las fuerzas que necesitaba para no desmayar y seguir adelante.

A mi madre Luz, por su amor tan puro y real, por su esfuerzo, por la motivación diaria que me ha sabido brindar, por los buenos valores que ha inculcado en mí los cuales me ha permitido ser una persona de bien, y sobre todo por estar conmigo en todo momento.

A mi padre Hugo, por los buenos principios que ha imbuido en mí, por su gran ejemplo de constancia, dedicación y perseverancia que ha infundido en mí a diario, por su valor y firmeza ante las situaciones difíciles, por su amor tan fuerte y por sobre todo por estar conmigo en todo momento.

A ellos por darme la vida, por apoyarme en todo lo que he necesitado, por saber formarme como una persona de bien, por la infinita entrega de amor con nuestro hogar, por la unión y armonía que siempre han sabido sembrar, por todo lo que me han enseñado, por ser el pilar fundamental de mi vida y mi refugio en las situaciones difíciles. LOS AMO PAPÁS.

A mis hermanos, por querer siempre lo mejor para mí, por apoyarme en lo que requiera y por no darme la espalda nunca, por ser un eje esencial en mi vida, por motivarme y hacerme recordar que la familia siempre será luz en nuestras vidas.

A mis familiares, por sus sabias enseñanzas, por sus palabras tan reconfortantes en los malos momentos, por las alegrías compartidas en los buenos y sobre todo porque nunca han dejado de creer en mí.

A mis amigos, a ellos que compartieron conmigo esta etapa y fueron esenciales para ayudarme a afrontar y resolver problemas presentados a lo largo de esta y por compartir conmigo buenos y malos momentos.

Jefferson Morales

AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme guiado por el camino correcto, por la sabiduría y la fortaleza que me ha dado para que fuera posible la culminación de esta meta.

A mis padres, por su esfuerzo, por su dedicación, por su motivación, por su apoyo y por su empeño en ayudarme a ser una mejor persona cada día, por inculcarme buenos valores y principios que me han permitido alcanzar este triunfo.

A la Universidad Tecnológica Equinoccial, a sus autoridades y profesores, por abrirme sus puertas y por haberme permitido formarme en ella y por haberme otorgado el conocimiento necesario para empezar mi etapa profesional.

A la empresa CNP (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) Ecuador, por haberme permitido el desarrollo de mi Trabajo de Titulación, en especial al **Ing. Henry Romero** por la ayuda brindada y por compartir sus conocimientos en el área de fluidos de perforación, siendo un valioso aporte para este proyecto.

A mi tutor de tesis Ing. Fausto Ramos, por su esfuerzo, dedicación, comprensión, paciencia, colaboración que me ha sabido brindar de la mejor manera para ser un profesional de éxito y sabiduría que me ha transmitido para mi formación profesional.

Jefferson Morales

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVOS	7
1.1.1 OBJETIVO GENERAL	7
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
2. METODOLOGÍA	8
2.1 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DEL MAÍZ MEDIANTE EL MÉTODO HÚMEDO	8
2.2 DISEÑO DE LAS FORMULACIONES DEL ALMIDÓN DE MAÍZ PARA EL FLUIDO DE PERFORACIÓN	9
2.2.1 CONTROL DE FILTRADO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	10
2.2.1.1 Gelificación del almidón	10
2.2.2 PRUEBA DE PH	10
2.2.3 REOLOGÍA DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	10
2.2.4 MODIFICACIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN	11
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
3.1 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DEL MAÍZ MEDIANTE EL MÉTODO HÚMEDO	12
3.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA	12
3.2.1 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN DE MAÍZ	12
3.2.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN MÁS FIBRA DE MAÍZ	14

	PÁGINA
3.2.3 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN MÁS FIBRA DE MAÍZ MODIFICADO MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA	16
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18
4.1 CONCLUSIONES	18
4.2 RECOMENDACIONES	18
5. BIBLIOGRAFÍA	19
6. ANEXOS	22

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Formulación de un fluido de perforación base agua	4
Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de un fluido de perforación	4
Tabla 3. Resultados obtenidos del controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de yuca	6
Tabla 4. Resultados obtenidos del controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de papa	6
Tabla 5. Especificaciones físicas del almidón como controlador de filtrado para fluidos de perforación	7
Tabla 6. Formulaciones para la evaluación de controlador de filtrado con almidón de maíz	9
Tabla 7. Formulaciones para la evaluación de controlador de filtrado con almidón más fibra de maíz	9
Tabla 8. Resultados del proceso de extracción de almidón	12
Tabla 9. Resultados de las pruebas de filtrado de almidón de maíz	13
Tabla 10. Resultados de las pruebas de reología del almidón de maíz	13
Tabla 11. Resultados de las pruebas de filtrado del almidón más fibra de maíz	14
Tabla 12. Resultados de las pruebas reología del almidón más fibra de maíz	15
Tabla 13. Resultados de las pruebas de filtrado de la hidrólisis ácida	16
Tabla 14. Resultados de las pruebas de reología de la hidrólisis ácida	17
Tabla 15. Resultados de la medición del pH inicial y final de la hidrólisis ácida	17

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de maíz 8

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. MÉTODO HÚMEDO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ	22
ANEXO 2. PROCESO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA	23
ANEXO 3. CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ	24

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue obtener un controlador de filtrado para el fluido de perforación base agua a partir del almidón de maíz determinando su funcionalidad mediante pruebas de laboratorio. El almidón de maíz se obtuvo mediante el proceso húmedo, a partir de este almidón se diseñaron diferentes formulaciones con almidón, almidón más fibra y almidón más fibra modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl). Posteriormente con estas formulaciones se procedió a realizar las pruebas de filtrado API, viscosidad aparente, viscosidad plástica y punto cedente basándose en el procedimiento establecido por la norma API Recommended 13 B – 1. Se obtuvo 2000 g de almidón y 1000 g de fibra a partir de 4 kg de maíz, con un rendimiento del 50% para el almidón y 25% para la fibra. La formulación de 22 g de almidón de maíz presentó valores para volumen de filtrado de 5.4 mL/30 min y punto cedente de 14 lb/100 pies². Con la formulación de almidón más fibra de maíz a una concentración de 60% almidón (13.3 g) y 40% fibra (8.8 g) se obtuvo un volumen de filtrado de 3.8 mL/30 min, una viscosidad plástica de 14 cP y un punto cedente de 8 lb/100 pies². La formulación de almidón más fibra de maíz a una concentración de 60% almidón (13.3 g) y 40% fibra (8.8 g) modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl), presentó un volumen de filtrado de 3.4 mL/30 min. La viscosidad plástica fue 12 cP, la viscosidad aparente fue 9 cP y el punto cedente fue 7 lb/100 pies². La mezcla de almidón más fibra de maíz a una concentración de 60% almidón (13.3 g) y 40% fibra (8.8 g), modificado mediante hidrólisis ácida con ácido clorhídrico (HCl), cumple con todas las especificaciones establecidas en la norma API Specification 13 A, para un controlador de filtrado y puede ser utilizado en fluidos de perforación base agua.

Palabras clave: Almidón de maíz, controlador de filtrado, fluidos de perforación.

ABSTRACT

The aim of this titration was to obtain a filtering controller for the water-based drilling fluid from corn starch, determining its functionality through laboratory tests. The corn starch was obtained by the wet process, from this starch different formulations were designed with starch, starch plus fiber and starch plus modified fiber by acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl). Subsequently, with these formulations, the API filtering tests, apparent viscosity, plastic viscosity and yield point were carried out based on the procedure established by API Recommended 13 B-1. 2000 g of starch and 1000 g of fiber were obtained from 4 kg of corn, with a yield of 50% for starch and 25% for fiber. The formulation of 22 g of corn starch presented values for filtrate volume of 5.4 mL / 30 min and yield point of 14 lb / 100 ft². With the formulation of starch plus corn fiber at a concentration of 60% starch (13.3 g) and 40% fiber (8.8 g), a filtrate volume of 3.8 mL / 30 min was obtained, a plastic viscosity of 14 cP and a point 8 lb / 100 ft² transfer. The formulation of starch plus corn fiber at a concentration of 60% starch (13.3 g) and 40% fiber (8.8 g) modified by acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl), presented a filtrate volume of 3.4 mL / 30 min. The plastic viscosity was 12 cP, the apparent viscosity was 9 cP and the yield point was 7 lb / 100 ft². The mixture of starch plus corn fiber at a concentration of 60% starch (13.3 g) and 40% fiber (8.8 g), modified by acid hydrolysis with hydrochloric acid (HCl), meets all the specifications established in the API Specification standard 13 A, for a filter controller and can be used in water-based drilling fluids.

Keywords: A cornstarch, filter controller, drilling fluids.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de la perforación de un pozo es un proceso sistemático cuya finalidad es construir un conducto que permita comunicar los fluidos del yacimiento con la superficie, permitiendo realizar la explotación de los mismos de una forma segura y con el menor costo posible (Izurieta, 2013).

Con el propósito de atravesar las múltiples formaciones se utiliza un fluido de perforación que es bombeado desde los tanques hasta el fondo del pozo, retornando a superficie por el espacio anular, si el fluido no retorna a superficie existe una pérdida de circulación que puede ser causada cuando la barrena de perforación encuentra fisuras, fracturas, cavernas naturales, formaciones muy permeables, o se perfora en sobre balance ocasionando que el fluido invada y se produzca daño en las formaciones (Ortega, 2012).

El fluido con los ripsios de perforación, debe ser tratado con métodos físicos y químicos para mantener sus propiedades en un rango óptimo y asegurar así el cumplimiento de sus funciones (Franci, 2009).

Las funciones de un fluido de perforación son: transportar los recortes de la perforación y los derrumbes de las paredes del hoyo a la superficie, transmitir potencia hidráulica sobre la formación a través de la broca, enfriar y lubricar la broca y la sarta de perforación, proteger las paredes del hoyo con un revoque impenetrable, dar sostén a las paredes del pozo, mantener en suspensión a los recortes y derrumbes en el espacio anular cuando se detiene la circulación del fluido de perforación, controlar la presión hidrostática del pozo, ayudar a soportar el peso de la sarta de perforación o de revestimiento, transmitir información inmediata sobre las formaciones perforadas, proveer un medio adecuado para poder realizar registros eléctricos al pozo (Velasquez, 2013).

En la tabla 1 se describe la formulación de un fluido de perforación base agua y sus funciones.

Tabla 1. Formulación de un fluido de perforación base agua

Función	Compuesto
Fase continua	Agua, gas, petróleo, aceites minerales, vegetales, y/o sintéticos.
Densificante	Carbonato de calcio, barita, óxido de hierro, galena, magnetita, dolomita, calcita.
Viscosificante	Bentonita, atapulguita, fibras de amianto, polímeros.
Controlador de filtrado	Polímeros, almidones, formaldehído, carbonato de calcio.
Controlador de pH	Cal, ácidos, hidróxidos.
Agente dispersante (adelgazantes químicos)	Lignosulfatos, taninos, lignitos.

(Matamoros, 2016)

En la perforación se atraviesan distintos estratos por lo cual las propiedades del fluido deberán ser ajustados de acuerdo a las propiedades que contengan las formaciones para evitar una alteración y daño en las mismas (API, 2001).

Las propiedades físicas y químicas de un fluido de perforación se describen a continuación en la tabla 2.

Tabla 2. Propiedades físicas y químicas de un fluido de perforación

Parámetros físicos	Parámetros químicos
Punto cedente	Cloruros
pH	Dureza
Densidad	Alcalinidad
Filtrado	MBT (Methylene Blue Test)
Viscosidad	
Contenido de sólidos y líquidos	
Reología	
Gelificación	

(Matamoros, 2016)

La selección de los aditivos controladores de filtrado requeridos para la formulación de los fluidos de perforación representa un factor elemental en la construcción de un pozo petrolero. EL volumen de filtrado que invade las formaciones, debe ser controlado ya que puede afectar la productividad de los pozos, taponando el medio poroso, alterando la mojabilidad, generando bloqueos por agua, formación de emulsiones y en algunos casos hinchamiento de arcillas (PDVSA, 2005).

El controlador de filtrado tiene como función evitar que el fluido ingrese a través del revoque a la formación productora, cuando es sometido a una presión diferencial. El control de filtrado es eficiente cuando los volúmenes de filtrado son bajos y el revoque o costra de fluido es delgado y de la permeabilidad adecuada, mientras que altos volúmenes de filtrado y un revoque más grueso indican un control de filtrado ineficaz (Baroid, 2000); (Bello R. , 2017).

Se debe considerar que la tasa de filtración depende de la capacidad que posee el fluido de perforación para controlar la pérdida de líquidos. En la industria petrolera nacional, se utilizan aditivos controladores de filtrado en su mayoría importados los cuales debido a su gran demanda tienen costos elevados y pueden provocar impactos ambientales, razón por la cual surge la necesidad de buscar otras alternativas utilizando materia prima nacional de fácil obtención, que garantice la efectividad de sus funciones y que preserve el medio ambiente (Bermúdez, 2012).

Los polímeros han sido usados en fluidos de perforación desde muchos años atrás, se han vuelto más especializados con lo que su aceptación y uso se han incrementado. Actualmente son parte de prácticamente todos los sistemas de base agua, existen algunos que son totalmente polímero - dependientes, conocidos como poliméricos (Silva, 2001).

En Ecuador se ha incursionado a la investigación de alternativas de controladores de filtrado comerciales para reducir los costos operacionales, mediante el uso de almidones de yuca y papa como aditivos de fluidos de perforación.

La tasa de filtrado API con 10 g de almidón nativo de yuca fue mayor que el obtenido con la mezcla de almidón más fibra. Con esta mezcla las propiedades reológicas cumplieron con los especificado por la norma, mientras que con el almidón modificado la tasa de filtrado API aumentó respecto a la mezcla almidón más fibra (Guaquipana, 2017).

En este estudio se concluyó que la mezcla de almidón más fibra de yuca podría ser utilizado como controlador de filtrado en fluidos de perforación base agua.

En la tabla 3 se presentan los resultados del almidón de yuca.

Tabla 3. Resultados obtenidos del controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de yuca

Elemento	Formulación (g / 350 mL de agua)	Viscosidad Aparente (cP)	Viscosidad Plástica (cP)	Punto cedente (g / 100 pies ²)	Filtrado API (mL / 30min)
Almidón nativo	10	2.5	1	3	13.5
Almidón más fibra nativo	10 (90 % / 10 %)	12	8	8	10.5
Almidón modificado mediante hidrólisis ácida	22	N/A	N/A	N/A	16.5

(Guaquipana, 2017)

Con 10 g de almidón de papa se alcanzó el menor volumen de filtrado API y las propiedades reológicas mantuvieron dentro de las especificaciones exigidas por la industria (Rivera, 2017).

En la tabla 4, se reportan los resultados que se obtuvieron con el almidón de papa.

Tabla 4. Resultados obtenidos del controlador de filtrado a partir del almidón y fibra de papa

Elemento	Formulación (g / 350 mL de agua)	Viscosidad Aparente (cP)	Viscosidad Plástica (cP)	Punto cedente (g / 100 pies ²)	Filtrado API (mL / 30min)
Almidón nativo	10	18.5	13	11	9.8
Almidón más fibra nativo	10 (90%/10%)	17.5	11	13	9.8
Almidón modificado mediante hidrólisis enzimática	10	8.5	3	11	350

(Rivera, 2017)

Esta investigación está enfocada en obtener un controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua a partir del almidón de maíz (*Zea Mays*), como una alternativa a los controladores de filtrado que se encuentran actualmente en el mercado.

El almidón de maíz básicamente está compuesto por dos polímeros, uno lineal llamado *amilosa* y el otro ramificado llamado amilopectina. En presencia de agua y calor, las moléculas de amilosa empiezan a agruparse formando un

gel que aumenta la viscosidad del sistema almidón – agua (González, Martínez, Vega & Otahola, 2012).

Para la obtención de un controlador de filtrado a partir del almidón de maíz se realizan diferentes ensayos de laboratorio los cuales están establecidos por las normas (API Specification 13 A, 2010) y (API Recommended 13 B - 1 , 2003) y sus especificaciones se representan en la tabla 5.

Tabla 5. Especificaciones físicas del almidón como controlador de filtrado para fluidos de perforación

Parámetros de prueba	Especificación
Lectura del viscosímetro a 600 r/min	Máximo 20
Viscosidad plástica (cP)	Máximo 15
Viscosidad aparente (cP)	Máximo 10
Punto cedente (g/100 pies ²)	Máximo 35
Volumen de filtrado (mL/30 min)	Máximo 10

(API Specification 13 A, 2010)

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un controlador de filtrado para el fluido de perforación base agua a partir del almidón de maíz determinando su funcionalidad mediante pruebas de laboratorio y comparando con un controlador de filtrado industrial.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

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

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

El controlador de filtrado a partir del almidón de maíz, se obtuvo en las instalaciones de los laboratorios de fluidos de perforación de la carrera de Ingeniería de Petróleos en colaboración con la empresa CNPC – CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) Ecuador.

2.1 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DEL MAÍZ MEDIANTE EL MÉTODO HÚMEDO

La obtención de almidón de maíz se realizó mediante el método húmedo (Ver anexo 1), teniendo en cuenta que se deben eliminar las impurezas, ya que estas pueden afectar el comportamiento y el rendimiento (Flores, García, Núñez, González, Bello, 2004).

En la figura 1, se presenta un resumen del proceso de extracción de almidón y fibra de maíz.

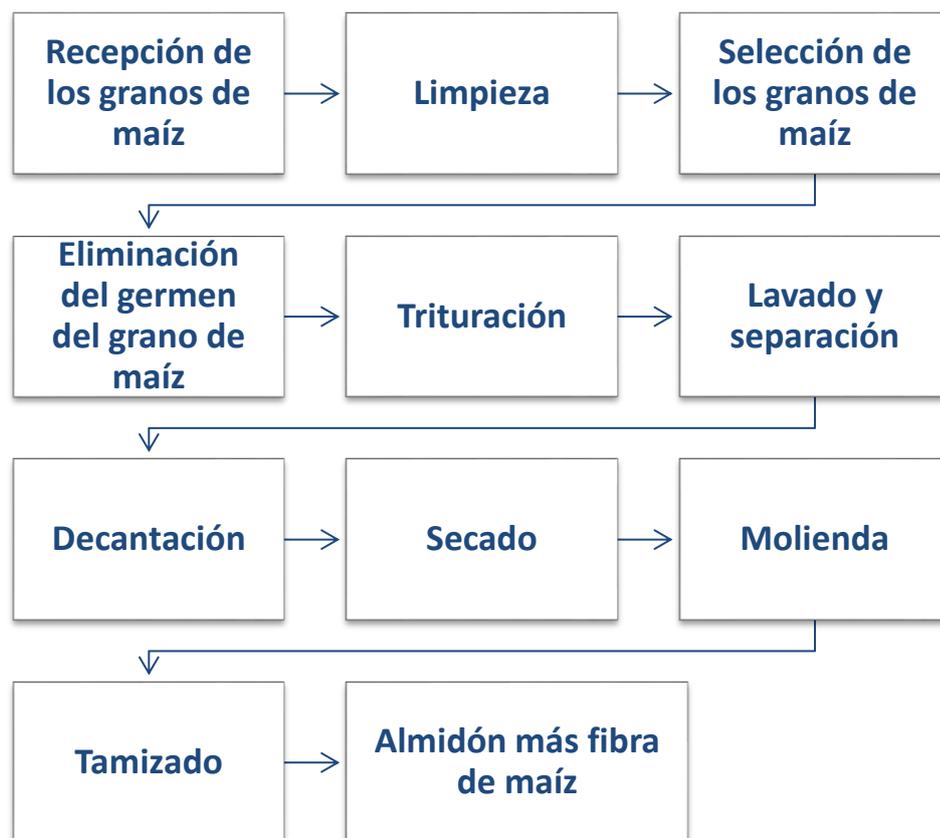


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de extracción de almidón de maíz

2.2 DISEÑO DE LAS FORMULACIONES DEL ALMIDÓN DE MAÍZ PARA EL FLUIDO DE PERFORACIÓN

Las formulaciones de almidón, almidón más fibra utilizadas como controlador de filtrado, fueron establecidas mediante el Manual de Fluidos de Perforación y Completación de la empresa CNPC – CCDC (2017).

Se debe tener en cuenta que las unidades de medida utilizadas a nivel de laboratorio son diferentes a las de campo, siendo 350 mL equivalente a 1 bbl y 1 lb equivalente a 1 g. Para las muestras de almidón, almidón más fibra se tuvo las siguientes formulaciones representadas en la tabla 6.

Tabla 6. Formulaciones para la evaluación de controlador de filtrado con almidón de maíz

Componente	Unidad	Cantidad							
Agua fría	mL	350							
Almidón	g	3	6	9	12	15	18	21	22

Además de realizaron formulaciones con almidón más fibra de maíz, como se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Formulaciones para la evaluación de controlador de filtrado con almidón más fibra de maíz

Proporción	%	90	10	80	20	70	30	60	40	50	50
Cantidad	g	19.8	2.2	17.6	4.4	15.4	6.6	13.2	8.8	11	11
Componente	Fibra (F) Almidón (A)	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F

También se realizaron reacciones de hidrólisis ácida en diferentes periodos de tiempo con una sola formulación de almidón más fibra de maíz, con la finalidad de comprobar su funcionalidad como controlador de filtrado.

2.2.1 CONTROL DE FILTRADO DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Las pruebas de control de filtrado se realizaron en un filtro prensa API, marca OFITE, en el cual se evaluaron las diferentes formulaciones de almidón, almidón más fibra, almidón más fibra modificado mediante hidrólisis ácida en un fluido de perforación base agua. Se realizó las pruebas basándose en el procedimiento establecido por la norma (API Recommended 13 B - 1 , 2003), en la cual se detallan las instrucciones específicas para lograr una buena práctica.

2.2.1.1 Gelificación del almidón

Mediante una plancha de calentamiento se elevó la temperatura de 350 mL equivalente a 1 bbl de agua a 194 °F, siendo esta una temperatura de gelificación adecuada para el almidón de maíz (Valderrama, 1997).

Posteriormente se procedió a realizar la dilución del almidón haciendo uso de un agitador automático marca OFITE por 12 minutos para alcanzar una solución adecuada del sistema establecido en el manual de fluidos de perforación de CNPC – CCDC (2017).

2.2.2 PRUEBA DE pH

La medición se efectuó mediante el medidor de pH marca HACH, modelo sensION™ + Portable Meter en las formulaciones a ser evaluadas como controlador de filtrado. Para el almidón modificado mediante hidrólisis ácida, la medición del pH se la realizó al inicio y al final del proceso.

2.2.3 REOLOGÍA DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Las pruebas de reología que se realizaron utilizando un viscosímetro rotativo marca OFITE modelo 800, las lecturas fueron tomadas a 120 °F basándose en el procedimiento establecido por la norma (API Recommended 13 B - 1 , 2003). Mediante las pruebas reológicas se determinó la viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente (yield point) para las diferentes formulaciones.

- **Viscosidad plástica (Vp)**

La viscosidad plástica se calculó aplicando la ecuación 1:

$$Vp(cP) = \text{Lectura } 600 \text{ RPM} - \text{Lectura } 300 \text{ RPM} \quad [1]$$

- **Viscosidad aparente (Va)**

La viscosidad aparente se calculó aplicando la ecuación 2:

$$Va (cP) = \frac{\text{lectura } 600 \text{ RPM}}{2} \quad [2]$$

- **Punto cedente (Yield Point)**

El punto cedente se calculó aplicando la ecuación 3:

$$Yp \left(\frac{\text{lbs}}{100 \text{ pies}^2} \right) = \text{Lectura } 300 \text{ RPM} - Vp \quad [3]$$

2.2.4 MODIFICACIÓN QUÍMICA DEL ALMIDÓN

Se realizó la modificación química a la mezcla de almidón más fibra de maíz para mejorar la funcionalidad del almidón de maíz como controlador de filtrado.

La modificación que se realizó en esta investigación fue una hidrólisis ácida con el uso de ácido clorhídrico (HCl) a diferentes períodos de tiempo (Ver anexo 2), basándose en el proceso realizado por (Zambrano & Camargo, 2001).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN A PARTIR DEL MAÍZ MEDIANTE EL MÉTODO HÚMEDO

Se utilizó 4 kg de maíz (*Zea mays*) para extraer almidón y fibra mediante el método húmedo y realizar los diferentes ensayos en el laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CCDC – CNPC.

En la tabla 8 se muestran los resultados del proceso de extracción de almidón de maíz.

Tabla 8. Resultados del proceso de extracción de almidón

Elemento	Cantidad	Unidad
Almidón	2000	g
Fibra	1000	g

Se obtuvo el almidón de maíz con un rendimiento del 50% y la fibra de maíz con el 25%. El almidón de maíz debe cumplir con las características necesarias para los ensayos de laboratorio (Ver anexo 3).

3.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA

Se utilizaron diferentes formulaciones de almidón de maíz, almidón más fibra de maíz y almidón más fibra de maíz modificado por hidrólisis ácida dadas en las tablas 6 y 7 para realizar las distintas pruebas de filtrado API y reología.

Posteriormente se realizó el análisis pertinente para evaluar el uso del almidón y la fibra de maíz como controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua.

3.2.1 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN DE MAÍZ

Para realizar la evaluación del almidón de maíz como controlador de filtrado se realizaron 8 pruebas de acuerdo al diseño dado en las tablas 6 y 7.

Tabla 9. Resultados de las pruebas de filtrado de almidón de maíz

FORMULACIÓN	3 g	6 g	9 g	12 g	15 g	18 g	21 g	22 g	API Specification 13 A
FILTRADO API (mL / 30 min)	27	18	16	13	11	6	5.6	5.4	10

En la tabla 9 se representa los resultados de las pruebas de filtrado, en la que se puede destacar la funcionalidad que tiene el almidón de maíz como controlador, siendo 15 g por cada 350 mL de agua la formulación mínima a la que este producto se acerca a lo establecido en la norma API specification 13 - A, con un resultado de 11 mL/30 min de filtrado, pero no cumple con lo requerido.

En el manual de fluidos de perforación de CNPC – CCDC (2017), se establece que es posible agregar más almidón dependiendo de los estratos que se estén atravesando, ya sea que la perforación se encuentre en zonas que requieran mayor control de la pérdida de líquidos, se utilizaría una formulación de 22 g o en la zona de pago en la cual se requiere formar un revoque delgado y de baja viscosidad se utilizaría una formulación de 15 g.

Para los ensayos de filtrado API, se obtuvo un resultado adecuado con 22 g de almidón y se lo estableció como referencia para los posteriores ensayos. La norma indica que se puede adicionar mayor cantidad de almidón siempre y cuando no afecte a las propiedades reológicas del fluido.

Tabla 10 Resultados de las pruebas de reología del almidón de maíz

FORMULACIÓN	3 g	6 g	9 g	12 g	15 g	18 g	21 g	22 g	API Specification 13 A
REOLOGÍA									
V _p (cP)	1	1	1	4	4	10	16	16	15
V _a (cP)	1.5	1.5	2	4.5	5	12.5	22	23	10
Y _p (lb/100 pies ²)	1	1	2	1	2	5	12	14	35

En la tabla 10, se muestran los valores de viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente para las formulaciones de almidón puro evaluados a una temperatura de 120 °F.

La formulación de 22 g de almidón, tiene una viscosidad aparente de 23 cP y una viscosidad plástica de 16 cP, estos valores fueron mayores que los establecidos por la norma (API Specification 13 A, 2010), por lo que se establece que a mayor concentración de almidón la viscosidad es mayor, ya que se incrementa la cantidad de partículas sólidas en la solución, aumenta la fricción entre estas, por lo que la resistencia a fluir incrementa.

El punto cedente fue de 14 lb/100 pies² y se encuentra dentro de las especificaciones establecidas por la norma (API Specification 13 A, 2010). Los valores de viscosidades y punto cedente no afectaron a la reología de la solución.

La formulación seleccionada fue 22 g / 350 mL debido a que esta cumplió con las propiedades reológicas y volumen de filtrado de las especificaciones establecidas por la norma.

3.2.2 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN MÁS FIBRA DE MAÍZ

Se practicaron 5 pruebas con las formulaciones detalladas en la tabla 7 y se analizó los resultados con el objetivo de encontrar una concentración con características más adecuadas para controlar la tasa de pérdida de líquidos.

Tabla 11. Resultados de las pruebas de filtrado del almidón más fibra de maíz

Proporción	%	90	10	80	20	70	30	60	40	50	50	API Specification 13 A
Cantidad	g	19.8	2.2	17.6	4.4	15.4	6.6	13.2	8.8	11	11	
Componente	Fibra (F) Almidón (A)	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	
Filtrado	mL/30 min	3.8		3.8		3.8		3.8		4.4		

En la tabla 11 se presentan los resultados de los ensayos de filtrado realizados a diferentes formulaciones de almidón más fibra de maíz.

Se pudo analizar que el comportamiento de la mezcla es diferente al del almidón de maíz, ya que los resultados incrementan conforme se adiciona fibra, se obtuvo un resultado de 3.8 mL/30 min para la formulación de 60 %

almidón y 40 % fibra, se resuelve que el volumen de filtrado después de mezclar el almidón más fibra de maíz disminuyó significativamente. La formulación de 22 g (60% almidón más 40% fibra) presentó un comportamiento diferente respecto a los estudios para almidón de papa y yuca reportados en las tablas 2 y 3 respectivamente. Para ambos casos el volumen de filtrado disminuyó con el aumento de almidón en las mezclas, se obtuvo 9.8 mL/30 min con el almidón de papa y con el de yuca 10.5 mL/30 min, con 10 g (90% almidón más 10% fibra).

Tabla 12. Resultados de las pruebas reología del almidón más fibra de maíz

Proporción	%	90	10	80	20	70	30	60	40	50	50	API Specification 13 A
Cantidad	g	19.8	2.2	17.6	4.4	15.4	6.6	13.2	8.8	11	11	
Componente	Fibra (F) Almidón (A)	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	
Reología	Vp (cP)	17		16		15		14		10		
	Va (cP)	23		21.5		20.5		18		13		10
	Yp (lb/100 pies ²)	12		11		11		8		6		35

En la tabla 12 se reportan los resultados de las pruebas reológicas obtenidos para las distintas formulaciones de la mezcla almidón más fibra de maíz.

Se determina que al aumentar la cantidad de fibra de maíz la viscosidad plástica se reduce teniendo un valor de 14 cP, la viscosidad aparente se redujo a 18 cp, cumpliendo con las especificaciones establecidas por la norma (API Specification 13 A, 2010), además el revoque que generará será delgado y de baja viscosidad por lo que podría ser adaptado para su utilización en zonas de interés. El punto cedente disminuyó a 8 lb/100 pies², este valor se encuentra dentro de lo establecido por la norma.

De acuerdo a los resultados obtenidos se seleccionó la formulación de la mezcla de 60% almidón más 40% fibra de maíz para continuar con la investigación, debido a que cumplió con las propiedades reológicas y especificaciones de volumen de filtrado regido por las normas (API Specification 13 A, 2010).

3.2.3 ENSAYOS DE FILTRADO API Y REOLOGÍA DEL ALMIDÓN MÁS FIBRA DE MAÍZ MODIFICADO MEDIANTE HIDRÓLISIS ÁCIDA

Se practicó una hidrólisis ácida a la formulación de la mezcla de 60% almidón más 40% fibra de maíz, con la finalidad de encontrar una formulación con mejores características y que cumpla con las especificaciones de la norma (API Specification 13 A, 2010) para fluidos de perforación base agua.

Se realizaron 4 pruebas de filtrado API y reología a la formulación seleccionada en la tabla 12 a diferentes periodos de tiempo.

Tabla 13. Resultados de las pruebas de filtrado de la hidrólisis ácida

Concentración 60 % Almidón 40% Fibra 22 g / 350 mL H ₂ O	Tiempo de hidrólisis ácida (min)				API Specification 13 A
	20	10	5	1	
Filtrado API (mL/30 min)	3.8	3.7	3.6	3.4	10

En la tabla 13 representan los resultados de la tasa de filtrado después de aplicar la hidrólisis, siendo mejores que los presentados por la mezcla de almidón más fibra de maíz sin modificación química (Ver tabla 11).

Se plantea que la hidrólisis ácida favoreció a la investigación ya que en esta modificación química al reaccionar el ácido con el almidón se forma un gel más consistente, obteniendo un controlador de filtrado con mejores condiciones. Se obtuvo un volumen de filtrado de 3.4 mL/30 min a 1 minuto de reacción del ácido siendo el más adecuado de las 4 pruebas realizadas a diferentes tiempos.

El volumen de filtrado reportado por el almidón de yuca modificado mediante hidrólisis ácida fue de 16.5 mL/30 min a una concentración de 22 g (Ver tabla 3), este valor no fue favorable ya que el tiempo de reacción fue mayor y la solución no fue neutralizada después de practicar la hidrólisis, para el almidón de papa modificado mediante hidrólisis enzimática se obtuvo 350 mL/30 min a una concentración de 10 g (Ver tabla 4), este resultado no favoreció al control del filtrado ya que la modificación química era distinta.

En la tabla 14 se reportan los resultados para viscosidad plástica, viscosidad aparente y punto cedente (yield point) posterior a la aplicación del proceso de hidrólisis ácida en la formulación de la mezcla de almidón más fibra de maíz.

Tabla 14. Resultados de las pruebas de reología de la hidrólisis ácida

Concentración 60 % Almidón 40% Fibra 22 g / bbl H ₂ O	Tiempo de hidrólisis ácida (min)				API Specification 13 A
	20	10	5	1	
Reología					
V _p (cP)	16	16	14	12	15
V _a (cP)	23	21.5	18.5	9	10
Y _p (lb/100 pies ²)	14	11	9	7	35

La hidrólisis ácida fue realizada a diferentes periodos de tiempo a los cuáles reaccionaría el ácido clorhídrico (HCl), siendo 1 minuto de reacción el más óptimo, ya que los resultados obtenidos para viscosidad plástica de 12 cP, viscosidad aparente de 9 cP y punto cedente (yield point) de 7 lb/100 pies², fueron menores que los que se obtuvieron para las formulaciones de almidón más fibra de maíz sin modificar (Ver tabla 12).

Al utilizar ácido clorhídrico (HCl) en el proceso de hidrólisis de la mezcla de almidón más fibra de maíz, se obtiene un fluido acidificado el cual podría generar muchos problemas en las operaciones siendo el principal la corrosión.

Tabla 15. Resultados de la medición del pH inicial y final de la hidrólisis ácida

Concentración 60 % Almidón 40% Fibra 22 g / bbl H ₂ O	Tiempo de hidrólisis ácida (min)			
	20	10	5	1
pH Inicial	1.48	1.47	1.43	1.52
pH Final	6.14	6.56	7.36	6.21

Se realizó la medición del pH inicial que presentó la formulación a diferentes tiempos de hidrólisis, los resultados se reportan en la tabla 15.

El pH del fluido se debió ajustar utilizando una solución de hidróxido de sodio (NaOH) a un rango de 6 – 7.5 con la finalidad de neutralizar el fluido y evitar problemas en los equipos.

4.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- A partir de 4 kg de maíz se obtuvo mediante el método húmedo 2000 g de almidón y 1000 g de fibra, con un rendimiento de 50% para el almidón y 25% para la fibra.
- La formulación de 22 g/350 mL de la mezcla de 60 % almidón más 40 % fibra de maíz modificada químicamente mediante hidrólisis ácida cumplió con todas las especificaciones establecidas por la norma API Specification 13 A y puede ser utilizado como agente controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua.
- La adición de fibra de maíz más el proceso de hidrólisis ácida mejora las características del almidón como controlador de filtrado.
- El almidón de maíz puro en ninguna formulación cumple con las características de filtrado del almidón industrial para ser utilizado en fluidos de perforación.

4.2 RECOMENDACIONES

- Practicar otros tipos de modificaciones para la mezcla de almidón más fibra de maíz, con el objetivo de mejorar su eficiencia y pueda ser adecuado como controlador de filtrado en fluidos de perforación, base agua.
- Experimentar la eficiencia del controlador de filtrado a partir de almidón de maíz en fluidos de perforación a base agua salada y evaluar su comportamiento.
- Continuar con las investigaciones del uso de polímeros naturales como agentes controladores de filtrado en fluidos de perforación base agua, como sustitutos de controladores de filtrado industriales que tiene un costo más alto, son de difícil adquisición y que no son amigables con el medio ambiente.
- Elaborar una prueba de calidad para aditivos controladores de filtrado a base de almidones de origen natural.

5. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Agronet. (2006). *Yuca en producción de etanol*. Obtenido de Red de Información y Comunicación Estratégica del Sector Agropecuario: http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/2006718143257_Yuca%20en%20pruduccion%2
- Anderson Guarnizo, Pedro Martínez. (s.f.). *Experimentos de química orgánica*. Armenia: Elizcom.
- API. (2001). *Manual de fluidos de perforación*. Dallas: Instituto Americano del Petróleo.
- API Recommended 13 B - 1 . (2003). *Recommended Practice for field testing water-based drilling fluids*.
- API Specification 13 A. (2010). *Petroleum and natural gas industries - Drilling Fluids - Specifications and Testing*. En A. P. Institute. Texas.
- Aquino, I. (2000). *Tecnología de perforación y fluidos de perforación*. Venezuela: UDO.
- Baroid. (2000). *Manual de Fluidos*. Houston.
- Bello, J. (2000). *Ciencia bromatológica. Principios generales de los alimentos*. España: Diaz de Santos S.A.
- Bello, R. (2017). *Perforación*. Obtenido de <https://www.academia.edu/17262740/perforacion>
- Bermúdez, P. (2012). *Desarrollo de un aditivo controlador de filtrado a base de fibra de tuna real para la formulación de fluidos de perforación poliméricos*. Maturín.
- Carvajal, E. (2011). *Determinación de la granulometría adecuada del carbonato de calcio para optimizar el puenteo de lodos en las zonas productoras del campo Edén - Yuturi*. Quito: EPN.
- CNPC, C. . (2017). *Manual de Fluidos de Perforación y Completación*. Quito.
- Coinspetrol Ltda. (2009). *Fluidos de control*. Obtenido de <https://issuu.com/biliovirtual/docs/fluidos-de-control>
- Flores, García, Núñez, Gonzáles, Bello. (2004). *Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano*.
- Franci, B. (2009). *Evaluación de un diseño de un fluido de perforación con las condiciones de las formaciones perforadas en el campo San Diego de Cabrutica*. Barcelona: UONA.
- González, Martínez, Vega & Otahola. (2012). *Controlador de filtrado para fluidos de perforación*. Panamá.
- 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.
- Hernández, Torruco, Chel & Betancur. (2008). *Caracterización físico química de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, Mexico*. Yucatán: Universidad Autónoma de Yucatán.

- Izurietta, P. (2013). *Medidas de ingeniería de perforación para optimizar el proceso de construcción de pozos direccionales en el campo Sacha*. Quito: UCE.
- Lalaleo, W. (2015). *Análisis de buenas prácticas operativas y lecciones aprendidas en la gestión de fluidos de perforación utilizados en el campo Shushufindi, 2015*. Quito: UCE.
- Light, J. M. (1990). *Modified food starches: why, what, where and how*. New York : CRC.
- Matamoros, R. (2016). *Diseño y desarrollo experimental de un fluido espumado de perforación aplicable a la cuenca oriente ecuatoriana*. Quito: UCE.
- Miranda, Hernández & Gómez. (2018). *Manual de prácticas del laboratorio de fluidos de perforación de pozos*. Obtenido de Facultad de Ingeniería UNAM. Obtenido de Facultad de Ingeniería UNAM: http://www.dict.unam.mx/Petrolera/LFP/MADO-55_Fluidos_de_perforacion.pdf
- Molina, J. (2017). *Optimización de la perforación mediante la hidráulica de perforación*. Guayaquil: ESPOL.
- Obando, K. (2008). *Curso de Fluidos de Perforación*. Quito: Q-MÁX Ecuador.
- Ortega, R. (2012). *Estudio de factibilidad para la reutilización de los fluidos de perforación base agua en la perforación de la zona productora en pozos de desarrollo de la campaña de perforación 2011 para EP. Petroecuador*. Quito: EPN.
- PDVSA. (2002). *Fluidos de perforación*. Venezuela: Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED).
- PDVSA. (2005). *Manual de fluidos de perforación*. Venezuela.
- Peña, J. (2014). *Estudio y análisis del uso de la polialfaolefina en un fluido drill - in para lograr disminuir el daño de formación*. QUITO: UTE.
- Rivera, P. (2017). *Obtención de un controlador de filtrado en base a almidón de papa para fluidos de perforación, base agua, para pozos petroleros*. Quito.
- Romai, Y. (2008). *Fluidos de Perforación*. 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
- Serratos, J. (2012). *El Origen y la Diversidad del Maíz en el Continente Americano*. México D.F.: Greenpace.
- Silva, R. (2001). *Optimización del uso de los Polímeros en la Perforación de pozos en Campos Marginales en el Oriente Ecuatoriano (Caso Bermejo)*. Guayaquil: ESPOL.
- Techlog64. (2011). Schlumberger.
- Tovar, T. (2008). *Caracterización Morfológica y Térmica del Almidón de Maíz (Zea mays L) obtenido por diferentes métodos de aislamiento*. Hidalgo: UAEH.

- Valderrama, J. (1997). *Centro de Información Tecnológica*. Chile: CIT.
- Valladares, C. (2010). *Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano*. La Ceiba: UNAH.
- 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.
- Véjar, E. (2005). *Prácticas de Bioquímica Descriptiva*. Sonora: UniSon.
- Velasquez, F. (2013). *Evaluación de aditivos alternativos como posibles reductores de abrasión en fluidos de perforación 100% aceite densificados con orimatita®*. Caracas.
- Zambrano, & Camargo. (2001). *Optimisation of the conditions for the acid hydrolysis of cassava starch to obtain a fat replacer*. Brazil: Brazilian Journal of Food Technology.
- Zambrano, F. M. (1998). *Optimización de las condiciones de hidrólisis ácida de almidón de mandioca para obtención de un sustituto de grasa*. São Paulo.

6. ANEXOS

6. ANEXOS

ANEXO 1.

MÉTODO HÚMEDO DE EXTRACCIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ

- **Recepción de los granos de maíz:** El maíz debe estar en buenas condiciones y se debe almacenar en un lugar fresco para evitar su deterioro.
- **Limpieza:** Los granos que fueron almacenados transportan con ellos elementos extraños tales como pequeñas piedras, tierra y paja y demás objetos contaminantes que deben ser eliminados.
- **Selección de los granos:** Se seleccionan los granos que visualmente se encuentren en malas condiciones o deteriorados y se procede a desecharlos.
- **Eliminación del germen del grano:** Utilizando un alicate en punta se elimina la punta del grano con la finalidad de reducir las impurezas en el proceso de trituration.
- **Trituración:** Se coloca los granos seleccionados en un molino tradicional marca CORONA y se trituran hasta fragmentarlos por completo. Ver anexo 1.
- **Lavado y separación:** Se utiliza una tela de filtrado en la cual se coloca el producto triturado, se agrega la suficiente cantidad de agua hasta que pase limpia y transparente a través del producto y la tela hacia los recipientes de decantación y logando la separación de fibra la cual es almacenada para ser secada.
- **Decantación:** Los recipientes de decantación deben permanecer en reposo durante 24 horas en las cuales el almidón ya se habrá asentado en el fondo, posterior a eso se retira el agua y se coloca agua destilada por 24 horas para eliminar posibles partículas contaminantes que queden.
- **Secado:** Utilizando un horno dinámico marca OFITE modelo 173-00-RC el almidón húmedo es expuesto al calor a una temperatura de 50 °C con la finalidad de eliminar la humedad que contenga. Ver anexo 2.
- **Molienda:** El almidón seco es colocado en un mortero y con la fuerza humana es molido hasta convertirlo en polvo.
- **Tamizado:** Teniendo el almidón en polvo se utiliza un tamiz de 200 µm con la finalidad de separar las partículas de mayor tamaño que deberán ser molidas una vez más.
- **Almacenamiento:** El almidón tamizado y listo debe ser almacenado en un lugar seco y fresco.

ANEXO 2.

PROCESO DE HIDRÓLISIS ÁCIDA

- Se preparó 100 mL de solución ácido clorhídrico (HCl) 5N.
- Se preparó 100 mL de solución hidróxido de sodio (NaOH) 5N.
- Se preparó una muestra de fibra – almidón con una concentración del 60% y 40% respectivamente, siendo 13,200 g de almidón de maíz y 8,800 g de fibra de maíz.
- Se midieron 350 mL de H₂O en una probeta y se trasvasó a un vaso de precipitación de 1000 mL. Una muestra de 350 mL equivale a un barril a nivel de laboratorio, reportado en el Manual de Fluidos de Perforación y Completación.
- En una estufa eléctrica marca BELLALINI de un puesto, se colocó el vaso de precipitación y se calentó hasta 194 °F.
- Se colocó los 350 mL de agua en un vaso metálico y este en un agitador automático marca OFITE.
- Se agregó la muestra de fibra – almidón previamente preparado y se dejó agitar por 12 minutos.
- Se colocó la muestra agitada en un vaso de precipitación de 1000 mL, se agregó 4.4 mL de ácido clorhídrico (HCl) y verificó que el pH se mantenga en un intervalo de valores entre 1 – 2, con un medidor de pH marca HACH, modelo sensION™ + Portable Meter.
- Posteriormente se ajustó el pH a un intervalo de valores entre 6 – 7 con 3,8 mL de una solución de hidróxido de sodio (NaOH).
- Se repitió este último paso para después de 20, 10, 5, 1 minutos que empezó la hidrólisis ácida.

ANEXO 3.
CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ

Características	Almidón de maíz	Almidón industrial
Estado físico	Sólido	Sólido
Color	Blanco	Blanco
Temperatura de gelatinización °F	190	185
pH disuelto en agua	6.9	7.1
Viscosidad aparente (cP)	39	35
Viscosidad plástica (cP)	27	26
Punto cedente (lb/100 pies ²)	26	19