



UNIVERSIDAD UTE

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

CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

**OBTENCIÓN DE UN MATERIAL VISCOSIFICANTE PARA
FLUIDOS DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS
BASE AGUA A PARTIR DEL MAÍZ (ZEA MAYS) Y
CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y REOLÓGICA MEDIANTE
PRUEBAS DE LABORATORIO**

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

PAZMIÑO PINEDA DANTE DAVID

DIRECTOR: ING. VÍCTOR PINTO TOSCANO, MSC.

Quito, septiembre 2018

© Universidad UTE. 2018

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1720069705
APELLIDO Y NOMBRES:	Pazmiño Pineda Dante David
DIRECCIÓN:	Tumbaco, Av. Interoceánica y Gaspar de Carvajal
EMAIL:	dp-dante@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	(02) 2370560
TELÉFONO MOVIL:	(+593) 984 676 888

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Obtención de un material viscosificante para fluidos de perforación de pozos petroleros base agua a partir del maíz (<i>Zea mays</i>) y caracterización física y reológica mediante pruebas de laboratorio
AUTOR O AUTORES:	Pazmiño Pineda Dante David
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	20/09/2018
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Ing. Víctor Pinto Toscano, MSC.

PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero de Petróleos
RESUMEN:	<p>El uso de polímeros naturales en los fluidos de perforación base agua, conllevó a la evaluación de la fécula de la gramínea como un posible aditivo. Para ello, el propósito del presente estudio es la obtención de un material viscosificante para fluidos de perforación de pozos petroleros base agua a partir del maíz (<i>Zea mays</i>), caracterización física y reológica mediante pruebas de laboratorio. Se obtuvo el almidón de maíz mediante procesos descritos en este trabajo, se usó H₂O potable para realizar la mezcla con el almidón, a una temperatura del fluido a 180 °F, se dejó enfriar y se realizaron pruebas reológicas que determinó el punto cedente y viscosidad plástica, al igual que pruebas de potencial hidrógeno (pH) y methylene blue test (MBT) para diferentes porcentajes, se comparó el desempeño del viscosificante obtenido mediante varias formulaciones, pruebas reológicas y de laboratorio para comparar con el viscosificante patrón, bentonita. Los resultados de esta investigación indicaron que su composición química y estructura va a depender de la fuente de obtención, indicó que el almidón de maíz puede ser usado como una alternativa al uso del viscosificante como es la</p>

	<p>bentonita, el cual es usado en lodos de perforación base agua, el estudio demostró que una cantidad óptima de 12lb de almidón /1bls de H₂O como base para preparar un fluido viscoso es similar a 22.5lb de bentonita /1bls de H₂O los resultados obtenidos fueron alentadores y se visualizó que el yield point dio como resultado 4lb/100pie² y una viscosidad plástica de 3 cP, en los dos casos estos valores se encuentran especificados en la norma API RP 13B-1 finalmente se evaluó el rendimiento de la formulación adecuada comparando con una formulación comercial, en este caso se usó dos lodos estandar que consta de agua, barita, y pac hv (High Viscosity Polyanionic Cellulose) la variación fue la adición del viscosificante bentonita y almidón nativo. Dando como resultado valores similares en sus propiedades reológicas y de rendimiento.</p>
<p>PALABRAS CLAVES:</p>	<p>Almidón, viscosificante, reología, fluidos, pozos petroleros.</p>
<p>ABSTRACT:</p>	<p>The use of natural polymers in water-based drilling fluids led to the starch grass evaluation as a possible additive. The purpose of this study is to obtain a viscosifying material for base oil drilling fluids. Corn water (<i>Zea mays</i>), physical and rheological characterization through laboratory tests. Corn starch was obtained by processes described in the present work, drinking H₂O</p>

was used to make the mixture with starch, at a fluid temperature of 180 ° F, it was allowed to cool and rheological tests were performed that determined the yielding point and plastic viscosity, as well as tests of potential hydrogen (pH) and MBT (methylene blue test) for different percentages, we compared the performance of the viscosifier obtained by several formulations, rheological and laboratory tests to compare it with the standard viscosifier, bentonite. The results of this investigation indicated that it's chemical composition and structure will depend on the source of production, indicated that corn starch can be used as an alternative to the use of viscosifier such as bentonite, which is used in drilling mud. Based on water, the study showed that an optimal amount of 12lb of starch / 1bls of H₂O as a base to prepare a viscous fluid is similar to 22.5lb of bentonite / 1bls of H₂O. The results obtained were encouraging and it was visualized that the yield point gave as result 4lb / 100pie² and a plastic viscosity of 3 cP, in both cases these values are specified in API RP 13B-1 finally evaluated the performance of the appropriate formulation compared to a commercial formulation, in this case two were used Standard sludge consisting of water, barite, and pac hv (High Viscosity Polyanionic Cellulose), the variation was the addition of

	bentonite viscosifier and native starch. Resulting in similar values in its rheological and performance properties.
KEYWORDS	Starch, viscosifier, rheology, fluids, oil wells

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



PAZMIÑO PINEDA DANTE DAVID

C.I. 172006970-5

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **PAZMIÑO PINEDA DANTE DAVID**, CI 1720069705 autor del proyecto titulado: **Obtención de un material viscosificante para fluidos de perforación de pozos petroleros base agua a partir del maíz (*Zea mays*) y caracterización física y reológica mediante pruebas de laboratorio.** Previo a la obtención del título de Ingeniero de Petróleos de la Universidad UTE.

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 UTE 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, septiembre 2018



PAZMIÑO PINEDA DANTE DAVID

C.I. 172006970-5

DECLARACIÓN

Yo **PAZMIÑO PINEDA DANTE DAVID**, 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 UTE 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.



PAZMINO PINEDA DANTE DAVID

C.I. 172006970-5



CERTIFICADO

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC), certifica que el señor **Pazmiño Pineda Dante David** con cédula de identidad No. 172006970-5 realizó su trabajo de titulación para la obtención del Título de **Ingeniero de Petróleos**; acerca del tema **“Obtención de un material viscosificante para fluidos de perforación de pozos petroleros base agua a partir del maíz (zea mays) y caracterización física y reológica mediante pruebas de laboratorio”** desde el 02 de octubre del 2017 al 12 de febrero 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)

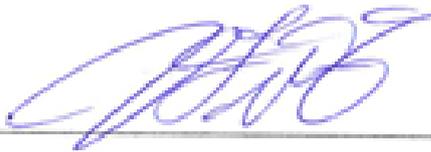
Henry Romero

Ingeniero de Laboratorio CCDC

Quito, Julio del 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **Obtención de un material viscosificante para fluidos de perforación de pozos petroleros base agua a partir del maíz (*Zea mays*) y caracterización física y reológica mediante pruebas de laboratorio** que, para aspirar al título de **Ingeniero de Petróleos** fue desarrollado por **PAZMIÑO PINEDA DANTE DAVID**, 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. Víctor Fernando Pinto Toscano, Msc.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 171310693-6

DEDICATORIA

Al culminar este proyecto después de un largo camino lleno de dificultades, no puedo olvidar agradecer a las personas que fueron la base para hacer posible este sueño.

A Dios, por ser mi fortaleza mi guía y quien ha estado a mi lado siempre “con él lo puedo todo sin el nada”, y este trabajo es muestra de su obra en mí.

A mi madre **Elizabeth Pineda Jara**, por ser mi pilar fundamental, por ser una mujer de espíritu luchador e inagotable, digno de admiración y respeto, a quien le debo todo ya que ha dedicado el transcurrir de su vida a mi formación y educación con paciencia, amor, abnegación y sacrificios.

A mi abuelita **Jovita Dina Jara Pinto**, por ayudarme cuando más lo necesite y darme la motivación para seguir adelante en mi carrera universitaria y cumplir su mayor sueño que es verme realizado como profesional.

A mis hermanos **Roberto Soria, Josué Moncayo y Esteban Moncayo** quienes me ven como su ejemplo, no olviden conservar nuestra fe en que podemos ser mejores cada día, para poder lograr una diferencia y convertir nuestros sueños en realidad, que lo importante es ser fieles a sí mismos y luchar por los objetivos que se tracen en la vida, sin decaer sea cual sea las dificultades que se les atraviesen.

Dante Pazmiño

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mis más sinceros agradecimientos a Dios en primer lugar, por colocar en este tortuoso y largo camino a manos amigas, que de una u otra manera ayudaron económicamente o con conocimientos y experiencias, sin esperar nada a cambio y estuvieron incondicionalmente.

A mi madre **Elizabeth Pineda Jara** por su inquebrantable fe en mí, paciencia y apoyo hacia mi persona, de igual manera a toda mi familia en especial a mi abuelita **Jovita Dina Jara Pinto** por su ayuda y apoyo muchas gracias.

A mis amigos y conocidos, que sin ningún interés ayudaron con un granito de arena ya sea con un consejo, anímicamente, o con materiales y herramientas de uso académico, que permitían cumplir con mis tareas, les doy infinitas gracias en especial a **Karla Garzón Peñafiel** y familia, por su preocupación, comprensión, tiempo y apoyo, que durante varios años fueron mi segundo hogar y guía para seguir adelante y no decaer.

A **Margarita Salazar Córdova** que sin ningún interés y gracias a su buen corazón, ayudo a que mi persona siga con este sueño que lo veía perdido.

Un agradecimiento especial a la empresa **CNPC – CCDC** (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) Ecuador, por permitirme realizar mi trabajo de titulación.

Un agradecimiento a la **Universidad UTE** por su vocación de servicio, en especial a los ingenieros **Fausto Ramos, Henry Romero** y **Víctor Pinto** docentes de la institución que además de ser unos excelentes profesionales son unos buenos amigos.

Infinitas gracias a cada uno de ustedes de todo corazón....

Dante Pazmiño

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 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ	8
2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ALMIDÓN DE MAÍZ COMPARADO CON LA BENTONITA	8
2.1.2 APLICACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO VISCOSIFICANTE	8
2.2 COMPARACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ CON LA BENTONITA	9
2.2.1 DESEMPEÑO DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ	9
2.2.2 DILUCIÓN DE ALMIDÓN	10
2.2.3 REOLOGÍA DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN	10
2.2.4 PRUEBA DE PH	12
2.2.5 ENSAYO CON AZUL DE METILENO (MBT)	12
2.2.6 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS AL ALMIDÓN NATIVO DE MAÍZ COMO VISCOSIFICANTE, Y LA BENTONITA COMO PATRÓN A SEGUIR	13
2.2.6.1 Comparación del viscosificante obtenido con el patrón bentonita mediante un método estadístico	13

2.3	EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FORMULACIÓN ADECUADA COMPARADO CON UNA FORMULACIÓN COMERCIAL.	14
2.3.1	RENDIMIENTO DE LOS LODOS	14
2.3.1.1	Comparación de la formulación adecuada con almidón versus la formulación comercial mediante un método estadístico	14
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
3.1	ALMIDÓN DE MAÍZ Y SUS PROPIEDADES FÍSICAS	15
3.2	PRUEBAS REALIZADAS AL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO VISCOSIFICANTE COMPARADO CON LA BENTONITA	15
3.2.1	PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL VISCOSIFICANTE OBTENIDO Y VISCOSIFICANTE PATRÓN BENTONITA	15
3.2.1.1	Duración del viscosificante obtenido	19
3.2.1.2	Desempeño de los fluidos viscosificantes base almidón y base bentonita	21
3.2.1.3	Prueba MBT (prueba de azul de metileno) para los fluidos con almidón y bentonita	23
3.3	EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FORMULACIÓN ADECUADA COMPARADO CON UNA FORMULACIÓN COMERCIAL	25
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
4.1	CONCLUSIONES	27
4.2	RECOMENDACIONES	28
5.	BIBLIOGRAFÍA	29
6.	ANEXOS	31

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Tipos de materiales viscosificantes	4
Tabla 2. Factores que afectan a las pruebas reológicas	9
Tabla 3. Concentraciones de almidón nativo de maíz y/o bentonita para evaluación reológica	10
Tabla 4. Comparación y determinación de formulaciones adecuadas	13
Tabla 5. Reología del almidón nativo en agua caliente a 180° F	15
Tabla 6. Reología de la bentonita en agua caliente a 180° F	17
Tabla 7. Medición reológica del almidón con agua a 120° F y su degradación por día	19
Tabla 8. Desempeño del viscosificante obtenido comparado con la bentonita	21
Tabla 9. Evaluación reológica del lodo base almidón vs base bentonita	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Reología del almidón nativo de maíz	16
Figura 2. Reología de la bentonita	18
Figura 3. Reología del almidón por días	20
Figura 4. Formulación de almidón equivalente a la bentonita	22
Figura 5. Fotografía del Halo formado a una concentración de 0.5 ml de azul de metileno	23
Figura 6. Fotografía del Halo formado a una concentración de 2.5 ml de azul de metileno	24
Figura 7. Lodo almidón comparado con el lodo bentonita	26

ÍNDICE DE ANEXOS

		PÁGINA
ANEXO 1	Proceso de extracción del almidón	31
ANEXO 2	Características físicas del almidón y bentonita	34
ANEXO 3	Dilución del almidón y bentonita	35
ANEXO 4	Reología de fluidos	37
ANEXO 5	Formulación para lodos de perforación comercial	38

RESUMEN

El uso de polímeros naturales en los fluidos de perforación base agua, conllevó a la evaluación de la fécula de la gramínea como un posible aditivo. Para ello, el propósito del presente estudio es la obtención de un material viscosificante para fluidos de perforación de pozos petroleros base agua a partir del maíz (*Zea mays*), caracterización física y reológica mediante pruebas de laboratorio. Se obtuvo el almidón de maíz mediante procesos descritos en el presente trabajo, se usó H₂O potable para realizar la mezcla con el almidón, a una temperatura del fluido a 180 °F, se dejó enfriar y se realizaron pruebas reológicas que determinó el punto cedente y viscosidad plástica, al igual que pruebas de potencial hidrógeno (pH) y MBT (methylene blue test) para diferentes porcentajes, se comparó el desempeño del viscosificante obtenido mediante varias formulaciones, pruebas reológicas y de laboratorio para comparar con el viscosificante patrón, bentonita. Los resultados de esta investigación indicaron que su composición química y estructura va a depender de la fuente de obtención, indicó que el almidón de maíz puede ser usado como una alternativa al uso del viscosificante como es la bentonita, el cual es usado en lodos de perforación base agua, el estudio demostró que una cantidad óptima de 12lb de almidón /1bbl de H₂O como base para preparar un fluido viscoso es similar a 22.5lb de bentonita /1bbl de H₂O los resultados obtenidos fueron alentadores y se visualizó que el yield point dio como resultado 4lb/100pie² y una viscosidad plástica de 3 cP, en los dos casos estos valores se encuentran especificados en la norma API RP 13B-1 finalmente se evaluó el rendimiento de la formulación adecuada comparando con una formulación comercial, en este caso se usó dos lodos estandar que consta de agua, barita, y pac hv (High Viscosity Polyanionic Cellulose), la variación fue la adición del viscosificante bentonita y almidón nativo. Dando como resultado valores similares en sus propiedades reológicas y de rendimiento.

PALABRAS CLAVES: Almidón, viscosificante, reología, fluidos, pozos petroleros.

ABSTRACT

The use of natural polymers in water-based drilling fluids led to the starch grass evaluation as a possible additive. The purpose of this study is to obtain a viscosifying material for base oil drilling fluids. Corn water (*Zea mays*), physical and rheological characterization through laboratory tests. Corn starch was obtained by processes described in the present work, drinking H₂O was used to make the mixture with starch, at a fluid temperature of 180 ° F, it was allowed to cool and rheological tests were performed that determined the yielding point and plastic viscosity, as well as tests of potential hydrogen (pH) and MBT (methylene blue test) for different percentages, we compared the performance of the viscosifier obtained by several formulations, rheological and laboratory tests to compare it with the standard viscosifier, bentonite. The results of this investigation indicated that it's chemical composition and structure will depend on the source of production, indicated that corn starch can be used as an alternative to the use of viscosifier such as bentonite, which is used in drilling mud. Based on water, the study showed that an optimal amount of 12lb of starch / 1bbl of H₂O as a base to prepare a viscous fluid is similar to 22.5lb of bentonite / 1bbl of H₂O. The results obtained were encouraging and it was visualized that the yield point gave as result 4lb / 100pie² and a plastic viscosity of 3 cP, in both cases these values are specified in API RP 13B-1 finally evaluated the performance of the appropriate formulation compared to a commercial formulation, in this case two were used Standard sludge consisting of water, barite, and pac hv (High Viscosity Polyanionic Cellulose), the variation was the addition of bentonite viscosifier and native starch. Resulting in similar values in its rheological and performance properties.

KEY WORDS: Starch, viscosifier, rheology, fluids, oil wells.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

La industria petrolera en su afán de obtener hidrocarburos de una forma más eficiente, está en constante investigación e incorporación de nuevas tecnologías, por tanto al momento de perforar un pozo de petróleo el uso de fluido de perforación es una parte importante. Es primordial el uso de productos naturales para sustituir los existentes manteniendo y optimizando las propiedades reológicas del lodo, que sean amigables con el medio ambiente, asequibles y que disminuyan los costos, lo que es rentable para las empresas prestadoras de servicios (León, Cely, & Gómez, 2013).

Existen muchos factores que permiten que una perforación en pozos petroleros alcance el éxito esperado, uno de los más importantes es la selección de fluido de perforación idóneo. Siendo los fluidos “base agua” los de mayor uso en la industria petrolera, la finalidad de dicho fluido es hacer más eficiente la producción de un pozo, cumpliendo funciones importantes al momento de remover los recortes del pozo, controlar las presiones de la formación, enfriar la broca, alcanzar una profundidad predeterminada, quizás lo más importante mantienen la estabilidad y el control del pozo (León, Molina, & Fajardo, 2011).

El fluido de perforación debe cumplir con requisitos físicos y químicos apropiados esto depende de las formaciones a atravesar. Los principales elementos a tener en cuenta respecto a los fluidos de perforación son: los niveles inflamables, de toxicidad y de corrosión; sin embargo, deben ser inertes a las contaminaciones de sales solubles e inmunes al desarrollo de bacterias. De las funciones antes descritas, el fluido de perforación no solo posee una fase continua (gas, agua, aceite o aire), sino que se le agregan ciertas sustancias las cuales ayudan a mejorar y/o mantener las propiedades físicas y químicas, las mismas se designan como aditivos de los fluidos de perforación (Omaña, Reinoza, Vega, & García, 2017). Uno de los aditivos utilizados son los viscosificantes, arcillas o polímeros que son agregados para mejorar la habilidad de los mismos de remover los sólidos perforados y suspender el material densificante, durante la perforación de un pozo, ver tabla 1 (PDVSA-CIED, 2003).

Tabla 1. Tipos de materiales viscosificantes

Material	Descripción
Bentonita	Silicato de aluminio y sodio/calcio
Atapulguita	Silicato de aluminio y magnesio
CMC (carboximetilcelulosa)	Derivado de celulosa
Goma Xantha	Derivado de goma Xántica
HEC (hidroxietilcelulosa)	Derivado de la celulosa
Goma Guar	Goma de Pólisacarido

(PDVSA-CIED, 2003)

El almidón básicamente está compuesto por dos polímeros, uno lineal llamado amilosa y 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, este gel también es lo suficientemente fuerte para taponar microfracturas presentes en las paredes del pozo (León, Molina, & Fajardo, 2011).

León, Cely, & Gómez (2013) manifiestan que la polimerización ocurre cuando los monómeros se juntan para formar la molécula de polímero de gran tamaño, que forman enormes cadenas de las formas más diversas. Se añaden al sistema para controlar la viscosidad, la pérdida de fluidos o inhibir la lutita; pueden generar altas viscosidades plásticas, especialmente después de la mezcla inicial del polímero. Además, señalado por Barreto & Vega (2016) se clasifican de acuerdo a su origen en: naturales, modificados o sintéticos.

Por lo descrito, una de las propiedades controladas a través del uso de polímeros es la viscosidad del fluido. Los viscosificantes son productos agregados a los fluidos para mejorar su habilidad para remover los sólidos perforados y suspender el material densificante, durante la perforación de un pozo (Barreto & Vega, 2016). Sin embargo, no todos los viscosificantes potenciales proporcionan una limpieza efectiva y económica del pozo (PDVSA-CIED, 2003).

Hay trabajos que afirman que los viscosificantes poliméricos más empleados en la industria petrolera para los fluidos base agua está la goma xántica conocida también como goma xantana, clasificada como un polímero natural, aunque se obtenga por medio de la actividad bacteriana y no en su forma natural (MI SWACO, 2001).

En Ecuador aparte de los fluidos poliméricos para aumento de viscosidad también de uso común son los fluidos bentoníticos es decir una mezcla de arcilla más agua. La bentonita es una roca compuesta por más de un tipo de minerales, aunque son las esmectitas sus constituyentes esenciales y las que le confieren sus propiedades características, son también llamadas "arcillas activadas" debido a su afinidad en ciertas reacciones químicas causada por su excesiva carga negativa. La bentonita no pierde consistencia ni estabilidad, aunque se le añada una gran cantidad de agua. Esto permite que el lodo pierda resistencia al ser amasado sin que el agua varíe y se comporte como fluido. Si se deja en reposo, vuelve a adquirir resistencia esta propiedad es llamada tixotropía. Una propiedad particular es de hincharse en el agua, dando una masa voluminosa y gelatinosa (Quiminet, 2015).

El uso de los fluidos antes mencionados ha aumentado, trayendo consigo la problemática de que son productos importados en su mayoría y por ende de alto costo; por esta razón se ha planteado la necesidad de buscar productos nuevos que ayuden a darle solución a este inconveniente, siendo de más fácil acceso y que proporcionen resultados similares o mejores, a fin de garantizar su uso como agente viscosificante (Barreto & Vega, 2016).

El presente trabajo está orientado a encontrar un porcentaje de almidón óptimo con similares características reológicas y de rendimiento que la bentonita. Garantizando su uso como viscosificante y optimizando costos, por esta razón se buscó una alternativa local que cuente con las características adecuadas, se utilizó el maíz como materia prima.

Es por ello que se decidió estudiar la fécula de maíz (*Zea mays*) como sustituto parcial de la bentonita y su uso como posible aditivo viscosificante en fluidos poliméricos base agua. El almidón se presenta en la naturaleza como elementos y/o componentes estructurales de las células vegetales. Los almidones son carbohidratos con fórmula general $(C_6H_{10}O_5)_n$ y se obtienen del maíz, el trigo, la avena, el arroz, las papas, la yuca y de plantas y verduras similares. Se componen de un 27% de polímero lineal (amilosa) y un 73% de

polímero ramificado (amilopectina). Los dos polímeros se entrelazan dentro de los gránulos del almidón. Los gránulos son insolubles en agua fría, pero al remojarlos en agua caliente o someterlos a presión de vapor se rompe su envoltura y los polímeros se hidratan (Schlumberger Limited, 2018).

El almidón de maíz es un carbohidrato de reserva, sintetizado y almacenado como fuente de energía en plantas superiores; además después de la celulosa, es el segundo hidrato de carbono más abundante en la biosfera. Aunque el contenido de almidón varía según la fuente de obtención. Polímeros naturales como es el caso del almidón se originan de una forma natural y no requieren de cambios químicos en el proceso de manufactura. Son relativamente económicos y generalmente son hidrocoloides, es decir, polímeros que no se solubilizan, sino que se hidratan desarrollando viscosidad (Gonzalez, Martínez, Vega, & Otahola, 2012).

Al incrementar las propiedades reológicas del lodo se puede obtener un mejor rendimiento, usando así una menor cantidad de recursos; esto permite obtener una correcta formulación del lodo, maximizar los beneficios y disminuir los riesgos en las operaciones de perforación. Otro beneficio derivado del incremento de las propiedades reológicas es la mejora en la lubricidad del pozo, reducción del torque, arrastre y disminución del riesgo de pega diferencial ocasionados principalmente por lo sólidos, se debe realizar pruebas de reología del fluido para obtener el comportamiento del mismo en diferentes escenarios, con la prueba de reología obtenemos factores como la viscosidad plástica, punto cedente (León, Molina, & Fajardo, 2011).

La viscosidad plástica se relaciona por el tamaño y concentración de los sólidos que se encuentran en el fluido, el control de los mismos es de suma importancia para mejorar las propiedades reológicas y para incrementar la tasa de penetración (ROP) (PDVSA-CIED, 2003).

Un aumento en la viscosidad plástica se debe al incremento en el porcentaje de volumen de sólidos, esto puede provocar cambios significativos en el proceso de perforación, como un cambio considerable en la presión de bombeo del fluido hacia el pozo, aumento en la energía suministrada a la broca, entre otros. El punto cedente está relacionado con la capacidad de limpieza del fluido en condiciones dinámicas, es la fuerza que ayuda a mantener el fluido en dichas condiciones (PDVSA-CIED, 2003).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Obtener un material viscosificante a partir de la fécula de maíz (*Zea mays*), para la formulación de fluidos de perforación base agua y realizar ensayos de laboratorio que verifiquen su utilidad.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la fécula de maíz (*Zea mays*) y determinar sus propiedades físicas.
- Comparar el desempeño del viscosificante obtenido mediante varias formulaciones, pruebas reológicas y de laboratorio para comparar con el viscosificante patrón, bentonita.
- Evaluar el rendimiento de la formulación adecuada comparando con una formulación comercial.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

El viscosificante para fluidos de perforación base agua, a partir de almidón nativo de maíz, a aplicar en la perforación de pozos petroleros, se obtuvieron en las instalaciones del laboratorio de fluidos de perforación de la empresa CNPC – CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited) Ecuador.

2.1 PROCESO DE OBTENCIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ

La extracción del almidón de la gramínea consiste en una serie de procedimientos, que se llevaron a cabo mediante un proceso de molienda por vía seca. Este proceso permitió obtener la harina de maíz (mezcla de partículas finas de almidón, fibra), posterior se da paso a la obtención de almidón (hidrato de carbono o molécula orgánica compuesta por carbono, hidrógeno y oxígeno) de la gramínea por vía húmeda. Se debe tener muy en cuenta que al momento de extraer el almidón se debe eliminar por completo la fibra, proteínas, lípidos y minerales. Estas impurezas pueden afectar el comportamiento del almidón y variar su color, los detalles de este proceso se puede encontrar en el anexo 1. Para este proceso se usó los pasos realizados por Almidones y Desarrollos Industriales S.A. (2015).

2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ALMIDÓN DE MAÍZ COMPARADO CON LA BENTONITA

Las características físicas del almidón de maíz y su fibra los cuales se extrajeron en el laboratorio de fluidos de perforación, al igual que la bentonita fueron obtenidas del manual de fluidos de la empresa CNPC – CCDC las cuales deben ser tomadas en cuenta para la realización de las pruebas, ver en anexo 2.

2.1.2 APLICACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO VISCOSIFICANTE

Se debe tener en cuenta que para poder realizar el desarrollo de las pruebas reológicas (fuerza de gel, punto cedente, viscosidad plástica que muestran la deformación y el fluir de la materia) hay varios factores de tipo cuantitativo y cualitativo que influyen en los ensayos de laboratorio, ver tabla 2 (Jesús, 2014).

Tabla 2. Factores que afectan a las pruebas reológicas

Cualitativo	Cuantitativo
Tipo de almidón	Concentración de almidón
Tipo de lodo	Tiempo de agitación
Instrumentación	pH
	Temperatura

Los factores cualitativos son las cualidades observables dentro del desarrollo de las pruebas reológicas. El tipo de almidón afecta ya que cada gramínea tiene diferentes propiedades, el tipo de lodo depende si posee algún aditivo o salmuera, y la instrumentación afecta si se encuentra descalibrado o en mal estado. Los factores cuantitativos son los valores específicos, cuantificables y observables en el caso del almidón un exceso en la formulación afecta a la viscosidad. El tiempo de agitación afecta a la cohesión de las partículas del almidón. El pH afecta directamente a su acidez y/o alcalinidad. La temperatura afecta directamente al almidón en exceso lo daña y un déficit hace que el almidón no llegue al punto de gelificación. La viscosidad plástica es la resistencia de un fluido a fluir es alterada por la concentración, tamaño y forma de los sólidos. La fuerza de gel y el punto cedente son medidas de las fuerzas de atracción en un sistema de fluido. El punto cedente mide las fuerzas de atracción dinámicas (movimiento) mientras que la fuerza de gel mide las fuerzas de atracción estáticas (reposo).

2.2 COMPARACIÓN DEL ALMIDÓN DE MAÍZ CON LA BENTONITA

2.2.1 DESEMPEÑO DE LA CONCENTRACIÓN DE ALMIDÓN DE MAÍZ

Para una solución acuosa la concentración de almidón fue establecida mediante el manual de fluidos de perforación y completación de la empresa CCDC – CNPC. Para las pruebas reológicas se tomaron varias concentraciones basadas en la norma API 13 B1, ver tabla 3 (CCDC Ecuador, 2018).

Tabla 3. Concentraciones de almidón nativo de maíz y/o bentonita para evaluación reológica

Concentración	Cantidad	Unidades	Temperatura
Agua Fría	1	bbl	Ambiente
Agua Caliente	1	bbl	180 °F
Almidón Nativo	Adicionar de 5 en 5 libras hasta 22.5	lb	180 °F
Bentonita	Adicionar de 5 en 5 libras hasta 22.5	lb	180 °F

La tabla 3 indica las cantidades adicionadas al agua y bentonita, para realizar las pruebas reológicas a diferentes concentraciones, y verificar su desempeño en agua fría y caliente. La temperatura solo afecta al almidón ya que la bentonita no cambia sus propiedades.

2.2.2 DILUCIÓN DE ALMIDÓN

Para la dilución del almidón y de la bentonita, se usaron procedimientos basados en la norma API 13 B1 y en el manual de fluidos de la empresa CCDC – CNPC. Estos pasos previos permitieron obtener la muestra en condiciones óptimas, para su posterior gelificación, y colocación en el reómetro para realizar las pruebas, ver anexo 3.

2.2.3 REOLOGÍA DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Se usó un viscosímetro rotativo marca 800 OFITE para determinar el punto cedente, fuerza de gel y viscosidad plástica de las diferentes concentraciones de almidón y bentonita. Las lecturas fueron tomadas a una temperatura de 120 °F basándose en el procedimiento establecido en la norma API Recommended 13B-1 (2003), ver anexo 4.

Para las propiedades reológicas a encontrar en el almidón y poder compararlo con la bentonita, se aplicaron las siguientes ecuaciones y así poder obtener datos para su posterior análisis.

- **Viscosidad plástica**

La viscosidad plástica se calculó mediante la ecuación 1 obtenida de Sánchez (2001).

$$V_p = \text{Lectura } 600\text{RPM} - \text{Lectura } 300\text{RPM} \quad [1]$$

Donde:

Vp: Viscosidad plástica

RPM: Revoluciones por minuto

- **Punto cedente (Yield Point)**

El punto cedente se calculó mediante la ecuación 2 obtenida de Sánchez (2001).

$$Y_p \left(\frac{\text{lbs}}{\text{pie}^2} \right) = \text{Lectura } 300\text{RPM} - V_p \quad [2]$$

Donde:

Yp: Yield point

- **Fuerza Gel**

La fuerza de gel se realizó mediante la ecuación 3 y la ecuación 4.

$$F_g(10s) = \text{Lectura } 3\text{RPM} \quad [3]$$

$$F_g(10 \text{ min}) = \text{Lectura } 3\text{RPM} \quad [4]$$

Donde:

Fg: Fuerza de gel

2.2.4 PRUEBA DE PH

Para las diferentes concentraciones se realizó la medición de pH (potencial hidrógeno) mediante el uso del potenciómetro marca OAKTON ION 6+.

2.2.5 ENSAYO CON AZUL DE METILENO (MBT)

La solución de azul de metileno se adiciona a la muestra de lodo (que ha sido acidificado y tratado con peróxido de hidrógeno), hasta que se observa saturación por la formación de un halo de tinta alrededor de una gota de la suspensión de sólidos colocada sobre papel de filtro.

Este ensayo provee una estimación de la capacidad de intercambio de cationes (con sus siglas en inglés CEC) de los sólidos (arcillas) en el lodo, y la concentración equivalente de bentonita de un fluido de perforación base agua o fluido de terminación/represión se usó el manual de fluidos de BAROID (HALLIBURTON, 1997).

- **Calculo del CEC del azul de metileno**

CEC, meq/mL del fluido = mL de solución de azul de metileno ÷ mL de muestra del fluido.

- **Cálculo del contenido equivalente de bentonita**

Unidad

$$\text{lb/bbl} = 5 \times (\text{CEC})$$

$$\text{kg/m}^3 = 14 \times (\text{CEC})$$

Es decir, según las unidades que se desee obtener se elige el factor **5** ó **14** y se multiplica por el resultado que da la solución (almidón-agua y/o bentonita – agua) con azul de metileno, ver figura 5 y figura 6, este resultado determina la cantidad de arcillas reactivas presentes

2.2.6 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS AL ALMIDÓN NATIVO DE MAÍZ COMO VISCOSIFICANTE, Y LA BENTONITA COMO PATRÓN A SEGUIR.

Para el presente estudio se realizó pruebas con el almidón nativo a diferentes concentraciones y temperaturas basadas en el manual de fluidos de CCDC-CNPC para su evaluación como viscosificante y poder determinar su aplicación y/o comparación con la bentonita, ver tabla 4.

Tabla 4. Comparación y determinación de formulaciones adecuadas

Almidón nativo de maíz	Formulación con bentonita comercial
5 lb de almidón nativo de maíz mezclado con 1 barril de agua potable	22.5 lb de bentonita mezclado con 1 barril de agua potable
10 lb de almidón nativo de maíz mezclado con 1 barril de agua potable	22.5 lb de bentonita mezclado con 1 barril de agua potable
12 lb de almidón nativo de maíz mezclado con 1 barril de agua potable	22.5 lb de bentonita mezclado con 1 barril de agua potable

En la tabla 4 se comparó las diferentes concentraciones de almidón nativo y agua, con el rendimiento del fluido estándar, que consistió en 22.5 lb de bentonita y 1 barril de agua a temperatura ambiente. En las dos soluciones se elevó su temperatura hasta un máximo de 180 grados Fahrenheit.

2.2.6.1 Comparación del viscosificante obtenido con el patrón bentonita mediante un método estadístico.

Para la comparación de las dos sustancias, y su rendimiento como viscosificantes, se usó el método estadístico denominado regresión lineal simple, este procedimiento nos ayuda a observar la varianza y desviación estándar de los datos, determinar un porcentaje de aproximación de puntos a una línea inclinada como referencia, en un plano con ejes x,y, esto se realizó en graficas de Excel, obteniendo así las ecuaciones necesarias para determinar la semejanza de los datos y poder obtener un resultado.

2.3 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FORMULACIÓN ADECUADA COMPARADO CON UNA FORMULACIÓN COMERCIAL.

2.3.1 RENDIMIENTO DE LOS LODOS

Se evaluó dos formulaciones de fluido de perforación cuyos porcentajes de fluido y aditivos se encuentran en el manual de la empresa CNPC - CCDC. Uno a base de bentonita y otra base almidón nativo de maíz en los dos casos se agregaron agua y aditivos tales como; barita, PAC HV, en igual porcentaje. Estos fluidos fueron sometidos a pruebas reológicas para verificar su rendimiento y poder determinar su aplicación como de uso comercial, los detalles se encuentran en el anexo 5.

2.3.1.1 Comparación de la formulación adecuada con almidón versus la formulación comercial mediante un método estadístico.

Se usó el método estadístico denominado regresión lineal simple, este procedimiento permite observar la varianza y desviación estándar de los datos, y determinar un porcentaje de aproximación de puntos a una línea inclinada, como referencia en un plano con ejes x,y, esto se realizó en graficas de Excel, obteniendo así las ecuaciones necesarias para determinar la semejanza de los datos y poder obtener un resultado.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ALMIDÓN DE MAÍZ Y SUS PROPIEDADES FÍSICAS.

Se procesó 14 kilogramos de maíz y se obtuvo el 60% de su peso neto en almidón con particularidades físicas especificadas en el anexo 2.

3.2 PRUEBAS REALIZADAS AL ALMIDÓN DE MAÍZ COMO VISCOSIFICANTE COMPARADO CON LA BENTONITA.

Se realizó pruebas reológicas para las diferentes soluciones de almidón nativo con agua. Posteriormente se realizó el análisis respectivo a cada solución, para comprobar la funcionalidad del almidón que se obtuvo del maíz como aditivo viscosificante para fluidos de perforación base agua.

3.2.1 PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL VISCOSIFICANTE OBTENIDO Y VISCOSIFICANTE PATRÓN BENTONITA.

Tabla 5. Reología del almidón nativo en agua caliente a 180° F

Lecturas en reómetro	Med.1 con 5lb/1Bls	Med. 2 con 10lb/1Bls	Med. 3 con 15lb/1Bls	Med. 4 con 20lb/1Bls	Med. 5 con 22.5lb/1Bls	22.5lb/1Bls Pasado 16 horas
600	4	10	30	60	75	33
300	3	6	19	41	51	20
200	2	5	15	33	40	16
100	1	3	10	22	27	10
6	1	1	2	6	7	2
3	1	1	2	5	6	2
Vp	1	4	11	19	24	13
Yp	2	2	8	22	27	7

La tabla 5 muestra diferentes concentraciones de almidón nativo de maíz (*Zea mays*) más agua potable, y su respectivo análisis reológico mediante el viscosímetro, a diferentes velocidades para comparar con los valores obtenidos en la tabla 6, que son los valores reológicos de la bentonita. Se observó que los valores cercanos de punto cedente están en la medición 2 y medición 3, por lo que se sacó un valor intermedio de 12lb de almidón/1bls de H₂O que se encuentran dentro de las especificaciones de la norma API 13B-1.

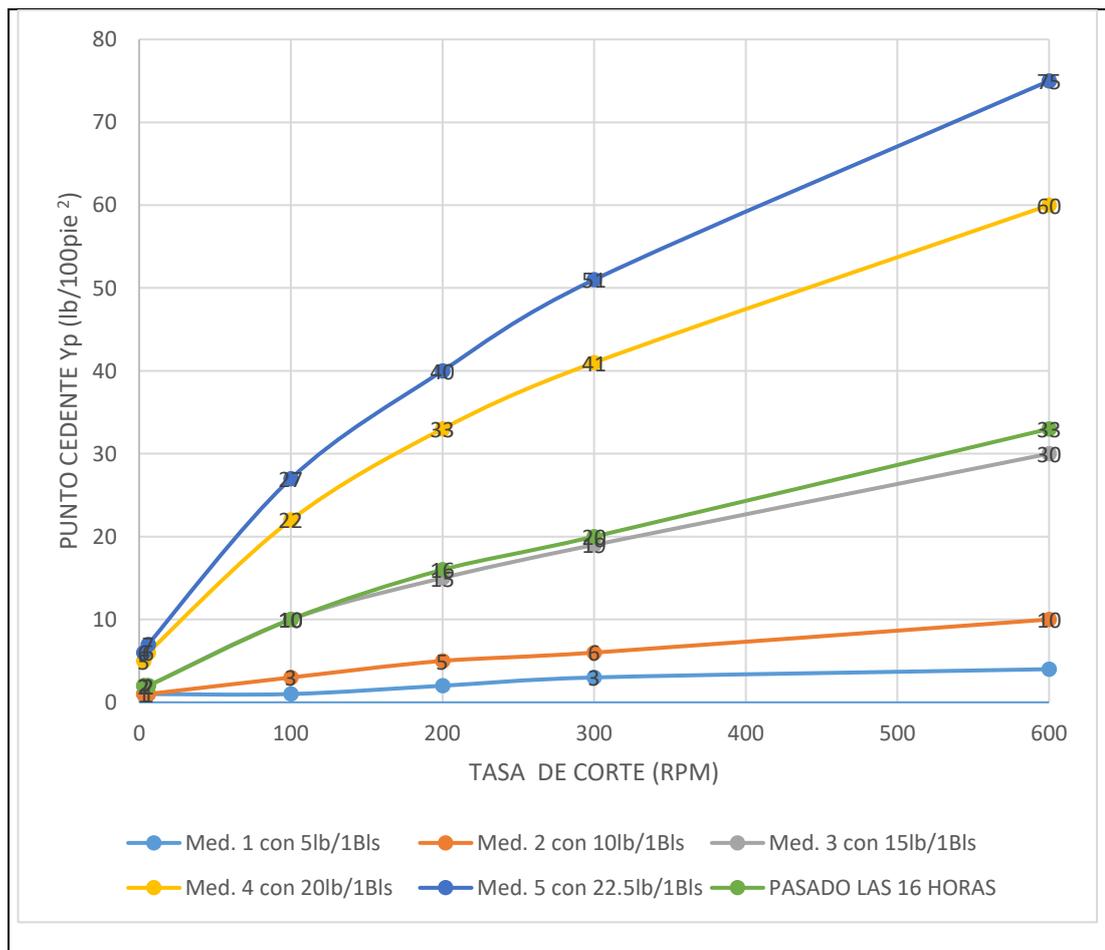


Figura 1. Reología del almidón nativo de maíz

La figura 1 muestra las curvas de los resultados obtenidos a diferentes concentraciones de almidón nativo de maíz (*Zea mays*) más agua potable mediante el uso del reómetro, dando como resultado que la curva de 10lb de almidón/1Bl de H₂O y la curva de 15lb de almidón/1Bl de H₂O están dentro de las especificaciones API 13B-1, valores comparados con la figura 2 que indican su potencial uso como sustituto parcial de la bentonita.

Tabla 6. Reología de la bentonita en agua caliente a 180° F

Lecturas en reómetro	Med. 1 con 5lb/1Bl s	Med. 2 con 10lb/1Bl s	Med. 3 con 15lb/1Bl s	Med. 4 con 20lb/1Bl s	Med. 5 con 22.5lb/1Bl s	22.5lb/1Bl s PASADO 16 HORAS
600	2	3	5	8	9	10
300	2	2	3	6	6	7
200	1	2	3	5	5	6
100	1	1	2	4	4	5
6	1	1	1	2	3	3
3	1	1	1	2	2	3
Vp	0	1	2	2	3	3
Yp	2	1	1	4	3	4

La tabla 6 muestra diferentes concentraciones de bentonita más agua y su respectivo análisis reológico mediante el viscosímetro rotativo 800 OFITE a diferentes velocidades para comparar con los valores obtenidos en la tabla 5 se eligió la medición de 22.5lb de bentonita/1bls H₂O pasado las 16 horas como fluido patrón que se encuentra dentro de las especificaciones de la norma API 13B-1.

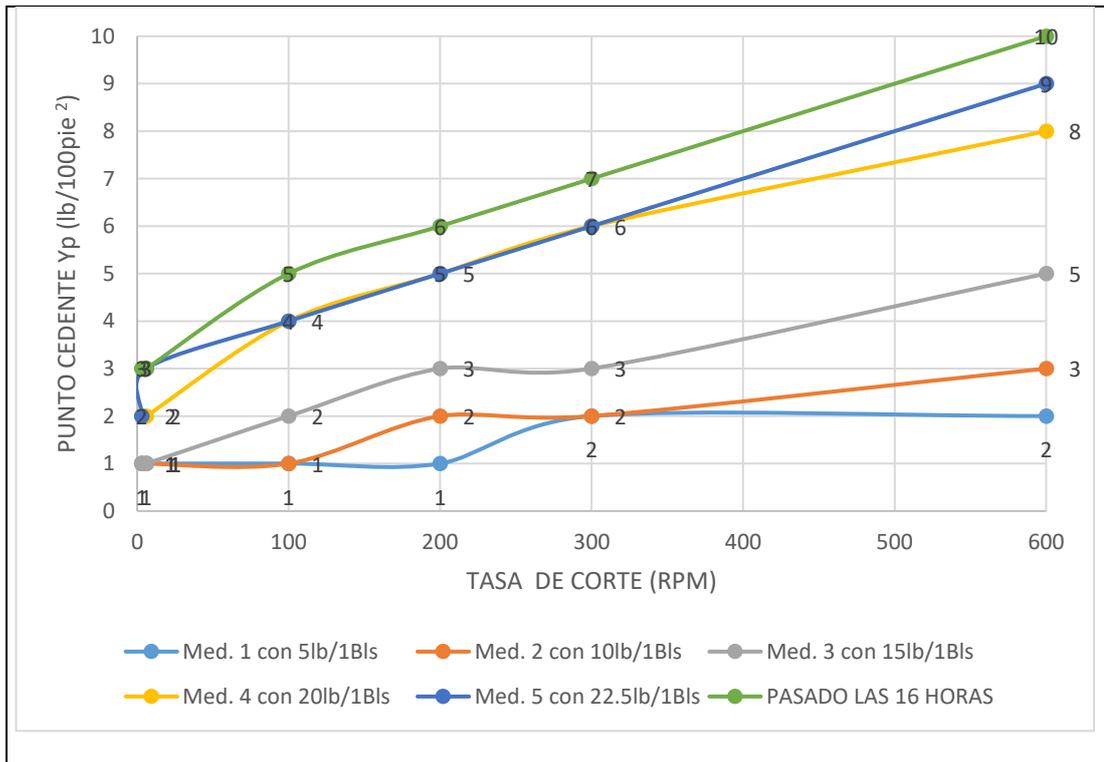


Figura 2. Reología de la bentonita

La figura 2, muestra las curvas de los resultados obtenidos a diferentes concentraciones de bentonita más agua mediante el uso del reómetro, dando como resultado que la curva de 22.5lb de bentonita/1Bl de H₂O y la curva de 22.5lb de bentonita/1Bl de H₂O pasado 16 horas tomada como curva patrón está dentro de la especificaciones API 13B-1 para poder obtener un porcentaje equivalente de almidón y bentonita idóneo para posteriormente realizar las pruebas comparativas con la figura 1.

3.2.1.1 Duración del viscosificante obtenido.

Tabla 7. Medición reológica del almidón con agua a 120° F y su degradación por día

LEC	Me	Me	Me	Me	Me							
TUR	d. 2	d. 3	d. 4	d. 5	d. 6	d. 7	d. 8	d. 9	d.	d.	d.	d.
AS	con	10	11	12	1							
	12l	con	con	con	PA							
	b/1	12l	12l	12l	SA							
	Bls	b/1	b/1	b/1	DO							
									Bls	Bls	Bls	16
												HO
												RA
												S
600	11	11	11	10	9	8	7	6	5	4	4	11
300	6	6	6	6	5	5	4	3	3	2	2	7
200	5	5	5	5	4	4	3	2	2	2	2	5
100	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	3
6	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
Vp	5	5	5	4	4	3	3	3	2	2	2	4
Yp	1	1	1	2	1	2	1	0	1	0	0	3

La tabla 7 muestra la duración de 12lb de almidón/1bls de H₂O con respecto al tiempo y se puede observar una reología a 600 RPM constante al igual que su viscosidad plástica en un lapso de 7 días, pasado este tiempo el fluido pierde sus propiedades a comparación de la bentonita que sus valores son infinitos con respecto al tiempo no se degrada por ser una arcilla y no un compuesto orgánico.

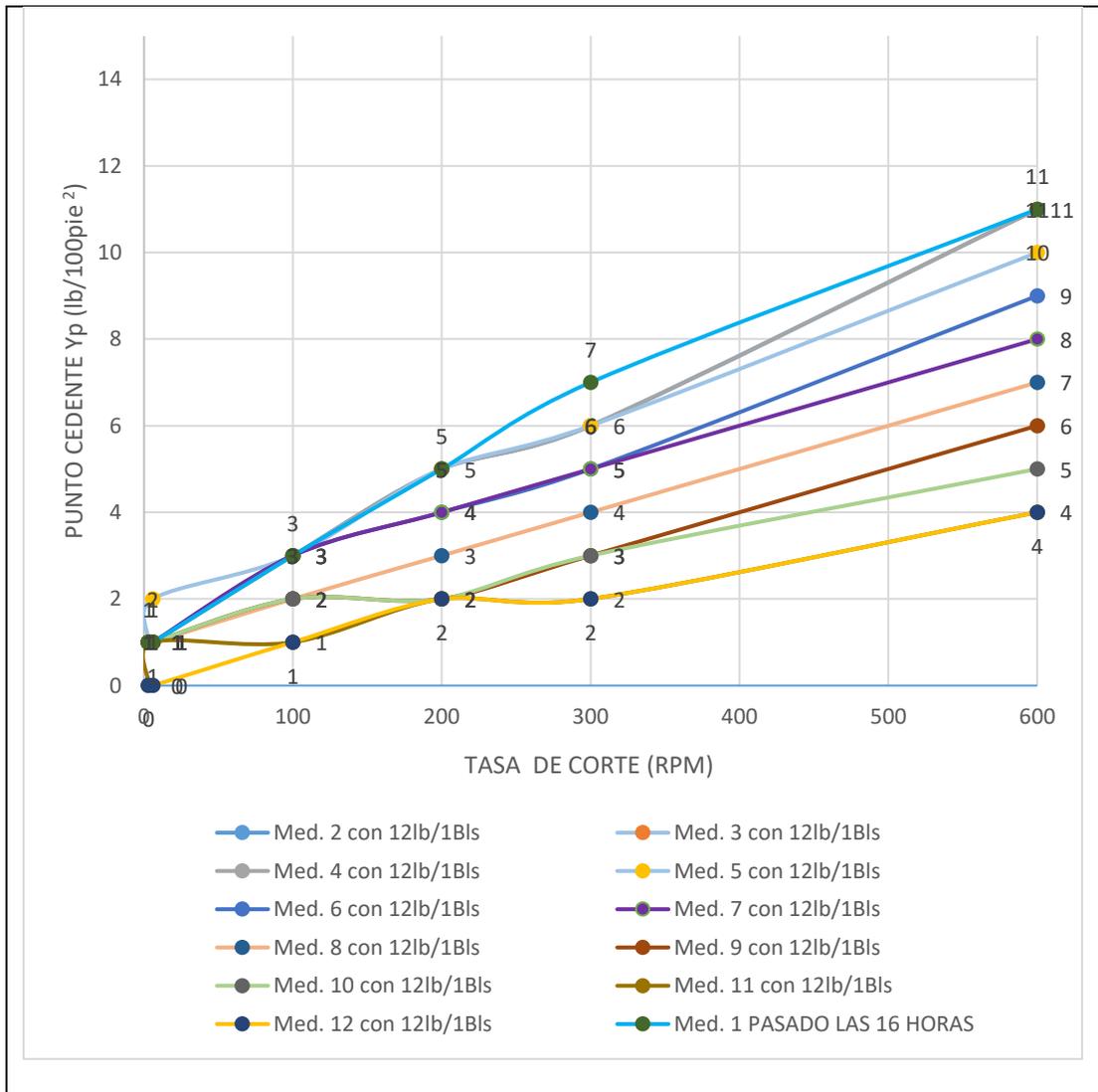


Figura 3. Reología del almidón por días

La figura 3 muestra los resultados obtenidos con una concentración de 12lb de almidón/1bls de H₂O a diferentes días, dando resultados positivos ya que su degradación con el tiempo nos muestra que el fluido nos puede durar un máximo de 7 días sin perder sus propiedades resultando como un sustituto parcial de la bentonita en los trabajos superficiales de perforación.

3.2.1.2 Desempeño de los fluidos viscosificantes base almidón y base bentonita.

Tabla 8. Desempeño del viscosificante obtenido comparado con la bentonita

LECTURAS	Med. 2 con 10lb almidón/1Bl	Med. 3 con 15lb almidón/1Bl	PASADO LAS 16 HORAS con 22.5lb/1Bl Bentonita	Med. 1 LAS 16 HORAS con 12lb/1Bl Almidón
600	10	30	10	11
300	6	19	7	7
200	5	15	6	5
100	3	10	5	3
6	1	2	3	1
3	1	2	3	1
Vp	4	11	3	4
Yp	2	8	4	3

La tabla 8 muestra los resultados de las diferentes pruebas realizadas en el laboratorio de fluidos de la empresa CNPC – CCDC obteniendo la formulación idónea de 12lb de almidón/1bls de H₂O que se asemeja a 22.5lb de bentonita/1bls de H₂O y sus diferentes valores reológicos que fueron tomados a diferentes velocidades, el rendimiento es similar con una viscosidad plástica y punto cedente (yield point) semejantes que están dentro de las especificaciones API 13B-1

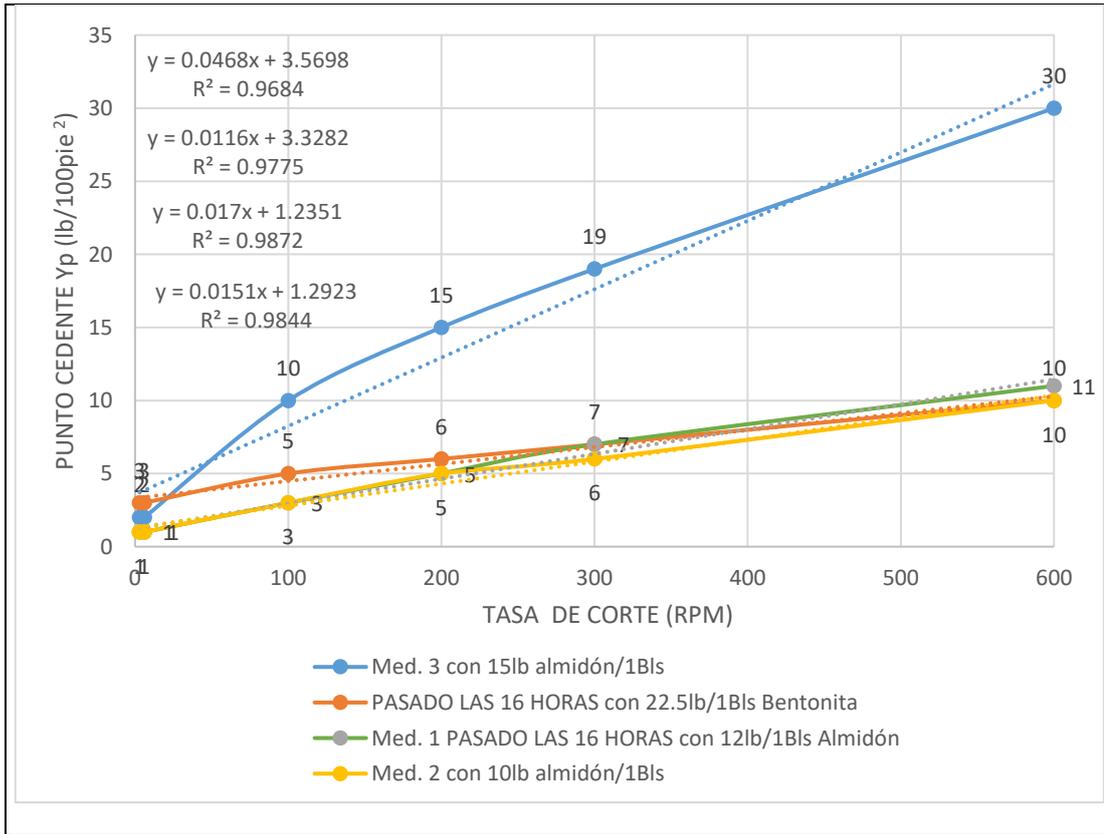


Figura 4. Formulación de almidón equivalente a la bentonita

La figura 4 muestra las curvas que se aproximan a la curva de 22.5lb de bentonita/1bls de H₂O y la mejor opción es la curva de 12lb de almidón/1bls de H₂O para poder deducir que este porcentaje es el ideal y sustituir parcialmente la bentonita en las mismas condiciones de laboratorio ya que los valores se encuentren dentro de la norma API 13B-1.

3.2.1.3 Prueba MBT (prueba de azul de metileno) para los fluidos con almidón y bentonita.



Figura 5. Fotografía del Halo formado a una concentración de 0.5 ml de azul de metileno

La figura 5 muestra los resultados obtenidos con una concentración de 0.5 ml de azul de metileno en el papel filtro en el cual se aprecia el halo formado a esta concentración, esto indica el contenido equivalente de bentonita que se usó para preparar una solución de 12 lb de almidón/1bls de H₂O.



Figura 6. Fotografía del Halo formado a una concentración de 2.5 ml de azul de metileno

La figura 6 muestra los resultados obtenidos con una concentración de 2.5 ml de azul de metileno en el papel filtro, en el cual se aprecia el halo formado a esta concentración, esto indica el contenido equivalente de bentonita que se usó para preparar una solución de 22.5 lb de bentonita/1bls de H₂O.

3.3 EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA FORMULACIÓN ADECUADA COMPARADO CON UNA FORMULACIÓN COMERCIAL.

Tabla 9. Evaluación reológica del lodo base almidón vs base bentonita

LECTURAS	Med. lodo más 12lb almidón/1Bls	Med. Lodo más 22.5lb bentonita/1Bls	PASADO 16 HORAS lodo con Almidón	PASADO 16 HORAS lodo con Bentonita
600	35	32	33	30
300	24	22	22	20
200	18	17	17	16
100	12	12	10	11
6	1	4	1	5
3	1	3	1	5
Vp	11	10	11	10
Yp	13	12	11	10

La tabla 9 muestra los resultados de las concentraciones de lodo base agua, a ser evaluado en el laboratorio de fluidos de la empresa CNPC – CCDC, obteniendo resultados favorables ya que el lodo mantiene sus propiedades al inicio de las pruebas, después de dejarlo en reposo por 16 horas, que se encuentran especificados en la norma API 13 B-1, el rendimiento es similar con una viscosidad plástica y punto cedente (yield point) semejantes.

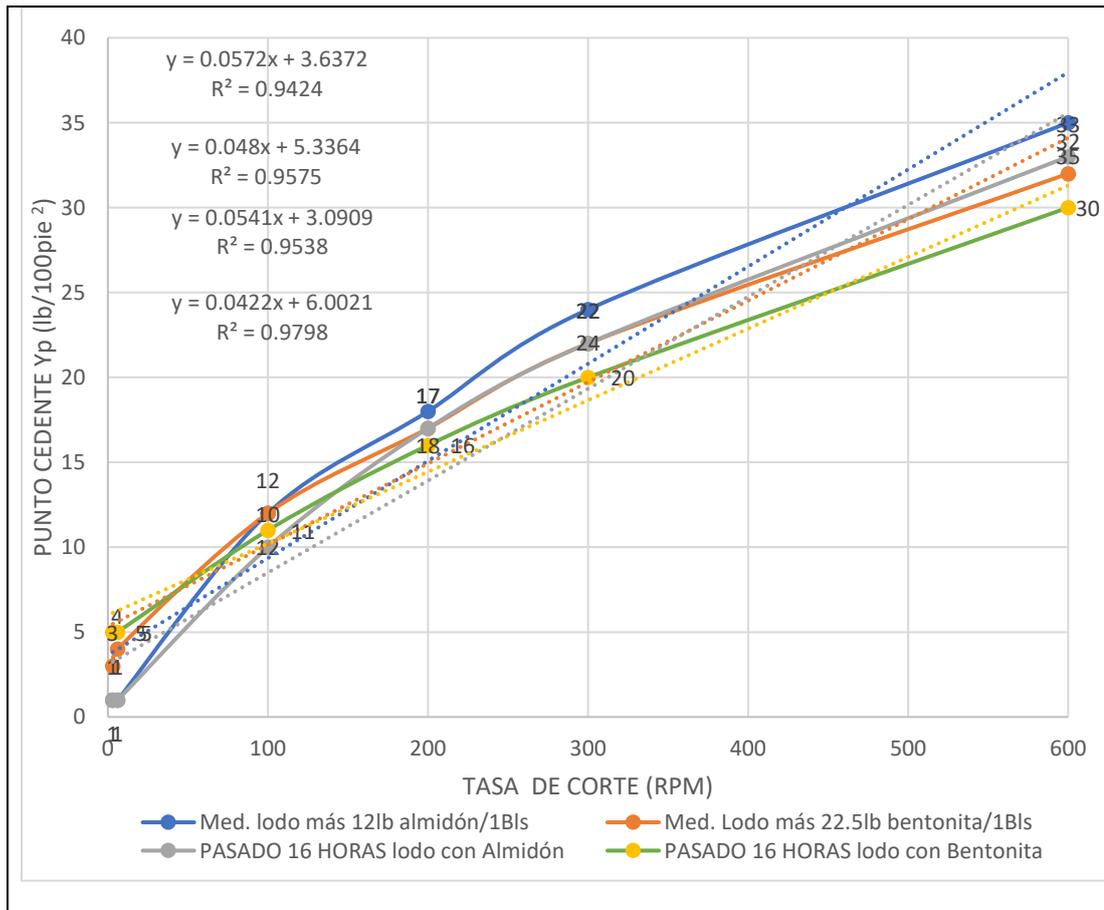


Figura 7. Lodo almidón comparado con el lodo bentonita

La figura 7 muestra las curvas que se aproximan a la curva de 22.5lb de bentonita/1bls de H₂O y la mejor opción es la curva de 12lb de almidón/1bls de H₂O para poder deducir que este porcentaje es el ideal y sustituir parcialmente la bentonita en las mismas condiciones de laboratorio ya que los valores se encuentren dentro de la norma API 13B-1.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La concentración que mejor se asemejo a 22.5 lb de bentonita/1bls H₂O que esta normado fue de 12 lb de almidón/1bls H₂O ya que su viscosidad plástica y yield point son semejantes.
- La utilización del almidón sin el uso de bactericidas es más propensa a degradarse con más rapidez, perdiendo su capacidad viscosa que al igual que la temperatura juega un papel primordial dentro de su uso óptimo.
- En una concentración de la mezcla almidón y agua en proporción de 12 lb/1bls H₂O que se dejó en reposo por varios días se determinó mediante pruebas reológicas que su durabilidad es de 7 días máximo ya que perdió propiedades viscosificantes mientras transcurre el tiempo.
- La utilización del almidón como sustituto parcial de la bentonita en las concentraciones detalladas en el anexo, se pudo determinar su uso dentro de los primeros trabajos de perforación fue de utilidad ya que en este proceso el fluido de perforación no requiere mayor especificación.

4.2 RECOMENDACIONES

- Buscar otra modificación química para obtener un subproducto del almidón de maíz con la finalidad de mejorar el material viscosificante en fluidos de perforación base agua.
- El almidón nativo de maíz con la ayuda de una salmuera o bactericida puede mejorar su resistencia con respecto al tiempo, pero se podría buscar un método no convencional para extender su duración y evitar su degradación prematura.
- Durante la obtención y proceso de secado del almidón nativo de maíz, no se debe permitir la oxidación ya que sus propiedades son afectadas por tal motivo toca poner la cantidad suficiente de agua y almidón a secar controlando la temperatura ya que si es muy baja el secado tarda y acelera su oxidación y si es muy alta puede llegar a quemar el almidón.
- Continuar con el estudio del uso de los almidones y sus posibles aplicaciones y variaciones como viscosificantes en fluidos de perforación base agua, como sustitutos a aditivos convencionales que existen en el mercado y no son amigables con el medio ambiente o tienen un costo muy alto.

5. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Almidones y Desarrollos Industriales S.A. (2015). Especialidades grado industrial. Retrieved from <http://www.adisa.mx/industrial-almidones-especialidades.html>
- API Recommended 13B-1. (2003). Recommended practice for field testing water-based drilling fluids.
- BAROID. (2004). *Manual de fluidos*. Houston, Texas.
- Barreto, P., & Vega, R. (2016). Uso de la pectina como agente viscosificante en un fluido de perforación base agua polimérico. *Ingeniería Petrolera*, 56(7), 375–386.
- CCDC Ecuador. (2018). *Manual de laboratorio para fluidos de perforación y completación*. Quito, Ecuador.
- Gonzalez, J., Martínez, A., 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 Caribbea Conference (LACCEI'2011), Engineering for a Smart Planet, Innovation, Information Technology and Computational Tools for Sustainable Development.*, 1–11.
- HALLIBURTON. (1997). *Manual de fluidos*. Houston, Texas.
- Jesús, A. (2014). Almidones modificados. Retrieved from <http://www.tecnolacteoscarnicos.com/resumen/2014/p7.pdf>
- León, E., Cely, A., & Gómez, J. (2013). *Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua*. *Revista ION*. Universidad Industrial de Santander.
- León, E., Molina, C., & Fajardo, A. (2011). Factibilidad del uso de almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. *Revista ION*, 24(1), 15–22.
- MI SWACO. (2001). *Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación*. Houston, Texas.
- Omaña, M., Reinoza, J., Vega, R., & García, M. (2017). Comportamiento Reológico del gel de sábila (aloe barbadensis), como aditivo viscosificante en fluidos de perforación base agua, para pozos petroleros. *Revista Científica PetroCiencias Vol. 1, Núm. 1*, 118-131.
- PDVSA-CIED. (2003). *Aditivos para los fluidos de perforación*. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Caracas, Venezuela. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/48386229/%0ACIED-PDVSA-Fluidos-de-Perforacion>
- Quiminet. (2015). Usos y aplicaciones de las bentonitas. Retrieved from

<https://www.quiminet.com/articulos/usos-y-aplicaciones-de-las-bentonitas-7708.htm>

Sánchez, J. (2001). Reología e Hidráulica. Retrieved from <https://es.scribd.com/doc/53219412/FLUIDOS-DE-PERFORACION>

Schlumberger Limited. (2018). Almidón. In *Oilfield Glossary*. Retrieved from <http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/s/starch.aspx>

6. ANEXOS

6. ANEXOS

ANEXO 1

PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN

En el diagrama, se muestra el proceso de extracción de almidón nativo de maíz en conjunto con la fibra.

- 1. Recepción y almacenamiento del maíz:** Después de ser cultivado el maíz, en este caso maíz mishca (clase de maíz), debe ser receptado y almacenado adecuadamente donde no exista humedad para posteriormente ser procesado.
- 2. Selección:** Una vez transportado al lugar de almacenamiento, se selecciona visualmente determinando que se encuentre en buenas condiciones, eliminando maíces que no cumplan con los requerimientos (mal estado, sucios o un maíz tierno).
- 3. Molienda del maíz:** En esta etapa se procedió a colocar el maíz en un molino para poder separar los gránulos más gruesos de los finos y obtener una harina base.



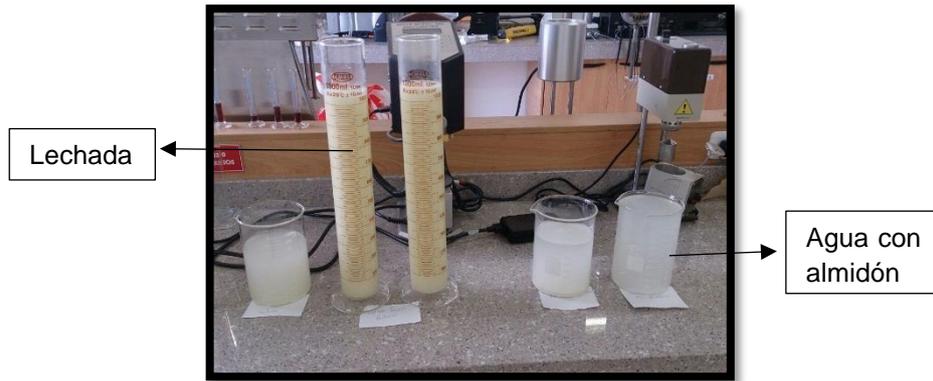
Molino manual

4. **Tamizado:** Se coloca la harina base en un cedazo para poder separar las impurezas de la harina a utilizar para la posterior obtención del almidón.



Tamizado

5. **Remojo e hidratación de la harina:** La harina de maíz es colocada en recipientes con una cantidad aproximada a un litro de agua potable, se mezcla y se deja en reposo por unos 5 a 10 minutos.
6. **Extracción y filtración:** Para esto se pasa la mezcla por una tela de filtrado ya sea lienzo o velo de novia (nombre de un tipo de tela). En el proceso se usó las dos telas las cuales nos permitieron únicamente el paso del almidón. De esta manera se separa el almidón de la fibra más gruesa y del agua. Este procedimiento junto al remojo se repite de 3 a 5 veces para poder obtener la mayor cantidad de almidón. La fibra restante al final de todo el proceso que se queda en la tela es almacenada para posteriormente ser secada en el horno dinámico.
7. **Decantación:** Una vez que se obtuvo la lechada (almidón, lípidos y fibra suspendida en el agua) se deja reposar 2 horas en un recipiente para poder separar los diferentes componentes de la lechada y obtener el almidón que se asienta en la base. Con cuidado se retira el agua que contiene impurezas (lípidos y fibra) y al almidón asentado se le coloca agua limpia se lo lava y/o agita sin botar el agua, y a continuación es dejado en reposo. Este procedimiento se repite mínimo tres veces para poder obtener el almidón más puro y limpio con un color blanco.



Decantación

- 8. Secado:** Una vez obtenido el almidón se lo recolecta y coloca en un recipiente adecuado. Para el procedimiento se usó un horno dinámico marca OFITE modelo 173-00-RC. El almidón húmedo es expuesto al calor a una temperatura de 120 °F con el fin de eliminar completamente la humedad que es provocada por el agua.



Horno Dinámico

- 9. Molienda:** El almidón seco es colocado en un molino y/o mortero donde se toma el tiempo necesario para poder convertirlo en polvo.
- 10. Tamizado:** Se procede a pasar el almidón molido por un tamiz de 200 μm .
- 11. Almacenamiento:** El almidón tamizado se debe almacenar en bolsas selladas herméticamente, etiquetadas y en un lugar fresco y seco.

ANEXO 2

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL ALMIDÓN Y BENTONITA

Características físicas del almidón de maíz y bentonita

	Características físicas del almidón	Características físicas de la bentonita
Color	Blanco	Marrón
Estado físico	Sólido	Sólido
pH almidón nativo disuelto en agua	6	7
Olor	Inodora	Inodora
Solubilidad en agua	Insoluble	Insoluble

ANEXO 3

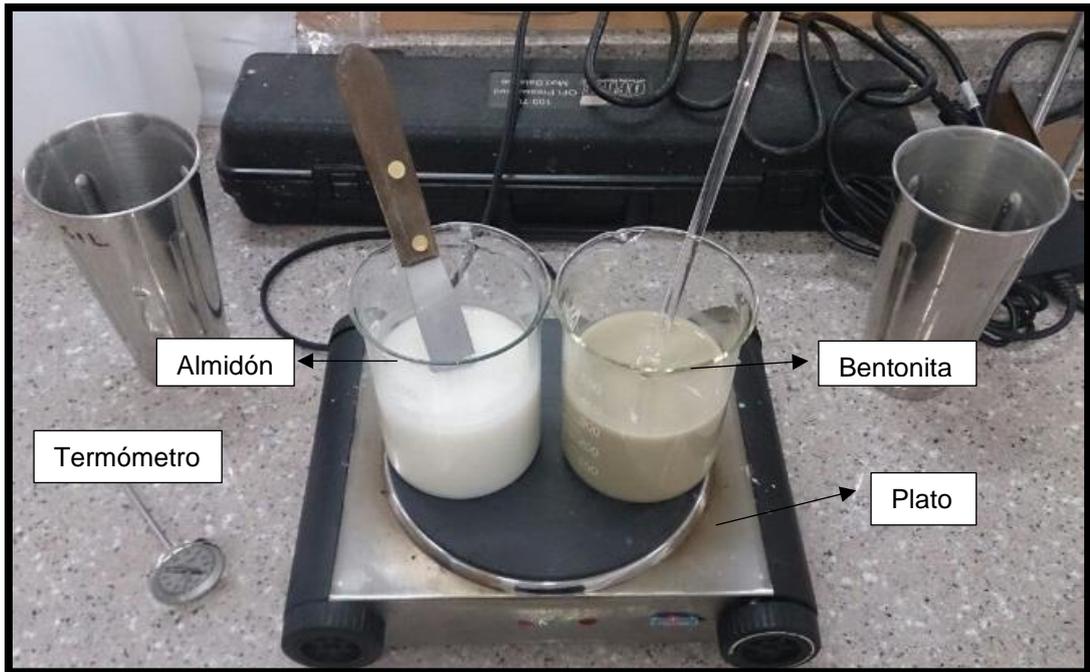
DILUCIÓN DEL ALMIDÓN Y BENTONITA

El almidón al colocarlo en un agitador mecánico, y al disolverlo en agua fría tiene una mala absorción lo que provoca que no se tenga una buena gelificación.



Agitador mecánico

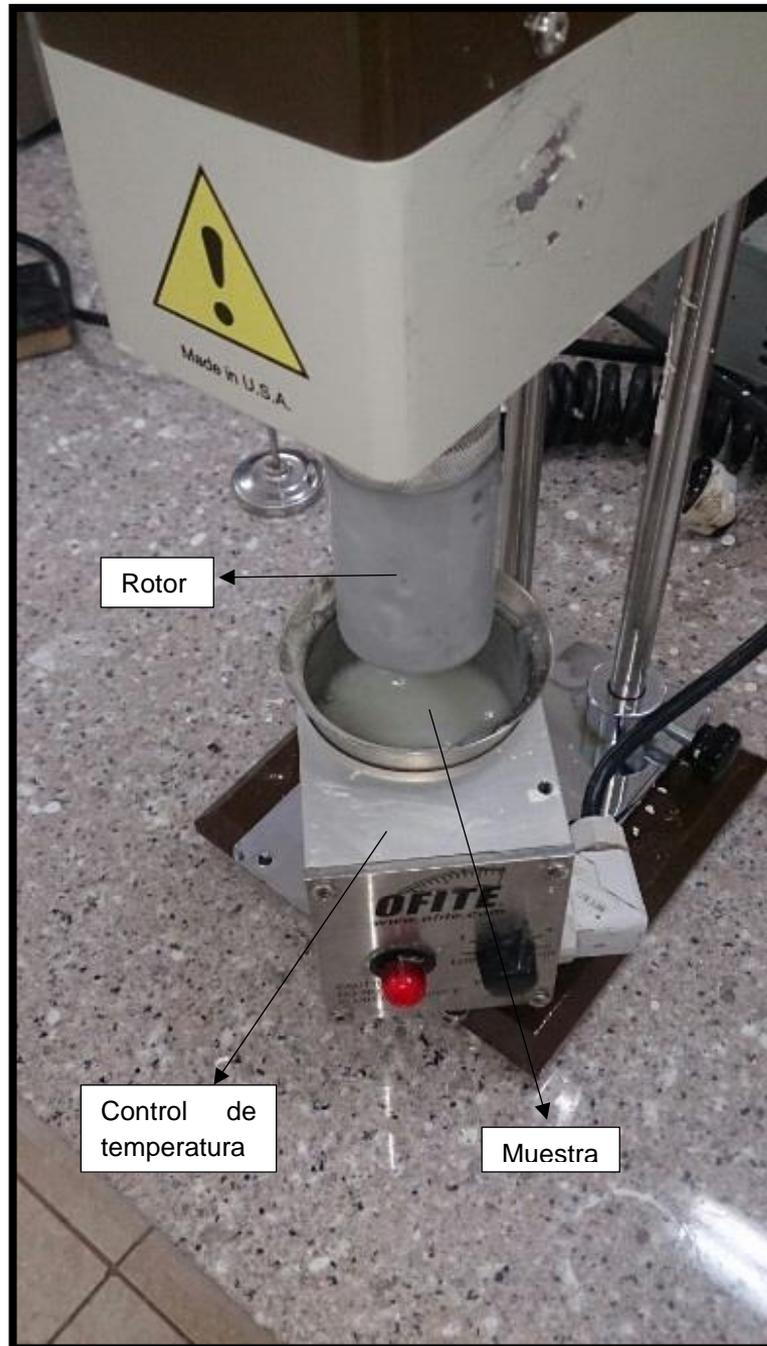
Se aplica calor mediante un plato de calentamiento para llegar a la temperatura deseada, a una solución acuosa (H_2O + almidón) a $180\text{ }^{\circ}F$, lo que permite que la dilución del almidón sea adecuada, se hinche y forme un gel. El tiempo de agitación establecido para la dilución es de 5 minutos el cual es establecido por el manual de fluidos de perforación de la empresa CCDC – CNPC, (CCDC Ecuador, 2018).



Plato de calentamiento

ANEXO 4

REOLOGÍA DE FLUIDOS



Viscosímetro rotativo 800 OFITE

ANEXO 5

EVALUACIÓN DE LA FORMULACIÓN ADECUADA

Formulación para lodos de perforación comercial

Lodo con almidón	Lodo con bentonita
12 lb de almidón nativo de maíz	22.5 lb de bentonita
1 barril de agua potable	1 barril de agua potable
20 lb de barita	20 lb de barita
1/2 lb de PAC HV	1/2 lb de PAC HV