



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

CARRERA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS

**OBTENCIÓN DE UN INHIBIDOR DE ARCILLAS PHPA
(POLIACRILAMIDA PARCIALMENTE HIDROLIZADA) PARA
FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA A PARTIR DE LA
SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.) TAMIZADA CON
MALLA 200 Y ESTUDIO DE SU COMPORTAMIENTO
MEDIANTE PRUEBAS DE LABORATORIO**

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

GRACE LORENA BEDOYA VACA

DIRECTOR: ING. FAUSTO RENÉ RAMOS AGUIRRE

Quito, octubre de 2018

© Universidad UTE. 2018
Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

| DATOS DEL CONTACTO | |
|----------------------|--|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1724076268 |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Bedoya Vaca Grace Lorena |
| DIRECCIÓN: | Toribio montes y Cristóbal de acuña Oe1-103 |
| EMAIL: | gracebedoya45@gmail.com |
| TELÉFONO FIJO: | 2524186 |
| TELÉFONO MÓVIL: | 0983301439 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--|--|
| TÍTULO: | OBTENCIÓN DE UN INHIBIDOR DE ARCILLAS PHPA (POLIACRILAMIDA PARCIALMENTE HIDROLIZADA) PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA A PARTIR DE LA SEMILLA DE CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.) TAMIZADA CON MALLA 200 Y ESTUDIO DE SU COMPORTAMIENTO MEDIANTE PRUEBAS DE LABORATORIO |
| AUTOR O AUTORES: | BEDOYA VACA GRACE LORENA |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | 16 DE OCTUBRE DE 2018 |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | RAMOS AGUIRRE FAUSTO RENE |
| PROGRAMA: | PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/> |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERA DE PETRÓLEOS |
| RESUMEN: | <p>El objetivo de este estudio fue generar un inhibidor de arcillas en base a la semilla de chíá (<i>Salvia hispanica</i> L.) que iguale o supere en rendimiento al inhibidor comercial y brinde una solución menos contaminante para tratar el hinchamiento de estos minerales. La metodología empleada consistió en separar la semilla de chíá (<i>Salvia hispanica</i> L.), en dos lotes para realizar diferentes actividades con cada uno, de forma que se seleccione una muestra que pueda ser utilizada en los distintos ensayos de laboratorio. Posteriormente a la muestra obtenida se la formuló en distintas concentraciones de 5,10,15 hasta 35 g en 350 ml de agua equivalente a 5 lb por bbl respectivamente;</p> |

| | |
|--------------------------------|---|
| | <p>a cada concentración se realizó pruebas reológicas para obtener las propiedades de viscosidad plástica y punto cedente con el fin de seleccionar la concentración que cumpla con los parámetros de estas para aplicarla en el fluido de perforación. A la concentración seleccionada se realizaron pruebas de hinchamiento lineal y rolado determinando la reducción de la hidratación y el tiempo de envejecimiento de sus propiedades. Los resultados se compararon con el rendimiento de un inhibidor comercial XCS III utilizado en la industria petrolera ecuatoriana. La normativa aplicada para la realización de ensayos y las especificaciones del producto es: API 13 B1. Se concluye que la poliacrilamida natural obtenida de la semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.) cumple la función de inhibidor impidiendo la hidratación de los minerales de arcilla en un 57 % superando al inhibidor comercial que impidió el hinchamiento de los minerales de arcilla en un 47 %, lo que permite concluir que la poliacrilamida natural formulada en base de semilla de chía (<i>Salvia hispanica</i> L.) puede ser utilizada en la formulación de lodos de perforación para controlar el hinchamiento en estratos con alto contenido de arcillas y agua como son Tiyuyacu, Orteguaza, Hollín y Napo.</p> |
| <p>PALABRAS CLAVES:</p> | <p>fluido de perforación, inhibidor de arcillas, semilla de chía.</p> |
| <p>ABSTRACT:</p> | <p>The objective of this study was to generate a clay inhibitor based on chia seed (<i>Salvia hispanica</i> L.) that equals or exceeds the commercial inhibitor in yield and provides a less polluting solution to treat the swelling of these minerals. The methodology used consisted in separating the chia seed (<i>Salvia hispanica</i> L.), in two lots to carry out different activities with each one, so that a sample that can be used in the different laboratory tests is selected. Subsequently, the obtained sample was formulated in different concentrations from 5,10,15 to 35 g in 350 ml of water equivalent to 5 lbs per bbl respectively; at each concentration rheological tests were carried out to obtain the properties of plastic viscosity and yielding point in order to select the concentration that meets the parameters of these to apply it in the drilling fluid. At the</p> |

| | |
|------------------|--|
| | <p>selected concentration, linear and rolling tests were carried out, determining the reduction of hydration and the aging time of its properties. The results were compared with the performance of a commercial XCS III inhibitor used in the Ecuadorian oil industry. The regulations applied for the realization of tests and the specifications of the product are: API 13 B1. It is concluded that the natural polyacrylamide obtained from the chia seed (<i>Salvia hispanica</i> L.) fulfills the function of inhibitor preventing the hydration of clay minerals by 57% overcoming the commercial inhibitor that prevented the swelling of clay minerals in a 47%, which allows us to conclude that the natural polyacrylamide formulated on the basis of chia seed (<i>Salvia hispanica</i> L.) can be used in the formulation of drilling muds to control the swelling in strata with a high content of clays and water, such as Tiyuyacu , Ortegua, Hollin and Napo.</p> |
| KEYWORDS: | Drilling fluid, clay inhibitor, chia seed. |

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



f: _____

BEDOYA VACA GRACE LORENA
C.I. 1724076268

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **BEDOYA VACA GRACE LORENA, C.I.: 1724076268** autora del proyecto titulado: **“Obtención de un inhibidor de arcillas PHPA (poliacrilamida parcialmente hidrolizada) para fluidos de perforación base agua a partir de la semilla de chíá (*Salvia hispanica* L.) tamizada con malla 200 y estudio de su comportamiento mediante pruebas de laboratorio.”** previo a la obtención del título de **INGENIERA DE PETRÓLEOS** en 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, octubre de 2018



f: _____

BEDOYA VACA GRACE LORENA
C.I. 1724076268

DECLARACIÓN

Yo, **BEDOYA VACA GRACE LORENA**, 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.



f: _____
BEDOYA VACA GRACE LORENA
C.I. 1724076268



CERTIFICADO

Chuanqing Drilling Engineering Company Limited (CCDC), certifica que la señorita **Bedoya Vaca Grace Lorena** con cédula de identidad No. 1724076268 realizó su trabajo de titulación para la obtención del Título de Ingeniera de Petróleos; acerca del tema **“OBTENCIÓN DE UN INHIBIDOR DE ARCILLAS PHPA (POLIACRILAMIDA PARCIALMENTE HIDROLIZADA) PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA A PARTIR DE LA SEMILLA DE CHÍA (SALVIA HISPANICA L.) TAMIZADA CON MALLA 200 Y ESTUDIO DE SU COMPORTAMIENTO MEDIANTE PRUEBAS DE LABORATORIO”** desde el 2 de abril del 2018 al 27 de Julio 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

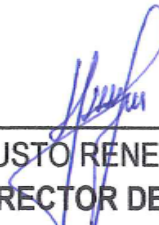
Ingeniero de Laboratorio CCDC

Quito, Julio del 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Obtención de un inhibidor de arcillas PHPA (poliacrilamida parcialmente hidrolizada) para fluidos de perforación base agua a partir de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) tamizada con malla 200 y estudio de su comportamiento mediante pruebas de laboratorio.**”, que, para aspirar al título de **INGENIERA DE PETRÓLEOS** fue desarrollado por **BEDOYA VACA GRACE LORENA**, 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.

f. _____


ING. FAUSTO RENE RAMOS AGUIRRE
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1705134102

DEDICATORIA

Dedico esta tesis, a mi madre Lorena Vaca que ha sido mi inspiración, para culminar esta etapa, de forma exitosa, gracias a su guía y apoyo continuó, además de siempre impulsarme a que busque lo mejor, así como superarme siempre.

A mi abuela Carmen Vela que ha estado conmigo desde mis primeros pasos, que ha sido mi soporte más grande, por siempre creer en mí y enseñarme que, con esfuerzo junto con su apoyo, podría lograr lo que me propusiera.

A mis hermanos Santiago y Elisse, que son mi motivo principal para querer ser mejor, cada día, y que tengan siempre un buen ejemplo, al cual seguir, por siempre darme su amor e inocencia para recordarme que lo mas importante es su bienestar y ver por ellos.

A mi padre Javier Bedoya, por creer en mí, por apoyarme en los sueños que deseo alcanzar y porque siempre he querido que se sienta orgulloso de la hija que tiene.

A mi novio, compañero, mejor amigo, Marlon Chávez, por apoyarme cada día, así como, estar siempre a mi lado dándome su apoyo incluso cuando yo pensé que no podía, por ser mi cómplice en cada nuevo reto y demostrarme que juntos nada es imposible.

Grace Bedoya V.

AGRADECIMIENTO

Agradezco al ingeniero Fausto Ramos, que ha sido una guía desde el inicio de la carrera buscando siempre formar profesionales íntegros además de brillantes que dejen en alto el nombre de la universidad, por ayudarme a culminar de manera exitosa esta etapa.

Agradezco al ingeniero Henry Romero, junto con el auspicio de la empresa CNPC (China National Petroleum Company), por permitirme desarrollar este tema y guiarme en cada etapa del mismo para poder culminarlo de forma íntegra.

Agradezco la ingeniero Victor Pinto, por a más de impartirnos su conocimiento técnico, buscar siempre formar más que solo ingenieros personas de bien que aporten de manera positiva a la sociedad, y siempre estar dispuesto a dar una mano amiga cuando es necesario.

Agradezco a la universidad UTE y a sus docentes por inculcarme los conocimientos necesarios para consagrarme como ingeniera en petróleos.

Grace Bedoya V.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1. OBJETIVOS | 8 |
| 1.1.1. OBJETIVO GENERAL | 8 |
| 1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 8 |
| 2. METODOLOGÍA | 9 |
| 2.1. OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA | 9 |
| 2.2. DISEÑO DE LAS FORMULACIONES DE MATERIA PRIMA A PARTIR DE SEMILLA DE CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.) | 9 |
| 2.2.1. PRUEBAS REOLÓGICAS DE VISCOSIDAD PLÁSTICA Y PUNTO CEDENTE | 10 |
| 2.2.2. PRUEBA DE ROLADO | 10 |
| 2.3. PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL | 11 |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 12 |
| 3.1. RESULTADOS DE OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA | 12 |
| 3.2. RESULTADOS DE FORMULACIÓN DE MATERIA PRIMA A PARTIR DE SEMILLA DE CHÍA (<i>Salvia hispanica</i> L.) | 12 |
| 3.2.1. RESULTADOS DE PRUEBAS REOLÓGICAS DE VISCOSIDAD PLÁSTICA Y PUNTO CEDENTE | 12 |
| 3.2.2. RESULTADOS DE PRUEBA DE ROLADO | 14 |
| 3.3. RESULTADOS DE PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL | 15 |
| 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 17 |
| 4.1. CONCLUSIONES | 17 |
| 4.2. RECOMENDACIONES | 17 |
| 5. BIBLIOGRAFÍA | 18 |
| 6. ANEXOS | 20 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | PÁGINA |
|---|---------------|
| Tabla 1. Propiedades físicas de los fluidos de perforación | 4 |
| Tabla 2. Formulación de fluidos | 11 |
| Tabla 3. Resultados para selección de concentración a partir de la semilla de chía tamizada en malla 200 en concentraciones peso volumen | 12 |
| Tabla 4. Resultados después de 16 h de rolado vs resultados Iniciales | 14 |
| Tabla 5. Resultados después de prueba reológicas diarias por 5 días | 12 |
| Tabla 6. Porcentaje de hinchamiento de bentonita cada 10 h | 16 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| Figura 1. Comportamiento del punto cedente respecto a cada valor concentración | 13 |
| Figura 2. Comportamiento de la viscosidad plástica respecto a cada cada valor de concentración | 13 |
| Figura 3. Variación de la viscosidad plástica y punto cedente después de pruebas reológicas diarias po 5 días | 15 |
| Figura 4. Porcentaje de hinchamiento de bentonita por cada fluido | 16 |
| Figura 5. Reómetro OFITE | 26 |
| Figura 6. Horno para prueba de rolado | 26 |
| Figura 7. Equipo de hinchamiento lineal | 26 |
| Figura 8. Máquina de compactación para pastillas de bentonita | 27 |
| Figura 9. Capsulas de prueba de rolado | 27 |
| Figura 10. Lote 1. Gel de chíá | 28 |
| Figura 11. Lote 2. Chíá tamizada malla 200 | 28 |
| Figura 12. Semilla de chíá (<i>Salvia hispanica</i> L.) | 28 |
| Figura 13. Molino corona | 28 |
| Figura 14. Chíá molida | 29 |
| Figura 15. Pastillas de bentonita | 29 |
| Figura 16. Aditivos para el fluido F0 | 29 |
| Figura 17. Aditivos para el fluido F1 | 29 |
| Figura 18. Balanza y concentración de semilla de chíá (<i>Salvia hispanica</i> L.) pesada para fluido F2 | 30 |
| Figura 19. Fluidos listos para prueba de hinchamiento lineal | 30 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | PÁGINA |
|--|---------------|
| ANEXO 1. HOJA TÉCNICA DE VISCOSIFICANTE XC-HV | 20 |
| ANEXO 2. HOJA TÉCNICA DE CONTROLADOR DE FILTRADO DE BAJA VISCOSIDAD PAC LV | 21 |
| ANEXO 3. HOJA TÉCNICA DE CONTROLADOR DE INHIBIDOR DE ARCILLAS XCS III | 22 |
| ANEXO 4. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA REOLÓGICA | 23 |
| ANEXO 5. PROCEDIMIENTO PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL DINÁMICO (DSM) MÉTODO ESTÁNDAR OFITE | 24 |
| ANEXO 6. EQUIPOS DE LABORATORIO | 26 |
| ANEXO 7. MATERIALES Y ADITIVOS | 28 |

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue generar un inhibidor de arcillas en base a la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) que iguale o supere en rendimiento al inhibidor comercial y brinde una solución menos contaminante para tratar el hinchamiento de estos minerales. La metodología empleada consistió en separar la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.), en dos lotes para realizar diferentes actividades con cada uno, de forma que se seleccione una muestra que pueda ser utilizada en los distintos ensayos de laboratorio. Posteriormente a la muestra obtenida se la formuló en distintas concentraciones de 5,10,15 hasta 35 g en 350 ml de agua equivalente a 5 lb por bbl respectivamente; a cada concentración se realizó pruebas reológicas para obtener las propiedades de viscosidad plástica y punto cedente con el fin de seleccionar la concentración que cumpla con los parámetros de estas para aplicarla en el fluido de perforación. A la concentración seleccionada se realizaron pruebas de hinchamiento lineal y rolado determinando la reducción de la hidratación y el tiempo de envejecimiento de sus propiedades. Los resultados se compararon con el rendimiento de un inhibidor comercial XCS III utilizado en la industria petrolera ecuatoriana. La normativa aplicada para la realización de ensayos y las especificaciones del producto es: API 13 B1. Se concluye que la poliacrilamida natural obtenida de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) cumple la función de inhibidor impidiendo la hidratación de los minerales de arcilla en un 57 % superando al inhibidor comercial que impidió el hinchamiento de los minerales de arcilla en un 47 %, lo que permite concluir que la poliacrilamida natural formulada en base de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) puede ser utilizada en la formulación de lodos de perforación para controlar el hinchamiento en estratos con alto contenido de arcillas y agua como son Tiyuyacu, Orteguaza, Hollín y Napo.

Palabras clave: fluido de perforación, inhibidor de arcillas, semilla de chía.

ABSTRACT

The objective of this study was to generate a clay inhibitor based on chia seed (*Salvia hispanica* L.) that equals or exceeds the commercial inhibitor in yield and provides a less polluting solution to treat the swelling of these minerals. The methodology used consisted in separating the chia seed (*Salvia hispanica* L.), in two lots to carry out different activities with each one, so that a sample that can be used in the different laboratory tests is selected. Subsequently, the obtained sample was formulated in different concentrations from 5,10,15 to 35 g in 350 ml of water equivalent to 5 lbs per bbl respectively; at each concentration rheological tests were carried out to obtain the properties of plastic viscosity and yielding point in order to select the concentration that meets the parameters of these to apply it in the drilling fluid. At the selected concentration, linear and rolling tests were carried out, determining the reduction of hydration and the aging time of its properties. The results were compared with the performance of a commercial XCS III inhibitor used in the Ecuadorian oil industry. The regulations applied for the realization of tests and the specifications of the product are: API 13 B1. It is concluded that the natural polyacrylamide obtained from the chia seed (*Salvia hispanica* L.) fulfills the function of inhibitor preventing the hydration of clay minerals by 57% overcoming the commercial inhibitor that prevented the swelling of clay minerals in a 47%, which allows us to conclude that the natural polyacrylamide formulated on the basis of chia seed (*Salvia hispanica* L.) can be used in the formulation of drilling muds to control the swelling in strata with a high content of clays and water, such as Tiyuyacu , Orteguzaza, Hollin and Napo.

Key words: Drilling fluid, clay inhibitor, chia seed.

1. INTRODUCCIÓN

1.INTRODUCCIÓN

Para la producción de petróleo una de las etapas críticas es la perforación de pozos para ello se desarrolla un plan que incluye el programa de fluidos de perforación, que puede ser: cualquier sustancia o mezcla de sustancias con características físicas y químicas apropiadas, como por ejemplo: aire, gas, agua, petróleo o combinaciones de agua y aceite con determinado porcentaje de sólidos (Petróleos de Venezuela S.A., 2002); ya que estos cumplen varias funciones que garantizan el éxito de la perforación deben contar con las propiedades adecuadas de acuerdo a las condiciones del pozo y las operaciones en curso.

En el programa de fluidos de perforación se define que tipos de fluido se va a utilizar dependiendo de los diferentes estratos que se van a atravesar, para lo cual se define una clasificación de estos basada en la sustancia base que se va a emplear y son:

1. **Fluidos base agua.** - La fase continua es el agua o salmuera. Las partículas sólidas están suspendidas y el petróleo emulsificado (Thimaiah, 2005).
2. **Fluidos base aceite.** - La fase continua es el petróleo. Las partículas sólidas están suspendidas y el agua o salmuera están emulsificadas (Thimaiah, 2005).
3. **Fluido base gas.** – Los cortes de perforación son removidos por una corriente de aire o gas natural a alta velocidad. Agentes espumantes son añadidos para remover influjos de agua menores (Thimaiah, 2005).

Dentro de las funciones más comunes que debe cumplir el fluido de perforación son las siguientes:

- Retirar los recortes del pozo.
- Controlar las presiones de la formación.
- Suspender y descargar los recortes.
- Obturar las formaciones permeables.
- Mantener la estabilidad del agujero.
- Minimizar los daños al yacimiento.
- Enfriar, lubricar y apoyar la barrena y el conjunto de perforación.
- Transmitir la energía hidráulica a las herramientas y a la barrena.
- Asegurar una evaluación adecuada de la formación.
- Controlar la corrosión.
- Facilitar la cementación y la completación.
- Minimizar el impacto al ambiente.

(Instituto Americano del Petróleo, 2001)

Para que estas funciones se cumplan y la perforación se realice de manera exitosa el fluido cuenta con varias propiedades que se deben manejar de acuerdo con las características de cada pozo, tomando en cuenta la estratigrafía, formaciones geo-presurizadas, altas temperaturas, inestabilidad del hoyo, salinidad de la roca, zonas de alto ángulo en el caso de los pozos direccionales, conductividad (Clay, 1988). Las propiedades que se deben tomar en cuenta para la selección del lodo de perforación son las presentadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas de los fluidos de perforación

| Propiedades de los fluidos |
|-----------------------------------|
| Densidad |
| Viscosidad |
| Punto cedente |
| Gelificación |
| Filtrado |
| pH |
| % Arena |
| % Sólidos y líquidos |
| Dureza |
| Cloruros |
| Alcalinidad |

(Morán, 2017)

Otra función importante de los lodos es mantener la estabilidad del agujero, que es afectada por la presencia de arcillas, materiales naturales de grano fino que desarrollan plasticidad cuando se mojan (Thimaiah, 2005), cuando están expuestas a un fluido de base agua sin una química que permita el taponamiento de los poros, el filtrado interactúa directamente con la lutita dando como resultado la hidratación.

La hidratación de las arcillas se produce mediante tres mecanismos. La hidratación superficial es el enlace de las moléculas de agua con átomos de oxígeno en la superficie de las plaquetas de arcilla. La hidratación iónica es la hidratación de los cationes de los estratos intercalados con las superficies cercanas de las moléculas de agua. La hidratación osmótica ocurre en algunas arcillas después de que las mismas se han hidratado iónicamente generalmente, a una humedad del 100% (Camelo & Gutiérrez, 2017).

Cualquiera de los mecanismos que genere esta reacción se debe al contacto de las arcillas presentes en las distintas formaciones con el agua que contiene el fluido de perforación.

Es por esta reacción que, para simular el comportamiento de las arcillas en las distintas capas de la tierra, se va a utilizar un mineral fino llamado bentonita

que es un mineral de arcilla que se compone principalmente de arcillas de tres capas, tales como la montmorillonita, los minerales de menor calidad, que tienen más montmorillonita del tipo de calcio, son tratados durante la perforación con la adición de uno o más de los siguientes: carbonato de sodio, polímeros sintéticos de cadena larga, carboximetilcelulosa (CMC), almidón o polifosfatos (Schlumberger, 2018).

Pero debido a que en la prueba de hinchamiento lineal no se puede utilizar este mineral en su estado natural, se utiliza las llamadas pastillas de bentonita, que es una determinada cantidad de mineral compactado con un equipo en laboratorio, para compactar el mineral y poder colocarlo en el equipo de hinchamiento lineal al momento de realizar la prueba, con el fin de cumplir el procedimiento determinado para la misma, y no afectar sus resultados.

Debido a que la mayoría de los fluidos utilizados son base agua, por su facilidad de construir, bajo costo de mantenimiento y pueden ser formulados con una variedad de compuestos para superar la mayoría de los problemas de perforación (Amoco, 1994), es común, tener problemas por hinchamiento de minerales arcillosos, estos se producen por distintos factores, el principal son fuerzas mecánicas como erosión, presión diferencial, pandeo de tubería, suave y surgencia, así también, factores litológicos como sobrepresión de formaciones, presión de poro, fuerzas tectónicas, absorción de agua (Baker Hughes, 1998). En base a estos factores los problemas que se generan son los siguientes:

- Washouts en el hoyo.
 - Dificultad en la limpieza del hoyo.
 - Pega de tubería.
 - Punteo y llenado en viajes de limpieza.
 - Excesivo fluido de perforación y costos de tratamiento.
 - Incremento en los requerimientos de cemento y costos.
 - Problemas al correr registros.
 - Hoyo apretado.
 - Incremento del torque y arrastre.
 - Decremento en la tasa de penetración.
- (Baker Hughes, 1998)

Para evitar esta reacción de las arcillas el producto más utilizado se llama PHPA (poliacrilamida parcialmente hidrolizada) que es un copolímero, que se forma cuando dos o más sustancias se polimerizan al mismo tiempo, dando por resultado un producto que no es una mezcla de polímeros individuales sino un complejo que tiene propiedades diferentes de cada polímero por separado (Briceño, El Khoury, Muziotti, & Portillo, 2001).

Además según el estudio de (Kelessidis, Zografou, & Chatzistamou, 2013) la PHPA (poliacrilamida parcialmente hidrolizada), es el mejor aditivo a utilizar cuando se tiene fluidos que van a estar en contacto con arcillas como la bentonita, por lo cual, ya que se va a utilizar este mineral, la PHPA (poliacrilamida parcialmente hidrolizada) es ideal para esta aplicación.

Existen dos clases de polímeros que se pueden utilizar para formar PHPA (poliacrilamida parcialmente hidrolizada), los primeros son polímeros naturales de origen animal o vegetal, son utilizados en las más diversas aplicaciones desde hace cientos y hasta miles de años : algodón, seda, lana, cuero, madera, caucho; dentro de los polímeros naturales están los polímeros biológicos que también son naturales, con importancia en los procesos bioquímicos y fisiológicos de la vida: proteínas, enzimas, almidón, celulosa (Rodríguez, 2016); los segundos son polímeros sintéticos desarrollados por la investigación científica y la industria para competir con algunos polímeros naturales: siliconas, nylon, teflón, bakelita, melaminas, policarbonatos (Rodríguez, 2016).

El mecanismo utilizado por el PHPA es la inhibición que es la encapsulación polimérica de la arcilla o lutita perforada por atracción y adhesión aniónica/catiónica (opuestamente cargadas). La efectiva encapsulación resultante evita la hidratación del hoyo y los cortes (Briceño, El Khoury, Muziotti, & Portillo, 2001).

En el estudio de (Guerrero & Guerrero, 2006) se determina que el uso de un inhibidor natural en base a amina, tiene la capacidad de inhibir de mejor forma las zonas de hinchamiento de arcillas mediante el intercambio catiónico, absorbiendo los minerales que tiene carga negativa.

Dentro de la industria existen diferentes inhibidores que sirven para evitar la hidratación de las arcillas y por ende sus efectos adversos, pero estos suelen tener un costo alto debido a que son importados, además que, provocan impactos ambientales o no se adecuan a la geología de los campos del país. Por lo cual este trabajo se justifica en proponer una alternativa natural de inhibidor en base a la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) que ha mostrado tener propiedades que pueden ser aplicadas en distintas industrias.

La semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) puede ser utilizada en distintas formas como son: harina, aceite y mucílago (gel) (Jaramillo, 2013); en este caso lo que se busca aplicar es su capacidad de gelificación al entrar en contacto con el agua con el fin de generar el mismo efecto de encapsulación que un inhibidor comercial PHPA.

El gel de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) mas conocido como mucílago, es un polisacárido de alto peso molecular, el cual se desarrolla al momento que la semilla chía es hidratada y se encuentra en las tres capas exteriores de la misma (Farela, 2017).

Sin embargo, la harina de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) que se obtiene moliendo la misma, a mostrado ser mas efectiva que el gel de semilla por si solo por lo cual su uso es mas aceptado, al momento de querer intensificar las propiedades la misma (Cruz, Sanchez, & Urías, 2013).

Para la aplicación de este producto en fluidos de perforación se requiere evaluar dos propiedades fundamentales del mismo que se pueden ver afectadas por las propiedades de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) modificando el rendimiento, las cuales son:

- 1. Viscosidad plástica.** – Es una función de la viscosidad de la fase líquida y del volumen de sólidos contenidos en el fluido de perforación. Aumentar la viscosidad plástica no es un medio deseable para aumentar la capacidad de limpieza que tiene el fluido; de hecho, el aumento en la caída de presión e la sarta de perforación, causado por un aumento en la viscosidad plástica, reduciría la velocidad de flujo disponible y tendería a compensar cualquier aumento en la capacidad de elevación de los residuos que deja la perforación. En general la viscosidad plástica debe mantenerse tan baja como sea posible (Annis Max, 1974).
- 2. Punto cedente.** – Calculado a partir de la ecuación de Bingham, no es el estrés de rendimiento verdadero necesario para mantener el flujo, pero es un valor que es algo más alto. De hecho, normalmente está cerca del valor de esfuerzo cortante a velocidades de corte anular. El punto cedente es de vital importancia ya que esta asociado a dos funciones del lodo: la capacidad de limpieza del orificio y la característica de control de presión de un barro. Un punto de mayor rendimiento aumenta la capacidad de carga de un lodo y aumenta la caída de presión circulante en el anillo (Annis Max, 1974).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener un inhibidor de arcillas para fluidos de perforación base agua a partir de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) tamizada con malla 200 y estudio de su comportamiento mediante pruebas de laboratorio.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la materia prima a partir de la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) mediante proceso propio.
- Diseñar las formulaciones de materia prima a partir de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) en distintas concentraciones para seleccionar la adecuada, mediante pruebas reológicas de viscosidad plástica y punto cedente que tenga mayor similitud con el inhibidor PHPA (poliacrilamida parcialmente hidrolizada) comercial.
- Comparar el rendimiento de la concentración seleccionada como inhibidor de arcillas con la formulación del inhibidor comercial mediante pruebas de hinchamiento lineal.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló de manera íntegra en el laboratorio de fluidos de perforación de la universidad UTE regentado por la empresa CNPC (China National Petroleum Corporation) - CCDC (Chuanqing Drilling Engineering Company Limited).

2.1. OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

La materia prima, semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) se adquirió en el mercado local en una cantidad 50 kg, y posteriormente se dividió en dos lotes:

Del primer lote, se utilizó 50 g de semilla de chía entera y se la hidrató en 200 ml de agua, durante 10 minutos, posteriormente se la agitó en una licuadora durante 5 minutos, para separar el gel de la semilla de chía mediante colador Inox Press.

Para el segundo lote, se molió 100 g de semilla de chía en molino corona hasta conseguir que pase por tamiz malla 200, posteriormente se colocaron 100 g semilla de chía tamizada en 200 ml de agua.

Se realizaron pruebas preliminares de ambos de lotes colocándolos en el horno de secado OFITE a 150 °F durante 16 horas o hasta que sequen por completo.

2.2. DISEÑO DE LAS FORMULACIONES DE MATERIA PRIMA A PARTIR DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)

De acuerdo, al anexo 3 de este documento el producto comercial se formula de 2-5 % en volumen para sus aplicaciones, por lo cual se tomo como base para iniciar las pruebas de laboratorio para determinar concentración en 5 g de semilla de chía tamizada.

La cantidad de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) se siguió aumentando en intervalos de 5 g hasta obtener un punto cedente entre 20-30 lb/100 pies², que es el límite permitido para manejar de forma adecuada el fluido en el campo, a una temperatura de 120 °F.

2.2.1. PRUEBAS REOLOGICAS DE VISCOSIDAD PLÁSTICA Y PUNTO CEDENTE.

Para obtener los valores de viscosidad plástica y punto cedente mediante prueba reológica se utilizó el reómetro OFITE, el cual tiene su procedimiento regido por la norma API 13 B1, encontrado en el anexo 4.

Las formulas para obtener el valor de estas propiedades son:

$$VP = \theta 600 - \theta 300 \quad (1)$$

Donde:

VP = viscosidad plástica. (plastic viscosity) en centipoises (cP)

$\theta 600$ = lectura a 600 en rpm.

$\theta 300$ = lectura a 300 en rpm,

$$YP = \theta 300 - VP \quad (2)$$

Donde:

YP = yield point. (punto cedente) en (lb/100 pie²).

$\theta 300$ = lectura a 300 en rpm.

VP = viscosidad plástica. (plastic viscosity) en centipoises (cP)

2.2.2. PRUEBA DE ROLADO

Se realizó una prueba de rolado, colocando las distintas concentraciones seleccionadas en las celdas de envejecimiento y posteriormente en el horno de rolado por 16 horas a 150 °F, para observar el cambio de sus propiedades tanto de viscosidad plástica como punto cedente después de envejecer el fluido, al finalizar las 16 horas se realizó una prueba reológica a cada concentración, para seleccionar la que sus propiedades hayan sido menos cambiadas.

Posteriormente se realizó una prueba de reología a la concentración seleccionada cada 24 horas durante 4 días, para observar si las propiedades resistirían la siguiente etapa de evaluación que sería la prueba de hinchamiento lineal que tiene una duración de 5 días, ya que, al ser un

producto natural, el deterioro por hongos y bacterias puede afectar los resultados de la prueba.

2.3. PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL

La prueba de hinchamiento lineal se realizó mediante el procedimiento estándar del manual para el equipo de hinchamiento lineal dinámico OFITE (ver anexo 5).

Para la prueba se realizaron 3 pastillas de bentonita, de acuerdo, con el procedimiento mencionado anteriormente, para la misma es necesario preparar 3 fluidos de perforación con distinta formulación, que fueron:

- El fluido F0 que corresponde a: viscosificante, controlador de filtrado de baja viscosidad y densificante.
- El fluido F1 que corresponde a: viscosificante, controlador de filtrado de baja viscosidad, densificante e inhibidor de arcillas comercial.
- El fluido F2 que corresponde a: controlador de filtrado, densificante e inhibidor de arcillas natural.

Tabla 2. Formulación de fluidos

| Fluido | XCHV* | PACL** | CaCO ₃ | XCSIII*** | Chía |
|--------|--------|--------|-------------------|-----------|------|
| F0 | 0.4 gr | 4 g | 50 g | | |
| F1 | 0.4 gr | 4 g | 50 g | 2 g | |
| F2 | | 4 g | 50 g | | 35 g |

*Especificaciones ver anexo 1.

**Especificaciones ver anexo 2.

***Especificaciones ver anexo 3.

Donde:

XCHV: viscosificante

PACL: controlador de filtrado de baja viscosidad

CaCO₃: densificante

XCSIII: inhibidor de arcillas comercial

A cada uno de los fluidos formulados se le agregó 350 ml de agua equivalente a 1 bbl de fluido, y se agitó por 10 min.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DE OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA

El resultado del lote 1, (ver anexo 7), después de pasar por las pruebas preliminares se lo descarto debido a que la muestra se seco por completo pero ya no podía ser utilizada ya que se vio contaminada por hongos, y al tratar de hidratarla no cumple con las propiedades gelificantes.

El resultado del lote 2, (ver anexo 7), fue seleccionada para continuar con los ensayos de laboratorio debido a que después de pasar por la prueba de secado e hidratado con agua mantuvo las propiedades gelificantes, además que no se ve afectado por hongos a largo plazo.

3.2. RESULTADOS DE FORMULACIONES DE MATERIA PRIMA A PARTIR DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispanica* L.)

3.2.1. RESULTADOS DE PRUEBAS REOLÓGICAS DE VISCOSIDAD PLÁSTICA Y PUNTO CEDENTE

Tabla 3. Resultados para selección de concentración a partir de la semilla de chíá tamizada en malla 200 en concentraciones peso volumen

| | | g de semilla de chíá tamizada en malla 200 en 350 ml de agua | | | | | | | | |
|------------------------|---------------------|--|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| Rpm del reómetro | 600 | 5 | 8 | 15 | 22 | 33 | 45 | 63 | 84 | 103 |
| | 300 | 3 | 5 | 9 | 14 | 20 | 29 | 43 | 57 | 76 |
| Cp | Viscosidad plástica | 2 | 3 | 6 | 8 | 13 | 16 | 20 | 27 | 30 |
| lb/100pie ² | Punto cedente | 1 | 2 | 3 | 6 | 7 | 13 | 23 | 30 | 49 |

Con los resultados de la tabla 3, se seleccionaron las muestras con 35 y 40 gramos de concentración de chíá (*Salvia hispanica* L.), ya que sus valores de punto cedente se ajustaban, a los definidos previamente.

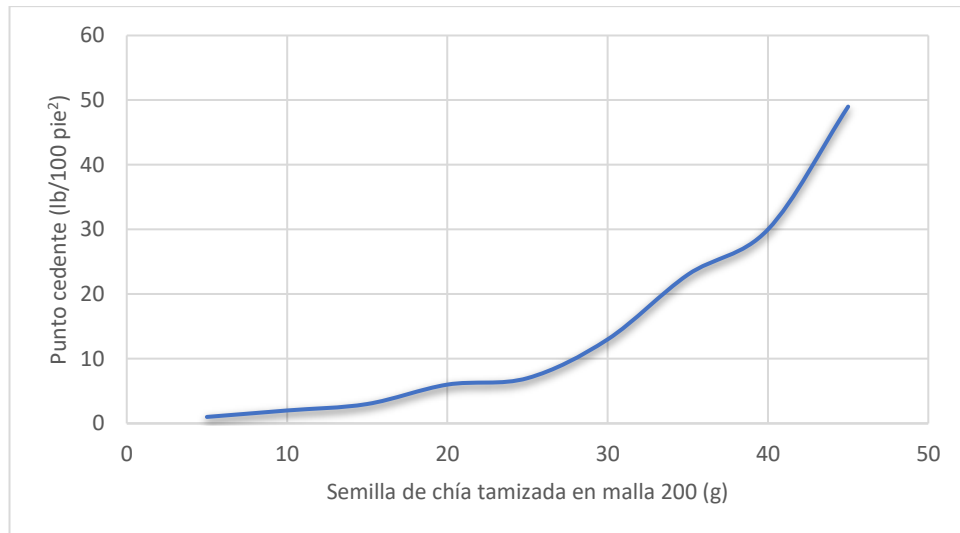


Figura 1. Comportamiento del punto cedente respecto a cada valor concentración.

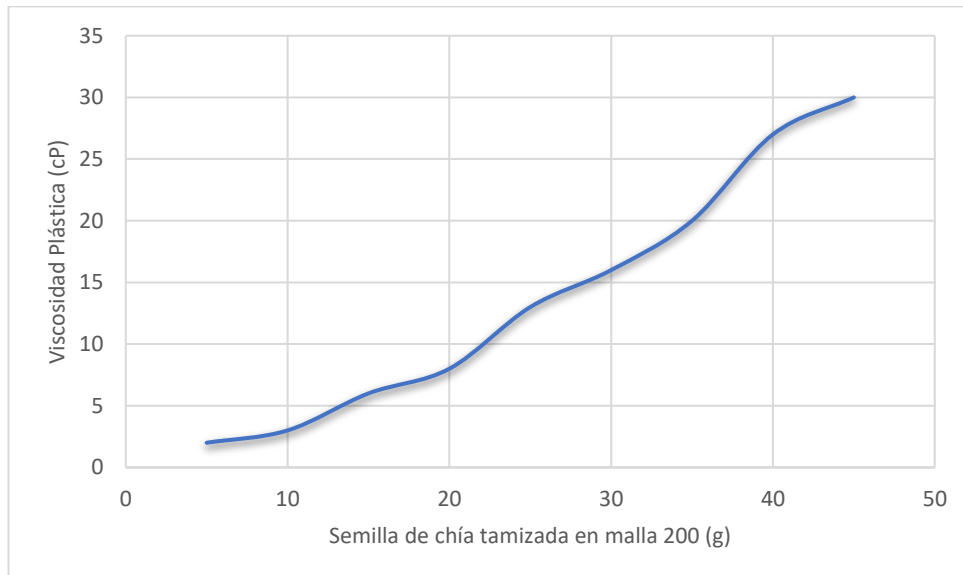


Figura 2. Comportamiento de la viscosidad plástica respecto a cada valor de concentración

Las figuras 1 y 2, nos muestran el comportamiento del punto cedente y viscosidad plástica, respecto a las distintas concentraciones de semilla de chíá tamizada en malla 200, como se puede observar ambos factores aumentan cuando se añade mayor cantidad semilla de chíá tamizada en malla 200, por lo cual, determinamos que a mayor concentración estas propiedades aumentarán y de esta forma podemos controlar el manejo de las mismas.

3.2.2. RESULTADOS DE PRUEBA DE ROLADO

Tabla 4. Resultados después de 16 h de rolado vs resultados iniciales

| | | Gramos de semilla de chía tamizada en malla 200 en 350 ml de agua | | | |
|---------------------|---------------------|---|----|----------------------|----|
| | | Resultados Rolado | | Resultados Iniciales | |
| | | 35 | 40 | 35 | 40 |
| Rpm del reómetro | 600 | 55 | 64 | 63 | 84 |
| | 300 | 38 | 46 | 43 | 57 |
| cP | Viscosidad plástica | 17 | 18 | 20 | 27 |
| Lb/pie ² | Punto cedente | 21 | 28 | 23 | 30 |

Con los resultados de la prueba reológica realizada a las distintas concentraciones de 35 y 40 gramos posterior al rolado de 16 horas, mostrados en la tabla 4, se seleccionó para continuar con las pruebas de evaluación la concentración de 35 gramos, debido a que mantuvo sus propiedades durante el tiempo propuesto para la misma, a pesar de que las propiedades de punto cedente se mantienen similares, los valores de lecturas del reómetro y la viscosidad plástica no sufren un cambio significativo a comparación con la muestra de 40 gramos.

Tabla 5. Resultados después de pruebas reológicas diarias por 5 días

| | | Gramos de semilla de chía tamizada en malla 200 en 350 ml de agua | | | | |
|---------------------|---------------------|---|-----------------|--------------------|-----------------|------------------|
| | | Día 1 Lunes | Día 2 Martes | Día 3 Miércoles | Día 4 Jueves | Día 5 Viernes |
| Rpm del reómetro | 600 | 62 | 48 | 42 | 34 | 32 |
| | 300 | 44 | 31 | 27 | 22 | 20 |
| cP | Viscosidad Plástica | 18 | 17 | 15 | 12 | 12 |
| Lb/pie ² | Punto cedente | 26 | 14 | 12 | 10 | 8 |

Como se observa, en la tabla 5, las propiedades reológicas de la muestra seleccionada después de los 5 días de prueba no bajaron a 0, por lo cual se determinó que, para la siguiente etapa de evaluación, no era necesario el uso de bactericida, al formular los fluidos.

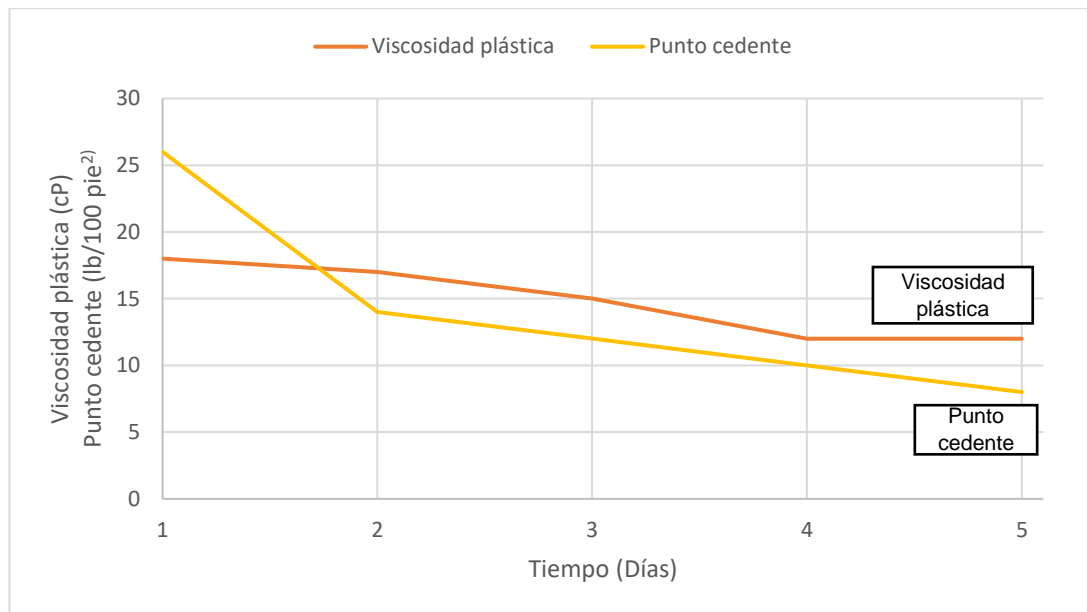


Figura 3. Variación de la viscosidad plástica y punto cedente después de pruebas reológicas diarias por 5 días

En la figura 3, se puede observar como las propiedades de punto cedente y viscosidad plástica disminuyen durante los 5 días de evaluación, sin embargo, como se mencionó anteriormente estas no bajan cero además se puede observar que se van estabilizando por lo cual se descarto el uso de aditivos adicionales y se comprobó que la semilla de chíá (*Salvia hispanica* L.) tamizada en malla 200 mantiene sus propiedades el tiempo suficiente para la prueba de hinchamiento lineal.

3.3. RESULTADOS DE PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL

Durante las primeras 5 h, los tres fluidos mostraron un comportamiento de hinchamiento similar, hasta estabilizar, la temperatura de la prueba.

Como se puede observar en la figura 4, a partir de ese punto los 3 fluidos empezaron a mostrar diferentes comportamientos de hinchamiento.

Dando como resultado que el fluido F2 que era el que contenía la semilla de chíá (*Salvia hispanica* L.) tamizada en malla a las 72 h dio un porcentaje de hinchamiento de 43.2 % demostrando ser efectivo para disminuir el hinchamiento de las arcillas. Mientras que el fluido F1 que contenía el inhibidor comercial a las 72 h dio un porcentaje hinchamiento del 52.4 %.

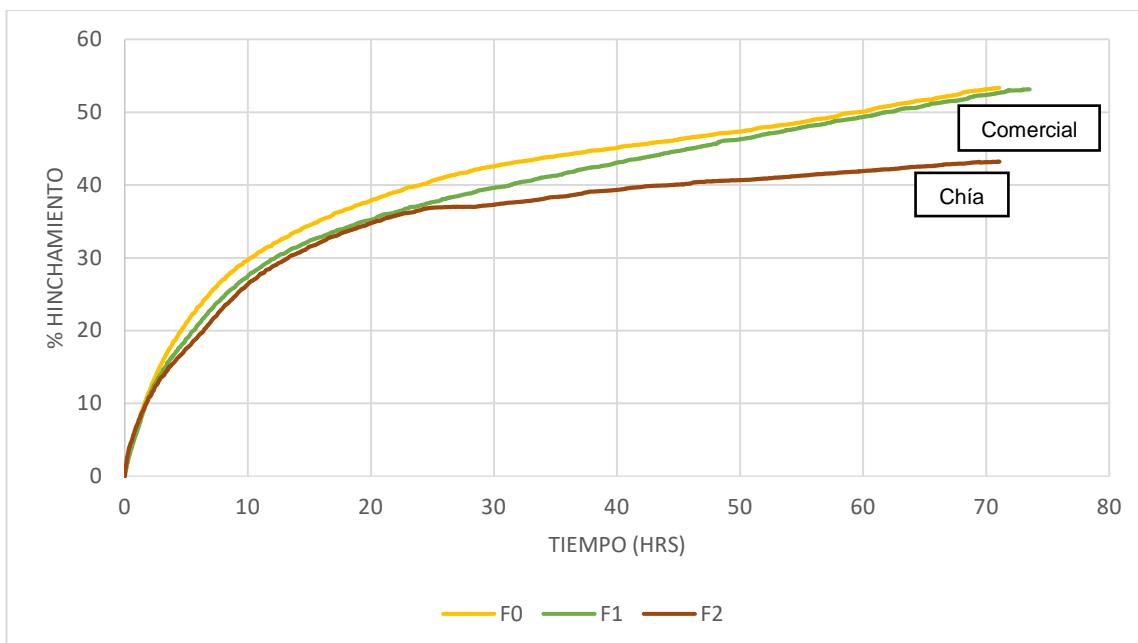


Figura 4. Porcentaje de hinchamiento de bentonita por cada fluido

En la tabla 6, el porcentaje de hinchamiento del fluido F0 , que solo contenía el material arcilloso mas agua después de las 72 h es de 52.56 %, el mismo que es similar al porcentja del fluido F1 que tenía el inhibidor comercial que es 52.43 %, por lo tanto, la acción del inhibidor comercial al controlar el hinchamiento lineal de la bentonita como mineral arcilloso es mínimo, mientras que al compararlo con el fluido F2 que contiene el inhibidor natural en base de chía (*Salvia hispanica* L.) termino las 72 h de prueba con un 43.15 % controlando la propiedad de hinchamiento lineal en un 9.41 % con respecto al fluido F0 y en un 9.28 % más en comparación al fluido F1

Tabla 6. Porcentaje de hinchamiento de bentonita cada 10 h

| Tiempo | F0 | F1 inhibidor comercial XCS III | F2 inhibidor natural chía |
|--------|----------------|---|------------------------------------|
| Horas | % Hinchamiento | | |
| 10 | 29.35 | 27 | 26.46 |
| 20 | 38.03 | 35.33 | 34.81 |
| 30 | 42.60 | 39.70 | 37.4 |
| 40 | 45.13 | 43.10 | 39.38 |
| 50 | 46.36 | 46.27 | 40.68 |
| 60 | 49.52 | 49.48 | 41.92 |
| 70 | 52.56 | 52.43 | 43.15 |

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se demostró que la formulación de 35 g de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) en 350 ml de agua equivalente a 35 lb por cada bbl de lodo controla el hinchamiento lineal de las arcillas permitiendo el mismo en 43.2 %
- Se comprueba que el inhibidor de arcillas natural en base a semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) supera al inhibidor comercial XCS III formulado 2 g en 350 ml de agua equivalente a 2 lbs por cada bbl de fluido permitiendo el hinchamiento en un 9.2 % menos.
- Se verifica que la formulación propuesta de 35 g de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) mejora en un 9.2 % el control del hinchamiento, pero la cantidad utilizada es excesiva en comparación con el controlador comercial que solo utiliza 2 g en su formulación.
- Se determinó que la mejor forma de emplear la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) es en estado sólido, debido a que sus propiedades se mantienen por mas tiempo que el gel de chía (*Salvia hispanica* L.) .

4.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar el estudio de la semila de chía como inhibidor de arcillas conel objetivo de disminuir la cantidad en la formulación utilizada en un lodo
- Se recomienda estudiar la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) como densificador de fluidos de perforación base agua, debido a las propiedades reológicas mostradas en este estudio.
- Se recomienda analizar la semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) como densificador y viscosificador en un solo producto, debido a las propiedades reológicas y desempeño en la formulación de fluidos observadas en este análisis.

5. BIBLIOGRAFÍA

5. BIBLIOGRAFÍA

- Amoco, C. P. (1994). *Drilling Fluids Manual*. Chicago.
- Annis Max, S. M. (1974). Drilling Fluids Technology. En S. M. Annis Max, *Drilling Fluids Technology* (págs. 64-66). Texas.
- Baker Hughes, I. (1998). Manual de ingeniería. En I. Baker Hughes, *Manual de ingeniería* (págs. 115-116). Houston.
- Baroid. (1999). *Manual de fluidos*. Houston, USA.
- Briceño, V., El Khoury, J., Muziotti, C., & Portillo, Y. (2001). *Análisis de las propiedades de un lodo de Poliacrilamida Parcialmente Hidrolizada cuando es contaminada con salmuera y cemento*. Maturín: Universidad de Oriente
- Caenn, R., Darley, H., & Gray, G. (1988). *Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids*. Dallas: Gulf Professional Publishing.
- Camelo, E., & Gutiérrez, C. (2017). Evaluación técnico-financiera a nivel laboratorio de un fluido de perforación base agua para la perforación de un pozo en el campo Níspero. En E. Camelo, & C. Gutiérrez, *Evaluación técnico-financiera a nivel laboratorio de un fluido de perforación base agua para la perforación de un pozo en el campo Níspero* (pág. 112). Bogotá.
- Clay, G. (1988). Composition and properties of drilling and completion fluids. En G. Clay, *Composition and properties of drilling and completion fluids* (págs. 21-26). Houston.
- Cruz, J., Sanchez, A., & Urías, J. (2013). *Obtención de aislados proteicos de la semilla de chía (Salvia hispanica L.)*. Mazatlán.
- Farela, L. (2017). *Extracción y caracterización del mucílago de la semilla de chan (Salvia hispanica L.) para la determinación de los parámetros de aplicación como aditivo espesante en función a la concentración en mermelada de fresa*. La Asunción: Universidad Rafael Landívar.
- Guerrero, M., & Guerrero, X. (2006). *Use of Amine/PHPA System To Drill High Reactive Shales in the Orito Field in Colombia*. Mexico: Society of Petroleum Engineers.


- Instituto Americano del Petróleo, A. (2001). Manual de Fluidos de Perforación. En A. Instituto Americano del Petróleo, *Manual de Fluidos de Perforación* (págs. 2.2-2.11). Dallas.
- Jaramillo, Y. (2013). *La chía (salvia hispanica L.), una fuente de nutrientes para el desarrollo de alimentos saludables*. Caldas: Cooperación Universitaria Lasallista.
- Kelessidis, V. C., Zografou, M., & Chatzistamou, V. (2013). *Optimization Of Drilling Fluid Rheological And Fluid Loss Properties Utilizing PHPA Polymer*. Society of petroleum engineers.
- Morán, A. (2017). Obtención de una píldora de encapsulamiento para rípios de fluido de perforación base agua a partir de la sábila. En A. Morán, *Obtención de una píldora de encapsulamiento para rípios de fluido de perforación base agua a partir de la sábila* (pág. 7). Quito.
- PDVSA. (2002). Fluidos de perforación. En PDVSA, *Fluidos de perforación* (págs. 2-4).
- Rodríguez, P. (2016). *Polímeros*.
- Schlumberger. (2018). Oilfield Glossary. Obtenido de Oilfield Glossary: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/b/bentonite.aspx>
- Thimaiah, P. (2005). *Introduction to Hydrocarbon Exploitation*. Abeerden.

6. ANEXOS

6. ANEXOS

ANEXO 1.

HOJA TÉCNICA DE VISCOSIFICANTE XC-HV





CCDC

PRODUCT NAME: CCDC-XC-HV


DATA SHEET

| | | | | | | | | |
|--|--|--|----|-----|------------------|-----|--|---|
| <p>Description</p> <p>CCDC-XC-HV viscosifier is premium quality, powdered Xanthan gum polymer that is used to viscosify fresh water, seawater and monovalent brines. CCDC-XC-HV viscosifier is treated with a dispersant to promote the yield with reduced amounts of shear for improved mixing properties.</p> | <p>Applications and Functions</p> <ul style="list-style-type: none"> •Viscosify fresh water and brine-based fluids used in drilling, milling, underreaming, and gravel packing operations •Suspend bridging agents and weighting materials in •fresh water and the brine systems described above | <p>Advantages</p> <ul style="list-style-type: none"> •Helps disperse easily in fresh water or brine with shear •Helps provide thixotropic properties and non-Newtonian flow characteristics over a wide salinity range at low concentrations Helps provide excellent suspension without the need for clays •Helps minimize the potential for formation damage •Stable to 250°F (121°C) | | | | | | |
| <p>Typical Properties</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">Appearance</td> <td>Yellow to white powder</td> </tr> <tr> <td>pH</td> <td>6.3</td> </tr> <tr> <td>Specific gravity</td> <td>1.6</td> </tr> </table> | Appearance | Yellow to white powder | pH | 6.3 | Specific gravity | 1.6 | <p>Treatments</p> <p>Mix 0.1-2 lb/bbl (0.3-5.7 kg/m³) of CCDC-XC-HV viscosifier, or as needed to obtain the desired viscosity and suspension characteristics. Caution: Loss of viscosity and possible polymer precipitation can occur when used in a high pH and high calcium ion environment.</p> | <p>Packaging</p> <ul style="list-style-type: none"> •CCDC-XC-HV, 25 Kg/sx |
| Appearance | Yellow to white powder | | | | | | | |
| pH | 6.3 | | | | | | | |
| Specific gravity | 1.6 | | | | | | | |

ANEXO 2. HOJA TÉCNICA DE CONTROLADOR DE FILTRADO DE BAJA VISCOSIDAD PAC LV


| | | | | | | | | | | | |
|---|--|---|---|-----------------------------|--------------|-------------------------------|---------------------------|------|---|--|--|
|  <p style="font-size: 24pt; font-weight: bold; margin-top: 10px;">CCDC</p> | <p style="font-weight: bold; margin-top: 10px;">PRODUCT NAME: CCDC-PAC LV</p> |  <p style="font-weight: bold; margin-top: 10px;">DATA SHEET</p> | | | | | | | | | |
| <p>Description</p> <p>CCDC-PAC LV polyanionic cellulose is used to provide filtration control in most water - based drilling Fluids.</p> | <p>Applications and Functions</p> <ul style="list-style-type: none"> •Helps control filtration rates without significantly increasing fluid viscosity, Encapsulates shale to prevent swelling and disintegration | <p>Advantages</p> <ul style="list-style-type: none"> •Effective in fresh water, salt water, and brine based drilling fluids •Effective in small concentrations for filtration control •Is stable at temperatures up to 300°F (149°C) •Effective in moderate to high pH sys Temps •Does not require a bactericide •Environmentally safe | <p>Packaging</p> <ul style="list-style-type: none"> •CCDC-PAC LV , 55 pounds/sack | | | | | | | | |
| <p>Typical Properties</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">Appearance</td> <td>White or tan powder</td> </tr> <tr> <td>Bulk density</td> <td>40 to 55 lb/ft³</td> </tr> <tr> <td>Bulk density</td> <td>641 t o 881 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>pH, (1% aqueous solution)</td> <td>7.75</td> </tr> </table> | Appearance | White or tan powder | Bulk density | 40 to 55 lb/ft ³ | Bulk density | 641 t o 881 kg/m ³ | pH, (1% aqueous solution) | 7.75 | <p>Treatments</p> <p>Add 0.5 - 3.0 lb/bbl (1.43 - 8.56 kg/m³) of PAC LV filtration control agent slowly through the hopper.</p> | <div style="text-align: right; font-size: 10pt;">5</div> | |
| Appearance | White or tan powder | | | | | | | | | | |
| Bulk density | 40 to 55 lb/ft ³ | | | | | | | | | | |
| Bulk density | 641 t o 881 kg/m ³ | | | | | | | | | | |
| pH, (1% aqueous solution) | 7.75 | | | | | | | | | | |

ANEXO 3. HOJA TÉCNICA DE CONTROLADOR DE INHIBIDOR DE ARCILLAS XCS III



CCDC

PRODUCT NAME: CCDC-XCS III



DATA SHEET

| | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|------------------|------|-----|------|-------------|---------------|------------|------|--------------|-----------|--|--|
| <p>Description</p> <p>CCDC-XCS III shale stabilizer is a cloud point producing polyacrylamide that can be used in water-based drilling fluids to help improve lubricity and shale stability. It is recommended for use in potassium and sodium salt based fluids when highly reactive clays are anticipated. CCDC-XCS III shale stabilizer also helps to reduce bit-balling, is compatible with most water-based drilling fluids, is unaffected by contaminants, can decrease the HTHP filtration. CCDC-XCS III shale stabilizer is environmentally friendly and suitable for use world wide.</p> | <p>Applications and Functions</p> <ul style="list-style-type: none"> -Helps stabilize reactive formations -Helps increase lubricity of the drilling fluid -Helps reduce bit-balling tendencies -Helps decrease HTHP filtration -Used like a surfactant | <p>Advantages</p> <ul style="list-style-type: none"> -Compatible with most water-based drilling fluids -Unaffected by contaminants -Environmentally responsible | | | | | | | | | | | | |
| <p>Typical Properties</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">-Appearance</td> <td>Clear colorless liquid</td> </tr> <tr> <td>-Specify gravity</td> <td>1.02</td> </tr> <tr> <td>-pH</td> <td>6.25</td> </tr> <tr> <td>-Solubility</td> <td>Water soluble</td> </tr> <tr> <td>-Viscosity</td> <td>3 cp</td> </tr> <tr> <td>-Yield Point</td> <td>3 lb/ble2</td> </tr> </table> | -Appearance | Clear colorless liquid | -Specify gravity | 1.02 | -pH | 6.25 | -Solubility | Water soluble | -Viscosity | 3 cp | -Yield Point | 3 lb/ble2 | <p>Treatments</p> <ul style="list-style-type: none"> -Add 2 – 5% by volume | <p>Packaging</p> <ul style="list-style-type: none"> -CCDC-MSJ , 55- gal/drum |
| -Appearance | Clear colorless liquid | | | | | | | | | | | | | |
| -Specify gravity | 1.02 | | | | | | | | | | | | | |
| -pH | 6.25 | | | | | | | | | | | | | |
| -Solubility | Water soluble | | | | | | | | | | | | | |
| -Viscosity | 3 cp | | | | | | | | | | | | | |
| -Yield Point | 3 lb/ble2 | | | | | | | | | | | | | |

ANEXO 4. PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA REOLÓGICA

1. Calentar la termocupla.
 2. Colocar la muestra en el vaso metálico hasta la medida indicada.
 3. Colocar el vaso dentro de la termocupla.
 4. Estabilizar la termocupla en la base del equipo.
 5. Sumergir el cilindro o forro del rotor hasta la línea de referencia.
 6. Esperar que la muestra alcance una temperatura de 120°F.
 7. Agitar a una velocidad de 600 revoluciones por minuto.
 8. Esperar la estabilización de la lectura y registrarla.
 9. Agitar a una velocidad de 300 revoluciones por minuto.
 10. Esperar estabilización de la lectura y registrarla.
 11. Dejar reposar la muestra durante 10 segundos.
 12. Agitar a una velocidad de 3 revoluciones por minutos.
- Registrar la lectura más alta sin esperar su estabilización.

ANEXO 5.
PROCEDIMIENTO PRUEBA DE HINCHAMIENTO LINEAL
DINÁMICO (DSM)
MÉTODO ESTÁNDAR OFITE

1. Secar los cortes.
2. Moler los cortes hasta alcanzar la malla 200.
3. Pesar 15 gramos de muestra que paso la malla 200 y mezclar con 0.75 gramos de agua destilada (5% humedad).
4. Tamizar la mezcla por la malla # 40 y homogenizar.
5. Pesar 15 gramos de mezcla y colocar en la celda de compactación por 30 minutos a 6000 psi.
6. Retirar con cuidado la pastilla formada y colocar en el desecador por 1 hora hasta estabilizar su humedad.
7. Armar la celda del equipo DSM (Dynamic Swell meter) y colocar las dos mallas a ser utilizadas.
8. En el software colocar el valor de cero en el sensor a ser utilizado.
9. Colocar la pastilla de arcilla de muestra entre las dos mallas y colocar en la celda del equipo DSM.
10. Colocar la celda armada con la muestra en el sensor y en el software iniciar la prueba.
11. Colocar 150 ml de fluido, colocar la agitación en posición # 6 y el calentador en posición # 3.5.
12. En los primeros 30 minutos calentar el fluido a la temperatura de 150°F y en los próximos 30 minutos estabilizar la temperatura con mínimos movimientos en el calentador en una posición cercana al # 3.
13. Medir el hinchamiento por lo menos 72 horas o hasta que la medida se estabilice y no cambien 0.5% en una hora.

14. Obtener los resultados finalizar la prueba en el software, retirar el equipo y limpiar.

15. Recuperar la pastilla y hacer observaciones.

ANEXO 6. EQUIPOS DE LABORATORIO



Figura 5. Reómetro OFITE



Figura 6. Horno para prueba de rolado



Figura 7. Equipo de hinchamiento lineal



Figura 8. Máquina de compactación para pastillas de bentonita



Figura 9. Cápsulas para prueba de rolado.

ANEXO 7. MATERIALES Y ADITIVOS



Figura 10. Lote 1. Gel de chía.



Figura 11. Lote 2. Chía tamizada malla 200.



Figura 12. Semilla de chía (*Salvia hispanica* L.)



Figura 13. Molino corona



Figura 14. Chía molida



Figura 15. Pastillas de bentonita



Figura 16. Aditivos para el fluido F0



Figura 17. Aditivos para el fluido F1



Figura 18. Balanza y concentración de semilla de chía (*Salvia hispanica* L.) pesada para fluido F2



Figura 19. Fluidos listos para prueba de hinchamiento lineal