



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 23 de Junio de 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

Los suscritos:

SEBASTIAN OTALORA BARRIOS, con C.C. No. 1.075.267.468,

CRISTIAN CAMILO POSADA GIRALDO, con C.C. No. 1.075.263.305,

autores de la tesis y/o trabajo de grado

titulado: EFFECTOS DE LA SEMILLA DEL ÁRBOL DE JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIA) SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS EN UN LODO DE PERFORACIÓN BASE AGUA FORMULADO PARA UN POZO DE LOS LLANOS ORIENTALES. presentado y aprobado en el año 2017 como requisito para optar al título de

Ingeniero de petróleos;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Camilo Posada G

Firma: _____

CRISTIAN CAMILO POSADA GIRALDO

C.C. No. 1.075.263.305

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Sebastian

Firma: _____

SEBASTIAN OTALORA BARRIOS

C.C. No. 1.075.267.468



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EFECTOS DE LA SEMILLA DEL ARBOL DE JABONCILLO (SAPINDUS SAPONARIA) SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS EN UN LODO DE PERFORACIÓN BASE AGUA FORMULADO PARA UN POZO DE LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
OTALORA BARRIOS	SEBASTIAN
POSADA GIRALDO	CRISTIAN CAMILO

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
VARGAS CASTELLANOS	CONSTANZA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO DE PETROLEOS

FACULTAD: INGENIERÍA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERÍA DE PETROLEOS

CIUDAD: NEIVA **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2017 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 110

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas__ Fotografías Grabaciones en discos__ Ilustraciones en general Grabados__ Láminas__
Litografías__ Mapas__ Música impresa__ Planos__ Retratos__ Sin ilustraciones__ Tablas o Cuadros

SOFTWARE: Microsoft Word

MATERIAL ANEXO: NINGUNO

PREMIO O DISTINCIÓN: NO APLICA

Vigilada mieducación



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

Inglés

1. Lodos Muds
2. Aditivo Additive
3. Reología Rheology
4. Ambiente Environment
5. Procedimientos Procedures

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En la perforación de pozos de petróleos se hace necesario conocer sobre los fluidos o comúnmente llamados lodos de perforación, los cuales cumplen funciones específicas a la hora de mejorar las condiciones de operación. Lo anterior es debido a que a estos fluidos se les adicionan varios agentes químicos tanto reactivos como inertes los cuales pueden llegar a contaminar o perjudicar el ambiente en donde se realizan los procedimientos.

Con la finalidad de poder presentar un aditivo natural el cual cumpla con el desempeño y garantice un mejor y más sano ambiente, se estudian los efectos de la semilla del árbol Sapindus Saponaria (Comúnmente Jaboncillo) sobre las propiedades reológicas de un lodo de perforación.

La actual investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia desde la recopilación bibliográfica y fundamentos teóricos hasta el procesamiento de los datos obtenidos en laboratorio para pasar a plantear conclusiones y sugerencias de lo estudiado.

Se realizaron dos tipos de pruebas a la semilla, las primeras para reconocer los efectos en la reología y las segundas pruebas se hicieron con el fin de medir la afectación del medioambiente y comparar sus impactos con otro aditivo químico en un cuerpo de agua.

De esta manera se pudo concluir que con la implantación de la semilla de Jaboncillo se puede llegar a generar un buen desempeño de las funciones específicas que se requieran en las perforaciones con un menor impacto ambiental.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

In the drilling of oil wells it is necessary to know about the fluids or commonly called drilling muds, which fulfill specific functions in order to improve the operating conditions. The above is because these fluids are added with several chemical agents that can be reactive or inert, which may contaminate or harm the environment where the procedures are performed.

In order to be able to present a natural additive that complies with the performance and guarantees a better and healthier environment, the effects of Sapindus Saponaria tree (Commonly Jaboncillo) on the rheological properties of a drilling mud are studied.

The current research involves a progressive development of different stages that starts from the bibliographical collection and theoretical foundations to the processing of the data obtained in the laboratory to proceed to propose conclusions and suggestions of the studied.

Two types of seed tests were performed, the first to recognize the effects on rheology, and the second tests were done to measure the environmental impact and to compare its impacts with another chemical additive in a body of water.

In this way it was possible to conclude that with the implantation of the seed of Jaboncillo can generate a good performance of the specific functions that are required in the drilling with a lower environmental impact.

APROBACION DE LA TESIS:

INGRID/NATALIA MUÑOZ QUIJANO
Coordinadora Comité Proyectos de Grado.
Programa Ingeniería de Petróleos.

Luis Humberto Orduz
Ingeniero de Petróleos
Jurado
Universidad Surcolombiana

Haydee Morales
Ingeniero de Petróleos
Jurado
Universidad Surcolombiana

**EFFECTOS DE LA SEMILLA DEL ARBOL DE JABONCILLO (SAPINDUS
SAPONARIA) SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS EN UN LODO DE
PERFORACIÓN BASE AGUA FORMULADO PARA UN POZO DE LOS LLANOS
ORIENTALES**

Presentado Por:

SEBASTIAN OTALORA BARRIOS COD. 2010297374

CRISTIAN CAMILO POSADA GIRALDO COD. 2010191469



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE PETROLEOS

NEIVA, 2017

**EFFECTOS DE LA SEMILLA DEL ARBOL DE JABONCILLO (SAPINDUS
SAPONARIA) SOBRE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS EN UN LODO DE
PERFORACIÓN BASE AGUA FORMULADO PARA UN POZO DE LOS LLANOS
ORIENTALES**

PRESENTADO POR:

SEBASTIAN OTALORA BARRIOS COD. 2010297374

CRISTIAN CAMILO POSADA GIRALDO COD. 2010191469

DIRECTOR:

CONSTANZA VARGAS CASTELLANOS

ING. DE PETROLEOS



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE PETROLEOS

NEIVA, 2017

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Neiva, junio de 2017

Dedicatoria

Dedicado a esa energía vibratoria que fluye a través de cada uno de nosotros, que siempre me motiva a creer en mí y que me ha guiado a cumplir mis metas. A mi madre Betty Barrios quien además de su cariño aportó con su orden y limpieza a la formación de muchas de mis cualidades y de mi carácter. A mi Padre Gonzalo Otálora quien gracias a él nunca me ha faltado nada, me enseñó a ser responsable y también a siempre hacer los trabajos de la mejor manera posible. A mis hermanos María Fernanda y Gonzalo por acompañarme y tolerarme. A mis abuelas Rosalba y Margarita, quienes siempre me supieron apoyar y aconsejar. A mi abuelo Leónidas Otálora por enseñarme a criticar el Statu Quo social y lo interesante que puede llegar a ser la política.

A nuestra directora de tesis Constanza Vargas ya que sin sus inspiradoras clases no hubiera sido posible realizar proyectos tan innovadores y valiosos para el medio ambiente, como los que se han logrado presentar en la universidad en los últimos años.

A todo el conglomerado universidad Surcolombiana por facilitarnos el uso de las locaciones para el presente estudio. A mis compañeros de clases 20102 y otros más de los cuales algo siempre nuevo aprendí.

Este triunfo es para ustedes con todo mi cariño.

Sebastián Otálora Barrios

Dedicada a Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi madre Aracelly Giraldo Duque.

Por haberme apoyado en todo momento, por la motivación constante y el entorno perfecto para poder salir siempre adelante.

A mi padre Cesar Augusto Posada Gamboa.

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por siempre ser ejemplo de humildad y rectitud para salir a flote en cada uno de los retos de la vida.

A mi hermano Cesar Augusto Posada Giraldo.

Por ser siempre el mejor de los ejemplos a seguir, por sus grandes enseñanzas, por ser siempre la persona realista que me hacía estar consiente de tomar las decisiones más coherentes y sensatas de mi vida.

A la ing. Constanza Vargas por su gran motivación y apoyo en toda nuestra carrera, pero principalmente por ser la mentora y mejor coordinadora posible en nuestro proceso de tesis de grado.

A mis amigos.

Por apoyarnos en todo momento en este proceso de crecimiento personal y profesional.

Gracias.

Cristian Camilo Posada Giraldo

Resumen

En la perforación de pozos de petróleo se hace necesario conocer sobre los fluidos o comúnmente llamados lodos de perforación, los cuales cumplen funciones específicas a la hora de mejorar las condiciones de operación. Lo anterior es debido a que a estos fluidos se les adicionan varios agentes químicos tanto reactivos como inertes los cuales pueden llegar a contaminar o perjudicar el ambiente en donde se realizan los procedimientos.

Con la finalidad de poder presentar un aditivo natural el cual cumpla con el desempeño y garantice un mejor y más sano ambiente, se estudian los efectos de la semilla del árbol *Sapindus Saponaria* (Comúnmente Jaboncillo) sobre las propiedades reológicas de un lodo de perforación.

La actual investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes etapas que inicia desde la recopilación bibliográfica y fundamentos teóricos hasta el procesamiento de los datos obtenidos en laboratorio para pasar a plantear conclusiones y sugerencias de lo estudiado.

Se realizaron dos tipos de pruebas a la semilla, las primeras para reconocer los efectos en la reología y las segundas pruebas se hicieron con el fin de medir la afectación del medioambiente y comparar sus impactos con otro aditivo químico en un cuerpo de agua.

De esta manera se pudo concluir que con la implantación de la semilla de Jaboncillo se puede llegar a generar un buen desempeño de las funciones específicas que se requieran en las perforaciones con un menor impacto ambiental.

Abstract

In the drilling of oil wells it is necessary to know about the fluids or commonly called drilling muds, which fulfill specific functions in order to improve the operating conditions. The above is because these fluids are added with several chemical agents that can be reactive or inert, which may contaminate or harm the environment where the procedures are performed.

In order to be able to present a natural additive that complies with the performance and guarantees a better and healthier environment, the effects of *Sapindus Saponaria* tree (Commonly Jaboncillo) on the rheological properties of a drilling mud are studied.

The current research involves a progressive development of different stages that starts from the bibliographical collection and theoretical foundations to the processing of the data obtained in the laboratory to proceed to propose conclusions and suggestions of the studied.

Two types of seed tests were performed, the first to recognize the effects on rheology, and the second tests were done to measure the environmental impact and to compare its impacts with another chemical additive in a body of water.

In this way it was possible to conclude that with the implantation of the seed of Jaboncillo can generate a good performance of the specific functions that are required in the drilling with a lower environmental impact.

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	6
Abstract.....	7
Introducción.....	15
1. Descripción y Formulación Del Problema.....	16
1.1 Justificación	16
1.2 Antecedentes.....	17
1.3 Objetivos.....	18
1.3.1 Objetivo general.....	18
1.3.2 Objetivos específicos.	18
2. Fundamentación Teórica.....	19
2.1 Fluidos de Perforación.....	19
2.1.1 Objetivos de los fluidos de perforación.	19
2.1.2 Propiedades de los fluidos de perforación.	20
2.1.3 Clasificación de los fluidos de perforación.....	29
2.1.4 Fundamentos de mecánica de fluidos.	35
2.2 El Árbol de Jaboncillo (Sapindus Saponaria)	43
2.2.1 Distribución regional y zonas de cultivo.	44
2.2.2 Composición del fruto y/o semilla.....	45
2.3 Alevines (Tilapia Roja).....	46
2.3.1 Cuidados necesarios de los alevines.	47
2.3.2 Tilapia roja.....	48
2.4 Toxicidad	51
2.5 Equipo usado en la Investigación	52
2.5.1 Balanza para lodos.	52
2.5.2 Viscosímetro Fann 35A.	53
2.5.3 Mezclador de velocidad constante.....	54
2.5.4 Embudo Marsh.....	54
3. Pruebas Realizadas Al Lodo	56
3.1 Densidad	59
3.1.1 Procedimiento.....	59
3.1.2 Datos obtenidos.....	60
3.2 Viscosidad Marsh	64

3.2.1 Procedimiento.....	64
3.2.2 Datos obtenidos.....	64
3.3 Reología.....	69
3.3.1 Procedimiento.....	69
3.3.2 Datos obtenidos.....	70
3.4 Resistencia de Geles.....	74
3.4.1 Procedimiento.....	74
3.4.2 Datos obtenidos.....	74
3.5 Alcalinidad Del Lodo.....	79
3.5.1 Procedimiento.....	79
3.5.2 Resultados obtenidos.....	80
4. Pruebas De Impacto Al Medio Ambiente.....	84
4.1 Acondicionamiento Del Ambiente De Prueba.....	84
4.1.1 Acuarios.....	84
4.1.2 Agua.....	85
4.1.3 Alevinos.....	86
4.1.4 Lodos de contaminación.....	87
4.2 Resultados De Las Pruebas De Contaminación.....	89
5. Análisis Económico.....	101
5.1 Costos lodo DESCO.....	101
5.2 Costos lodo FAW-18W.....	101
5.3 Costos lodo semilla de SAPINDUS SAPONARIA.....	102
5.4 Comparativo de Costos.....	102
6. Conclusiones.....	104
6.1 Conclusiones Reológicas.....	104
6.2 Conclusiones Ambientales.....	105
6.3 Conclusiones Económicas.....	106
7. Recomendaciones y Sugerencias.....	107
8. Referencias Bibliográficas.....	108

Lista de Gráficas

		Pág
Gráfica 1.	Densidad Vs Tensoactivo en lodo con CaCO_3	61
Gráfica 2.	Densidad Vs Tensoactivo en lodo con barita	63
Gráfica 3.	Viscosidad Marsh Vs Tensoactivo en lodo con CaCO_3	66
Gráfica 4.	Viscosidad Marsh Vs Tensoactivo en lodo con Barita	68
Gráfica 5.	Viscosidad plástica Vs Tensoactivo en lodo con CaCO_3	71
Gráfica 6.	Viscosidad plástica Vs Tensoactivo en lodo con Barita	73
Gráfica 7.	Resistencia de Geles Vs Tensoactivo en lodo con CaCO_3	76
Gráfica 8.	Resistencia de Geles Vs Tensoactivo en lodo con Barita	78
Gráfica 9.	Alcalinidad Vs Tensoactivo en lodo con CaCO_3	81
Gráfica 10.	Alcalinidad Vs Tensoactivo en lodo con Barita	83

Lista de Figuras

		Pág.
Figura 1.	Esfuerzo de Corte	37
Figura 2.	Sapindus Saponaria	44
Figura 3.	Fruto de Sapindus Saponaria	45
Figura 4.	Balanza de lodos	52
Figura 5.	Viscosímetro Fann 35A	53
Figura 6.	Mezclador de velocidad constante	54
Figura 7.	Embudo Marsh	55

Lista de Tablas

		Pág.
Tabla 1.	Rangos óptimos de parámetros fisicoquímicos para la tilapia	50
Tabla 2.	Escala Hodge y Sterner	51
Tabla 3.	Lodos con CaCO ₃	57
Tabla 4.	Lodos con Barita	58
Tabla 5.	Densidad del lodo con CaCO ₃	60
Tabla 6.	Densidad del lodo con Barita	62
Tabla 7.	Viscosidad de Marsh del lodo con CaCO ₃	65
Tabla 8.	Viscosidad de Marsh del lodo con Barita	67
Tabla 9.	Viscosidad Plástica y Punto Cedente del lodo con CaCO ₃	70
Tabla 10.	Viscosidad Plástica y Punto Cedente del lodo con Barita	72
Tabla 11.	Geles del lodo con CaCO ₃	75
Tabla 12.	Geles del lodo con Barita	77
Tabla 13.	pH del lodo con CaCO ₃	80
Tabla 14.	pH del lodo con Barita	82
Tabla 15.	Descripción de los acuarios	85
Tabla 16.	Mediciones acuario 2 y 3 para 3000 ppm	90
Tabla 17.	Resultados de contaminación con 3000 ppm	91
Tabla 18.	Mediciones de los acuarios 2 y 3 para 22000 ppm	92
Tabla 19.	Resultados de contaminación con 22000 ppm	93
Tabla 20.	Mediciones de los acuarios 2 y 3 para 10000 ppm	95
Tabla 21.	Resultados de contaminación con 10000ppm	95
Tabla 22.	Mediciones de los acuarios 2 y 3 para 1700 ppm y 15000ppm	96
Tabla 23.	Resultados de contaminación con 17000 ppm y 15000 ppm	97
Tabla 24.	Mediciones de los acuarios 2 y 3 para 13000 ppm y 12000 ppm	98
Tabla 25.	Resultados de contaminación con 13000 ppm y 12000 ppm	98
Tabla 26.	Mediciones de los acuarios 2 y 3 para 10500 ppm y 11000 ppm	99
Tabla 27.	Resultados de contaminación con 10500 ppm y 11000 ppm	99
Tabla 28.	Clasificación toxicología de los lodos según Hodge y Sterner	100
Tabla 29.	Comparativo de costos	103

Lista de Imágenes

		Pág.
Imagen 1.	Quebrada la Raya	85
Imagen 2.	pH del agua proveniente de la quebrada la Raya	86
Imagen 3.	Aclimatación de peces	87
Imagen 4.	Lodos usados en las pruebas de impacto ambiental	88
Imagen 5.	Lodos usados adicionados a los acuarios	88
Imagen 6.	Lodos adicionados 22000 ppm	93
Imagen 7.	Efectos visuales a 22000 ppm	94

Lista de Ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1. Peso de material densificante	22
Ecuación 2. Número de Reynolds	36
Ecuación 3. Viscosidad	36
Ecuación 4. Esfuerzo de Corte	38
Ecuación 5. Fuerza de empuje	38
Ecuación 6. Área superficial	38
Ecuación 7. Esfuerzo de Corte en la pared de tubería	39
Ecuación 8. Esfuerzo de Corte en el anular	39
Ecuación 9. Velocidad de Corte	40
Ecuación 10. Velocidad de Corte en la pared	40
Ecuación 11. Velocidad de Corte promedio	40
Ecuación 12. Velocidad de Corte en el anular	40
Ecuación 13. Velocidad promedio en el anular	41
Ecuación 14. Velocidad de asentamiento promedio	41

Introducción

Dentro de las ramas de ingeniería de petróleos se encuentra la perforación de pozos, la cual es de inmensa importancia para la industria, pues gracias a esta es posible comprobar la existencia de crudo dentro de un yacimiento y su futura producción a través del pozo. A favor de una excelente perforación se hace necesario tener en cuenta uno de los muchos factores que afectan de manera significativa la calidad de la operación, el cual es la correcta selección del fluido que se hace circular a través de la sarta y por el espacio anular que comúnmente es conocido como lodo de perforación o simplemente lodo, el cual se conforma de mezclas complejas de productos naturales, químicos y sintéticos que en su gran mayoría son importados.

Las necesidades originadas debido al incremento de la extracción de crudo a lo largo de los años han desarrollado adelantos científicos y tecnológicos tanto en técnicas de perforación, como en aditivos químicos con propósito de mejorar las características de los lodos y mantener un apropiado control del pozo.

El objetivo del presente documento es poder llegar a determinar posibles usos o aplicaciones de la semilla del árbol de Jaboncillo (*Sapindus Saponaria*) en los fluidos de perforación base agua. Para poder desarrollarlo se realizaron pruebas de laboratorio sencillas por medio de las cuales se logró observar algunos efectos producidos sobre las propiedades reológicas.

1. Descripción y Formulación Del Problema

1.1 Justificación

El petróleo es considerado como una de las fuentes de energía más importante de la sociedad, ya que se utiliza para diferentes actividades en el diario vivir. Los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) representaron alrededor del 85% del total de la energía primaria consumida en el mundo en el año 2015, teniendo una ponderación más elevada el petróleo.

(https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:World_energy_consumption_by_fuel.svg&lang=es, 2014)

Actualmente la ingeniería de petróleos ve en amenaza sus operaciones y rentabilidades por los señalamientos ambientalistas derivados en su mayoría de cambios hechos en las propiedades fisicoquímicas por hidrocarburos en distintos escenarios, ya sea en tanto superficie como en formaciones de interés bajo el subsuelo. Esto hace necesaria la búsqueda de alternativas que minimicen éstos cambios ambientales y ayuden a promover la imagen al público de que la producción de hidrocarburos además de ser necesaria no altera de forma intolerable el medio en el que se desarrolla. Es debido a esto que el ingeniero de petróleos debe encaminar sus esfuerzos a la utilización de herramientas e insumos diferentes a los convencionales, que cumplan eficazmente su función y que además generen un menor impacto ambiental.

En la elaboración de fluidos de perforación se utilizan una serie de aditivos para lograr mantener unas propiedades específicas en el pozo, los cuales muchas veces son químicos que acarrear grandes problemas de contaminación. Con el fin de disminuir los problemas ambientales generados por el uso de espumantes y/o tensoactivos químicos, se postula como sustituto el uso de la semilla del árbol de jaboncillo. Debido a que posee características de tensoactivo, y que es un aditivo 100% natural.

1.2 Antecedentes

La historia de los fluidos de perforación puede clasificarse en 3 periodos distintos, inicialmente un tiempo de reconocimiento y experimentación, luego se encuentra con una etapa de práctica, y finalmente con una fase de ciencia y tecnología.

El primer periodo se puede decir que inicia alrededor del siglo tercero antes de cristo (A.C) en China y Egipto en donde se hallaron antiguos registros de perforación por cable de pozos con profundidades entre 15 y 100 metros máximo, los cuales trabajaban con agua como suavizante de la roca para facilitar la penetración, hasta que la industria petrolera en Corsicana, Texas (1890s) y en Spindletop, Texas (1901) realizó por medio de un proceso de perforación rotatoria un pozo de 1040 pies de profundidad y observó que al usar un lodo natural compuesto de arcillas de la zona se obtenía una mayor estabilidad de las paredes del pozo y mejor arrastre de sólidos. (García Hernandez , 2014, Pág. 37)

El segundo periodo va desde 1901 hasta el decenio de 1920 cuando los ingenieros empezaron a realizar pruebas en los fluidos de perforación y ocurrió el más importante cambio hecho al lodo con la incorporación de materiales densificantes como óxidos de hierros y barita, y el uso de arcillas de bentonita. Esto dio paso al surgimiento de nuevas entidades comercializadoras de fluidos de perforación y aditivos como la reconocida empresa NL Baroid.

El tercer periodo va desde la década de 1930 hasta la actualidad, que fue el verdadero inicio de la ingeniería de lodos en respuesta a las mayores profundidades y difíciles condiciones de operación, durante este tiempo las compañías petroleras desarrollaron importantes proyectos de investigación en el diseño de los fluidos de perforación. Luego de la segunda guerra mundial la capacitación de personal e ingenieros para un mejor manejo de los lodos se hizo común, y para la década de 1970 se desarrollaron nuevas regulaciones ambientales con el fin de definir lo que era

químicamente aceptable a la hora de eliminar los desechos de las operaciones, esto dio lugar a gran cantidad de estudios sobre la química de los fluidos de perforación y su toxicidad. Desde entonces se han publicado varios estudios sobre aditivos y los fluidos de perforación ambientalmente amigables. Se ha llegado a desarrollar lodos base aceite 100% naturales a base de aceite de palma o aceite de ricino, como también aditivos biodegradables a base de almidón de papa y yuca o también surfactantes a base de sábila o zumo de fique.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Observar y analizar los diferentes efectos de la semilla del árbol de jaboncillo (*Sapindus Saponaria*), sobre las propiedades reológicas de un lodo de perforación base agua formulado para un pozo en los llanos orientales.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Analizar el comportamiento del lodo mediante la medición de los parámetros reológicos estandarizados por la norma API 13B-1, luego de usar semillas como tensoactivo natural.
- Realizar análisis económico comparativo entre dos de los tensoactivos más usados en el mercado y la semilla del jaboncillo.
- Evaluar la supervivencia de alevinos (*Tilapia roja*) al simular un derrame de lodo con jaboncillo como aditivo en un cuerpo de agua terrestre, y medir su toxicidad según la norma 96LC-50.

2. Fundamentación Teórica

2.1 Fluidos de Perforación

Los fluidos o comúnmente conocidos como lodos de perforación, son fluidos con características químicas y físicas específicas los cuales se recirculan a través del anular del pozo que se está perforando. Esto se realiza con el fin de que el lodo cumpla unos determinados objetivos y de esta manera obtener una perforación más eficiente y garantizar una mayor seguridad y manejo del pozo.

Los lodos pueden estar constituidos por agua, petróleo, aire y/o gases en mezclas con diferentes concentraciones de sólidos, no puede ser inflamable ni corrosivo, pero si debe ser inerte a las contaminaciones de sales solubles u otros minerales, además según sea necesario debe manejar estabilidad en altas temperaturas y debe lograr mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones. Como por ejemplo ser resistente a bacterias.

2.1.1 Objetivos de los fluidos de perforación.

De acuerdo con Zavala (2011) históricamente, muchos requerimientos han sido asignados a los fluidos de perforación, pero la primera función que se le otorgó a los lodos fue la de remover los cortes desde el fondo del pozo que han sido cortados por la broca y levantarlos hasta la superficie. En la actualidad se hace un poco más difícil asignarle una función específica debido a las diversas aplicaciones que se han estudiado más a fondo, así pues, se considera que un lodo de perforación cuenta por lo menos con nueve objetivos:

- Mantener controladas las presiones subsuperficiales.
- Limpiar el fondo del pozo y levantar los recortes hasta superficie.

- Formar un revoque para consolidar las paredes del pozo.
- Mantener recortes y material densificante en suspensión cuando se interrumpa la circulación.
- Evitar daños a la formación productora.
- Enfriar y lubricar la broca y toda la sarta de perforación.
- Efecto de flotación de la sarta y de la tubería de revestimiento (Boyancia).
- Transmitir el impacto hidráulico a la formación.
- Permitir la adquisición de información de la zona productora. (Toma de registros)

2.1.2 Propiedades de los fluidos de perforación.

La capacidad de un lodo de perforación para mantener sus funciones va a depender de las propiedades físicas y químicas del mismo. Las cuales deben ser medidas sistemáticamente en el pozo mientras se está perforando por medio de pruebas al lodo y filtrado. En curso básico de perforación presentado por el ingeniero Fernando Bonilla (2003) se establecen una serie de propiedades de los fluidos de perforación, a continuación, se mencionan algunas de las más importantes:

2.1.2.1 Densidad.

Dentro de las principales propiedades del lodo se encuentra la densidad, que tiene la función de mantener los fluidos contenidos dentro del hueco en el yacimiento durante la perforación, y además soportar las paredes del hueco al transmitir la presión requerida para las mismas.

El peso del lodo es una medida de la densidad que se expresa en términos del peso de una unidad de volumen del fluido de perforación. Idealmente el peso de un fluido de perforación debe aproximarse a la densidad del agua para obtener una velocidad de perforación óptima y

para reducir las pérdidas por fricción durante la circulación. Sin embargo, realmente el peso de los fluidos de circulación es 1 o 1.5 veces mayor que la densidad del agua por ser necesario prevenir o controlar una pega o cerramiento de la formación. Como norma, para lograr una rata de perforación óptima el peso del fluido debe mantenerse a un valor mínimo para balancear las presiones de la formación y proporcionar una ligera sobrepresión para mantener un margen de seguridad al sacar la tubería del pozo o cuando se hacen conexiones. La excepción a esta regla es cuando se perfora en un área con baja permeabilidad y formaciones sobre presionadas o en áreas donde las formaciones plásticas y deleznales tienden a cerrar el pozo.

La densidad máxima del lodo que se requiere en la perforación de un pozo se determina por el gradiente de presión. La presión de poro a una profundidad dada, muy frecuentemente excede la presión ejercida por el peso de los estratos geológicos, sobre la profundidad evaluada (presión de sobrecarga). Hay algunas variaciones en las presiones de sobrecarga asumidas en diferentes áreas de perforación. La presión de sobrecarga es tomada en la mayoría de las áreas como 1 psi/pie de profundidad. Para prevenir la entrada de fluidos desde la formación al hueco, el lodo debe proveer una presión mayor a la presión de poros encontrada en los estratos a ser perforados. Un exceso en la densidad del fluido puede ocasionar la fractura de la formación con la consiguiente pérdida de fluido de control. La capacidad de sostener y transportar los recortes en un lodo aumenta con la densidad.

Anteriormente, una gran cantidad de materiales fueron usados como agentes densificantes para el lodo, tales como barita, óxido de hierro, sílica amorfa, carbonato de calcio y arcillas nativas. De todos estos materiales, la barita es la más utilizada actualmente debido a su bajo costo, alta gravedad específica y por ser inerte. La hemátita y la galena son utilizadas para zonas en donde es necesario un lodo extremadamente pesado para contener la presión de la formación.

El máximo peso obtenido con barita, es aproximadamente 21 libras/galón, mientras que con galena se pueden lograr densidades sobre 30 libras/galón.

Frecuentemente se prefieren que los lodos sean libres de sólidos para trabajos de reparación y terminación, debido a que mantienen sus propiedades estables durante largos períodos en condiciones de hueco. Estos fluidos pesados, libres de sólidos son preparados por solución de varias sales, tales como cloruro de potasio, cloruro de sodio, carbonato de sodio, y carbonato de potasio, entre otras. Para determinar la cantidad de material de peso que es necesario agregar a un barril de lodo para aumentar su densidad, se utiliza la siguiente fórmula:

$$W, \frac{lb}{bbl} = \frac{350 * SG_{WM} * (\rho_f - \rho_i)}{(8.33 * SG_{WM} - \rho_f)}$$

Ecuación 1. Peso de material densificante

Donde:

W = Peso de material densificante necesario, lbs/bbl.

SG_{WM} . = Gravedad específica del material densificante.

i = Densidad final del fluido, libras/galón.

f = Densidad inicial del fluido, libras/galón.

2.1.2.2 Viscosidad de embudo.

La viscosidad de embudo es una medida arbitraria de viscosidad del “grueso” de un fluido de perforación, la cual depende de las propiedades de flujo y de los geles del fluido. Es simplemente la medición en segundos del tiempo que demora en salir un cuarto de galón por el orificio del fondo de un embudo Marsh.

Si la viscosidad plástica, el punto de cedencia y los geles de un fluido están en los rangos deseados, entonces la viscosidad de embudo asociada con los valores de éstas propiedades

establece una asociación cualitativa para detectar cambios en esas propiedades. La viscosidad de embudo de un fluido se suele reportar junto a la temperatura de muestreo, debido a que la viscosidad cambia con la temperatura. El gradiente de viscosidad con la temperatura para fluidos base aceite es mayor con respecto al de los fluidos base agua. Es una medida relativa de la carga de sólidos que experimenta el fluido y se define por la diferencia con respecto a la medición inicial del tiempo en pasar por el embudo.

Fluctuaciones de 1 segundo en la viscosidad Marsh son despreciables y no se reflejan cambios en la viscosidad plástica, punto de cedencia y geles. Sin embargo, una tendencia a incrementarse de 1 a 2 segundos por hora o por circulación, indica que se tienen serios problemas debido a los sólidos o por contaminación química continua. Cambios bruscos en la viscosidad Marsh indican cambios drásticos en las propiedades de flujo debido a una contaminación grande, la detección de estos cambios bruscos en la viscosidad Marsh indican que es necesario hacer un análisis completo del fluido y determinar el tratamiento necesario para restablecer las propiedades del fluido. (Zabala , 2014)

2.1.2.3 Punto Cedente o Yield Point (YP):

Es una medida de la resistencia que tiene un fluido para pasar de condiciones estáticas a dinámicas. Es producto de las resistencias eléctricas que existen entre las partículas coloidales que impiden el movimiento entre sí y viene a depender de las propiedades superficiales de los sólidos, la concentración y su ambiente eléctrico. (Campo Flórez, 2009)

Defínase el punto cedente cualitativamente como el esfuerzo mínimo para iniciar el flujo, es decir que es igual al valor de esfuerzo de corte cuando la velocidad de corte tiende a cero. Se obtiene una estimación numérica mediante el cálculo de YP siguiendo la ecuación de Bingham.

Éste valor surge de aquellos tiempos cuando los viscosímetros únicamente medían valores de esfuerzo de corte a 600 y 300 revoluciones por minuto (rpm) y se tiene en cuenta que numéricamente es diferente al dato real. En tiempos modernos se tienen viscosímetros capaces de obtener esfuerzos de corte a rpm de entre 3 y 6, con éstos valores se calcula el valor de esfuerzo de punto cedente (T_y), el cual es cualitativamente igual al YP pero cuantitativamente su valor es más cercano al real. (Norsa S., 2016, pág. 33)

2.1.2.4 Viscosidad Plástica

Se considera la medida de la resistencia interna a fluir por efecto de interacción entre los sólidos y el líquido del fluido de perforación, se expresa en centi-poises. Es un efecto mecánico que se produce por la cantidad, naturaleza, forma y tamaño de los sólidos que interactúan en el fluido. Se encuentra una relación directamente proporcional entre la concentración de sólidos en el sistema y la viscosidad plástica. Se aconseja mantener la viscosidad plástica en valores bajos y los puntos cedentes altos, para que de ésta forma se logre aportar una mayor energía a la broca y a la vez tener un buen acarreo de sólidos a superficie. Un límite superior práctico es el doble del peso del fluido en libras por galón.

Se puede formular que la viscosidad plástica es la diferencia entre la lectura a 600 rpm y la lectura a 300 rpm multiplicada por el factor 1.067. Por razones prácticas el factor 1.067 es usualmente ignorado cuando los valores de la viscosidad plástica son principalmente usados para determinar el tratamiento de un lodo en el campo hecho en el cual no se requiere mayor exactitud.

2.1.2.5 Resistencia de Gel (Geles)

Las propiedades de la resistencia de geles se encuentran relacionadas con el punto de cedente ya que las fuerzas eléctricas atractivas entre partículas influyen los valores. Su diferencia con

el punto de cedente es que la resistencia de gel depende del tiempo al medir las fuerzas de atracción estáticas, mientras que el punto cedente mide las fuerzas de atracción dinámicas. Las fuerzas estáticas débiles elaboran un gel que se rompa una vez que la circulación del fluido es iniciada. Los tratamientos para incrementar o disminuir la resistencia de gel son los mismos que los usados para controlar el punto de cedente.

Entre las propiedades del lodo, una de las más importantes es la gelatinización, que representa una medida de las propiedades tixotrópicas de un fluido y denota la fuerza de floculación bajo condiciones estáticas. La fuerza de gelatinización, como su nombre lo indica, es una medida del esfuerzo de ruptura o resistencia de la consistencia del gel formado, después de un período de reposo. La velocidad de gelatinización se refiere al tiempo requerido para formarse el gel. Si esta se forma lentamente después que el lodo está en reposo, se dice que la velocidad de gelatinización es baja y es alta en caso contrario. (Norsa S., Resistencia de geles, 2016)

Un lodo que presenta esta propiedad se denomina tixotrópico. El conocimiento de esta propiedad es importante para saber si se presentarán dificultades en la circulación. Para fluidos base aceite es común tener valores de gel bajos con respecto a lodos base agua, pero deben mantenerse en rangos que permitan suspender los cortes. El grado de tixotropía se determina midiendo la fuerza de gel al principio de un período de reposo de 10 segundos, después de agitarlo 10 y 30 minutos después. La resistencia a la gelatinización debe ser suficientemente baja para:

- Permitir la separación del gas incorporado al lodo.
- Permitir que la arena y el recorte sean depositados en el tanque de decantación.
- Permitir un buen funcionamiento de las bombas y una adecuada velocidad de circulación.
- Minimizar el efecto de succión cuando se saca la tubería y de pistón cuando se introduce.

Sin embargo, este valor debe ser suficiente para permitir la suspensión de la barita y los sólidos incorporados en los siguientes casos:

Cuando se esté añadiendo barita.

Al estar el lodo estático.

Los geles son la medición de las fuerzas de atracción que tiene el fluido de perforación bajo condiciones estáticas y por conveniencia, son medidas después de 10 segundos y 10 minutos. Estas fuerzas de atracción se diferencian con el Yield Point en que son dependientes del tiempo y se rompen después de que el fluido empieza a fluir. Al mismo tiempo el rango de geles está directamente relacionado con el rango de Yield Point, porque las fuerzas de atracción entre partículas influyen ambas mediciones.

Los Geles son clasificados cualitativamente en varios tipos basados en el rango de 10 segundos y 10 minutos y también basados en la diferencia de estos valores.

Geles frágiles: Son extremadamente bajos e idénticos a 10 segundos y a 10 minutos, como ejemplo 1/1 o 2/2.

Geles buenos: Son aquellos geles bajos a medios a 10 segundos que produce geles de media a intermedia a 10 minutos (ejemplo. 2/4, 4/8, 5/10).

Geles progresivos: Pueden presentar un valor bajo a intermedio a 10 segundos y uno extremadamente alto a 10 minutos (ejemplo. 2/25, 6/35, 15/50).

Geles planos: Son cercanos o idénticos a 10 segundos y a 10 minutos a niveles medios a altos (ejemplo. 14/15, 22/25).

2.1.2.6 Filtrado.

Existen dos tipos de filtración que ocurren en la operación de perforación: Filtración estática y dinámica. La filtración dinámica ocurre mientras el lodo está circulando. La pérdida estática de

fluido se manifiesta al pasar el fluido por un medio filtrante (torta) direccionándose hacia dentro de la formación permeable.

La tasa de pérdida estática de fluido es regida por la ley de Darcy de flujo de fluidos por un medio poroso, la cual ha sido modificada un poco para lograr incluir los efectos de filtración por la presencia de la torta. La ecuación modificada no toma en cuenta la cantidad de filtrado perdido antes que la torta se forme.

La filtración dinámica varía de acuerdo al régimen del fluido. En condiciones de fluido laminar, la construcción de la torta de filtrado puede ocurrir similarmente como si estuviera en condiciones estáticas, pero como existe una continua erosión, la pérdida de fluido será mayor que en las celdas estáticas de evaluación. En régimen turbulento, la torta de filtrado estará expuesta a mayores fuerzas erosivas, incrementando las pérdidas dinámicas de fluido.

El tipo, cantidad y tamaño de los sólidos en los lodos de perforación desempeñan un papel importante en la producción de una torta de filtrado de poca permeabilidad que sea compresible y firme. La distribución del tamaño de las partículas, va desde 1 submicrón hasta 10 micrones aproximadamente, es esencial en la formación de un sello inicial en los poros más abiertos. Este tipo de partícula llena los espacios entre los sólidos de mayor tamaño depositados en la formación permeable. Los agentes de dispersión química para disminuir la pérdida por filtrado producen partículas de tamaño alrededor de un submicrón. Sin embargo, estas partículas tienen un efecto de detrimento en la velocidad de penetración.

2.1.2.7 Porcentaje de sólidos

Las propiedades del lodo que hasta ahora han sido estudiadas, densidad, viscosidad y pérdida de filtrado son directamente dependientes del tipo y cantidad de sólidos en suspensión.

Algunos tipos de sólidos, en concentraciones específicas son esenciales en la formulación de sistemas de lodos y en el mantenimiento de propiedades requeridas para lograr las metas de la perforación. Estos son los sólidos adicionados al lodo en superficie en cantidades medidas. Otros sólidos, como los que son generados por la broca y que son retenidos en el lodo, son sólidos indeseables que afectan adversamente las propiedades del lodo y determinan la frecuencia y la cantidad de tratamientos químicos y mecánicos a hacerse en el sistema.

Los resultados de la prueba del contenido de sólidos son usados para calcular varios componentes del sistema tales como; sólidos disueltos y suspendidos, sólidos activos e inertes, sólidos de baja gravedad (LGS) y de alta gravedad específica (HGS). (PDVSA, 2002, 4p)

2.1.2.8 Observaciones visuales.

A pesar de no ser cuantitativas, las observaciones visuales desde un punto de vista práctico son importantes y deben ser reportadas en el informe de lodo. A través de estas se pueden llegar a detectar problemas con el fluido de una manera simple como por ejemplo, la precipitación de barita o los anillos de dispersión.

Precipitación de barita: El asentamiento de barita en los tanques es una señal de bajas fuerzas de gel o de problemas de humectabilidad de la barita por agua. Este problema se detecta primero en el tanque más caliente o en la taza térmica del viscosímetro de lectura directa. Esta situación requiere el uso de un humectante o de un gelificante según sea el caso.

Anillos de dispersión: En un fluido base aceite de calidad los anillos de dispersión que se forman sobre la superficie brillante del fluido son agudos y oscuros. En cambio, cuando son difusos es indicativo de un problema potencial en cuyo caso el fluido debe ser sometido a análisis para determinar su condición. (PDVSA, Fluidos de perforación , 2002, 4p)

2.1.3 Clasificación de los fluidos de perforación.

Según el manual de fluidos de perforación de Qmax-Colombia, presentado por el Ing. Arturo Zavala en el año 2011, los fluidos de perforación se pueden dividir o clasificar en tres grandes grupos con sus respectivos subgrupos, a continuación se presentan al empezar nueve sistemas de fluidos diferentes, los 6 primeros son lodos de base agua, los tres siguientes son de base aceitosa y sistemas de bases sintéticas, y para finalizar los últimos cuatro son conformados por espumas, aire, niebla o un gas como medio de circulación;

2.1.3.1 Fluidos base agua.

Fluidos no-dispersos. En sistemas como estos se incluyen lodos de arranque, lodos naturales y otros ligeramente tratados. Estos sistemas comúnmente son usados para perforar pozos “shallow” o perforaciones superficiales. No se adicionan adelgazantes y/o dispersantes para dispersar los sólidos perforados y partículas de arcilla.

Fluidos dispersos. A mayores profundidades, se necesitan densidades mucho más altas o cuando las condiciones son problemáticas, entonces los lodos requieren dispersarse, usualmente con lignosulfonatos, lignitos o taninos. Estos aditivos y productos similares son defloculantes efectivos y reductores de filtrado. Se usan típicamente materiales químicos conteniendo potasio para proporcionar gran inhibición de lutitas. Además, se requiere usar materiales adicionales especializados para ajustar o mantener propiedades específicas del fluido.

Fluidos tratados con Calcio. Los cationes divalentes como son calcio y magnesio, cuando son adicionados a fluidos de perforación de agua dulce, inhiben las formaciones de arcilla y lutitas hidratables. Se utilizan altos niveles de calcio soluble para controlar la lutitas desmoronables (deleznables), agrandamiento del pozo y para prevenir el daño de la formación. Los ingredientes

principales de los sistemas cálcicos, son la cal hidratada (hidróxido de calcio), yeso (sulfato de calcio) y cloruro de calcio. Los sistemas de yeso usualmente tienen un pH de 9.5 a 10.5 y un exceso en la concentración de yeso de 2 a 4 lb/bbl (600 a 1,200 mg/l calcio); los sistemas de cal típicamente tienen un exceso de cal en una concentración de 1 a 2 lb/bbl y pH de 11.0 a 12.0 para un sistema de bajo contenido de cal o en exceso la concentración de cal es de 5 a 15 lb/bbl para un sistema de alto contenido de cal. Se deben adicionar productos especializados para el control individual de las propiedades del fluido. Los fluidos tratados con calcio resisten la contaminación con sal y anhídrido pero son susceptibles a la gelatinización y solidificación a altas temperaturas.

Fluidos de polímeros. Generalmente a estos fluidos se incorporan polímeros de alto peso molecular de cadena larga para encapsular los sólidos perforados, ayudar a prevenir dispersión e inhibir las lutitas, o para incrementar la viscosidad y reducir la pérdida de filtrado. Están disponibles varios tipos de polímeros para estos propósitos, incluyendo acrilamida, celulosa y productos naturales a base de gomas. Frecuentemente se usan sales inhibidoras como KCl o NaCl para proporcionar gran estabilidad de la lutita. Estos sistemas normalmente contienen una cantidad mínima de bentonita y son sensibles a los cationes divalentes de calcio y magnesio. Muchos polímeros tienen limitaciones a temperaturas por encima de 300°F, pero bajo ciertas condiciones pueden usarse en pozos con temperaturas de fondo considerablemente altas.

Fluidos de bajos sólidos. Estos son sistemas en donde se controla la cantidad (en volumen) y tipo de sólidos. El contenido total de sólidos no debe ser mayor de 6% a 10% en volumen. El contenido de sólidos arcillosos debe estar alrededor de 3% o menos y además debe presentar una relación de sólidos perforados respecto a la bentonita de menos de 2:1. Los sistemas de bajos sólidos típicos usan aditivos poliméricos como viscosificantes o un extendedor de bentonita y no

son dispersados. La principal ventaja de los sistemas de bajos sólidos es que mejoran significativamente las velocidades de perforación.

Sistemas de agua salada. En esta clasificación se han incluido muchos sistemas de fluidos. Los sistemas saturados con sal tienen una concentración de cloruros cercana a 190,000 mg/l (saturada) y se usan para perforar formaciones de sal. Sistemas de agua salada tienen un contenido de cloruros de 10,000 a 190,000 mg/l. Los sistemas de brackish o sistemas de agua de mar se refieren usualmente a sistemas de bajos niveles de sal. Los fluidos de agua salada normalmente se preparan con brackish, agua de mar o fuentes de agua producida. Los fluidos se preparan con agua dulce o salmuera y cloruro de sodio seco (u otras sales como cloruro de potasio; el ión cloruro se usa para la inhibición de la lutita), cuando se adiciona sal se alcanza la salinidad deseada. Se usan varios productos especiales, como la atapulguita, almidón y algunos otros para incrementar la viscosidad del fluido, para mejorar las propiedades de limpieza del pozo y para reducir las pérdidas de fluido por filtración.

2.1.3.2 Fluidos base aceite y sintéticos.

Los sistemas basen aceite son usados en una gran variedad de aplicaciones donde se necesita estabilidad del fluido e inhibición en pozos con alta temperatura del fondo del hueco, pozos profundos, donde las pegas y estabilidad del mismo son un problema, estos fluidos consisten de tres tipos de sistemas:

Fluidos de emulsión inversa. Usualmente son emulsiones de agua en aceite con salmuera de cloruro de calcio como la base emulsificada y el aceite como la fase continua. Llegan a contener hasta el 50% en volumen de salmuera en la fase líquida. Los lodos de emulsión inversa relajados o emulsiones “relajadas” son aquellos lodos que tienen bajas estabilidad eléctrica y altos valores

de pérdida de filtrado. La concentración de aditivos y el contenido de salinidad se varían para controlar las propiedades reológicas, las propiedades de filtración y la estabilidad de la emulsión.

Fluidos 100% Aceite. Estos lodos de perforación son formulados con 100% aceite como la fase líquida y son más usados como fluidos para cortar núcleos.

Algunas veces estos sistemas utilizan agua de la formación en su preparación, sin adicionar agua o salmuera adicional. Los sistemas 100% aceite requieren gran cantidad de agentes para producir viscosidad. El fluido especializado de base aceite, incluye aditivos adicionales: emulsificantes y agentes humectantes (usualmente ácidos grasos y derivados de aminas) para dar mayor viscosidad, jabones de peso molecular elevado, surfactantes, materiales orgánicos tratados con amina, arcillas organofisias y cal para producir alcalinidad y formar los jabones.

Fluidos Sintéticos. Estos fluidos sintéticos son diseñados como el espejo de los fluidos base aceite respecto a su eficiencia y rendimiento, sin peligros medioambientales. Los tipos primarios de fluidos sintéticos son los ésteres, éteres, poli alfa olefinas y alfa olefinas isomerizadas. Estos materiales son ambientalmente amigables, y pueden descargarse costa afuera y no forman película brillante sobre los peces y son biodegradables.

2.1.3.3 Fluidos de espuma, aire o niebla.

Se incluyen cuatro operaciones básicas en esta categoría especializada. Las cuales son:

Aire Seco. El aire seco para perforar, el cual implica la inyección de aire seco dentro de las paredes del pozo a velocidades que sean capaces de proporcionar velocidades anulares que pueden remover los recortes generados en el pozo.

El aire es utilizado para perforar formaciones en los que se tienen problemas de pérdidas de circulación porque las densidades de los fluidos más ligeros a de base agua o aceite pueden llegar

a fracturar o ya fracturan la formación y es necesario disminuir la columna hidrostática, utilizando aire como fluido de control para obtener avances altos en la perforación en formaciones consolidadas de calizas. También puede decidirse perforar con aire los intervalos de formación muy porosas en las que cualquier otro fluido se perdería. Los recortes que se obtienen son en forma de polvo.

La desventaja de usar estos fluidos es que no se puede perforar cuando se tienen flujos de agua en el pozo. El aire o gas seco en perforación es el medio ideal para tener velocidades de perforación altas, la capacidad de acarreo depende de la velocidad anular. La aplicación de aire en perforación es restringida para pozos inestables, formaciones productoras de agua y factores económicos. Cuando se usa aire debe tenerse cuidado si hay entrada de gas, existe la posibilidad de explosiones en el pozo cuando se obtiene la mezcla aire gas.

Niebla. La niebla de perforación involucra la inyección de un agente espumante en la corriente de aire, el cual se mezcla con el agua producida y cubre los recortes para prevenir anillos de fluido, permitiendo que los sólidos perforados sean eliminados. La niebla está conformada por una dispersión de pequeñas gotas de un líquido en un gas. Cuando se encuentran flujos de agua durante la perforación con aire, se adiciona un jabón para favorecer la formación de niebla y entonces se tiene la perforación con niebla. Esto se realiza agregando pequeños volúmenes de un jabón concentrado dentro de la corriente de aire en la superficie, formándose la mezcla de fluidos dentro de la tubería de perforación. Esto puede controlarse siempre y cuando el flujo de agua no sea muy grande y no haya problemas debido a arcillas sensibles al agua.

Los fluidos de niebla cambian con respecto al gas seco en que se inyectan pequeñas cantidades de agua con surfactante en una corriente de gas a velocidades elevadas. La niebla puede usarse para perforar formaciones con pequeños flujos de agua. En estos fluidos la

capacidad de acarreo depende de la velocidad anular y también existe peligro de una explosión cuando se perfora con niebla.

Fluidos aireados. Estos son los fluidos que se les inyecta aire (el cual reduce la cabeza hidrostática) para remover los sólidos perforados del fondo del pozo. Un fluido aireado es cualquier fluido al cual se le inyecta aire para reducir la presión hidrostática que ejercen sobre el fondo del pozo para evitar, fracturas inducidas y pérdidas de circulación. Estos fluidos se usan en pozos depresionados en donde requieren fluidos de baja densidad.

Los fluidos aireados se usan en áreas donde los problemas de pérdida de circulación son muy severos. Un ejemplo en donde se usan fluidos aireados es en zonas donde se esperan pérdidas de circulación para reducir la columna hidrostática que ejerce el fluido dentro del pozo. Esto se logra colocando una tubería parásita cuando cementan la última tubería de revestimiento para alimentar aire hacia el espacio anular cuando se presente la pérdida.

Espuma. La espuma utiliza surfactantes y posiblemente arcillas o polímeros para formar una espuma con alta capacidad de acarreo. Están conformadas por una dispersión de gas en un líquido. Principalmente se emplean para operaciones de perforación en formaciones depresionadas y con alta permeabilidad. También en trabajos de reparación y terminación como son pozos depresionados en los que es necesario remover sólidos, en operaciones de estimulación ácida, para despegar tuberías, para lavar formaciones no consolidadas con alta permeabilidad que no tienen revestimiento.

Estas también se usan para efectuar fracturamiento hidráulico. Para utilizar las espumas como fluido se necesita mantener una columna continua con una consistencia suficiente para satisfacer las condiciones de las operaciones y levantar los fluidos y recortes que se incorporen para sacarlos hasta la superficie.

La consistencia de la espuma se controla para satisfacer las condiciones del pozo. Esta consistencia se obtiene al mantener la proporción adecuada de líquido – agente espumante – gas. Los fluidos se producen inyectando agua y agentes espumantes en una corriente de aire, creando una espuma viscosa. Se producen espumas estables inyectando un fluido de polímeros que contiene un agente surfactante espumante en una corriente de aire. Las capacidades de acarreo de estos fluidos dependen más sobre la viscosidad del fluido, que de la velocidad anular.

2.1.4 Fundamentos de mecánica de fluidos.

Los siguientes conceptos que son presentados a continuación han sido tomados de la norma API RP 13D “*Rheology and hydraulics of oil-well fluids*” sexta edición de Mayo 2010. Y han sido traducidas por los autores de éste documento.

2.1.4.1 Principios en regímenes de flujo.

El comportamiento de un fluido es determinado por el régimen de flujo, el cual se convierte en un efecto directo sobre la habilidad de ese fluido para desarrollar sus funciones básicas según sea el tipo de flujo en el que se encuentra. Dependiendo de la velocidad, el área de flujo, la viscosidad y la densidad el flujo puede ser turbulento o laminar.

Es posible encontrar un espacio de transición entre éstos dos en donde el comportamiento exhibe propiedades de laminar y turbulento al mismo tiempo y es importante saber en cual está al momento de evaluar la eficiencia del sistema.

En el flujo laminar, la presión requerida para mover el fluido incrementa con el aumento de la velocidad y de la viscosidad.

En el flujo turbulento, la presión requerida para mover el fluido incrementa linealmente con la densidad y aproximadamente con el cuadrado de la velocidad, esto significa que más presión es requerida para mover el fluido en este tipo de flujo que en un flujo laminar.

Para determinar el régimen de flujo se utiliza el número adimensional de Reynolds (N_R) que es definido:

$$N_R = \frac{d}{\mu}$$

Ecuación 2. Número de Reynolds

Dónde:

d es el diámetro de flujo.

V es la velocidad de flujo.

ρ es la densidad del fluido.

μ es la viscosidad.

El régimen de transición entre laminar y turbulento ocurre regularmente cuando N_R está entre 2000 y 4000.

2.1.4.2 Viscosidad.

Es definida como la relación entre el esfuerzo y la tasa de corte. Las unidades comúnmente usadas son expresadas en dinas/cm². Lo cual es llamado Poise (P), 1 P en fluidos es representativo de viscosidades muy altas por lo cual es más común usar el término centipoise para definir viscosidad que es igual a cien partes de 1 Poise o mili Pascal-segundo.

La viscosidad se define como:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma} \text{ (Poise)}$$

Ecuación 3. Viscosidad

Donde

μ es la viscosidad.

es el esfuerzo de corte.

es la rata o velocidad de corte.

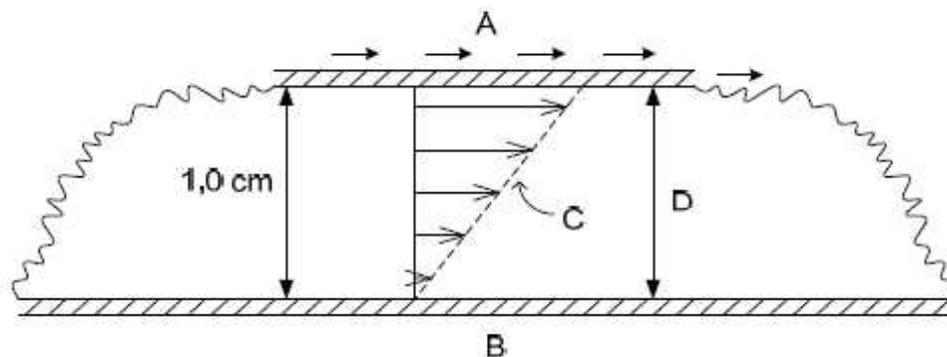
2.1.4.3 Esfuerzo de corte.

El esfuerzo de corte es la fuerza necesaria por unidad de área para iniciar un gradiente de velocidad (velocidad de corte) dando movimiento a las capas de un fluido. El esfuerzo de corte se representa por el símbolo Tau (τ) y es expresado en las unidades de lb/100 ft².

Supóngase en la figura 1 que una fuerza de 1 dina es aplicada a cada centímetro cuadrado de la superficie de una placa para mantenerlo en movimiento.

Entonces el esfuerzo de corte sería 1 dina/cm² y se necesita la misma fuerza en la placa del fondo en sentido contrario para mantenerle sin movimiento. Entonces cualquiera de las placas sufre un esfuerzo de corte igual a 1 dina/cm². (API RP 13D, 2010)

Figura 1. Esfuerzo de Corte.



Fuente: “*Rheology and hydraulics of Oil-Well fluids*” 8p.

En donde

A es la placa en movimiento con velocidad de 1cm/s.

B es la placa estacionaria.

C es el perfil de velocidad

D es el gradiente de velocidad. Producto de la velocidad y la altura. 1cm/s / 1cm = 1s⁻¹.

El esfuerzo de corte se define matemáticamente como:

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ (dina/cm}^2\text{)}$$

Ecuación 4. Esfuerzo de Corte

Donde

F es fuerza.

A es el área de la superficie sometida al esfuerzo.

En una tubería, la fuerza que empuja la columna de fluido a través de ella se expresa como la presión le la columna al final de la tubería por el área transversal de ésta.

$$F = P \frac{\pi d^2}{4} \text{ (dina)}$$

Ecuación 5. Fuerza de empuje

Donde

d es el diámetro de la tubería

P es la presión al final de la columna de fluido

El área superficial del fluido que está en contacto con la pared de la tubería se define como:

$$A = \pi \quad \text{(pulg}^2\text{)}$$

Ecuación 6. Área superficial

Donde

A es el área superficial del fluido.

L es la longitud.

Entonces el esfuerzo de corte en la pared de la tubería se expresa por.

$$\tau_w = \frac{F}{A} = \frac{d}{4L} (\text{dina/cm}^2)$$

Ecuación 7. Esfuerzo de Corte en la pared de tubería

En el anular se define por

$$\tau_w = \frac{F}{A} = \frac{P(d_h - d_p)}{4L} (\text{dina/cm}^2)$$

Ecuación 8. Esfuerzo de Corte en el anular

Donde

dh es el diámetro del hueco.

dp es el diámetro de la tubería.

2.1.4.4 Velocidad de corte.

Es un gradiente de velocidad medido a través del diámetro de una tubería o anular, o la velocidad a la cual una capa de fluido se mueve en comparación a otra. Por ejemplo, en la figura 1 donde hay dos capas largas paralelas entre sí separadas por 1 cm de distancia lleno de fluido. Si la capa inferior se encuentra estática y la superior a una velocidad constante de 1cm/s la velocidad promedio entre ambas capas va a ser de 0.5cm/s.

El gradiente de velocidad es la rata de cambio de la velocidad V sobre la distancia que le separa con la pared h . En la figura 1, la velocidad de corte es dV/h y tiene unidades de 1/tiempo. El s^{-1} es la unidad estándar de la velocidad de corte.

Éste ejemplo es aplicable a fluidos newtonianos donde la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo de corte, pero éste no es el caso del fluido de perforación cuando está circulando.

En flujo laminar, por ejemplo, la velocidad es mayor en las cercanías a la pared de la tubería y se considera para los cálculos un valor promedio de rata de corte. Pero el valor real no es constante a través de las líneas de flujo.

Matemáticamente la velocidad de corte se define como:

$$\gamma = \frac{d}{\Delta} (\text{S}^{-1})$$

Ecuación 9. Velocidad de Corte

Donde

V es el gradiente de velocidad.

r es la distancia entre ambas capas.

En una tubería la velocidad de corte en la pared (γ_w) para un fluido newtoniano se expresa en función de la velocidad promedio (V) y el diámetro de la tubería (d).

$$\gamma_w = f(V, d) = \frac{8V_p}{d} (\text{S}^{-1})$$

Ecuación 10. Velocidad de Corte en la pared

Siendo:

$$V_p = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi d^2} (\text{S}^{-1})$$

Ecuación 11. Velocidad de Corte promedio

Dónde:

γ_w es la velocidad de corte en la pared de la tubería para un fluido newtoniano.

Q es la rata de flujo volumétrica.

A es el área superficial a través de la sección.

d es el diámetro de la tubería.

V es velocidad.

V_p es la velocidad promedio en la tubería.

En el anular, la velocidad de corte y la velocidad promedio está definida por:

$$\gamma_w = f(V, d_p, d_n) = \frac{1 V_a}{(d_n - d_p)} (\text{S}^{-1})$$

Ecuación 12. Velocidad de Corte en el anular

$$V = \frac{4Q}{\pi(d_h^2 - d_p^2)}$$

Ecuación 13. Velocidad promedio en el anular

Dónde:

γ_w Es la velocidad de corte en el anular para un fluido newtoniano.

V Es la velocidad.

Q Es el caudal.

d_p Es el diámetro de la tubería.

d_h Es el diámetro del hueco.

V Es la velocidad promedio en el anular.

2.1.4.5 Relación entre velocidad de corte y esfuerzo de corte.

En resumen, el esfuerzo de corte es la fuerza por unidad de área requerida para mantener un fluido en movimiento, la velocidad de corte es la rata a la cual la velocidad del fluido cambia con respecto a la distancia con la pared. La relación matemática entre éstos dos da origen al modelo reológico del fluido.

Cuando un recorte entra al flujo, el fluido lo rodea inmediatamente y lo somete a una velocidad de corte llamada settling shear rate γ_s .

$$\gamma_s = \frac{12V_s}{d_c}$$

Ecuación 14. Velocidad de asentamiento promedio

Dónde:

V_s es la velocidad de asentamiento promedio

d_c es el diámetro del recorte.

Este valor se utiliza para calcular la viscosidad de un fluido mediante la velocidad de asentamiento de las partículas.

2.1.4.6 Caracterización de fluidos.

Los fluidos pueden ser clasificados de acuerdo al modelo reológico que experimenten.

Fluidos newtonianos: En los cuales el esfuerzo de corte es directamente proporcional a la velocidad de corte. Al cambiar un valor, el otro también manteniendo así la viscosidad constante. Por ejemplo: Agua, glicerina, aceites ligeros.

Fluidos no Newtonianos: Son fluidos en los cuales la relación esfuerzo de corte-velocidad de corte no es proporcional como el caso de los fluidos de perforación. Éstos sufren mayor adelgazamiento por corte a bajas viscosidades en altas velocidades que en bajas velocidades.

Existen también los fluidos con comportamiento dilatante, en éstos la viscosidad se incrementa con la velocidad de corte, pero rara vez ocurre en lodos. Un tipo de fluido que sufre adelgazamiento por corte son los llamados pseudoplásticos en donde el incremento en la velocidad de corte causa decremento en la viscosidad. Aquellos fluidos que requieren de un esfuerzo de corte mínimo para iniciar su flujo son los llamados visco plásticos.

Si a velocidades de corte constantes, el fluido requiere de tiempo para establecer un equilibrio. Se considera que sufre de efectos tiempo-dependientes y se pueden denominar tixotrópicos si su viscosidad disminuye con el tiempo a la misma tasa de corte constante hasta equilibrarse o reopéticos si la viscosidad aumenta con el tiempo a una velocidad de corte constante hasta establecer el equilibrio.

Los fluidos tixotrópicos pueden presentar un comportamiento descrito como gelación o formación de fuerzas de gel debido a sus propiedades tiempo-dependientes, con el tiempo y en

condiciones estáticas el fluido aumenta la cohesión de sus partículas y forma geles. Éstos vuelven a su estado fluido una vez se aplica un esfuerzo de corte lo suficientemente alto para romper la unión entre las partículas e iniciar el flujo.

2.2 El Árbol de Jaboncillo (*Sapindus Saponaria*)

Sapindus es una reducción de *sapo indicus*, del latín *sapo-onis* = jabón e *indus* = indio, en referencia a su uso como jabón por las tribus indígenas de América. *Saponaria*, del latín *sapo-onis* = jabón y el sufijo *-arius-a-um*, que indica una conexión, por la saponina que poseen sus frutos. (Chaco, <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html> , 2016)

Es un árbol de un solo tallo, con ramificaciones bajas y de copas redondas, que crece de 10 a 50 pies de altura, dependiendo del hábitat. Hojas de hasta 18 pulgadas de largo con un eje central y hasta 24 folíolos emparejados, regularmente menos, y a menudo sin folleto terminal.

Folleto no armoniosos con la parte más ancha de la hoja hacia la punta de la hoja y la base redondeada en el lado más ancho y angostándose en el lado más estrecho. Punta del folíolo alargada. Flores en grandes grupos de color crema de hasta 10 pulgadas de largo y 6 pulgadas de ancho, saliendo en mayo y principios de junio. Fruto carnoso, globoso, de aproximadamente 1/2 pulgada de ancho, carne translúcida, amarillo volviéndose más oscuro con la edad, a veces persistente en el árbol hasta la próxima temporada de floración.

La especie *Sapindus saponaria* se conoce en Colombia con diferentes nombres comunes, entre los que se encuentran chambimbe, chambimba, michú, pepo, parapara, jaboncillo y chumbimba (Acero 2004). *Sapindus saponaria* es una especie nativa ampliamente distribuida en Colombia que crece desde el bosque húmedo tropical hasta el bosque seco tropical, incluyendo las transiciones de estas zonas de vida. Además, se presenta en bosques abiertos húmedos o secos, o

en orillas, frecuentemente plantado junto a las casas en suelos anaranjado-rojizos, arcillosos.
(Mahecha & Echeverry, 1983, 208p)

Figura 2. Sapindus Saponaria



Fuente: <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html>

2.2.1 Distribución regional y zonas de cultivo.

Su distribución altitudinal varía de 0 a 1800 msnm, donde se adapta a gran variedad de suelos desde calizos hasta volcánicos. Esta es una especie que puede crecer tanto en bosques secos como húmedos. Se desarrolla bien en terrenos secos y oligotróficos, es decir de pocos nutrientes y pobres en materia orgánica. Igualmente, se ha encontrado que el jaboncillo soporta bien la sequía (Mahecha & Echeverry, 1983, 208p)

En América del norte se encuentra principalmente esta especie. Se expande naturalmente desde México, a través de América Central y las Antillas hasta Ecuador, Perú, Brasil, Paraguay y Argentina en América del Sur. En Estados Unidos es común encontrarla en los estados de Arkansas, Arizona, Colorado, Kansas, Louisiana, Missouri, Nuevo México, Oklahoma y Texas.

Para su cultivo su uso de agua es bajo, necesita de luz solar y parte sombra. A su vez que el suelo este entre seco y húmedo. Posee una alta tolerancia al CaCO_3 , a la sequía y a las bajas temperaturas.

La floración se presenta entre los meses de agosto a marzo en México y Colombia, de diciembre a enero en El salvador y de abril a junio en Brasil. Los frutos maduran en los meses de enero a septiembre en México, de enero a mayo en El salvador, de julio a agosto en Paraguay y de septiembre a octubre en Brasil.

Los frutos deben cosecharse cuando presentan coloración verde amarillenta. Deben recolectarse directamente del árbol o del suelo; una vez recolectados los frutos deben ser trasladados en sacos de yute al sitio de procesamiento. Luego se exponen sobre lonas al sol de dos a tres días por periodos de tres a cuatro horas.

2.2.2 Composición del fruto y/o semilla.

El fruto es una drupa redonda, entre 1-1.5 cm de diámetro, de color verde, pero que se torna castaño al madurar. Usualmente solitaria o raramente de 2 o 3 juntas, conteniendo en su interior una semilla de color negro, la cual está cubierta de una sustancia viscosa, de color amarillento, y que al contacto y agitación con agua produce espuma, esto es debido a que contiene un alto contenido de Saponinas de alrededor de 30% en volumen.

Figura 3. Fruto de Sapindus Saponaria



Fuente: http://zipcodezoo.com/index.php/Sapindus_saponaria

2.2.2.1 Saponinas.

Las saponinas son glucósidos de esteroides o de triterpenoides, que son llamadas así por sus propiedades semejantes a las del jabón; cada molécula está constituida por un elemento soluble en lípidos (el esteroide o el triterpenoide) y un elemento soluble en agua (azúcar).

Este comportamiento predispone a que se unan de manera fácil a nivel molecular, con el agua y otras sustancias, tales como el colesterol y las grasas. Esta capacidad genera un puente entre dos moléculas polarmente opuestas, tal como sucede con el agua y aceite, además permite que las saponinas interaccionen con las moléculas presentes en la superficie de la membrana celular. En este sentido, las saponinas presentarán un comportamiento tal como un agente espumante o emulsionante en algunos casos.

Aparentemente las saponinas son especialmente tóxicas para los órganos respiratorios de los peces sin afectar su comestibilidad. De hecho, se han utilizado bulbos frescos para paralizar y capturar peces arrojando rebanadas de bulbos en estanques y arroyos. Las saponinas también se han usado en champús, extintores de espuma, pasta de dientes, y en la industria cervecera como un agente espumante para la espuma de cerveza.

2.3 Alevines (Tilapia Roja)

La palabra alevín (del francés *alevin*), es usada comúnmente en actividades como la piscicultura y la acuicultura, o en ciencias como la ictiología, para llamar a las crías recién nacidas de peces. Más precisamente, este término hace alusión al momento en el cual las crías rompen el huevo y comienzan a alimentarse.

En Colombia, Argentina, Perú y más países sudamericanos, se suele optar el sinónimo alevino, dada la proximidad y estrecha relación comercial de este país con Brasil y la

consecuente transferencia desde el portugués, idioma en el cual este término francés adquirió la vocal final "o", para ajustarse a los estándares fonéticos de los lusoparlantes.

La etapa de alevinaje finaliza una vez alcanzan una talla aproximada de 8 cm, momento en el cual se llaman dedinos o juveniles y se comienza con la etapa de engorde. La fase de alevinaje es uno de los períodos más críticos, donde se deben tener muchos cuidados en el manejo, ya que de esto depende el éxito o fracaso de un criadero.

2.3.1 Cuidados necesarios de los alevines.

En lo que al envase se refiere es necesario que en las primeras semanas de vida de los alevines no haya corrientes ya que los alevines pueden ser arrastrados. Si se quiere se puede incluir una ligera aireación, pero procurando que no se produzcan corrientes. Transcurridas unas semanas, se puede introducir un sistema de filtrado ligero que no arrastre a los alevines e introducir un sistema de aireación para que rompa la superficie y los alevines puedan respirar y desarrollar el sistema de respiración, en este periodo (de tres a cuatro semanas) es cuando los alevines desarrollan el sistema laberíntico (sistema que les permite respirar).

La mejor alimentación que se les puede suministrar es alimento vivo, aunque también se les puede mantener con alimento seco en polvo. La alimentación depende del tamaño que tengan los alevines, por ejemplo, alimentos como infusorios y artemia es lo más usado cuando son pequeños, mientras que la lombriz roja y lombrices de tierra son los alimentos más proporcionados cuando estos alcanzan un mayor tamaño.

Los alevines necesitan alimentarse varias veces al día en pequeñas cantidades. En los primeros días se alimentarán de pequeños microorganismos que facilitan las plantas naturales. En la segunda y tercera semana de vida estos desarrollarán el sistema respiratorio, por lo que se hace importante mantener durante este tiempo el tanque de cría tapado para evitar los contrastes

de aire. A partir de la tercera o cuarta semana de vida, los alevines empezarán a mostrar algunos de sus colores, los colores claros irán apareciendo después.

2.3.2 Tilapia roja.

La tilapia es un pez teleósteo, del orden Perciforme que pertenece a la familia *cichlidae* originaria de África, habita la mayoría de las regiones tropicales del mundo, donde las condiciones son favorables para su reproducción y crecimiento. Es un pez de buen sabor y rápido crecimiento, se puede criar en estanques y en jaulas, aguanta altas densidades, resiste condiciones ambientales adversas y tolera bajas concentraciones de oxígeno.

Como grupo, las tilapias representan uno de los peces más ampliamente producidos en el mundo. Las especies más cultivadas son *O.Aureus*, *O.Niloticus* y *O.Mossambicus*, así como varios híbridos de estas especies. (wikipedia, 2016)

2.3.2.1 Parámetros de cría.

De acuerdo a lo descrito en el manual de crianza de la Tilapia presentado por la compañía Nicovita, se pueden encontrar unos parámetros de crianza los cuales requieren de atención y control para poder obtener un entorno saludable. (NICOVITA, 2015, 4 - 17p)

Hábitat: Son especies idóneas para la cría en zonas tropicales y subtropicales. Debido a su naturaleza híbrida, se logran adaptar con gran facilidad a ambientes lénticos (aguas poco estancadas), estanques, lagunas, reservorios y en general a medios confinados.

Oxígeno: Dentro de los parámetros físico-químicos, es el más importante en el cultivo de especies acuáticas. El grado concentración del oxígeno disuelto es inversamente proporcional a la altitud y directamente proporcional a la temperatura y pH.

Los valores de oxígeno disuelto deben estar por encima de los 4mg/l. Valores menores al indicado reducen el crecimiento e incrementa la mortalidad.

Temperatura: El rango óptimo de temperatura para el cultivo de tilapias fluctúa entre 25°C y 32°C, aunque ésta puede continuarse con una variación de hasta 5°C por debajo de este rango óptimo.

Dureza: Es la medida de la concentración de los iones de Ca y Mg expresadas en ppm de su equivalente a Carbonato de calcio. Los rangos óptimos se encuentran entre 50-350 ppm de CaCO₃, por otra parte, por estar relacionada directamente con la dureza, el agua para el cultivo debe tener una alcalinidad entre 100ppm a 200ppm.

pH: El rango óptimo está entre 6.5 a 9.0, si se tienen valores por encima o por debajo se generan cambios de comportamiento en los peces como letargia, inapetencia, retardo en el crecimiento y retrasan la reproducción.

Amonio: Es un producto de la excreción, orina de los peces y descomposición de la materia. Cuando los valores de pH son bajos (ácidos), el amonio no causa mortalidades. Los valores de amonio deben fluctuar entre 0.01 ppm a 0.1 ppm, los niveles de tolerancia para la tilapia se encuentra en el rango de 0.6 a 2.0 ppm.

Nitritos: Se generan en el proceso de transformación del amoníaco a nitratos. Es necesario mantener la concentración por debajo de 0.1 ppm, haciendo recambios fuertes, limitando la alimentación y evitando concentraciones altas de amonio en el agua.

Dióxido de carbono: Debe mantenerse en un nivel inferior a 20 ppm, porque cuando sobrepasa este valor se presenta letargia e inapetencia.

Gases tóxicos: Son compuestos químicos producidos en los estanques por la degradación de materia orgánica. Los más comúnmente hallados y las concentraciones máximas a las que deben estar son: Sulfuro de hidrógeno menos de 10 ppm, ácido cianhídrico menos de 10 ppm y gas metano menos de 25ppm.

Sólidos en suspensión: Aumentan la turbidez en el agua, disminuyendo el oxígeno disuelto en ella. De acuerdo a la concentración de sólidos disueltos podemos clasificar los estanques así:

Estanques limpios: Sólidos menores a 25 mg/l.

Estanques intermedios: Sólidos entre 25 - 100 mg/l.

Estanques lodosos: Sólidos mayores a 100 mg/l.

Fosfatos: Son productos resultantes de la actividad biológica de los peces y de la sobrealimentación con alimentos balanceados. Su valor debe fluctuar entre 0.6 y 1.5 ppm. Su toxicidad aumenta a valores de pH bajos (ácidos).

Cloruros y sulfatos: Al igual que los fosfatos, se derivan de la actividad metabólica de los peces y del aporte de los suelos y aguas subterráneas, utilizadas en las granjas piscícolas.

El límite superior para cada uno de estos compuestos, son 10 ppm y 18 ppm respectivamente.

Tabla 1. Rangos óptimos de parámetros fisicoquímicos para la tilapia.

PARÁMETRO	RANGOS ÓPTIMOS
Oxígeno	4 mg/L
Temperatura	28 °C – 32 °C
Dureza	50 – 350 ppm
Alcalinidad	100 – 200 ppm
Ph	6.5 – 9
Amonio	2 ppm
Nitritos	0.1 ppm
Dióxido de carbono	20 ppm
Sulfuro de hidrógeno	10 ppm
Ácido cianhídrico	10 ppm
Gas metano	25 ppm
Sólidos en suspensión	100 mg/L
Fosfatos	0.6 ppm – 1.5 ppm
Cloruros	10 ppm
Sulfatos	18 ppm

Fuente: Nicovita -Manual de crianza de tilapia

2.4 Toxicidad

El objetivo de las pruebas de toxicidad es conseguir información útil para lograr la protección de los organismos acuáticos de una especie específica o de las comunidades que integran la biota de un ecosistema, de los daños ocasionados por las sustancias químicas peligrosas que son arrojadas al ambiente por el ser humano. (Recurso Nacional Canadiense de seguridad y salud ocupacional, s.f.)

En el caso de pruebas de toxicidad para los peces, cuando el tóxico se encuentra disuelto en el agua, se reporta la LC50 que es la concentración que resulta letal para el 50% de los peces expuestos durante un período específico. Las letras LC se acostumbra a escribir la duración de la exposición expresada en horas. Usualmente se reportan las LC50 para exposiciones de 96 horas, o sea las 96LC50. El tiempo de resistencia de los peces sometidos a contaminación se define como LT50, el cual se determina con el tiempo que es necesario alcanzar para que muera la mitad de la población muestra. La LC50 es de vital importancia en las pruebas de toxicidad, ya que con esta medida se clasifica la toxicidad de una sustancia según la escala de Hodge y Sterner la cual podemos ver en la siguiente tabla:

Tabla 2. Escala Hodge y Sterner

Clasificación de toxicidad	Comúnmente usado	Oral LD50 (ppm)	Inhalación LC50 (ppm)	Dermal LD50 (ppm)
1	Extremadamente tóxico	1 o menos	10 o menos	5 o menos
2	Altamente tóxico	1-50	10-100	5-43
3	Moderadamente tóxico	50-500	100-1000	44-340
4	Ligeramente tóxico	500-5000	1000-10,000	350-2810
5	Prácticamente no-tóxico	5000-15,000	10,000-100,000	2820-22,590
6	Relativamente nocivo	15,000 o más	100	22,600 o más

Fuente: <http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html>

2.5 Equipo usado en la Investigación

2.5.1 Balanza para lodos.

Esta balanza está fabricada de tal forma que la copa de lodo del brazo graduado está balanceada por un contrapeso fijo al otro extremo del brazo con una escala lectora de peso deslizable que se mueve a lo largo del brazo graduado. Además, para asegurar un balance preciso presenta un nivel de burbuja sobre el brazo de lectura. El peso del lodo puede leerse directamente de la escala y se expresa en unidades de libras por galón (lb/gal) y posee un rango de error en la lectura de ± 0.1 libras por galón. Disponible en <http://www.drillingformulas.com/wp-content/uploads/2016/01/conventional-mud-balance.jpg>

Los rangos de densidad en fluidos de perforación base agua pueden variar de 8.3 a 30 lb/gal. Generalmente se usa barita para aumentar o mantener la densidad del fluido sobre 13 lb/gal y Carbonato de Calcio, especialmente de origen dolomítico, cuando se requieren densidades menores a 12 lb/gal.

Figura 4. Balanza de lodos.



Fuente:<http://www.drillingformulas.com/wp-content/uploads/2016/01/conventional-mud-balance.jpg>

2.5.2 Viscosímetro Fann 35A.

Es comúnmente usado para medir las propiedades reológicas de los fluidos a seis (6) diferentes velocidades (600, 300, 200, 100, 6, 3). Posee un regulador electrónico de velocidad el cual monitorea y ajusta continuamente la velocidad rotacional para que esta se mantenga constante y no se vean afectados los resultados. Este equipo usa una batería de 12 voltios y los datos de tensión de corte del fluido se observa en un dial iluminado.

Es de gran importancia conocer los valores de viscosidad en campo, ya que, en los bombeos a doble viscosidad será necesaria una doble potencia.

Según la fórmula de Stokes, a velocidad de caída de los recortes en el fluido es inversamente proporcional a su viscosidad, y por lo tanto la capacidad de arrastre es directamente proporcional. Por lo tanto, es necesaria una viscosidad no muy grande para que el lodo sea fácilmente bombeable, pero no tan pequeña que impida al lodo extraer los recortes producidos.

Figura 5. Viscosímetro Fann 35A.



Fuente: http://fann.ru/wp-content/uploads/2014/09/Voiscomete_r01.png

2.5.3 Mezclador de velocidad constante.

El mezclador de velocidad constante cuenta con paletas de mezcla de acero inoxidable endurecido, recipientes de mezcla de acero inoxidable, tres velocidades de mezcla preestablecidas y un dispositivo de seguridad que apaga el rotor en caso que el recipiente no se encuentre en la posición correcta para el mezclado.

Figura 6. Mezclador de velocidad constante.



Fuente: <http://www.fann.com/public1/pubsdata/Overview/Images/101656308.png>

2.5.4 Embudo Marsh.

Un embudo de forma cónica, dotado de un tubo de diámetro pequeño en el extremo inferior por medio del cual el lodo fluye bajo la presión de la gravedad. Una malla en la parte superior remueve las partículas grandes que pueden obstruir el tubo.

En el ensayo normalizado por el API para evaluar lodos a base de agua y a base de aceite, la medida de la viscosidad de embudo es el tiempo (en segundos) requerido para que un cuarto de lodo fluya fuera del embudo de Marsh hacia un vaso graduado.

La viscosidad de embudo se expresa en segundos (para un cuarto de galón). El agua sale del embudo en aproximadamente 26 segundos. El ensayo fue una de las primeras mediciones de lodos para uso en el campo. Simple, rápido e infalible, todavía sirve como un indicador útil de cambios en el lodo, mediante la comparación de las viscosidades de embudo de la muestra al entrar y al salir.

Hallan N. Marsh de Los Ángeles divulgó el diseño y uso de su viscosímetro de embudo en 1931, el Sr. Marsh era un técnico de lodos de pensamiento adelantado para su época, como puede verse en las siguientes palabras de su documento ante el AIME de 1931: "El tema del lodo suena tan simple, sin interés y sin importancia que no ha recibido la atención que merece, al menos en su aplicación a la perforación de pozos de petróleo. De hecho, es uno de los temas más complicados, técnicos, importantes e interesantes en relación con la perforación rotativa."

Figura 7. Embudo Marsh



Fuente: disponible en línea: www.mid-continents.com/sites/default/files/products/Marsh%20Funnel%20Viscometer.jpg

3. Pruebas Realizadas al lodo

Estas pruebas se desarrollaron con el fin de observar los efectos que puede llegar a tener la semilla triturada del árbol de Sapindus Saponaria sobre las propiedades reológicas de un lodo de perforación base agua y además comparar su comportamiento con el de dos aditivos químicos comúnmente usados en la industria de petróleos (Faw-18W y DESCO).

La formulación de los fluidos a estudiar se basó en un programa de perforación usado para un pozo en el campo Quifa, ubicado en los llanos orientales colombianos. Se decide preparar los fluidos para el estudio con dos tipos de densificantes, por un lado, se usó Carbonato de Calcio y por otro lado se usó Barita, se variaron las concentraciones tanto de los aditivos tensoactivos como de los densificantes mencionados anteriormente.

La semilla triturada, se pasó por un tamiz fino, para poder separar la pulpa de la cascara de la misma y de esta manera obtener mayor cantidad de saponinas, como resultado se obtuvo un polvo de color marrón el cual se dispone a usar en las pruebas. Al igual que el Jaboncillo, el Desco se agregó en gramos por barril equivalente, pero por el contrario el Faw-18W es adicionado en mililitros. A continuación, se muestran en las tablas 3 y 4 los lodos que se utilizaron y que han sido divididos según el tipo de densificante usado:

Tabla 3. Lodos con CaCO₃.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Bentonita (gr)	CaCO ₃ (gr)	Tensoactivo (gr/ml)
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	1	NINGUNO	15	10	0	
	2	SEMILLA	15	10	0,5	
	3	SEMILLA	15	10	1	
	4	SEMILLA	15	10	1,5	
	5	SEMILLA	15	10	2	
	6	DESCO	15	10	0,5	
	7	DESCO	15	10	1	
	8	DESCO	15	10	1,5	
	9	DESCO	15	10	2	
	10	FAW -18W	15	10	0,5	
	11	FAW -18W	15	10	1	
	12	FAW -18W	15	10	1,5	
	13	FAW - 18W	15	10	2	
LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	14	NINGUNO	20	15	0	
	15	SEMILLA	20	15	0,5	
	16	SEMILLA	20	15	1	
	17	SEMILLA	20	15	1,5	
	18	SEMILLA	20	15	2	
	19	DESCO	20	15	0,5	
	20	DESCO	20	15	1	
	21	DESCO	20	15	1,5	
	22	DESCO	20	15	2	
	23	FAW -18W	20	15	0,5	
	24	FAW -18W	20	15	1	
	25	FAW -18W	20	15	1,5	
	26	FAW -18W	20	15	2	

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Tabla 4. Lodos con Barita.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Bentonita (gr)	Barita (gr)	Tensoactivo (gr/ml)
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	27	NINGUNO		15	10	0
	28	SEMILLA		15	10	0,5
	29	SEMILLA		15	10	1
	30	SEMILLA		15	10	1,5
	31	SEMILLA		15	10	2
	32	DESCO		15	10	0,5
	33	DESCO		15	10	1
	34	DESCO		15	10	1,5
	35	DESCO		15	10	2
	36	FAW -18W		15	10	0,5
	37	FAW -18W		15	10	1
	38	FAW -18W		15	10	1,5
	39	FAW - 18W		15	10	2
LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	40	NINGUNO		20	15	0
	41	SEMILLA		20	15	0,5
	42	SEMILLA		20	15	1
	43	SEMILLA		20	15	1,5
	44	SEMILLA		20	15	2
	45	DESCO		20	15	0,5
	46	DESCO		20	15	1
	47	DESCO		20	15	1,5
	48	DESCO		20	15	2
	49	FAW -18W		20	15	0,5
	50	FAW -18W		20	15	1
	51	FAW -18W		20	15	1,5
	52	FAW -18W		20	15	2

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

En la norma API RP-13B-1 “Recommended Practice Standard Procedure for Testing Drilling Fluids” se establecen los procedimientos más detallados para medir todas las propiedades del fluido, a continuación, se mencionan las realizadas en este estudio:

3.1 Densidad

Normalmente se emplea carbonato de calcio y se adiciona aceite, agua o una relación de éstas hasta 13 lb/gal. Y barita para densidades mayores.

Los fluidos base aceite se acostumbran preparar con densidades entre 7.2 a 20 lb/gal según el manual de fluidos de perforación de PDVSA.

Equipo: Balanza para lodos.

3.1.1 Procedimiento.

1. Colmar la copa con el lodo que se va a examinar.
2. Ubicar la tapa sobre la copa y asentarla firmemente, pero de manera lenta con un movimiento giratorio. Verificando que sale un poco de lodo por el orificio de la tapa.
3. Lavar o sacar los restos de lodo que se presenten en el exterior de la copa o el brazo.
4. Instalar la balanza sobre el soporte y hacer mover el cursor a lo largo del brazo graduado hasta que la burbuja del nivel muestre la nivelación correcta.
5. Observar la densidad del lodo en el lado izquierdo del cursor.

Calibración:

1. Llenar la copa metálica con agua pura y tapar en la forma anteriormente indicada; secar exteriormente la balanza.
2. Instalar la balanza sobre el soporte y el cursor en el valor 8.33 lb/galón.
3. Revisar que, si el peso y la copa no se equilibran en la posición correspondiente del nivel, adicionar o quitar balines según sea necesario. Los balines pueden adicionarse o quitarse moviendo el tornillo de la cámara de compensación que se encuentra en el extremo del brazo graduado.

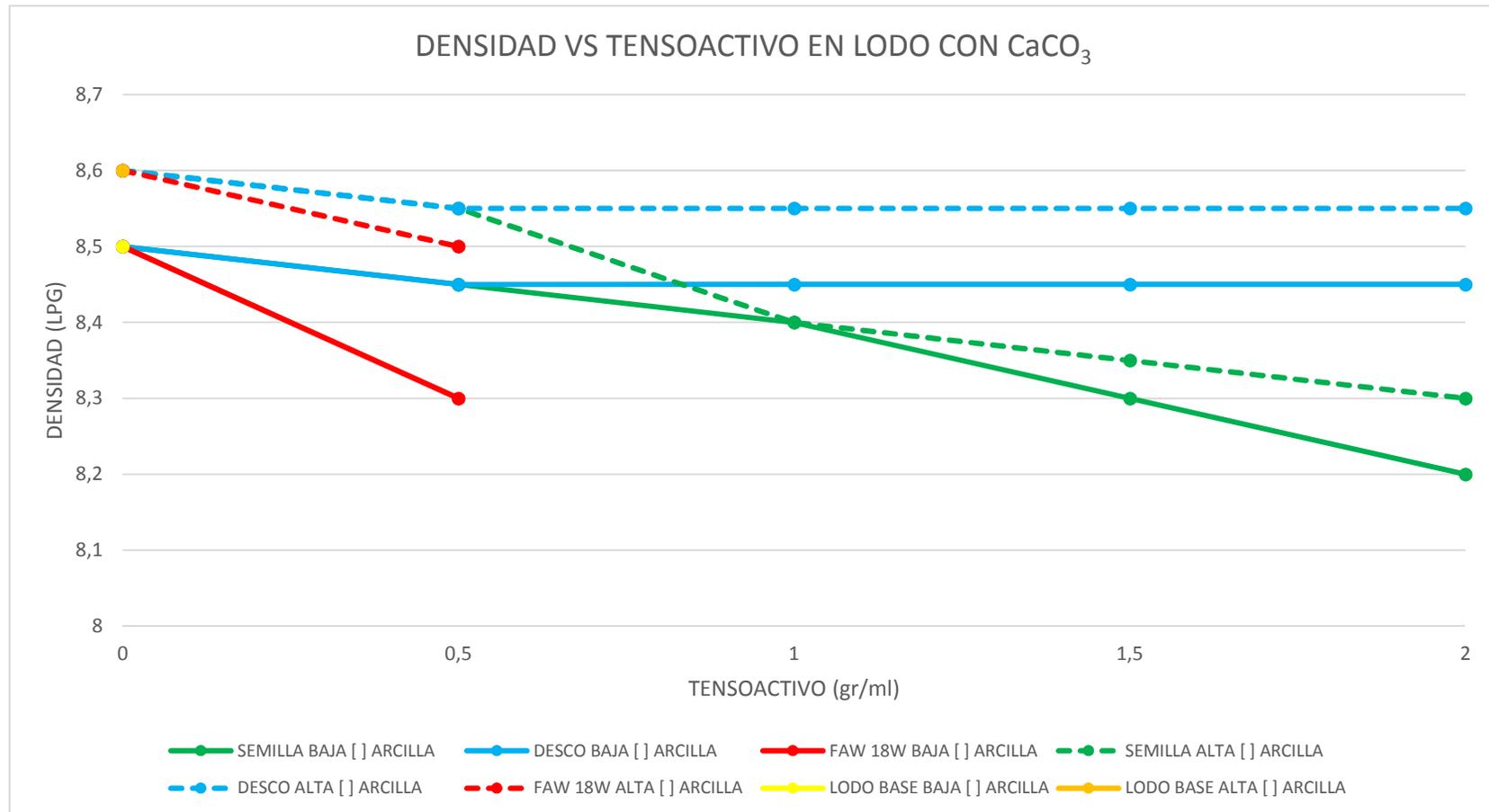
3.1.2 Datos obtenidos.

Nota: En las casillas con el símbolo “-” no se logró desarrollar la prueba debido a la gran cantidad de espuma producida.

Tabla 5. Densidad del lodo con CaCO₃. Temperatura: 25° Celsius.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	Densidad (LPG)
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	1		NINGUNO	0	8,5
	2		SEMILLA	0,5	8,45
	3		SEMILLA	1	8,4
	4		SEMILLA	1,5	8,3
	5		SEMILLA	2	8,2
	6		DESCO	0,5	8,45
	7		DESCO	1	8,45
	8		DESCO	1,5	8,45
	9		DESCO	2	8,45
	10		FAW -18W	0,5	8,3
	11		FAW -18W	1	-
	12		FAW -18W	1,5	-
	13		FAW -18W	2	-
LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	14		NINGUNO	0	8,6
	15		SEMILLA	0,5	8,55
	16		SEMILLA	1	8,4
	17		SEMILLA	1,5	8,35
	18		SEMILLA	2	8,3
	19		DESCO	0,5	8,55
	20		DESCO	1	8,55
	21		DESCO	1,5	8,55
	22		DESCO	2	8,55
	23		FAW -18W	0,5	8,5
	24		FAW -18W	1	-
	25		FAW -18W	1,5	-
	26		FAW -18W	2	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 1. Densidad Vs Tensioactivo en lodo con CaCO_3 

Se observa que el efecto sobre la densidad de la semilla de *SAPINDUS SAPONARIA* es inversamente proporcional a la cantidad suministrada al lodo. Entre más aditivo, más tiende a disminuir la densidad en el lodo.

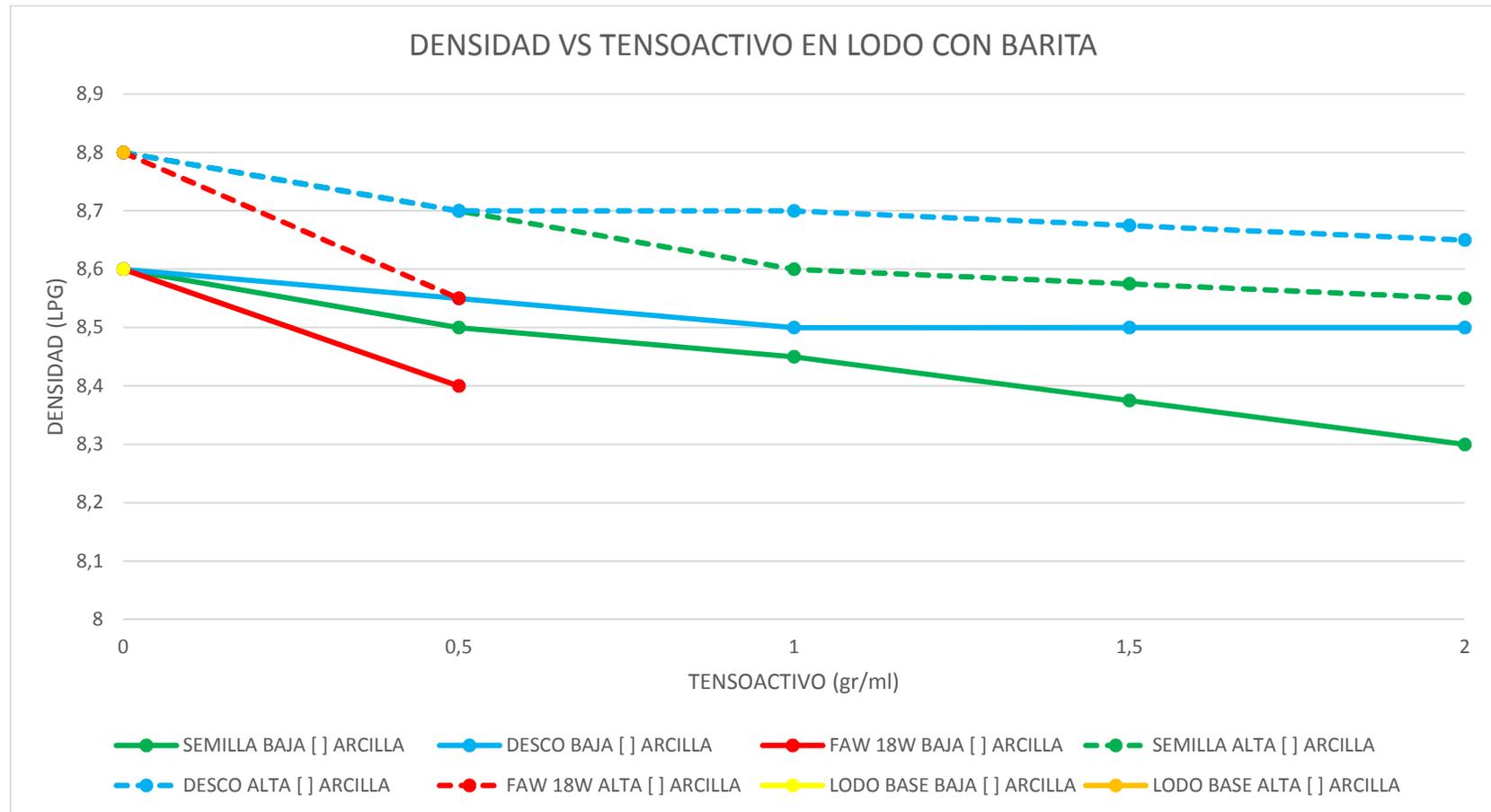
Tabla 6. Densidad del lodo con Barita.

Temperatura: 25° Celsius.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	Densidad (LPG)
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	27		NINGUNO	0	8,6
	28		SEMILLA	0,5	8,5
	29		SEMILLA	1	8,45
	30		SEMILLA	1,5	8,37
	31		SEMILLA	2	8,3
	32		DESCO	0,5	8,55
	33		DESCO	1	8,5
	34		DESCO	1,5	8,5
	35		DESCO	2	8,5
	36		FAW -18W	0,5	8,4
	37		FAW -18W	1	-
	38		FAW -18W	1,5	-
	39		FAW - 18W	2	-
	LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	40		NINGUNO	0
41			SEMILLA	0,5	8,7
42			SEMILLA	1	8,6
43			SEMILLA	1,5	8,58
44			SEMILLA	2	8,55
45			DESCO	0,5	8,7
46			DESCO	1	8,7
47			DESCO	1,5	8,67
48			DESCO	2	8,65
49			FAW -18W	0,5	8,55
50			FAW -18W	1	-
51			FAW -18W	1,5	-
52			FAW -18W	2	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada, 2017

Gráfica 2. Densidad Vs tensoactivo en lodo con barita



Fuente: S. Otálora; C. Posada, 2017

Al comparar la disminución de la densidad según su densificante, en los lodos que se usó CaCO_3 fue mucho menor la variación.

3.2 Viscosidad Marsh

El tiempo, en segundos, necesario para que un cuarto de galón de lodo fluya a través de un embudo de Marsh. No es la viscosidad verdadera, pero sirve como medida específica de cuán espesa es la muestra de lodo. La viscosidad de embudo es útil sólo para cotejos relativos.

Equipo: Embudo Marsh

3.2.1 Procedimiento.

1. Con un dedo tapar el extremo del embudo y derramar lodo a través del tamiz hasta que el nivel concuerde con la base del mismo. Sobre una jarra graduada con indicación de 946 ml (1/4 de galón) sostener firmemente el embudo.

2. Quitar el dedo del extremo y medir con un cronómetro el tiempo que se demora escurrir 946 ml de lodo a través del embudo. El número de segundos registrados es la viscosidad Marsh.

Calibración:

Para calibrar el embudo, este se debe llenar con agua limpia a temperatura ambiente y se toma nota del tiempo para que escurran 946 ml. En estas condiciones los 946 ml de agua se deben escurrir en 26 segundos con una tolerancia de 0.5 segundos, más o menos.

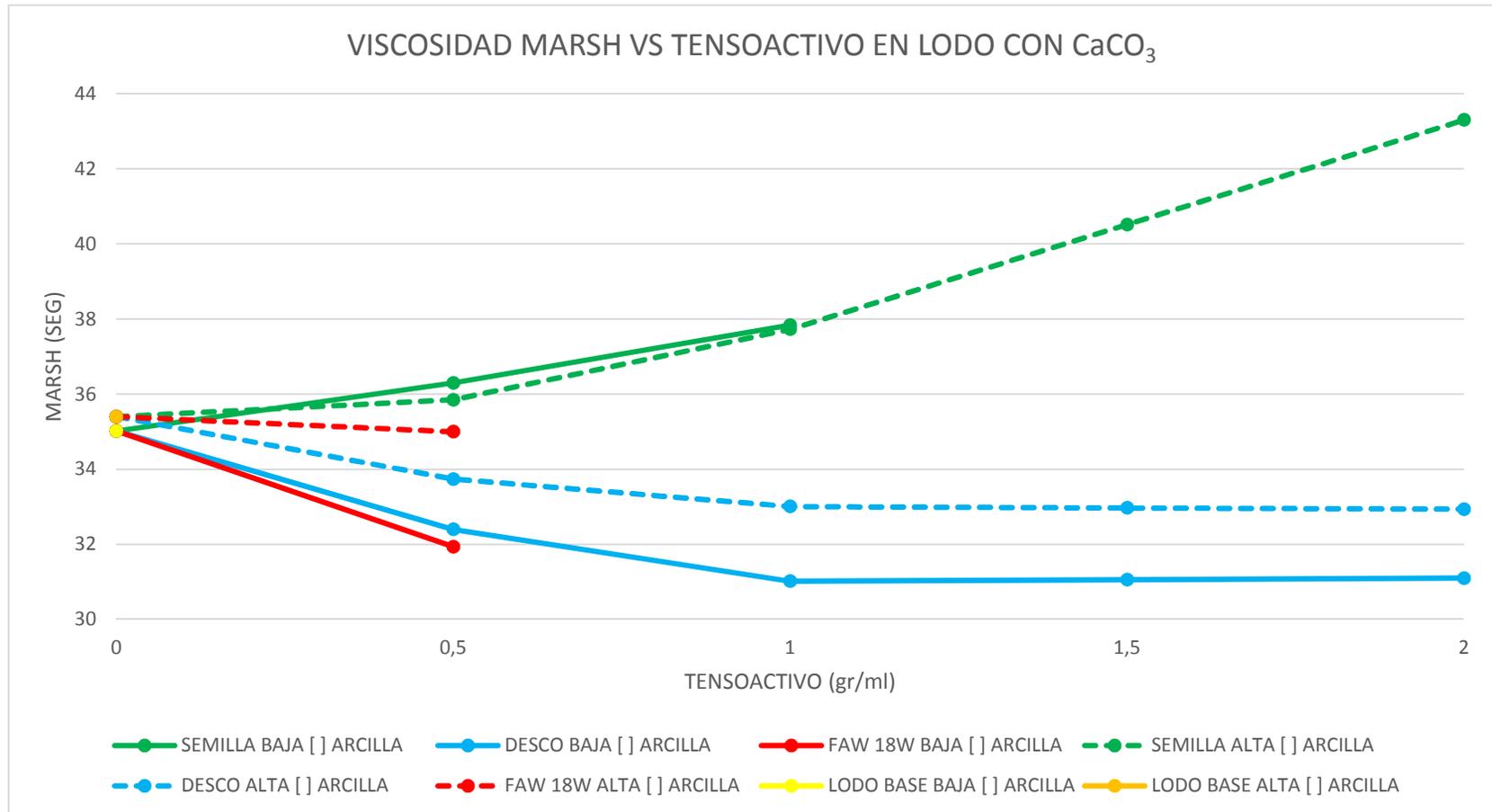
3.2.2 Datos obtenidos.

Tabla 7. Viscosidad de Marsh del lodo con CaCO₃.

Temperatura: 25° Celsius.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	Marsh (Seg)
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	1		NINGUNO	0	35,02
	2		SEMILLA	0,5	36,3
	3		SEMILLA	1	37,84
	4		SEMILLA	1,5	-
	5		SEMILLA	2	-
	6		DESCO	0,5	32,4
	7		DESCO	1	31,02
	8		DESCO	1,5	31,06
	9		DESCO	2	31,1
	10		FAW -18W	0,5	31,94
	11		FAW -18W	1	-
	12		FAW -18W	1,5	-
	13		FAW - 18W	2	-
LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	14		NINGUNO	0	35,4
	15		SEMILLA	0,5	35,85
	16		SEMILLA	1	37,73
	17		SEMILLA	1,5	41,05
	18		SEMILLA	2	43,3
	19		DESCO	0,5	33,74
	20		DESCO	1	33,01
	21		DESCO	1,5	32,99
	22		DESCO	2	32,94
	23		FAW -18W	0,5	35
	24		FAW -18W	1	-
	25		FAW -18W	1,5	-
	26		FAW -18W	2	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada, 2017

Gráfica 3. Viscosidad Marsh Vs tensoactivo en lodo con CaCO_3 .

Fuente: S. Otálora; C. Posada, 2017

Se visualiza un claro incremento en el tiempo en segundos, el cual es proporcional a la cantidad de semilla de *SAPINDUS SAPONARIA* adicionada al lodo de perforación.

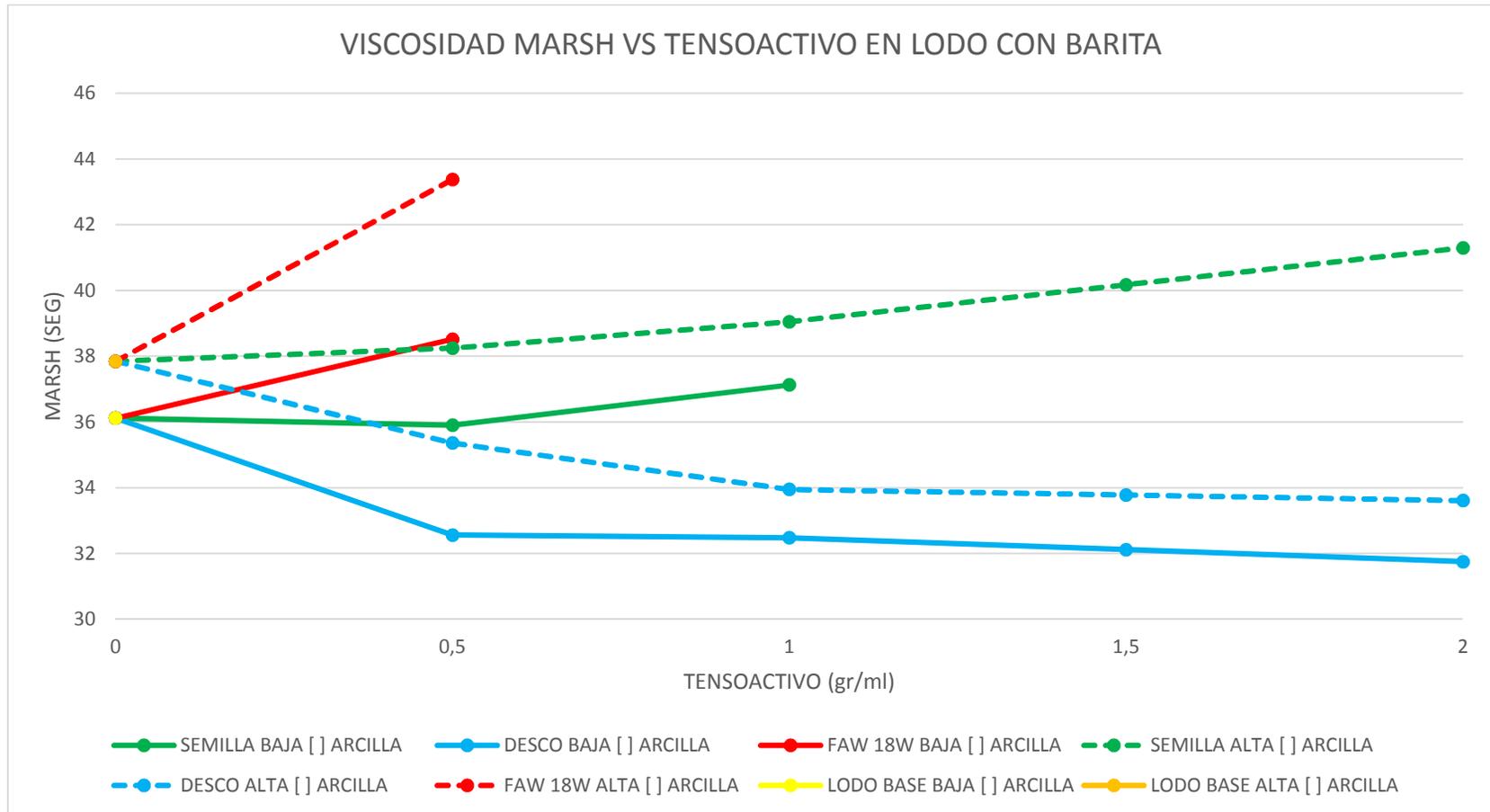
Tabla 8. Viscosidad de Marsh del lodo con Barita.

Temperatura: 25° Celsius.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	Marsh (Seg)
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	27		NINGUNO	0	36,12
	28		SEMILLA	0,5	35,9
	29		SEMILLA	1	37,13
	30		SEMILLA	1,5	-
	31		SEMILLA	2	-
	32		DESCO	0,5	32,56
	33		DESCO	1	32,48
	34		DESCO	1,5	32,1
	35		DESCO	2	31,75
	36		FAW -18W	0,5	38,52
	37		FAW -18W	1	-
	38		FAW -18W	1,5	-
	39		FAW - 18W	2	-
	LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	40		NINGUNO	0
41			SEMILLA	0,5	38,25
42			SEMILLA	1	39,05
43			SEMILLA	1,5	40,05
44			SEMILLA	2	41,3
45			DESCO	0,5	35,36
46			DESCO	1	33,95
47			DESCO	1,5	33,78
48			DESCO	2	33,61
49			FAW -18W	0,5	43,38
50			FAW -18W	1	-
51			FAW -18W	1,5	-
52			FAW -18W	2	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 4. Viscosidad Marsh Vs tensoactivo en lodo con Barita



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Se puede observar como aumenta el tiempo en segundos del paso del fluido por el embudo Marsh con respecto a la cantidad de semilla, aunque siendo este menor que cuando se usa CaCO_3 como densificante.

3.3 Reología

El control de la viscosidad plástica en lodos de bajo y alto peso es necesario para mejorar el comportamiento reológico y sobre todo para alcanzar altas velocidades de perforación. Este control se consigue por dilución o por mecanismos de control de sólidos. Para obtener tal propósito, es necesario que los equipos de control de sólidos trabajen en buenas condiciones.

Equipo: Viscosímetro fann 35.

3.3.1 Procedimiento.

1. Verificar que el voltaje de la corriente sea el necesario. El equipo que se utiliza en el campo tiene una luz en el frente del instrumento y el voltaje es adecuado cuando este brilla de manera uniforme.

2. Una muestra recientemente agitada se ubica en el recipiente y se hunde en el cilindro del rotor hasta la señal que se encuentra grabada en el exterior del rotor.

3. Se coloca en marcha el motor y se pone en su posición más baja el botón que opera la caja de velocidades para obtener la más alta velocidad (600 rpm). Se conserva la agitación durante 10 a 15 segundos hasta obtener una lectura constante en el dial, y se apunta este valor.

4. Registrar la lectura del dial al cambiar la velocidad de rotación a 300 rpm y, una vez que se estabilice la misma.

5. Para el cálculo se utilizan las siguientes ecuaciones:

6. Viscosidad plástica (cps) = lectura a 600 rpm – lectura a 300 rpm.

7. Punto cedente (lbs/100 pies²) = lectura a 300 rpm - Viscosidad plástica.

8. Se debe indicar también la temperatura a la que fue realizada la prueba.

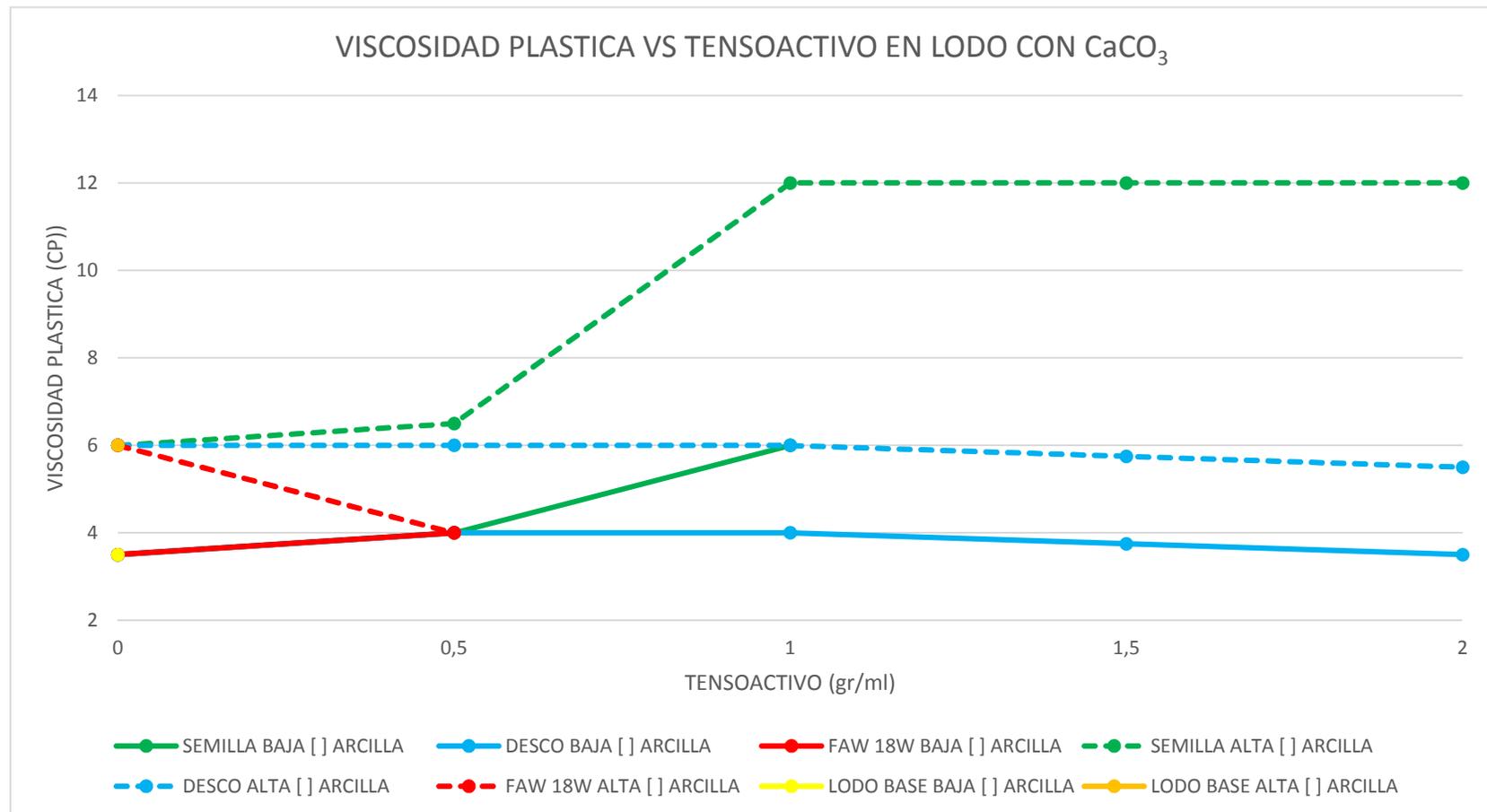
3.3.2 Datos obtenidos.

Tabla 9. Viscosidad Plástica y Punto Cedente del lodo con CaCO₃.

Temperatura: 25° Celsius.

Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	L600	L300	L200	L100	L006	L003	AV (CP)	PV (CP)	YP
1	NINGUNO	0	9,5	6	-	-	-	0,5	4,75	3,5	2,5
2	SEMILLA	0,5	12	8	6	3,5	0,5	0,5	6	4	4
3	SEMILLA	1	14,5	8,5	6	3	1	0,5	7,25	6	2,5
4	SEMILLA	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	SEMILLA	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	DESCO	0,5	8	4	-	-	-	0,5	4	4	0
7	DESCO	1	8	4	-	-	-	0,5	4	4	0
8	DESCO	1,5	7,75	4	-	-	-	0,5	3,88	3,75	0,5
9	DESCO	2	7,5	4	-	-	-	0,5	3,75	3,5	0,5
10	FAW -18W	0,5	7,5	3,5	-	-	-	0,5	3,75	4	0,5
11	FAW -18W	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	FAW -18W	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	FAW -18W	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	NINGUNO	0	14	8	-	-	-	0,5	7	6	2
15	SEMILLA	0,5	15	8,5	5,5	3	1	0,5	7,5	6,5	2
16	SEMILLA	1	23	11	8	4	0,35	0,5	11,5	12	-1
17	SEMILLA	1,5	23	1	8	4	0,42	0,5	11,7	12	-1
18	SEMILLA	2	24	12	8	4	0,5	0,5	12	12	0
19	DESCO	0,5	13	7	-	-	-	0,5	6,5	6	1
20	DESCO	1	12	6	-	-	-	0,5	6	6	0
21	DESCO	1,5	11,5	5,5	-	-	-	0,5	5,75	6	-0,5
22	DESCO	2	10,5	5	-	-	-	0,5	5,25	5,5	-0,5
23	FAW -18W	0,5	8	4	-	-	-	0,5	4	4	0
24	FAW -18W	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	FAW -18W	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	FAW -18W	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 5. Viscosidad plástica vs tensoactivo en lodo con CaCO_3 

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Se puede observar que la viscosidad plástica aumenta con respecto a la cantidad de semilla, sin embargo, después de 1 gramo se mantiene constante a medida que se sigue añadiendo tensoactivo.

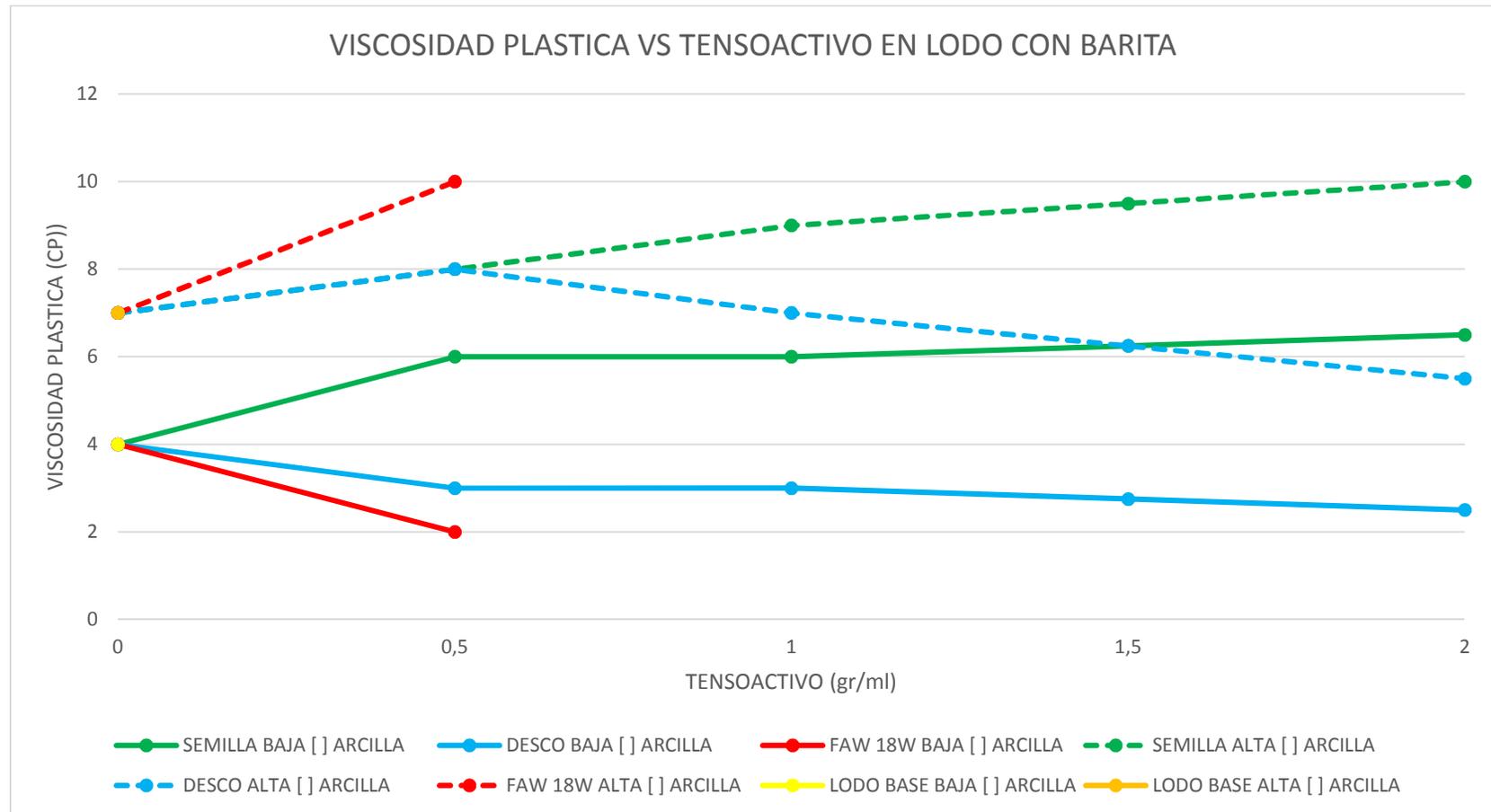
Tabla 10. Viscosidad Plástica y Punto Cedente del lodo con Barita.

Temperatura: 25° Celsius.

Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	L600	L300	L200	L100	L006	L003	AV (CP)	PV (CP)	YP
27	NINGUNO	0	10	6	-	-	-	0,5	5	4	2
28	SEMILLA	0,5	14	8	6	3	5,5	0,5	7	6	2
29	SEMILLA	1	14,5	8,5	6	3	5,5	0,5	7,25	6	2,5
30	SEMILLA	1,5	14,75	8,5	6	3	5,75	0,75	7,38	6,25	2,5
31	SEMILLA	2	15,5	9	-	3,5	6	1	7,75	6,5	2,5
32	DESCO	0,5	6	3	-	-	-	0,5	3	3	0
33	DESCO	1	6	3	-	-	-	0,5	3	3	0
34	DESCO	1,5			-	-	-				
35	DESCO	2	6	3,5	-	-	-	0,5	3	2,5	1
36	FAW -18W	0,5	7	5	-	-	-	0,5	3,5	2	3
37	FAW -18W	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	FAW -18W	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	FAW -18W	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	NINGUNO	0	17	10	-	-	-	0,5	8,5	7	3
41	SEMILLA	0,5	19	11	5,5	4	7	0,5	9,5	8	3
42	SEMILLA	1	20	11	8	4	7,5	0,5	10	9	2
43	SEMILLA	1,5	22	12,5	8	4,25	8	0,5	1	9,5	3
44	SEMILLA	2	23	13	8	4,5	8,5	0,5	11,5	10	3
45	DESCO	0,5	16	8	-	-	-	0,5	8	8	0
46	DESCO	1	14	7	-	-	-	0,5	7	7	0
47	DESCO	1,5			-	-	-				
48	DESCO	2	12	6,5	-	-	-	0,5	6	5,5	1
49	FAW -18W	0,5	21	11	-	-	-	0,5	10,5	10	1
50	FAW -18W	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	FAW -18W	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	FAW -18W	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 6. Viscosidad plástica Vs tensoactivo en lodo con Barita



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

La viscosidad aumenta progresivamente al añadir semilla al lodo, mientras que el comportamiento cambia en el FAW 18W si se usa baja o alta concentración de arcilla.

3.4 Resistencia de Geles

Entre las propiedades del lodo, una de las más importantes es la gelatinización, que simboliza una medida de las propiedades tixotrópicas de un fluido y apunta la fuerza de floculación bajo condiciones estáticas.

Equipo: Viscosímetro fann 35.

3.4.1 Procedimiento.

1. La muestra anterior, se debe mover por 10 segundos a una alta velocidad y asegurarse que permanezca sin alterar por 10 segundos. Ubicar la velocidad en 3 rpm y poner en marcha el motor. La lectura máxima es la resistencia de gel de 10 segundos(GI).

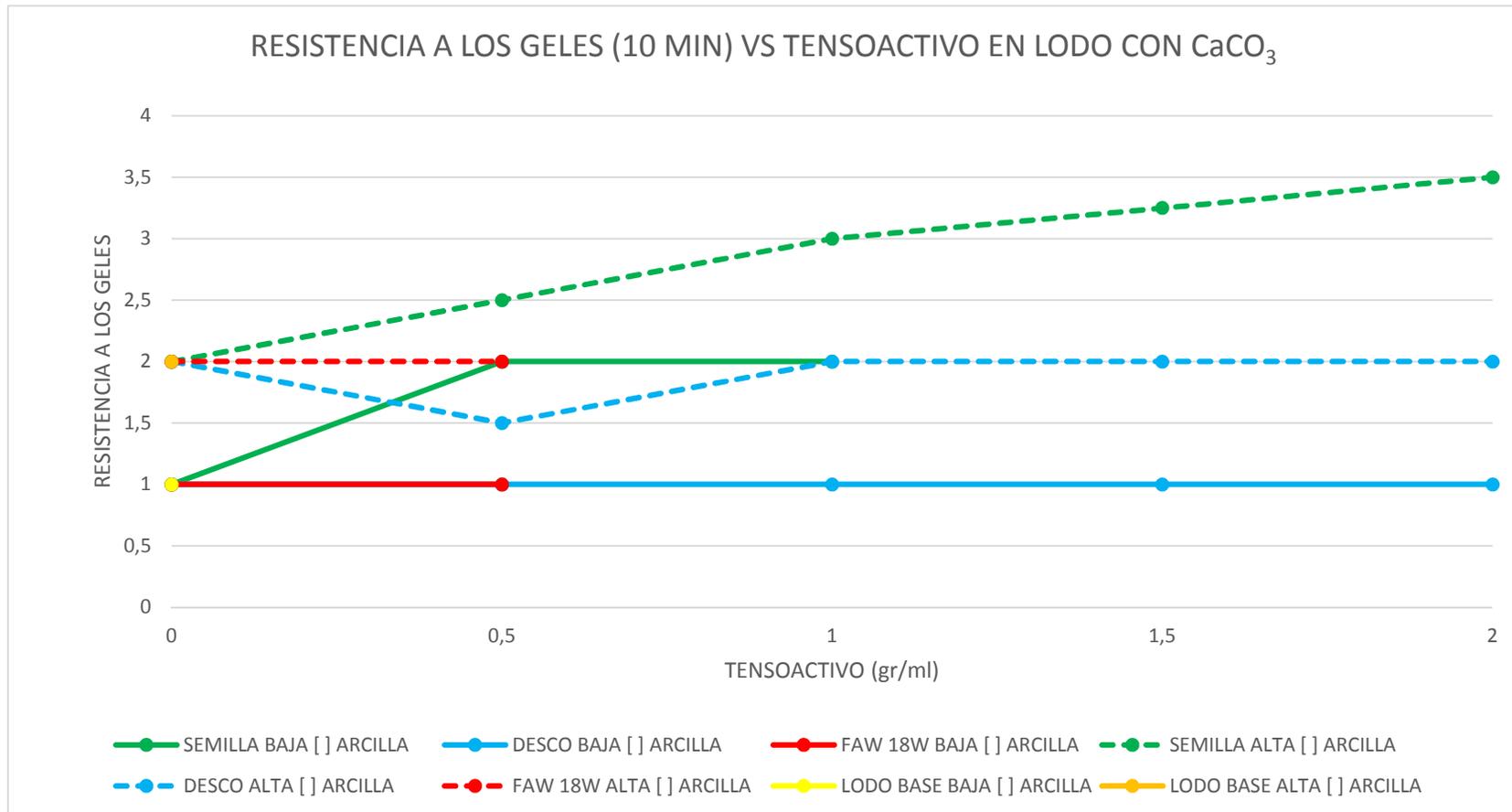
2. Nuevamente revolver la muestra por 10 segundos a más velocidad y dejar que quede quieta por 10 minutos. Poner la velocidad en 3 rpm y dejar en marcha el motor. La lectura máxima es la resistencia de gel de 10 minutos(GF).

3.4.2 Datos obtenidos.

Tabla 11. Geles del lodo con CaCO₃.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	GI	GF
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	1		NINGUNO	0	0,5	1
	2		SEMILLA	0,5	0,5	2
	3		SEMILLA	1	0,5	2
	4		SEMILLA	1,5	0,5	2
	5		SEMILLA	2	-	-
	6		DESCO	0,5	0,5	1
	7		DESCO	1	0,5	1
	8		DESCO	1,5	0,5	1
	9		DESCO	2	0,5	1
	10		FAW -18W	0,5	0,5	1
	11		FAW -18W	1	-	-
	12		FAW -18W	1,5	-	-
	13		FAW - 18W	2	-	-
LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	14		NINGUNO	0	0,5	2
	15		SEMILLA	0,5	0,5	2,5
	16		SEMILLA	1	0,5	3
	17		SEMILLA	1,5	0,5	3,25
	18		SEMILLA	2	0,5	3,5
	19		DESCO	0,5	0,5	1,5
	20		DESCO	1	0,5	2
	21		DESCO	1,5	0,5	2
	22		DESCO	2	0,5	2
	23		FAW -18W	0,5	0,5	2
	24		FAW -18W	1	-	-
	25		FAW -18W	1,5	-	-
	26		FAW -18W	2	-	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 7. Resistencia a los geles (10 Min) Vs tensoactivo en lodo con CaCO_3 

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

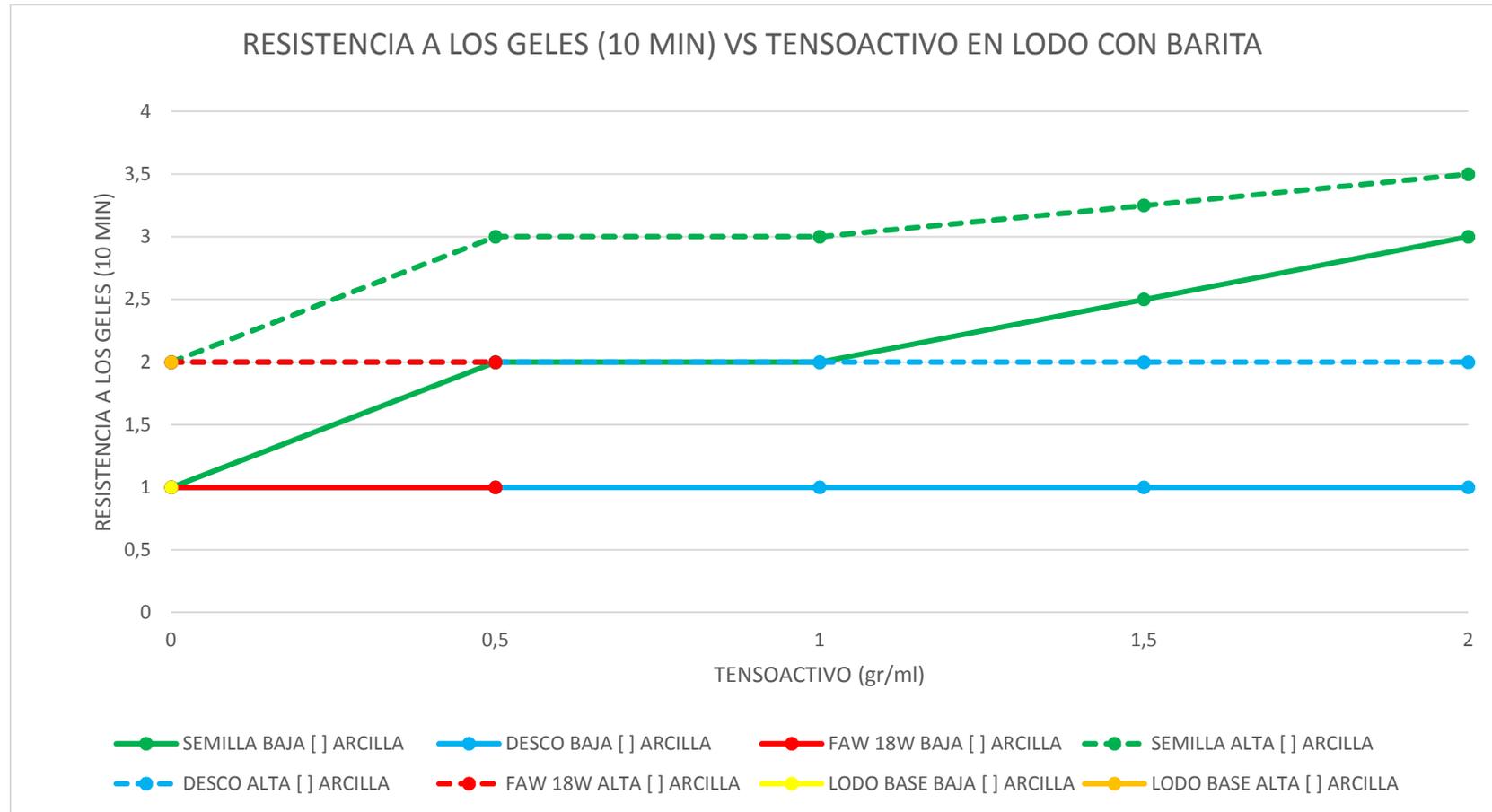
La resistencia de geles cuando se añade semilla es creciente, mientras que cuando se añade DESCO o FAW 18W permanece constante con el aumento de cantidad de tensoactivo.

Tabla 12. Geles del lodo con barita.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	GI	GF
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	27		NINGUNO	0	0,5	1
	28		SEMILLA	0,5	0,5	2
	29		SEMILLA	1	0,5	2
	30		SEMILLA	1,5	0,75	2,5
	31		SEMILLA	2	1	3
	32		DESCO	0,5	0,5	1
	33		DESCO	1	0,5	1
	34		DESCO	1,5	0,5	1
	35		DESCO	2	0,5	1
	36		FAW -18W	0,5	0,5	1
	37		FAW -18W	1	-	-
	38		FAW -18W	1,5	-	-
	39		FAW - 18W	2	-	-
LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	40		NINGUNO	0	0,5	2
	41		SEMILLA	0,5	0,5	3
	42		SEMILLA	1	0,5	3
	43		SEMILLA	1,5	0,5	3,25
	44		SEMILLA	2	0,5	3,5
	45		DESCO	0,5	0,5	2
	46		DESCO	1	0,5	2
	47		DESCO	1,5	0,5	2
	48		DESCO	2	0,5	2
	49		FAW -18W	0,5	0,5	2
	50		FAW -18W	1	-	-
	51		FAW -18W	1,5	-	-
	52		FAW -18W	2	-	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 8. Resistencia a los Geles (10 Min) Vs tensoactivo en lodo con barita



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

El comportamiento de la resistencia de geles es muy similar al añadir cualquiera de los dos densificantes.

3.5 Alcalinidad Del Lodo

La expresión pH es utilizado universalmente para comprobar si una solución es ácida o básica, es la manera de medir la concentración de iones hidronio de una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, estos valores miden el grado de acidez o basicidad de una disolución. Los valores inferiores a 7 y próximos a 0 indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad

Equipo: ácido sulfúrico 0.02 N, Fenolftaleína, Naranja de Metilo, pipeta graduada de 1 ml, pH metro (potenciómetro).

3.5.1 Procedimiento.

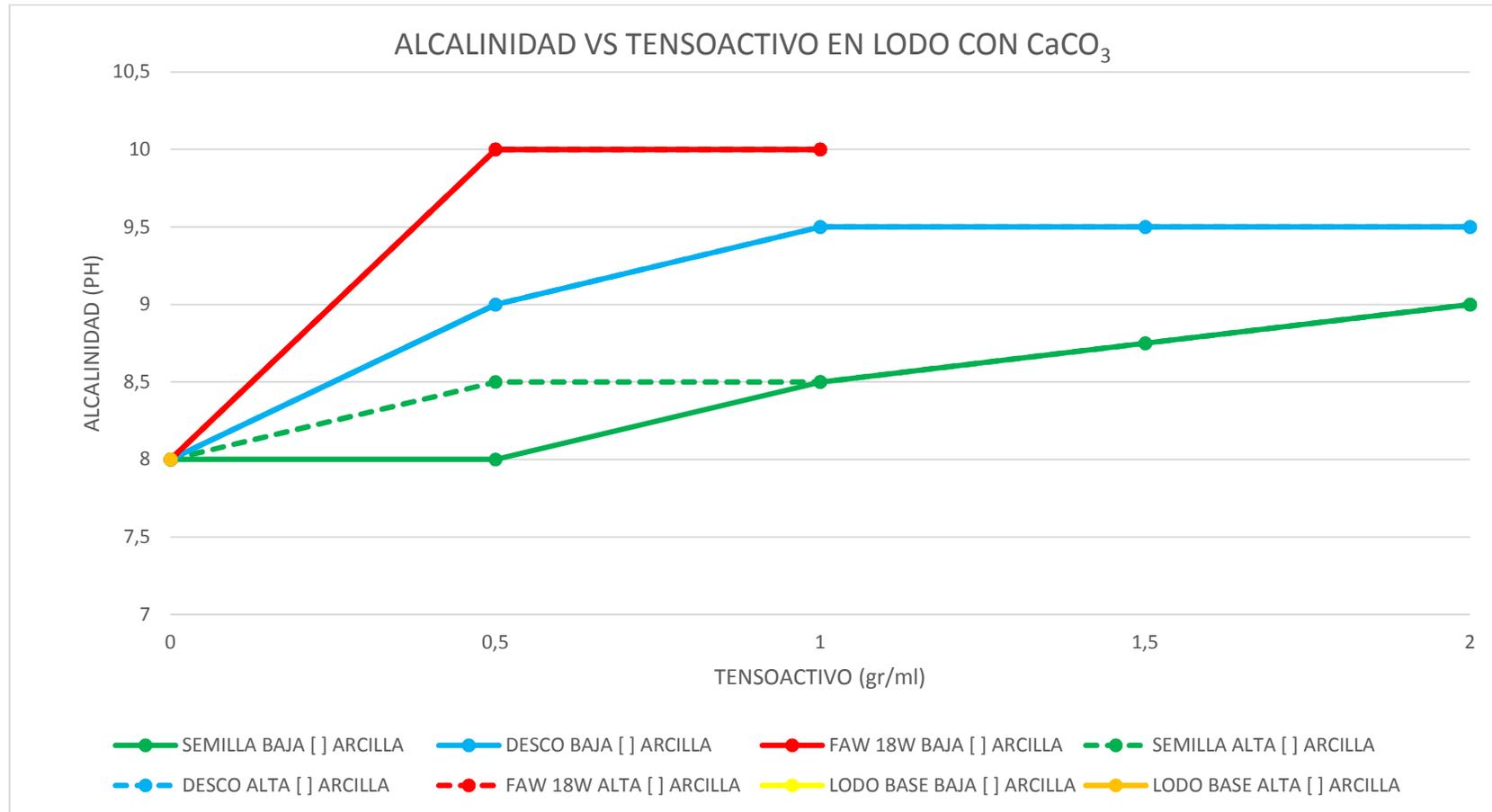
1. Utilizando la jeringa, medir 1 ml de lodo dentro del recipiente de valoración. Disolver la muestra de lodo con 25 ml de agua destilada.
2. Añadir 5 gotas de indicador de fenolftaleína, y durante la agitación, añadir ácido 0,02 N o ácido 0,1 N hasta que el color rosa desaparezca.
3. Si la muestra está tan coloreada que no se puede observar el cambio de color del indicador, el punto final será tomado cuando el pH cae a 8,3, según sea medido con electrodo de vidrio.
4. Indicar la alcalinidad de fenolftaleína del lodo, P, como número de ml de ácido 0,02 N (N/50) requeridos por ml de lodo. Si se utiliza el ácido 0,1 N, $P_m = 5 \times \text{ml de ácido 0,1 N por ml de lodo}$.

3.5.2 Resultados obtenidos.

Tabla 13. pH del lodo con CaCO₃

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	pH
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	1		NINGUNO	0	8
	2		SEMILLA	0,5	8
	3		SEMILLA	1	8,5
	4		SEMILLA	1,5	8,75
	5		SEMILLA	2	9
	6		DESCO	0,5	9
	7		DESCO	1	9,5
	8		DESCO	1,5	9,5
	9		DESCO	2	9,5
	10		FAW -18W	0,5	10
	11		FAW -18W	1	10
	12		FAW -18W	1,5	10
	13		FAW - 18W	2	10
LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	14		NINGUNO	0	8
	15		SEMILLA	0,5	8,5
	16		SEMILLA	1	8,5
	17		SEMILLA	1,5	8,75
	18		SEMILLA	2	9
	19		DESCO	0,5	9
	20		DESCO	1	9,5
	21		DESCO	1,5	9,5
	22		DESCO	2	9,5
	23		FAW -18W	0,5	10
	24		FAW -18W	1	10
	25		FAW -18W	1,5	10
	26		FAW -18W	2	10

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 9. Alcalinidad Vs tensoactivo en lodo con CaCO_3 

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

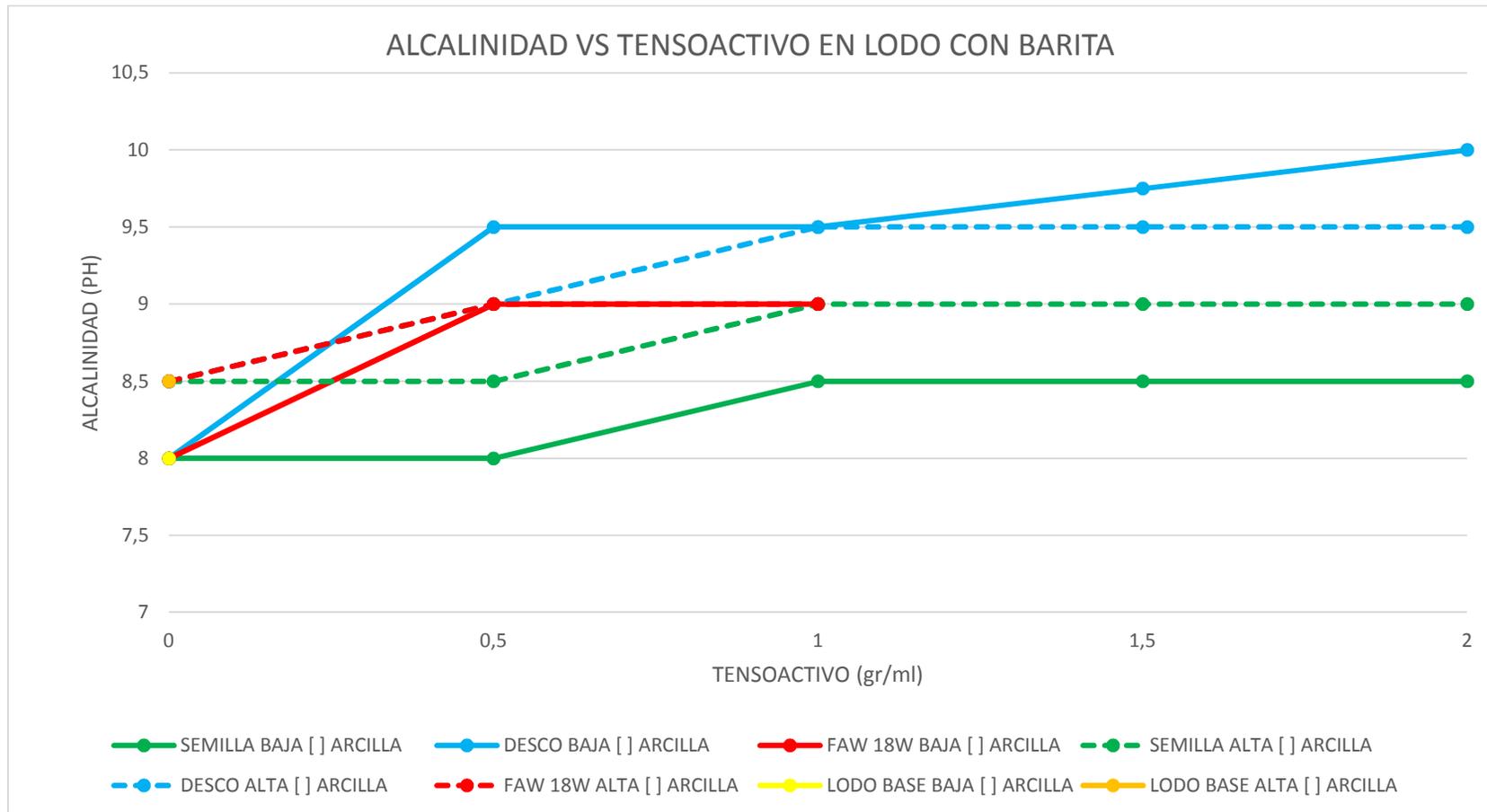
Se observa un aumento de la alcalinidad del lodo, proporcionalmente a la cantidad de semilla de *SAPINDUS SAPONARIA*. Lo anterior puede ayudar a inhibir el aumento de corrosión en las tuberías de perforación.

Tabla 14. pH del lodo con Barita.

		Lodo	Tipo de Tratamiento	Tensoactivo (gr/ml)	pH
LODO CON BAJA CONCENTRACION DE ARCILLA	27		NINGUNO	0	8
	28		SEMILLA	0,5	8
	29		SEMILLA	1	8,5
	30		SEMILLA	1,5	8,5
	31		SEMILLA	2	8,5
	32		DESCO	0,5	9,5
	33		DESCO	1	9,5
	34		DESCO	1,5	9,75
	35		DESCO	2	10
	36		FAW -18W	0,5	9
	37		FAW -18W	1	9
	38		FAW -18W	1,5	9
	39		FAW - 18W	2	9
	LODO CON ALTA CONCENTRACION DE ARCILLA	40		NINGUNO	0
41			SEMILLA	0,5	85
42			SEMILLA	1	9
43			SEMILLA	1,5	9
44			SEMILLA	2	9
45			DESCO	0,5	9
46			DESCO	1	9,5
47			DESCO	1,5	9,5
48			DESCO	2	9,5
49			FAW -18W	0,5	9
50			FAW -18W	1	9
51			FAW -18W	1,5	9
52			FAW -18W	2	9

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Gráfica 10. Alcalinidad Vs tensoactivo en lodo con Barita



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Independientemente del tipo de densificante usado, la semilla de *SAPINDUS SAPONARIA* incrementa el pH en el lodo.

4. Pruebas De Impacto Al Medio Ambiente

Estas pruebas se realizaron con el fin de establecer y comparar el impacto que puede llegar a tener un lodo de perforación base agua al adicionar la semilla de árbol de Jaboncillo en comparación con el impacto ambiental de un lodo base agua al adicionar en un ecosistema acuático un agente químico comúnmente usado, en este caso Faw -18w, teniendo como referencia un indicador biológico.

En este estudio se usan alevinos del pez tilapia perteneciente a la familia *cichlidae* debido a la facilidad de obtención y supervivencia de este pez en regiones tropicales. Se obtuvieron como datos a analizar el porcentaje de mortalidad vs concentración del lodo contaminante. Esto se hizo con el fin de determinar la LC50 o concentración letal a la que mueren el 50% de los peces de prueba ya que esta es la medida necesaria para clasificar la toxicidad de una sustancia.

4.1 Acondicionamiento Del Ambiente De Prueba

4.1.1 Acuarios.

Se decide que el número de acuarios a usar en estas pruebas son tres en total. Con el fin de mantener el nivel de oxígeno mayor a los 4 mg/L y la temperatura entre los 25° C y 32 °C se sumergen en cada uno de los acuarios un sistema de oxigenación artificial con bombas de aire, así como termostatos, ya que estos son los dos parámetros claves para la supervivencia de la tilapia roja en condiciones normales (numeral 2.3.2).

La contaminación realizada en los acuarios y la población de tilapias rojas en cada uno son presentados a continuación en la tabla:

Tabla 15. Descripción de los acuarios

DESCRIPCIÓN DE LOS ACUARIOS			
Acuario	Dimensiones (cm)	Contaminación	Población
1	40x40x40	Blanco (control)	-
2	40x40x40	Lodo Faw-18W	10
3	40x40x40	Lodo Sapindus Saponaria	10

Nota: La población del acuario 1 se conforma del total que no están sometidas a pruebas.

4.1.2 Agua.

El agua que se usó para llenar cada uno de los acuarios se recolecto de la quebrada la raya ubicada en el municipio de Palermo con el fin de que cumpla los parámetros fisicoquímicos adecuados para la supervivencia de la tilapia roja en condiciones normales. El agua fue extraída de la quebrada y se llevó hasta el laboratorio de fluidos de perforación de la universidad Surcolombiana con el fin de realizar el correspondiente llenado de los acuarios. Este proceso de extracción se realiza cada vez que sea necesario para el cambio de agua de los acuarios.

Imagen 1. Quebrada la Raya



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

4.1.3 Alevinos.

Como se mencionó anteriormente los organismos expuestos a la contaminación durante estas pruebas de impacto ambiental son alevinos (crías) de tilapia roja (familia *cichlidae*), los cuales fueron suministrados por un criadero ubicado en los alrededores del barrio Las Palmas de la ciudad de Neiva. En total fueron entregados 120 alevinos en etapa pre-cría (8 días desde su nacimiento). Con el fin de que los alevinos sufran el mínimo estrés posible debido a los cambios en su Hábitat, se procede a realizar la aclimatación de los peces en los acuarios preparados para las pruebas. Primero, se realiza la medición del pH del agua de los acuarios el cual da un valor aproximado de 8, lo que confirma que el agua es apta para la correcta supervivencia de los peces.

Luego, se introducen las bolsas con los alevinos dentro de los acuarios y se dejan allí por 15 minutos, esto se realiza con el propósito de que el agua tanto de la bolsa como de los acuarios adquiera la misma temperatura. Después del tiempo anterior se procede a abrir las bolsas para que el agua se mezcle, y finalmente, se retiran las bolsas de tal forma de que los alevinos naden hacia el acuario libremente.

Imagen 2. pH del agua proveniente de la quebrada la raya.



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Imagen 3. Aclimatación de peces.



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

4.1.4 Lodos de contaminación.

Se preparan los fluidos de perforación necesarios para las pruebas de contaminación según la formulación presentada en el numeral 3.

Como solo se dispuso de dos acuarios, los lodos seleccionados para realizar las pruebas son los #44 y #52 elegidos debido a que contienen la mayor cantidad de aditivos de los lodos estudiados, su densificante es barita, y a que además ambos aditivos son espumantes, de esta manera se puede comparar mucho más fácil sus efectos visuales sobre el ambiente de prueba.

En las siguientes imágenes se pueden observar los lodos usados en las pruebas:

Imagen 4. Lodos usados en las pruebas de impacto ambiental



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Imagen 5. Lodos usados adicionados a los acuarios.



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

4.2 Resultados De Las Pruebas De Contaminación

El objetivo principal de las pruebas de contaminación es el de alcanzar la concentración letal a la que mueren el 50% de los alevinos pasadas 96 horas (96LC50) ya que como se mostró en el numeral 2.4 esta es la medida que se necesita para clasificar la toxicidad de una sustancia.

Se decide contar con un acuario de control o acuario número 1 en donde se mantienen la cantidad total de los peces que no están sujetos a contaminación; de este acuario se sacan 10 peces para cada uno de los otros dos acuarios de contaminación.

Este mismo proceso se sigue para cada una de las contaminaciones realizadas y además, con el fin de asegurar que la prueba sea lo más parcial posible los peces sujetos a contaminación no se vuelven a seleccionar para una segunda prueba, se resuelve hacer uso de un recipiente en donde se ponen los peces que sobrevivan a las contaminaciones realizadas.

Con el propósito de visualizar el efecto de los lodos en los acuarios, se decide hacer una prueba preliminar con 3000 ppm de cada uno de los lodos seleccionados. Esta prueba se hace con el objetivo de tener una idea de la mortalidad que ocasiona a los peces los lodos a bajas concentraciones.

Para esto, se hizo necesario tomar las medidas del nivel de agua de los acuarios número 2 y 3 para así calcular la cantidad en ml necesaria de lodo para alcanzar una concentración de 3000 ppm.

Las mediciones de los acuarios se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 16. Mediciones acuario 2 y 3. Para 3000 ppm

	Acuario 2	Acuario 3
Variable	Valor	Valor
Contaminación	Faw-18W	Jaboncillo
Alevinos	10	10
Ancho(cm)	40	40
Largo(cm)	40	40
Alto/ Nivel de agua(cm)	20	20
Volumen de Agua (L)	32	32
Lodo usado(ml)	96	96

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Los resultados de las pruebas de contaminación con 3000 ppm de lodo son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 17. Resultados de contaminación con 3000 ppm.

Mortalidad (%)		
Tiempo (Hr)	Acuario 2	Acuario 3
1	0	0
2	0	0
5	0	0
8	0	0
24	0	0
48	0	0
72	0	0
96	0	0

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Como se puede observar en la tabla 17, las 3000 ppm del lodo no generan ninguna mortalidad en los alevinos después de pasadas 96 horas, por esto se decide aumentar la concentración a 22000 ppm con el fin de observar el comportamiento de los lodos a altas concentraciones, y también de esta manera poder encontrar un rango de trabajo cada vez menor, que permita encontrar la concentración adecuada. Se procede a realizar la contaminación con los dos lodos para determinar el impacto de cada uno.

Debido a que se necesita conocer el volumen de lodo necesario para alcanzar las 22000 ppm de concentración en los acuarios 2 y 3 se hace la medición correspondiente de cada uno de ellos tal como se puede observar en la tabla:

Tabla 18. Mediciones de los acuarios 2 y 3. Para 22000 ppm

	Acuario 2	Acuario 3
Variable	Valor	Valor
Contaminación	Faw-18W	Jaboncillo
Alevinos	10	10
Ancho(cm)	40	40
Largo(cm)	40	40
Alto/ Nivel de agua(cm)	15	15
Volumen de Agua (L)	24	24
Lodo usado(ml)	528	528

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

A continuación, se observan los efectos obtenidos de adicionar concentraciones altas a los cuerpos de agua estudiados:

Tabla 19. Resultados de contaminación con 22000 ppm.

Mortalidad (%)		
Tiempo (Hr)	Acuario 2	Acuario 3
1	80	0
2	100	40
5	-	80
8	-	100
24	-	-
48	-	-
72	-	-
96	-	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Imagen 6. Lodos adicionados 22000 ppm



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Imagen 7. Efectos visuales a 22000ppm



Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

En la tabla se observa que al aumento en la concentración de lodo contaminante produce un efecto devastador sobre los alevinos. Por lo tanto, se decide hacer un cambio total de agua de los acuarios y disminuir la concentración del lodo contaminante a poco menos de la mitad de la prueba anterior.

Debido a que según la tabla de clasificación de Toxicidad (numeral 2.4), para poder clasificar una sustancia en “Prácticamente no toxico” se deben superar las 10000 ppm, se usa esa concentración.

El nuevo volumen de los acuarios y los resultados de las pruebas son presentados a continuación:

Tabla 20. Mediciones de los acuarios 2 y 3. Para 10000 ppm

	Acuario 2	Acuario 3
Variable	Valor	Valor
Contaminación	Faw-18W	Jaboncillo
Alevinos	10	10
Ancho(cm)	40	40
Largo(cm)	40	40
Alto/ Nivel de agua(cm)	15	15
Volumen de Agua (L)	24	24
Lodo usado(ml)	240	240

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Tabla 21. Resultados de contaminación con 10000 ppm.

	Mortalidad (%)	
Tiempo (Hr)	Acuario 2	Acuario 3
1	0	0
2	10	0
5	30	0
8	30	0
24	50	10
48	60	10
72	60	20
96	60	20

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Si se comparan los resultados obtenidos se observa que la disminución de la concentración de lodo en los acuarios hace que algunos de los peces logren sobrevivir. Por un lado, en el acuario 2 al finalizar las 96 horas se ha muerto más del 50% de la población mientras que en el acuario 3 la mortalidad solo alcanza el 20% al finalizar la prueba.

Como el fin es comparar los resultados y además encontrar la medida de toxicidad para el fluido que usa el árbol de Jaboncillo como aditivo, se proceden a realizar solamente pruebas con el lodo #44, únicamente variando su concentración para poder encontrar su clasificación en la tabla de toxicidad (numeral 2.4). Se decide aumentar la concentración con el objetivo de alcanzar la LC50 y se hace un cambio de agua de todos los acuarios, por lo cual se hace necesario volver a medir el volumen de agua y realizar el cálculo para determinar el volumen de lodo a adicionar en cada caso. Los volúmenes nuevos de cada acuario y los resultados de la prueba se presentan en las siguientes tablas:

Tabla 22. Mediciones de los acuarios 2 y 3.

	Acuario 2	Acuario 3
Variable	Valor	Valor
Ppm	17000	15000
Alevinos	10	10
Ancho(cm)	40	40
Largo(cm)	40	40
Alto/ Nivel de agua(cm)	10	10
Volumen de Agua (L)	16	16
Lodo usado(ml)	272	240

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Tabla 23. Resultados de contaminación con 17000 ppm y 15000 ppm.

Tiempo (Hr)	Mortalidad (%)	
	Acuario 2	Acuario 3
1	0	0
2	10	0
5	60	20
8	70	30
24	100	50
48	-	80
72	-	-
96	-	-

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Se observa que la mortalidad de los peces aumenta y no se logra llegar a la totalidad de 96 horas para finalizar la prueba completamente.

Tabla 24. Mediciones de los acuarios 2 y 3.

	Acuario 2	Acuario 3
Variable	Valor	Valor
Ppm	13000	12000
Alevinos	10	10
Ancho(cm)	40	40
Largo(cm)	40	40
Alto/ Nivel de agua(cm)	10	10
Volumen de Agua (L)	16	16
Lodo usado(ml)	208	192

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Tabla 25. Resultados de contaminación con 13000 ppm y 12000 ppm.

Tiempo (Hr)	Acuario 2	Acuario 3
1	0	0
2	0	0
5	10	0
8	30	10
24	30	10
48	70	20
72	-	40
96	-	60

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Como se observa, el rango ya se ha disminuido. Se prosigue a hacer un par de pruebas finales.

Tabla 26. Mediciones de los acuarios 2 y 3. Con 10500 ppm y 11000 ppm

	Acuario 2	Acuario 3
Variable	Valor	Valor
Ppm	10500	11000
Alevinos	10	10
Ancho(cm)	40	40
Largo(cm)	40	40
Alto/ Nivel de agua(cm)	10	10
Volumen de Agua (L)	16	16
Lodo usado(ml)	168	176

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Tabla 27. Resultados de contaminación con 10500 ppm y 11000 ppm.

Tiempo (Hr)	Acuario 2	Acuario 3
1	0	0
2	0	0
5	0	10
8	0	10
24	20	30
48	20	30
72	30	40
96	30	50

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

Con esta última contaminación se logra obtener la concentración letal a la que mueren el 50% de los peces o LC50.

A continuación, se presenta la clasificación de la toxicidad de cada uno de los lodos según Hodge y Sterner:

Tabla 28. Clasificación toxicológica de los lodos según Hodge y Sterner.

SUSTANCIA CONTAMINANTE	LC50 (ppm)	CLASIFICACION DE TOXICIDAD (Hodge y Sterner)
Lodo con Faw-18w	10000 (< 24 horas)	4 (ligeramente tóxico)
Lodo con Sapindus Saponaria	11000 (96 horas)	5 (Prácticamente no-tóxico)

Fuente: S. Otálora; C. Posada; 2017

5. Análisis Económico

En la actualidad se observa como la industria de los hidrocarburos se ve afectada por un mercado de grandes variaciones en su oferta y demanda. Debido fundamentalmente a la cambiante producción de petróleo en el mundo y a las diferentes fluctuaciones que tiene el dólar diariamente. Lo anterior genera un problema adicional a la hora de adquirir diferentes aditivos usados en los diferentes procesos ya que pueden en algún momento dejar de ser viables por sus altos costos y difícil importación. Esto, aunque se puede considerar como algo negativo, puede abrir las puertas a productos nacionales que se pueden empezar a investigar y comercializar buscando una solución rápida, viable y efectiva ante las diferentes situaciones que presenta el proceso de producción de hidrocarburos en la industria colombiana.

5.1 Costos lodo DESCO

El surfactante DESCO luego de realizar investigaciones y cotizaciones se pudo hallar en un valor mínimo de \$ 52.92 dólares por cada saco de 25 libras, teniendo en cuenta que este no es un valor fijo, y depende en gran medida de la situación cambiante del mercado y las fluctuaciones que la moneda pueda tener.

5.2 Costos lodo FAW-18W

La cotización del espumante FAW-18 fue de gran dificultad, pero fue encontrado en el mercado en un valor cercano a \$ 3 dólares por cada 1000 centímetros cúbicos.

5.3 Costos lodo semilla de SAPINDUS SAPONARIA

Con el objetivo de adquirir el producto, procedente de un lugar confiable y el cual garantizara buena calidad, para llevar a cabo la investigación de forma segura, se consultó por internet en varias oportunidades y luego de un proceso investigativo se encontró que la semilla del árbol de jaboncillo era suministrada por la empresa **Green Matic** en la ciudad de Bogotá. Se contactó con el representante de dicha empresa, para obtener la muestra de la semilla y posteriormente se le hace el pedido de una libra.

Luego de realizar el pedido, transcurren tres días para la entrega del mismo. La semilla fue encontrada en un precio cercano a \$17,000 pesos colombianos aproximadamente \$6,00 dólares por cada libra.

5.4 Comparativo de Costos

Por medio de esta información se puede evidenciar que el árbol de SAPINDUS SAPONARIA es de mayor costo con respecto a los otros dos surfactantes, debido principalmente a que éste producto tiene poca comercialización y baja investigación en su uso a nivel industrial, mientras el DESCO y FAW-18 son productos generados por Multinacionales con gran potencial de distribución y fabricación a nivel industrial. A continuación, se presenta una tabla con los costos de los fluidos de perforación por cada aditivo según su concentración, en este caso se usó para todos los lodos; 15 lb/bbl de Bentonita con un precio aproximado \$350 dólares por tonelada y 10 lb/bbl de barita a un precio de \$100 dólares por tonelada.

Tabla 29. Comparativo de costos

Ítem	Tipo	Concentración (gr/ml)	Aditivo	\$ Dólares			
				Bentonita	Barita	1 Bbl	100 Bbl
1	SEMILLA	0,5	0,007	0,002	0,005	0,013	1,34
2	SEMILLA	1	0,013	0,002	0,005	0,020	2,00
3	SEMILLA	2	0,026	0,002	0,005	0,033	3,32
4	DESCO	0,5	0,002	0,002	0,005	0,009	0,91
5	DESCO	1	0,005	0,002	0,005	0,011	1,14
6	DESCO	2	0,009	0,002	0,005	0,016	1,61
7	FAW -18W	0,5	0,003	0,002	0,005	0,010	1,01
8	FAW -18W	1	0,007	0,002	0,005	0,013	1,34

6. Conclusiones

6.1 Conclusiones Reológicas

-Tanto en bajas concentraciones (Lodos 1-13 y 27-39) como en altas (Lodos 14-26 y 40-52), la semilla de SAPINDUS SAPONARIA genera que la densidad disminuya proporcionalmente a la cantidad de libras agregadas al fluido sin influencia de qué tipo de densificante sea usado.

-Simultáneamente se aumenta la concentración de semilla de SAPINDUS SAPONARIA se observa que se incrementa la viscosidad de embudo varios segundos, en algunos casos al igual que el Faw-18W no se puede realizar la prueba debido a la cantidad de espuma generada. Por el contrario, el DESCO disminuye efectivamente la viscosidad.

-Se obtienen niveles muy bajos de la resistencia de geles para los lodos a los que se adicionó semilla de SAPINDUS SAPONARIA, lo cual es un indicador de bajas fuerzas eléctricas de atracción.

-El pH aumenta en los tres tipos de lodos (Jaboncillo, DESCO, Faw-18W) al aumentar la concentración de aditivos, lo cual indica un buen efecto en esta propiedad pues disminuye la posibilidad de un ataque corrosivo a las tuberías.

-La semilla de SAPINDUS SAPONARIA no tiene grandes cambios en su viscosidad Marsh cuando se aumenta la concentración de arcilla en la preparación del lodo, sin embargo, si se incrementa considerablemente la viscosidad plástica.

-La semilla de *SAPINDUS SAPONARIA* se puede considerar un muy buen espumante, pues con una cantidad muy mínima genera una gran cantidad de espuma en el lodo de perforación.

-Según sea necesario, los efectos de la semilla del árbol de *SAPINDUS SAPONARIA* pueden llegar a ser útiles a la hora de perforar en zonas de baja presión donde se requiera trabajar con presiones menores a las del yacimiento.

-Se observa que la cantidad óptima de SEMILLA es de 1 gramo por cada barril equivalente, a partir de este punto se concluye que el comportamiento se vuelve constante o no tiene un cambio efectivo en su comportamiento reológico y se pierde la cantidad adicional añadida.

6.2 Conclusiones Ambientales

Según la tasa de mortalidad y las horas de exposición de la prueba, se observa al comparar los resultados:

- A concentraciones bajas; 3000 ppm en este caso, los lodos no generan mortalidad alguna y visualmente son muy similares.

-A concentraciones altas; 22000 ppm en este estudio, ambos lodos presentan un efecto letal en el total de la población, solamente presentándose una diferencia de 6 horas a favor del lodo que usa como aditivo el árbol de *SAPINDUS SAPONARIA*. Se observa que se crea una capa de espumas sobre la superficie del cuerpo acuático en ambos acuarios, pero mayormente en el #2.

-La diferencia radica en concentraciones intermedias en los niveles 4 y 5 de la escala de Hodge y Sterner. El lodo con agentes químicos (Faw-18W) no solo es un nivel más tóxico, que el lodo que utiliza la semilla del árbol de SAPINDUS SAPONARIA, sino que además es 90 horas más rápido para matar el 30% de la población de alevinos a la concentración de 10000 ppm.

De lo anterior se demuestra que medioambientalmente es muchísimo más conveniente usar como aditivo espumante la semilla del árbol de SAPINDUS SAPONARIA, pues en posibles derrames sería menos tóxico y además daría más tiempo para poder remediar los accidentes sin afectar el medio.

6.3 Conclusiones Económicas

-La semilla del árbol SAPINDUS SAPONARIA tiene un valor mayor en el mercado con respecto a los aditivos estudiados en este proyecto, sin embargo, al utilizar bajas concentraciones no existe una diferencia significativa.

-Las diferentes fluctuaciones del dólar y su actual alto precio, hacen que sea viable el uso de aditivos comercializados nacionalmente como puede llegar a ser la semilla de SAPINDUS SAPONARIA investigada luego de que ingrese completamente en el mercado.

-La comercialización e industrialización actual de la semilla de SAPINDUS SAPONARIA es mínima en Colombia, lo cual no la hace viable económicamente en la actualidad.

7. Recomendaciones y Sugerencias

Es recomendable además de estudiar el comportamiento reológico, en un futuro estudio llegar a investigar todas las propiedades que son encontradas en la norma API RP 13B-1.

Se sugiere realizar un estudio sobre los efectos en las propiedades de un fluido de perforación base aceite según la norma API RP 13B-2.

Se recomienda realizar en futuras investigaciones las pruebas de impacto ambiental con especies que tengan una mayor susceptibilidad a los cambios en el ambiente y además comparar con otros aditivos químicos.

Para futuros estudios, se aconseja realizar pruebas sobre cuerpos terrestres y su afectación a la flora del medioambiente.

8. Referencias Bibliográficas

- API RP 13D . (2010). *Rheology and Hydraulics of Oil well Fluids* . Upstream Segment.
- API RP 13D. (2010). *Rheology and Hydraulics of Oil well Fluids* .
- Campo Flórez, A. (2009). Fluidos divergentes como alternativa de recobro mejorado en yacimientos naturalmente fracturados. *Ciencias de la tierra*.
- Chaco. (23 de Agosto de 2016). <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html> . Obtenido de <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html> : <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html>
- Chaco. (23 de agosto de 2016). <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html> . Obtenido de <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html> : <http://arbolesdelchaco.blogspot.com.co/2016/08/palo-jabon.html>
- García Hernandez , Y. (Febrero de 2014, 37). <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/35193/1/garciahernandezyasser.pdf>. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/35193/1/garciahernandezyasser.pdf>: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/35193/1/garciahernandezyasser.pdf>
- https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:World_energy_consumption_by_fuel.svg&lang=es. (25 de Junio de 2014). Obtenido de https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:World_energy_consumption_by_fuel.svg&lang=es: https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:World_energy_consumption_by_fuel.svg&lang=es
- Mahecha , G., & Echeverry. (1983, 208p). Arboles del Valle del Cauca. *Corporación Financiera*, 127 -220.

NICOVITA. (2015, 4 - 17p).

<http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>. Obtenido de

<http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>:

<http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>

Norsa S., C. (2016). Punto Cedente o Yield Point.

Norsa S., C. (2016). Resistencia de geles.

PDVSA. (2002, 4p). Fluidos de perforación . *PDVSA*.

PDVSA. (2002, 4p). Fluidos de perforación, 1a Versión . 4.

Recurso Nacional Canadiense de seguridad y salud ocupacional. (s.f.).

<http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html>. Obtenido de

<http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html>:

<http://www.ccsso.ca/oshanswers/chemicals/ld50.html>

wikipedia. (2016). <https://es.wikipedia.org/wiki/alev%C3%ADn>. Obtenido de

<https://es.wikipedia.org/wiki/alev%C3%ADn>:

<https://es.wikipedia.org/wiki/alev%C3%ADn>

Zabala , A. (2011). Manual de fluidos de perforación . *Revista organizacional Qmax Colombia*.

Zabala , A. (julio de 2014). Manual de fluidos de perforación. Qmax Colombia. Cota, Colombia.

Zavala, A. (Noviembre de 2011). Manual de fluidos de perforación. *Curso de fluidos de perforación*. Cota, Cundinamarca, Colombia.

Polonia, L, & Vargas Castellanos, J. (1992) Efectos de la Sábila en las propiedades de los lodos de perforación base agua (tesis de pregrado). Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.

Valbuena Villareal, F, & Rivera Narváez, L. Efectos del zumo de fique sobre las propiedades reológicas en los lodos de perforación base agua (tesis de pregrado). Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.

Gaona Osorio, O, & Polonia, E. Utilización de la glicerina como aditivo biodegradable en lodo base agua (tesis de pregrado). Universidad Surcolombiana, Neiva, Colombia.

Barraza, V, & Cogollo Alvarado, K. (2010) Impacto ambiental sobre el cuerpo de agua del Chorro Tubará - Atlántico.

Oilfield Review, Volumen 25, Fundamentos de los fluidos de perforación.

Manual de fluidos de procedimientos de Análisis y Preparación de fluidos de la compañía QMAX S.A. de C.V.

Miller, Jeffrey /2007), Biodegradable Surfactants Aid the Development of Environmentally Acceptable Drilling-Fluid Additives, SPE.

<http://www.milagrosurbanos.com/blog/jaboncillo-el-verdadero-jabon-ecologico>

<https://es.scribd.com/doc/28404302/Aditivos-Para-Lodos-de-PerforaciOn>

https://es.wikipedia.org/wiki/Sapindus_saponaria

http://www.wildflower.org/plants/result.php?id_plant=SASAD

<https://prezi.com/zn1thcpzoo3t/detergente-biodegradable-a-base-de-sapindus-saponaria/>