

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL
MUCÍLAGO DE FIQUE COMO DISPERSANTE
BIODEGRADABLE EN LODOS DE PERFORACIÓN**

**JHINS LEDYS CÁRDENAS PARDO
GREIS NATALY CHAUSTRE GALLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2009

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL
MUCÍLAGO DE FIQUE COMO DISPERSANTE
BIODEGRADABLE EN LODOS DE PERFORACIÓN**

**JHINS LEDYS CÁRDENAS PARDO
GREIS NATALY CHAUSTRE GALLO**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero de Petróleos**

Director

**M. Sc. EMILIANO ARIZA LEÓN
Ingeniero de Petróleos**

Co-Director

**SERGIO OROZCO OROZCO
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2009

¡Un sueño hecho realidad!

El haber podido cursar una carrera profesional, es uno de los logros más grandes que he podido tener en mi vida. Pero este camino no lo hubiera podido recorrer sin la bendición y la sabiduría que DIOS me ha brindado. A Él, toda mi gratitud por haberme permitido vivir y poder compartir todos mis triunfos y momentos difíciles con los seres que más AMO en mi vida.

Graciélita, la madre más hermosa del mundo (junto con mi esposa), gracias por darme la vida y por habernos dado a mis hermanos y a mí todo el amor y protección que sólo una madre puede y sabe dar.

A Gregorito, mi hermano, mi amigo, mi ejemplo, MI PADRE, te doy las gracias por haber confiado en mí y por estar conmigo en este proceso tan importante para mi vida. Nada de esto hubiera sido posible sin tu apoyo. Le pido a DIOS Todopoderoso que te bendiga y que te brinde una vida plena, llena de amor y felicidad. Esto también va dedicado a mis sobrinos Laura Valentina, Juan José y Wendy Tatiana.

Dedicado especialmente para Amparito.... Mi Amparito, gracias por haber llegado a mi vida y darme todo tu amor y compañía, eres lo mejor que me ha podido pasar, tu eres la mujer perfecta, aquella con la cual pude contar en las buenas y en las no tan buenas, aquella mujer que me guió cuando el camino estaba oscuro, que me dio aliento cuando sentí que las cosas no mejoraban. Contigo encontré el verdadero significado de la Felicidad. Tu y nuestros hermosos hijos Nicolás y Sebastián son las personas que me animan a salir adelante, a ser una mejor persona.... A ser alguien en la vida. También para Níco y Sebitas va dedicado este esfuerzo.

A mis amigos de la universidad, personas que desinteresadamente me brindaron buenos ratos y con los cuales compartimos momentos de estudio y también momentos de parranda. A todos gracias.

A mis compañeros, Rafael Jaramillo, Luis Badillo y Oscar Rey.... gracias.... TOTALES, por haberme brindado su amistad y por haber tenido el honor de ser miembro del grupo AlQeda. Gracias por haberme animado en los momentos difíciles y por haberme hecho sentir bien cuando las cosas iban saliendo mejor.

Al Ing. Emiliano Ariza León, pues gracias a su curiosidad investigativa fue posible la realización de este proyecto.

Jhins Ledys

Al Padre Celestial y a su infinito amor que nos permite estar en este mundo y compartir con personas como ustedes...

A mi Papá y mi Mamá que Siempre han estado conmigo impulsándome a ser cada día mejor, y han sido la inspiración para alcanzar mis metas.

A toda mi familia, a mis amigos y en especial a ti Mario A. Beltrán por tu amor...Te adoro muchísimo.

A todos aquellos seres queridos que aunque ya partieron de este mundo, me dejaron grandes enseñanzas y ahora comparten conmigo este triunfo....Gracias Don Urbano y Don Mario...

Nataly.

AGRADECIMIENTOS

Los Autores expresamos nuestros agradecimientos a:

Ing. Emiliano Ariza León, quien desde el comienzo de la realización de la investigación, estuvo presente dándonos apoyo, guiándonos con sus valiosos aportes y muy buenos consejos. También por permitirnos elaborar este tipo de investigaciones que tienen un valor agregado y es el poder contribuir con proyectos de interés que proporcionan avances científicos a nuestro país.

Ing. Jaime Loza, por sus sugerencias y comentarios durante el avance del proyecto, pues nos permitió tener más claridad en cuanto a la elaboración de las pruebas del laboratorio.

A la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, especialmente a las personas encargadas del Laboratorio de Operaciones Unitarias, Eduardo y Wilson, por facilitarnos el uso sus instalaciones.

A la escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, por permitirnos utilizar el Laboratorio de Lodos y Cementos, especialmente a Alex, por compartir con nosotros su experiencia y brindarnos su colaboración en el uso del laboratorio, como también en el préstamo de equipos e instrumentos.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
INTRODUCCIÓN.....	1
1. COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS COMO VISCOSIFICANTES EN LODOS DE PERFORACIÓN.....	3
1.1 TIPOS DE ARCILLAS	3
1.1.1 Mica (Illita).....	4
1.1.2 Mica (Illita).....	4
1.1.3 Montmorillonita.....	7
1.1.4 Clorita	10
1.2 COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS.....	14
1.2.1 Intercambio Iónico de las Arcillas.....	14
1.3 TIPOS DE ASOCIACIÓN DE LAS ARCILLAS.....	17
1.3.1 Agregación.....	18
1.3.2 Dispersión.....	19
1.3.3 Floculación.....	19
1.3.4 Defloculación.....	20
1.4 CONDICIONES DE EQUILIBRIO ENTRE LA BENTONITA Y EL AGUA.....	20
1.4.1 Sistema Dispersado-Defloculado.....	21
1.4.2 Sistema Dispersado-Floculado.....	22
1.4.3 Sistema Agregado-Floculado.....	23
1.4.4 Sistema Agregado-Defloculado.....	24
1.4.5 Sistema Defloculado-Dispersado.....	24
1.5 RENDIMIENTO DE LAS ARCILLAS	25
2. CONTAMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN ...	28
2.1 TIPOS DE CONTAMINANTES Y EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL LODO.....	28
2.1.1 Contaminación con Anhidrita (CaSO_4) o Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).....	29
2.1.2 Contaminación con Cemento (Silicato complejo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$).....	31
2.1.3 Contaminación con Sales.....	35
2.1.4 Contaminación con Cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).....	42
2.1.5 Contaminación con Sólidos de Perforación.....	43
2.1.6 Contaminación con Carbonatos y Bicarbonatos.....	44
2.1.7 Contaminación Con Gases.....	45
2.2 TRATAMIENTO DE LODOS CONTAMINADOS	47

2.2.1	Tratamiento y Conversión en Lodos Contaminados con Anhidrita o Yeso.	47
2.2.2	Tratamiento en Lodos Contaminados con Cemento	51
2.2.3	Tratamiento en Lodos Contaminados con Sales	54
2.2.4	Tratamiento en Lodos Contaminados con Cal	54
2.2.6	Tratamiento en Lodos Contaminados con Carbonatos y Bicarbonatos	57
2.2.7	Tratamiento de Lodos Contaminados con Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	58
3	TEORÍA SOBRE EL PROCESO DE DISPERSIÓN	62
3.1	FÍSICO-QUÍMICA DE LA DISPERSIÓN	62
3.1.1	Etapas del Proceso de Dispersión	62
3.1.2	Fuerzas Existentes entre Partículas	63
3.1.3	Mecanismos Defloculantes	67
3.1.4	Mecanismos de Floculación	69
3.1.5	Control de la Viscosidad	71
3.2	TIPOS DE DISPERSANTES	74
3.2.1	Taninos	74
3.2.2	Lignitos	75
3.2.3	Fosfatos	76
3.2.4	Lignosulfonatos	77
3.3	CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS DISPERSANTES	79
3.3.1	En la Industria Petrolera	79
3.3.2	En la Industria Textil	83
3.3.3	En la Industria Farmacéutica	84
3.3.4	En la Industria de los Cosméticos	84
3.3.5	En la Industria de las Pinturas	85
3.4	LA FUNCIÓN DE LOS DISPERSANTES EN LOS LODOS DE PERFORACIÓN	86
3.5	PRUEBAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LOS DISPERSANTES	87
3.5.1	Propiedades Reológicas	87
3.5.2	Filtración API Estándar	91
3.5.3	Filtración a Alta Presión y Alta Temperatura (HPHT)	92
3.5.4	Determinación del Ion Hidrogeno (pH)	93
3.5.5	Análisis del Filtrado	95
4.	FACTIBILIDAD DEL USO DEL MUCÍLAGO DE FIQUE COMO DISPERSANTE BIODEGRADABLE EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA	96
4.1	GENERALIDADES DEL FIQUE	96
4.1.1	Características	99
4.1.1.3	Enfermedades y Plagas	112
4.1.2	Usos	115
4.1.3	Rendimiento y Producción en Colombia	116
4.1.4	Proceso Productivo del Fique	117

4.1.5 <i>Antecedentes en Investigación sobre el Uso del Mucílago de Fique</i>	119
4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	120
4.2.1 <i>Identificación y Definición de Variables</i>	121
4.2.2 <i>Diseño de Pruebas</i>	122
4.3 RECOLECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL ZUMO DE FIQUE	128
4.3.1 <i>Obtención del mucílago de fique</i>	129
4.4 PRUEBAS PRELIMINARES	133
4.4.1 <i>Prueba de Compatibilidad FASE I</i>	133
4.4.2 <i>Prueba de Degradación y Preservación del Mucilago FASE I</i>	147
4.5 PRUEBAS PRELIMINARES CONTAMINACIÓN DEL LODO BASE CON ARCILLA NATURAL Y TRATAMIENTO CON DISPERSANTES FASE II.....	151
4.6 PRUEBAS DE CONTAMINACIÓN Y TRATAMIENTO CON DISPERSANTES Y MUCILAGO DE FIQUE FASE III	155
4.6.1 <i>En Lodo Base</i>	155
4.6.2 <i>En lodos Contaminados</i>	155
4.7 PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL USO DEL MUCÍLAGO DE FIQUE COMO DISPERSANTE EN LODOS BASE AGUA	189
4.8 ANÁLISIS Y VALORACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA	199
4.8.1 <i>Aspecto Ambiental</i>	199
4.8.2 <i>Aspecto Económico</i>	200
5. CONCLUSIONES	204
6. RECOMENDACIONES	206
7. BIBLIOGRAFÍA	208

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la Caolinita	4
Figura 2. Fotografía Microscópica de la Caolinita	4
Figura 3. Estructura de la Illita	5
Figura 4. Fotografía Microscópica de la Illita.....	6
Figura 5. Estructura de la Montmorillonita.....	8
Figura 6. Fotografía Microscópica de la Montmorillonita.....	8
Figura 7. Estructura de la Clorita.....	11
Figura 8. Fotografía Microscópica de la Clorita.....	12
Figura 9. Estructura de la Atapulguita	12
Figura 10. Fotomicrografía de partículas de Atapulguita.....	13
Figura 11. Tipos de Asociación de las Arcillas	18
Figura 12. Efecto del Cloruro de Sodio en la Bentonita	23
Figura 13. Condiciones de los Cuatro Estados de la Bentonita	25
Figura 14. Rendimiento de las Arcillas	26
Figura 15. Máxima Adición de Agente para Descontaminar el Calcio	53
Figura 16. Efecto de Atracción Superficial y Difusión de Iones.....	65
Figura 17. Efecto del Floculante y Defloculante en las Arcillas.....	68
Figura 18. Efecto de los Cationes Polivalentes.....	70
Figura 19. Composición y Efecto de los Surfactantes.....	81
Figura 20. Efecto de Estabilización de los Surfactantes	82
Figura 21. Dispersión-Emulsificación de Hidrocarburo en Agua: sin y con Dispersante.....	83
Figura 22. Variedad <i>Furcraea Bedinghausii</i>	100
Figura 23. Variedad <i>Furcraea Macrophylla</i> y Borde de la Hoja de Fique.....	102
Figura 24. Tunosa Común (<i>Furcraea gigantea</i>)	104
Figura 25. Uña de águila (<i>Furcraea Macrophylla</i>).....	105
Figura 26. Ceniza (<i>Furcraea cabuya</i>).....	106
Figura 27. Cultivo del Fique	118
Figura 28. Esquema del Proceso Productivo del Fique	119

Figura 29. Hojas de Fique	129
Figura 30. Hojas Cortadas	129
Figura 31 y Figura 32. Corte de las Espinas y Corte Longitudinal	130
Figura 33. Cortes Realizados a la Hoja de Fique para Facilitar el Proceso de Prensado en la Maquina Berstor AF.....	130
Figura 34. Secado de las Hojas de Fique	131
Figura 35 y Figura 36. Prensadora Berstor AF (Lab. Ing Química – UIS, 2008).	131
Figura 37 y Figura 38. Extracción del Mucílago de Fique con la Prensadora.	132
Figura 39 y Figura 40. Mucílago de Fique Colado y Embotellado.....	133
Figura 41. Muestras de la Prueba de Compatibilidad	134
Figura 42 y Figura 43. Muestra 1. Mucílago de Fique y Toma de pH.	135
Figura 44 y Figura 45. Muestra 2. Mucílago de Fique (50 ml) + Bentonita (10 gr) y Toma de pH.	135
Figura 46. Muestra 3. Mucílago de Fique (50 ml) + Aquagel (10 gr).....	136
Figura 47. Muestra 4. Mucílago de Fique (50 ml) + Arcilla Natural (3 gr)	136
Figura 48. Muestra 5. Mucílago de Fique (50 ml) + NaOH (0,5 gr).....	137
Figura 49. Muestra 6. Mucílago de Fique (50 ml) + Estearato de Aluminio (0,1 gr).....	137
Figura 50. Muestra 7. Mucílago de Fique (50 ml) + Drispac (1 gr).....	137
Figura 51. Muestra 8. Mucílago de Fique (50 ml) + Pac-R (1 gr).....	138
Figura 52. Muestras de Mucílago de Fique con Aldacide (frasco grande) y sin Aldacide (frasco pequeño) al momento de la Adición del Aldacide G.....	148
Figura 53 y Figura 54. Muestra de Mucílago de Fique con Aldacide G 10 días después de la mezcla.	149
Figura 55. Costra en la Muestra de Mucílago de Fique con Biocida.....	150
Figura 56. Apariencia de la Costra en la Muestra de Mucílago de Fique....	150

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Radios Iónicos Antes y Después de la Hidratación.....	7
Tabla 2. Áreas Superficiales de Muestras de Arcillas Determinadas por Adsorción de Nitrógeno y Vapor de Agua.	10
Tabla 3. Reconocimiento de Contaminación y Tratamiento de Lodos.....	60
Tabla 4. Primeros Adelgazantes y Dispersantes Comerciales usados en Fluidos de Perforación.	69
Tabla 5. Factores que Afectan la Viscosidad	73
Tabla 6. Rangos Recomendados de pH para Varios Tipos de Lodos.	94
Tabla 7. Superficie Cosechada, Producción y Rendimiento en Fique, por Departamento. Años Agrícolas 1992-2002.2.	98
Tabla 8. Botánica Taxonómica del Fique	100
Tabla 9. Características de la Variedad Tunosa Común.....	104
Tabla 10. Características de la Variedad Uña de Águila.....	105
Tabla 11. Características de la Variedad Ceniza	106
Tabla 12. Características de la Variedad Bordo de Oro.....	107
Tabla 13. Características de la Variedad Rabo de Chucha.	108
Tabla 14. Composición Química de la Hoja de Fique	109
Tabla 15. Estructura Física de la Hoja de Fique	110
Tabla 16. Composición Mineralógica del Fique.....	112
Tabla 17. Enfermedades.	113
Tabla 18. Plagas.	114
Tabla 19. Identificación y Definición de Variables.....	121
Tabla 20. Formularios para la Anotación de los Resultados de la Fase I	122
Tabla 21. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase II	123
Tabla 22. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase III	126
Tabla 23. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase IV....	127
Tabla 24. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase V.....	128

Tabla 25. Relación de las Muestras Analizadas en la Prueba de Compatibilidad.....	134
Tabla 26. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Nov.-10/2008.....	139
Tabla 27. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Nov.-11/2008.....	140
Tabla 28. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Nov.-19/2008.....	141
Tabla 29. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-03/2008.....	142
Tabla 30. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-09/2008.....	143
Tabla 31. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-15/2008.....	144
Tabla 32. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-18/2008.....	145
Tabla 33. Conclusiones Prueba de Compatibilidad. Dic.-18/2008	146
Tabla 34. Datos del Lodo Base	151
Tabla 35. Resultados de la Contaminación con 10 lpb de Arcilla Natural y Tratamiento con dispersantes	152
Tabla 36. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de Cal y Tratamiento con dispersantes	156
Tabla 37. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de Cal, Tratamiento con Bicarbonato de Sodio y Dispersantes.	159
Tabla 38. Resultados de la Contaminación con 4 lpb de Cal y Tratamiento con dispersantes.....	162
Tabla 39. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de Yeso y Tratamiento con Dispersantes.....	165
Tabla 40. Resultados de la Contaminación con 6 lpb de Yeso y Tratamiento con Dispersantes.....	168
Tabla 41. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de CaCl_2 y Tratamiento con Dispersantes.....	171
Tabla 42. Resultados de la Contaminación con 6 lpb de CaCl_2 y Tratamiento con dispersantes.	174
Tabla 43. Resultados de la Contaminación con 8 lpb de NaCl y Tratamiento con Dispersantes.....	177
Tabla 44. Resultados de la Contaminación con 30 lpb de NaCl y Tratamiento con Dispersantes.....	180

Tabla 45. Resultados de la Contaminación con 125 lpb de NaCl y Tratamiento con Dispersantes.....	183
Tabla 46. Resultados de la Contaminación con 6 lpb de Arcilla Natural y Tratamiento con Dispersantes.....	186
Tabla 47. Dosificaciones para la prueba de Optimización.	189
Tabla 48. Propiedades del lodo base.....	190
Tabla 49. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 0.8 lpb de Cal	191
Tabla 50. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 0.8 lpb de Yeso	192
Tabla 51. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 0.8 lpb de CaCl ₂	193
Tabla 52. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 8 lpb de NaCl.....	194
Tabla 53. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 30 lpb de NaCl.....	195
Tabla 54. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 125 lpb de NaCl.....	196
Tabla 55. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con de Arcilla Natural.	197
Tabla 56. Costos para producir 1 litro de mucílago.....	200
Tabla 57. Producción de plantas, hojas y mucílago en 1 hectárea	201
Tabla 58. Datos Económicos Iniciales para la Producción de Mucílago.	202
Tabla 59. Costos, Ingresos y Flujo Neto de Caja (fnc) Anual para la Producción de Mucílago de Fique.....	202
Tabla 60. Cálculo del TIR para la producción de mucílago de fique a 10 años.	203

RESUMEN

TITULO:

ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DE MUCÍLAGO DE FIQUE COMO DISPERSANTE BIODEGRADABLE EN LODOS DE PERFORACIÓN *

AUTORES:

Jhins Ledys Cárdenas Pardo.

Greis Nataly Chaustre Gallo. **

PALABRAS CLAVES:

Arcillas como Viscosificantes, Contaminación y Tratamiento de Lodos de Perforación, Físicoquímica de la Dispersión, Mucílago de Fique, Prueba de Compatibilidad, Prueba de Degradación, Prueba de Preservación, Pruebas de Factibilidad del Mucílago de Fique como Dispersante, Análisis Ambiental, Análisis Económico.

DESCRIPCIÓN:

En la formulación de lodos base agua se utiliza gran cantidad de aditivos químicos los cuales son muy perjudiciales para el medio ambiente. Por esta razón, la investigación para el uso de nuevos productos de origen biodegradable en lodos de perforación se hace más creciente, con el fin de poder aprovechar aquellos productos que en la actualidad no tienen ningún uso y son considerados como desechos. Este es el caso del Mucilago de Fique, pues del 96% que queda de la producción de la planta de fique, el 70% está representado por el extracto, el cual es conocido como el Mucílago de Fique, el cual contiene aditivos que son utilizados en lodos de perforación como es el caso de la Lignina.

El capítulo 1 describe las arcillas que intervienen en los procesos de perforación. El Capitulo 2, hace una descripción de la contaminación y tratamiento en los lodos de perforación. El Capitulo 3, contiene información concerniente con la teoría de la dispersión. El Capitulo 4, describe la planta de fique, el diseño experimental, la elaboración y resultados de las pruebas y además los análisis ambiental y económico.

En los resultados de las pruebas preliminares, se pudo determinar que el Mucílago de Fique puede ser utilizado como dispersante en lodos de perforación base agua. En las pruebas de optimización se verificaron las dosificaciones dependiendo de la concentración y tipo de contaminante.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ciencias Físico-Químicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Ing. Emiliano Ariza León. Ing. Sergio Orozco Orozco.

SUMMARY

TITLE:

STUDY OF THE FEASIBILITY OF THE USE OF FIQUE MUCILAGE AS DISPERSANTS BIODEGRADABLE IN DRILLING MUDDS *

AUTHORS:

Jhins Ledys Cárdenas Pardo.
Greis Nataly Chaustre Gallo.**

KEY WORDS:

Clays as Viscosificants, Contamination and Treatment of Drilling Muds, Physicochemical of the Dispersion, Fique Mucilage, Compatibility Test, Degradation Test, Preservation Test, Feasibility of the Use Fique Mucilage as Dispersant Test, Environmental Analysis, Economic Analysis.

DESCRIPTION:

In the formulation of water-based muds it uses great quantity of chemical additives which are very prejudicial for the environment. For this reason, the investigation for the use of new products of biodegradable origin in perforation muds becomes more growing, with the purpose of being able to take advantage of those products that at the present time they don't have any use and they are considered as waste. This is the case of the mucilage of Fique because the remaining 96% of the output of the plant fique, 70% is represented by the extract, which is known as the mucilage of Fique, which contains additives that are used in drilling muds such as lignin.

The chapter 1 describes the clays that intervene in the processes of perforation. The chapter 2, it's makes a description of the contamination and treatment in the perforation muds. The chapter 3, it contains concerning information with the theory of the dispersion. The chapter 4, it describes the fique plant, the experimental design, the elaboration and results of the tests and also the environmental and economic analyses.

In the results of preliminary tests, it was determined that the mucilage of Fique can be used as a dispersant in water based drilling muds. In tests of optimization were verified dosages depending on the concentration and type of contaminant.

* Degree Work.

** Physical-Chemical Sciences Faculty, Petroleum Engineering, Eng. Emiliano Ariza León. Eng. Sergio Orozco Orozco.

INTRODUCCIÓN

La selección del tipo del fluido de perforación y de sus propiedades se deben realizar teniendo en cuenta los objetivos básicos que incurren en la perforación, como son: Perforar y completar adecuadamente los pozos a un mínimo costo, facilitar la adquisición eficiente de todos los datos necesarios para propósitos de evaluación.

Debido a esto es necesario incurrir en estudios e investigaciones de nuevos productos que suplan las necesidades de la industria petrolera y ofrezcan al medio ambiente mejores alternativas para la preservación de los recursos naturales tratando siempre de generar el menor daño, y claro está, la reducción de gastos para el consumidor.

Adicionalmente, la decisión de estudiar la posibilidad de utilizar el mucílago de fique como aditivo dispersante en los lodos de perforación, esta también influenciada por la necesidad creciente a nivel mundial de buscar nuevas alternativas de aplicación de nuevas sustancias que permitan mejorar los procesos en la industria de los hidrocarburos.

Lo que hace de este trabajo de grado una herramienta importante para el crecimiento académico y científico de esta área de la investigación, es crear inquietud que servirá para los futuros proyectos de nuestra Alma Mater y también de consulta de documentación que describa las pruebas realizadas experimentalmente para la selección de los aditivos innovadores.

El propósito de realizar este proyecto es ejecutar un estudio a nivel de laboratorio que permita comprobar la factibilidad de utilizar el mucílago de fique como dispersante en lodos de perforación y posteriormente realizar un análisis económico de la rentabilidad para la obtención de mucílago de fique. Así como la elaboración de un paralelo de las ventajas y desventajas que tiene el uso del mucílago de fique como aditivo en los lodos de perforación, con respecto a los aditivos tradicionales.

En segundo plano se dan a conocer características muy puntuales de la planta de fique cultivada en Colombia y en otros países, destacando aspectos importantes como su cultivo, producción y usos. Siendo esto base para la formulación de nuevas propuestas a nivel económico y científico que permitan fortalecer y crecer el cultivo y producción del fique.

1. COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS COMO VISCOSIFICANTES EN LODOS DE PERFORACIÓN

Las arcillas son materiales plásticos, generalmente de grano muy fino, de naturaleza coloidal. En su estructura los granos tienen forma de plaquetas y en ellas se encuentran comúnmente átomos de silicio, aluminio, magnesio, hidrógeno y oxígeno.

La diferente disposición de estos átomos en la molécula y la presencia de pequeñas cantidades de sodio, calcio y otros cationes explican la amplia variedad de arcillas conocidas. Algunas arcillas, en particular las montmorillonitas, atraen y retienen moléculas de agua; estas arcillas se llaman hidrofílicas; las arcillas que no atraen el agua se llaman hidrofóbicas.

Ciertos minerales arcillosos tales como la Esmeclita, uno de los principales componentes de la bentonita, son usados para proporcionar viscosidad, estructura de gel y control de filtrado.

1.1 TIPOS DE ARCILLAS

Los minerales arcillosos se describen mediante una gran variedad de nombres, pero una de las clasificaciones más importantes en la tecnología de lodos de perforación hace referencia a los tipos de arcillas hinchables y las no hinchables.

1.1.1 Caolinita.

Está compuesta por una capa tetraédrica y una placa octaédrica de iones de aluminio. Un esquema de su estructura se presenta en la Figura 1. Las cargas dentro de la estructura están balanceadas y hay pocas sustituciones de iones. Un fuerte enlace de hidrógeno une dos

capas sucesivas de unidades básicas, por lo que no puede ocurrir ningún hinchamiento. Los cristales naturales consisten de aproximadamente 100 capas agrupadas una sobre la otra. La Figura 2 es una fotografía microscópica de la Caolinita tomada a 3500 veces.

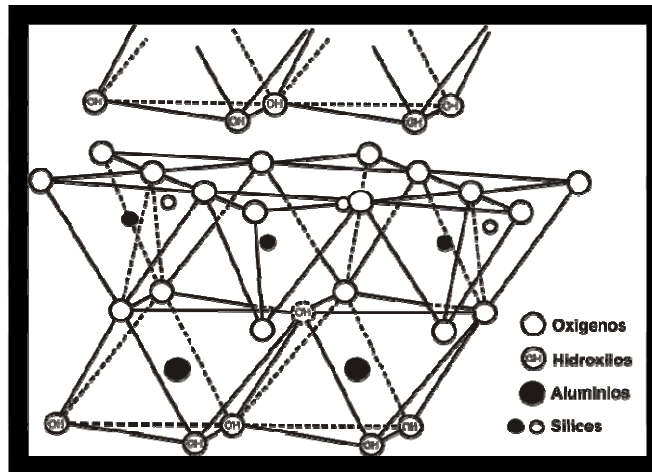


Figura 1. Estructura de la Caolinita
Fuente: Milchem. Clay Chemistry

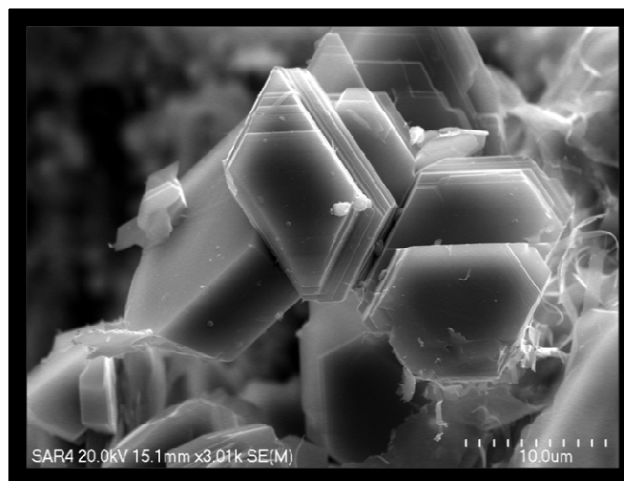


Figura 2. Fotografía Microscópica de la Caolinita.
Fuente: The Mineralogical Society

1.1.2 Mica (Illita)

Es un mineral compuesto de una placa octaédrica entre dos capas tetraédricas. Sus características más importantes son:

- El reemplazo de iones ocurre principalmente en la capa tetraédrica, donde el silicio es reemplazado por aluminio o hierro.
- La diferencia de cargas es balanceada por iones de potasio.

En micas bien cristalizadas uno de cada cuatro átomos de silicio es reemplazado por aluminio. La Figura. 3 es una representación de la estructura de la mica. La Figura. 4 es una fotografía microscópica de la Illita tomada a 3500 veces.

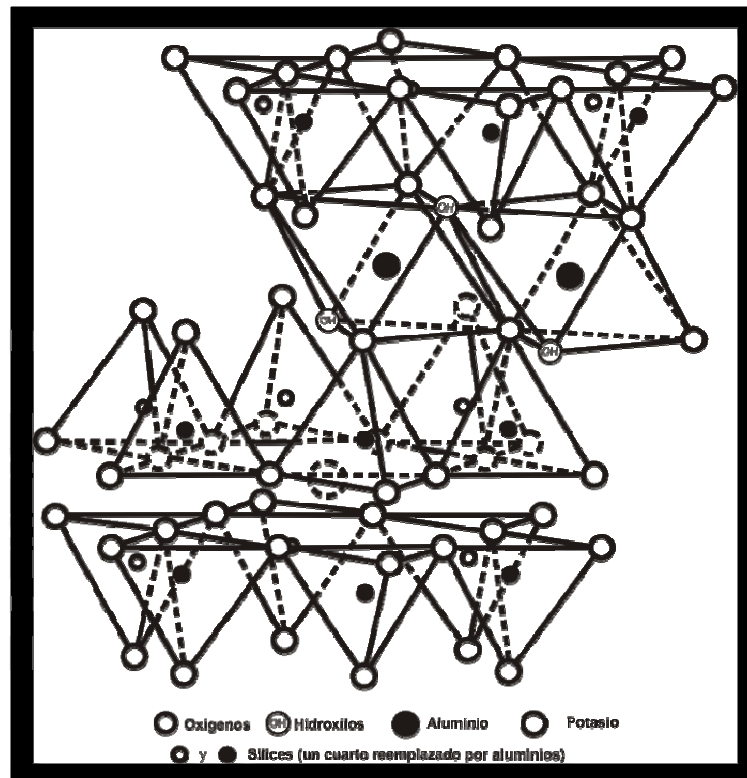


Figura 3. Estructura de la Illita
Fuente: Milchem. Clay Chemistry

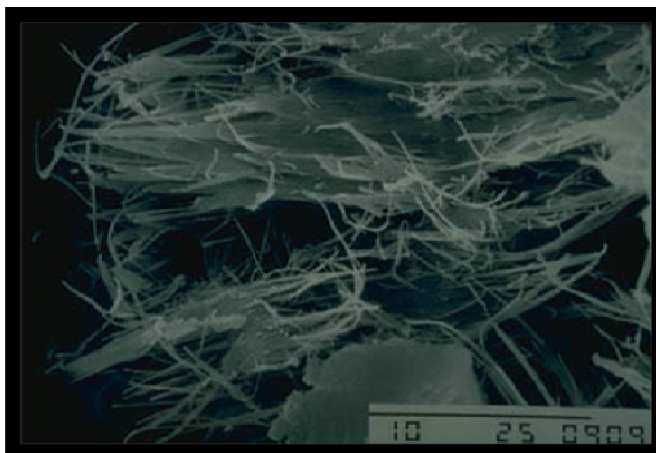


Figura 4. Fotografía Microscópica de la Illita
Fuente: www.slb.com

Una característica importante de los cationes es la densidad de carga, la cual está determinada por la razón entre el número de cargas y el diámetro del ion.

Una alta densidad de carga es el resultado de una carga grande y un diámetro pequeño.

La Tabla 1 muestra el diámetro de los cationes comunes en estado hidratado y deshidratado, dando solo un rango debido a que las diversas técnicas para medir este valor dan diferentes resultados.

El ion de potasio hidratado es pequeño, por lo que fácilmente penetra en los espacios hexagonales de la estructura tetraédrica neutralizando efectivamente la deficiencia de carga en la placa.

Como consecuencia, las placas sucesivas se unen fuertemente originando una estructura que no puede dispersarse fácilmente.

Tabla 1. Radios Iónicos Antes y Después de la Hidratación.

ÁTOMO	Diámetro (Å) Deshidratado	Diámetro (Å) Hidratado
Na	1.9	5.5 – 11.2
K	2.66	4.64 – 7.6
Cs	3.34	4.6 – 7.2
Mg	1.30	21.6
Ca	1.90	19.2

Fuente: Muñoz Navarro, Samuel Fernando. Fluidos de Perforación.
Chevron Petroleum Company of Colombia.

Las micas perfectamente cristalizadas no presentan imperfecciones en sus iones entre placas, y por tanto son químicamente inactivas. Las micas usadas para el control de las pérdidas de circulación son de este tipo. Las hinchan levemente cuando están en contacto con agua dulce, sin que presenten reducciones importantes de permeabilidad.

Las micas encontradas en las Lutitas sedimentarias son clasificadas como **Illitas**, en estos hay menos sustitución de aluminio por silicio y los iones de potasio entre las placas pueden estar parcialmente reemplazados por Ca^{++} , Mg^{++} o H^+ . De esta manera, la illita puede ser estabilizada en alguna extensión por medio del tratamiento con potasio.

1.1.3 Montmorillonita

Su estructura es del mismo tipo que la mica. Es el mineral más común del grupo de minerales conocidos como Esmectita y es el principal mineral que constituye la bentonita. La Fig. 5 es una representación de la estructura de la Montmorillonita. La fig. 6 es una fotografía microscópica de la Montmorillonita tomada a 3500 veces.

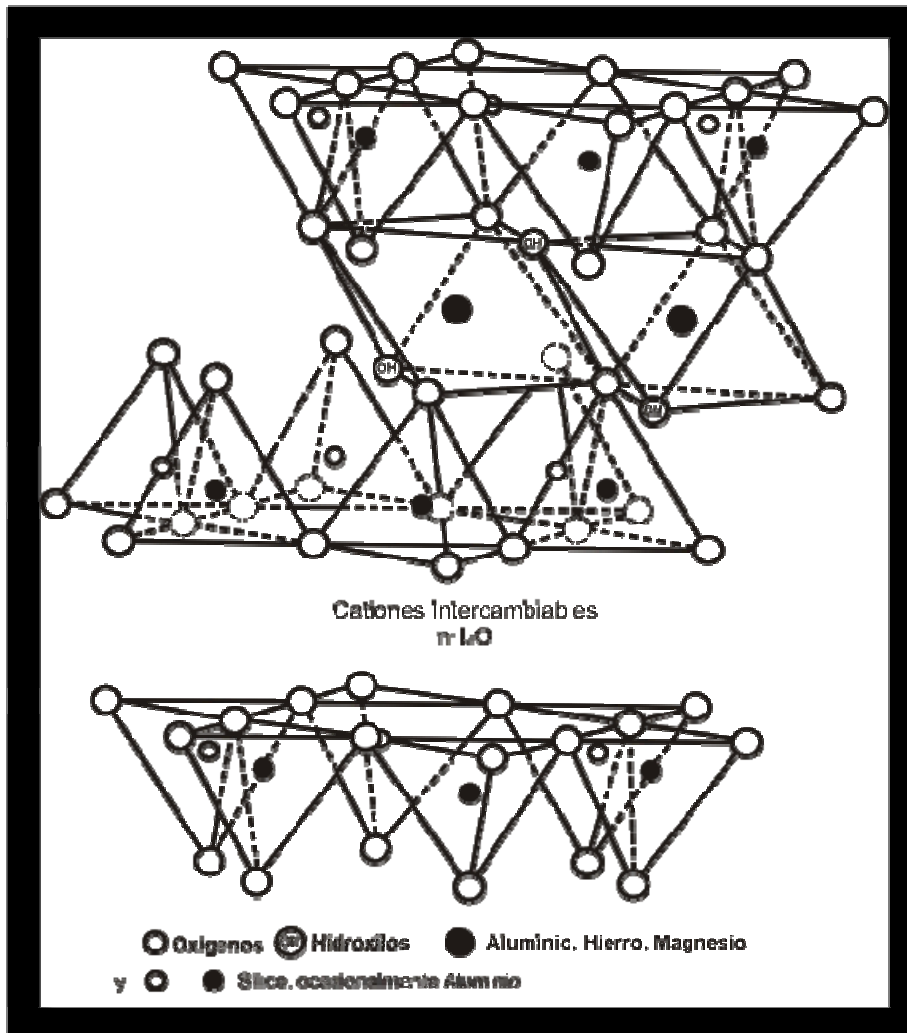


Figura 5. Estructura de la Montmorillonita
Fuente: Milchem. Clay Chemistry

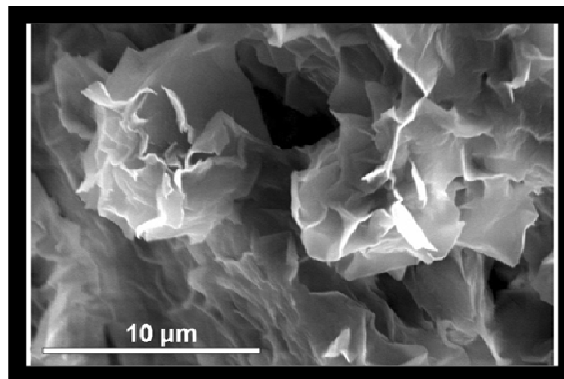


Figura 6. Fotografía Microscópica de la Montmorillonita
Fuente: The Mineralogical Society

La montmorillonita sódica (bentonita de Wyoming) también se añade normalmente a un lodo para aumentar la viscosidad y reducir el filtrado. Las propiedades de filtración y reológicas del lodo dependen de las cantidades de las diferentes arcillas contenidas en el lodo. Como la montmorillonita es añadida intencionalmente a un lodo para controlar estas propiedades, los otros tipos de arcillas pueden ser considerados como contaminantes, visto que no son tan eficaces como una arcilla comercial.

La Montmorillonita es considerada la arcilla de mayor grado de expansión, principalmente en presencia de agua dulce.

La característica esencial que origina la estructura expandible de la Montmorillonita, es que las sustituciones iónicas suceden principalmente en la capa octaédrica.

Las deficiencias de carga se localizan por tanto en el centro de la estructura y los cationes asociados para neutralizar la carga no pueden estar lo suficientemente cerca para cubrir el desbalance totalmente. El carácter iónico residual proporciona la fuerza atractiva para la adsorción de moléculas polares, tales como agua entre las unidades de arcilla.

La propiedad que tiene la Montmorillonita de proporcionar viscosidad se debe al gran tamaño del área de contacto disponible cuando la arcilla se hidrata y expande totalmente.

La Tabla 2 muestra las áreas superficiales para la Caolinita, Illita y Montmorillonita determinadas mediante adsorción de moléculas no polares como nitrógeno y polares como el agua. Se puede notar que la montmorillonita desarrolla una gran área superficial como resultado de la adsorción de agua.

Tabla 2. Áreas Superficiales de Muestras de Arcillas Determinadas por Adsorción de Nitrógeno y Vapor de Agua.

Muestra	Área superficial (m ² /gr)		Área del agua
	Nitrógeno	Agua	Área de N ₂
Na - Bentonita	38	250	6.6
Caolinita	16	12	0.8
Illita	56	82	1.5

Fuente: Muñoz Navarro, Samuel Fernando. Fluidos de Perforación. Chevron Petroleum Company of Colombia.

El comportamiento de hinchamiento es fuertemente dependiente del tipo de catión en los sitios de intercambio.

Un catión monovalente, como el sodio, se puede asociar con un área deficiente de carga en una placa, de tal forma que la reacción con agua originará que las placas se separen (dispersión).

Los cationes bivalentes no pueden asociarse efectivamente a dos puntos negativos en una misma placa, por tanto este catión neutralizará dos cargas en placas diferentes, implicando que exista una menor área superficial la cual pueda estar disponible para desarrollar viscosidad.

1.1.4 Clorita

La estructura de la Clorita consiste de capas alternas de mica y brucita, (la brucita es una capa de tipo octaédrica con iones metálicos de magnesio).

Las deficiencias de carga en la mica son balanceadas por la brucita, y la estructura general es una sucesión de placas unidas por fuertes enlaces similares a los encontrados en la caolinita. La Clorita es una arcilla de baja viscosidad. La Fig. 7 es un esquema de la estructura de la clorita. La fig. 8 es una fotografía microscópica de la Illita tomada a 3500 veces.

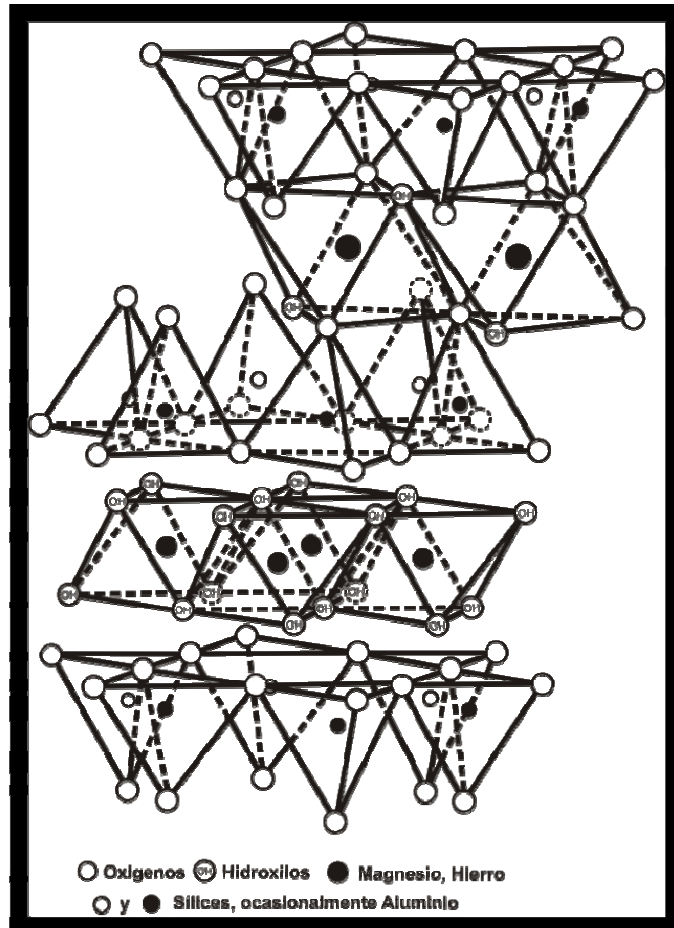


Figura 7. Estructura de la Clorita
Fuente: Milchem. Clay Chemistry

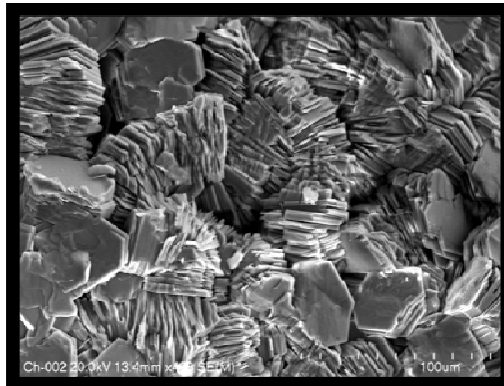


Figura 8. Fotografía Microscópica de la Clorita
Fuente: The Mineralogical Society

1.1.5 Atapulguita

La atapulguita es una arcilla con estructura catenaria formada por un almidón de silicato de magnesio hidratado (ver Figura 9).

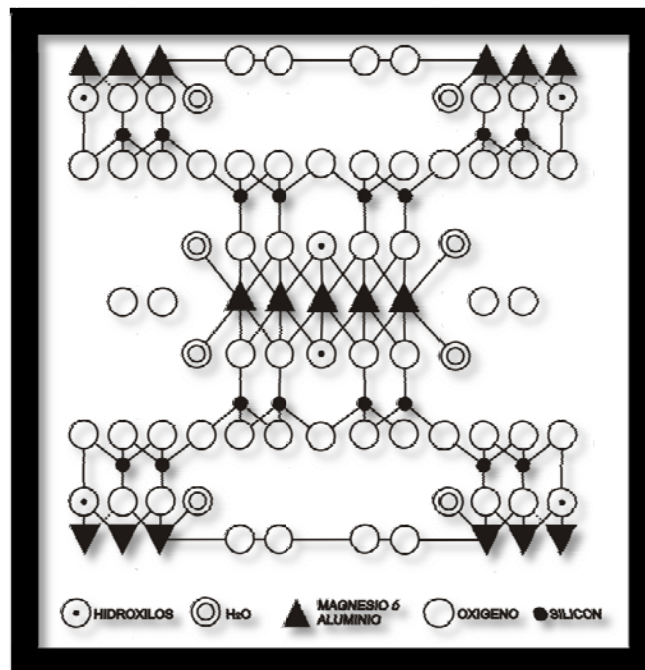


Figura 9. Estructura de la Atapulguita
Fuente: Betestin, A., Curso de Mineralogía

Debido a su forma de aguja y a sus características no hinchables, demuestra un control de filtración muy débil (ver Figura 10). Por este motivo, la principal aplicación ha sido como viscosificante para lodos que contienen altas concentraciones de sal, permitiendo así que la bentonita se pueda hidratar en forma apropiada.

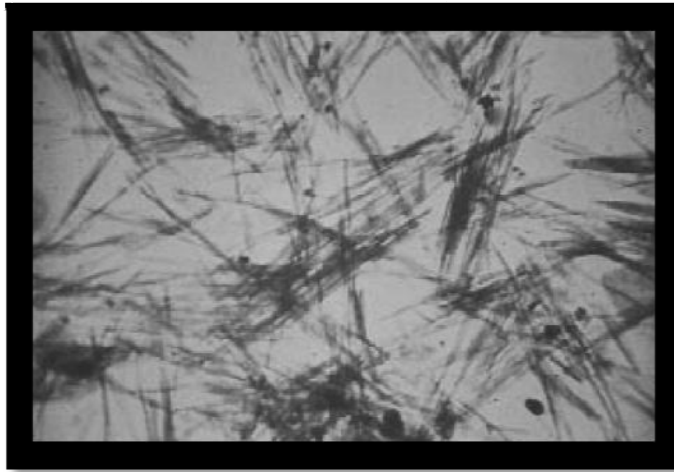


Figura 10. Fotomicrografía de partículas de Atapulguita
Fuente: Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación M-I.

La atapulguita es un excelente viscosificante pero, a diferencia de la bentonita, no contribuye al control del filtrado. La Atapulguita rinde unos 150 bbl/Ton.

Físicamente, la atapulguita tiene una estructura similar a bastoncillos los cuales bajo presión de corte tienden a partirse longitudinalmente. Las agujas resultantes están cargadas eléctricamente y se acumulan de una manera típica, extremo contra extremo, creando un aspecto entrelazado.

Las buenas características de la atapulguita, como viscosificante, pero su pobre control del filtrado, se deben precisamente a ese agrupamiento o “floculación” como espigas en un pajar.

La atapulguita no capta agua intersticial, tal como lo hace la bentonita, por consiguiente, no se hidrata de la misma forma que la bentonita y los dispersantes no tienen el mismo efecto que en los sistemas con bentonita.

1.2 COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS

Algunas de las arcillas tienen la capacidad de hidratación, es decir, pueden alojar moléculas de agua en su estructura y aumentar de volumen. En la montmorillonita, las láminas están débilmente enlazadas por iones de sodio monovalente o calcio divalente, lo cual permite alojar agua, alterando su estructura. La caolinita y la clorita, tienen muy poca energía de hidratación siendo menor el grado de alteración.

1.2.1 Intercambio Iónico de las Arcillas

Los minerales arcillosos poseen la propiedad de adsorber iones con la posibilidad de ser reemplazados en cualquier momento, dependiendo del medio, ya sea acuoso o no acuoso.

1.2.1.1 Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico se define como la habilidad de una arcilla para adsorber cationes en la superficie ó en los bordes. Esta capacidad se determina introduciendo la arcilla en una solución neutra a la cual se le mide en mili-equivalente los hidrógenos adsorbidos por cada 100 gramos de arcilla.

La arcilla que presenta mayor facilidad de intercambiar iones presenta la tendencia a desbalancearse, haciendo más fácil su dispersión en un fluido acuoso. Los cationes que son adsorbidos pueden ser intercambiados, cuando entran en contacto con los iones disueltos en la solución.

Existen dos mecanismos que ocasionan el intercambio catiónico. El primer mecanismo es la presencia de enlaces rotos en los bordes de la unidad Alúmina-Silicato, lo cual produce una carga neta negativa que es neutralizada por la adsorción de cationes sobre la superficie. A medida que el tamaño de la partícula disminuye, la capacidad de intercambio iónico aumenta. El otro mecanismo corresponde a las sustituciones en la estructura cristalina, de silicio cuadrivalente por aluminio trivalente en la lámina tetraédrica.

En la Illita, Clorita y Caolinita el mecanismo más importante de intercambio catiónico es el de enlaces rotos y en la montmorillonita predomina el de sustitución. La velocidad de reacción en el rompimiento de enlaces es mayor.

1.2.1.2 Capacidad de Intercambio Aniónico

Los minerales arcillosos presentan la siguiente capacidad de intercambio aniónico:

- Montmorillonita: 21 – 31 meq/100g
- Caolinita: 7 – 20 meq/100g

Las causas más comunes que facilitan el intercambio aniónico son:

- Enlaces rotos en los bordes de los cristales
- Presencia radicales hidroxilos sobre la superficie de las arcillas

- El tamaño del anión, que por su magnitud permite la formación de estructuras tetraedrales en forma de lámina.

1.2.1.3 Hinchamiento de las Arcillas

La montmorillonita se expande al contacto con agua dulce, debido a que las láminas de arcilla se hidratan aumentando el volumen.

El hinchamiento es la respuesta de la arcilla para mantener el equilibrio con el medio ambiente que la rodea. Si una solución con iones de sodio, se mueve a través de una formación con pequeñas cantidades de montmorillonita cálcica, los iones de sodio desplazan a los iones de calcio en la arcilla, originando un desequilibrio en el mineral. Como resultado de esto, se desarrolla una nueva relación agua-arcilla que tiende a mantener estable el sistema, ocasionando la expansión de las láminas de la arcilla.

En formaciones sedimentarias, debido a la presencia de arcillas expandibles los canales de flujo sufren reducción en la permeabilidad al aumentar de volumen la arcilla.

Los mecanismos de daño más importantes en una formación son la dispersión y migración de partículas finas, que provienen de la alteración química de las arcillas. En estado defloculado, las láminas de las partículas de arcilla se desplazan en la dirección de flujo en el pozo.

Las arcillas expandibles presentan problemas de hinchamiento, dispersión y migración de finos. Las arcillas no expandibles solo presentan problemas de dispersión y migración.

1.3 TIPOS DE ASOCIACIÓN DE LAS ARCILLAS

Además de conocer la cantidad y calidad de las arcillas de un lodo, se requiere conocer el estado de asociación de las partículas de arcilla. Los distintos procesos de enlace de las partículas de arcilla son importantes para la reología de las suspensiones de arcilla. Las asociaciones de las partículas de arcilla son importantes porque afectan la viscosidad y la pérdida de filtrado.

Estos procesos de enlace deben ser comprendidos para entender y controlar los cambios reológicos en los fluidos de perforación. Las partículas laminares finas y planas de arcilla tienen dos superficies diferentes. La cara grande o superficie plana está cargada negativamente y la superficie fina del borde está cargada positivamente donde se interrumpe la red y se expone la superficie del enlace roto.

Estas cargas eléctricas y los cationes intercambiables crean alrededor de las partículas de arcilla un campo de fuerzas eléctricas que determina la manera en que dichas partículas interactúan unas con otras. Si los iones intercambiables se disocian de la superficie de la arcilla, la fuerza repulsiva entre las láminas cargadas negativamente es grande y las láminas se dispersarán, alejándose las unas de las otras. (Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación M-I)

La dispersión completa es rara y es probable que solo pueda ocurrir en suspensiones diluidas de montmorillonita sódica purificada. En general se produce un cierto grado de enlaces entre las partículas. Las partículas de arcilla se asocian cuando están en uno de los siguientes estados: agregación, dispersión, floculación o defloculación. Ver Fig. 11.

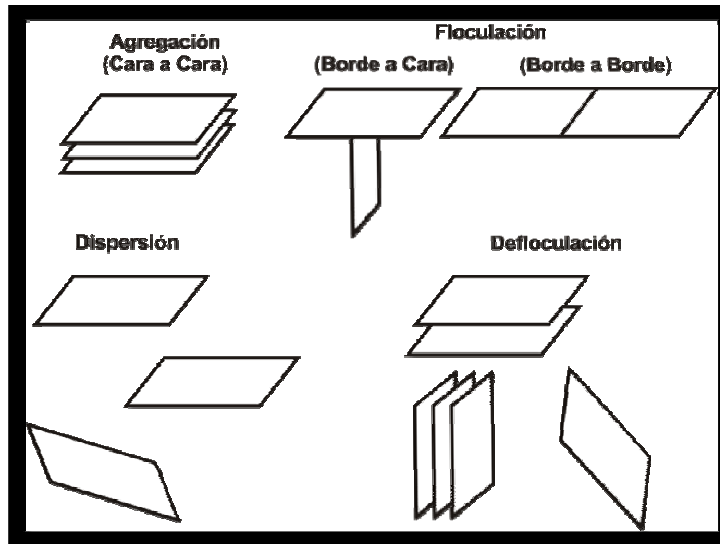


Figura 11. Tipos de Asociación de las Arcillas
Fuente: Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación M-I

En este tipo de agrupamiento se pueden presentar uno o varios estados de asociación al mismo tiempo, con un estado de asociación predominante.

1.3.1 Agregación

Es el enlace de láminas cara a cara y resulta en la formación de láminas o paquetes más gruesos. Esto reduce el número de partículas y causa una reducción de la viscosidad plástica. La agregación puede ser causada por la introducción de cationes divalentes, tales como Ca^{2+} , en el fluido de perforación.

Esto podría resultar de la adición de cal o yeso, o de la perforación de anhidrita o cemento. Después del aumento inicial, la viscosidad disminuirá con el tiempo y la temperatura, hasta llegar a un valor inferior al valor inicial. Se dice que un sistema está agregado cuando las placas de arcillas individuales están colocadas unas sobre las otras.

1.3.2 Dispersión

Se refiere al comportamiento contrario al de la agregación, resulta en un mayor número de partículas y viscosidades plásticas más altas.

Las laminillas de arcilla son normalmente agregadas antes de ser hidratadas y cierta dispersión ocurre a medida que se hidratan.

El grado de dispersión depende del contenido de electrolitos en el agua, del tiempo, de la temperatura, de los cationes intercambiables en la arcilla y de la concentración de arcilla.

La dispersión es más importante cuando la salinidad es baja, los tiempos más altos, las temperaturas más altas y la dureza más baja. Un sistema en el cual los agregados han sido rotos completamente es un sistema disperso.

1.3.3 Floculación

Este comportamiento de las arcillas se refiere a la asociación de borde a borde y/o borde a cara de las partículas, resultando en la formación de una estructura similar a un “castillo de naipes”. Esto causa un aumento de la viscosidad, gelificación y filtrado.

La severidad de este aumento depende de las fuerzas que actúan sobre las partículas enlazadas y del número de partículas disponibles para ser enlazadas.

Cualquier cosa que aumenta las fuerzas repulsivas entre las partículas o causa la contracción de la película de agua adsorbida, tal como la adición de cationes divalentes o las temperaturas elevadas, puede fomentar la floculación.

Un sistema esta flocculado cuando hay una atracción neta entre las partículas, permitiendo que estas puedan asociarse formando estructuras sueltas.

1.3.4 Defloculación

Es la disociación de las partículas flocculadas. La adición de ciertos productos químicos al lodo neutraliza las cargas electroquímicas en las arcillas. Esto elimina la atracción que resulta del enlace borde a borde y/o borde a cara entre las partículas de arcilla.

Como la defloculación causa una reducción de la viscosidad, los productos químicos defloculantes son llamados frecuentemente **diluyentes de lodo**.

La defloculación también permite la disposición plana de las partículas de arcilla en el revoque para reducir el filtrado.

Un sistema esta defloculado cuando hay una fuerza repulsiva general entre las partículas.

1.4 CONDICIONES DE EQUILIBRIO ENTRE LA BENTONITA Y EL AGUA

Las arcillas pueden existir a un mismo tiempo, en mas uno de los estados descritos anteriormente, así un lodo estará dispersado-defloculado, agregado-flocculado, agregado-defloculado etc.

1.4.1 Sistema Dispersado-Defloculado

Un sistema dispersado-defloculado ocurrirá cuando se agrega bentonita al agua, se ha agitado y se ha añadido un poco de dispersante, suficiente para neutralizar las fuerzas de atracción de las placas. En este tipo de equilibrio, la mayoría de las partículas de arcilla más pequeñas se encuentran con las fuerzas atractivas entre las placas parcialmente neutralizadas.

El comportamiento reológico en este sistema es:

- La viscosidad plástica: es la más elevada de los cuatro estados y el lodo se mueve con mayor facilidad.
- El punto cedente: será bajo si hay suficiente dispersante en el lodo, ya que entre más bajo sea el punto cedente, menos esfuerzo a moverse tendrá el lodo.
- Resistencia gel: será baja pero progresiva, baja a cero minutos y alta a 10 minutos, lo cual es benéfico.
- Pérdidas de filtrado: será el mínimo de los cuatro estados, debido a que el tamaño de las partículas es muy pequeño.

La compactación entre las placas de arcilla, será el menor en los cuatro estados.

Si se adiciona más bentonita, esta se dispersará fácilmente y dará mejor viscosidad y resistencia del gel.

1.4.2 Sistema Dispersado-Floculado

Al añadir una sal monovalente tal como cloruro de sodio (sal común) al sistema dispersado-defloculado, se tiene un sistema dispersado-floculado.

- La viscosidad plástica: será menor que en un sistema dispersado-defloculado.
- El punto cedente: será más alto debido al incremento en las fuerzas de atracción.
- Resistencia gel: será alta y progresiva debido a la mayor fuerza entre las partículas.
- Pérdidas de filtrado: las pérdidas de filtrado del sistema tendrán muy poco control debido al amontonamiento de partículas que darán un revoque suave y grueso.

En este sistema la hidratación y dispersión de bentonita adicional, será reducida por la cantidad de sal en solución. (Ver Figura 12). La línea punteada muestra la disminución de la viscosidad por la adición de bentonita seca a una solución salina en aumento. La disminución de la viscosidad es debido al efecto de la acción de los iones de sodio y cloruro que evitan que la hidratación se produzca. La línea continua muestra el efecto del aumento de la concentración de sal en una lechada de bentonita pre-hidratada.

Inicialmente la lechada aumenta su viscosidad debido a la floculación de las partículas de bentonita y continúa en un descenso de la viscosidad causado por la reorientación de las partículas de la bentonita. La lechada tiende a estabilizarse a una determinada concentración de sal, a una viscosidad dada, una vez que los efectos

de los iones de sodio y cloruro se han estabilizado y las partículas de arcilla adoptan un patrón de orientación. (Apuntes Fluidos de Perforación, UNAM).

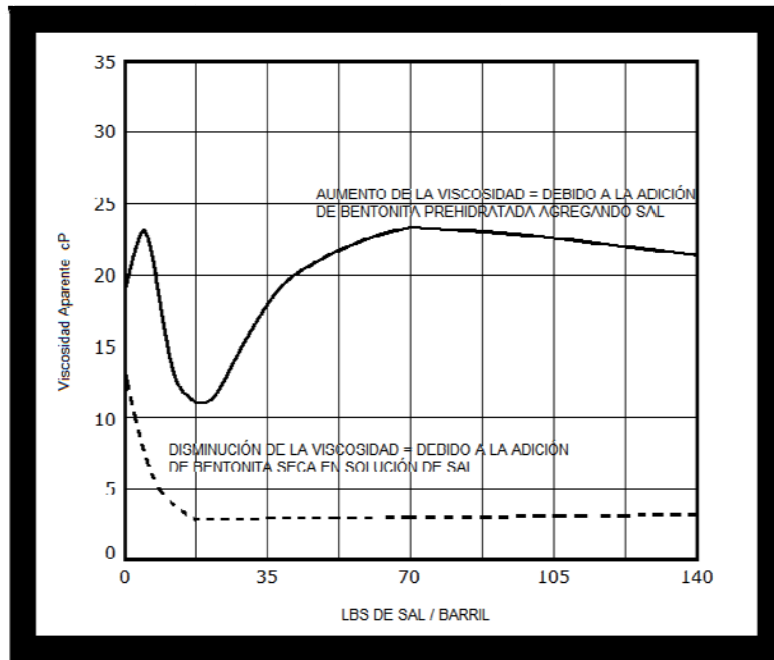


Figura 12. Efecto del Cloruro de Sodio en la Bentonita
Fuente: IMCO. Tecnología Aplicada a Lodos

1.4.3 Sistema Agregado-Floculado

La adición de un ión divalente como el yeso a un sistema dispersado-floculado es un ejemplo típico de este sistema. La adición de estos iones divalentes o polivalentes genera paquetes o montones de placas, en grupos cara a cara y borde a borde ó borde a cara ó ambos, aumentando así la compactación de arcilla, por lo tanto:

- La viscosidad plástica: será más baja que en un sistema dispersado-floculado.
- El punto cedente: será alto debido al incremento de fuerzas entre las partículas y el sistema.

- Resistencia gel: es generalmente alto pero no es progresiva. La sal soluble presente inhibirá la hidratación y dispersión de cualquier adición posterior de bentonita.
- Pérdidas de filtrado: tendrá muy poco control, debido al agrupamiento y amontonamiento de las placas de arcilla.

1.4.4 Sistema Agregado-Defloculado

Al realizar el tratamiento de los sistemas agregado-floculado con cromolignosulfonatos, estos actúan como defloculantes que al momento de agregarlos al sistema agregado-floculado se obtendrá un sistema agregado-defloculado.

En un sistema de este tipo, la compactación de arcilla es alta debido al amontonamiento de las placas de arcilla, por lo tanto:

- La viscosidad plástica: es baja
- El punto cedente: es bajo, debido a que las fuerzas entre las partículas se han reducido.
- Resistencia gel: será baja y no será progresiva.
- Pérdidas de filtrado: será alto a menos que se agreguen grandes cantidades de un agente de control de filtrado.

Las adiciones mayores de bentonita tendrán poco efecto sobre las propiedades reológicas del sistema debido a la inhibición causada por la sal soluble. (Ver Figura 13).

1.4.5 Sistema Defloculado-Dispersado

Al seguir agregando cromolignosulfonato al sistema agregado-defloculado, resistirá mas a la floculación por la sal u otros iones, si

además se agrega un compuesto para precipitar el ion divalente y un dispersante posteriormente, entonces el sistema tenderá a convertirse en un sistema defloculado-dispersado.

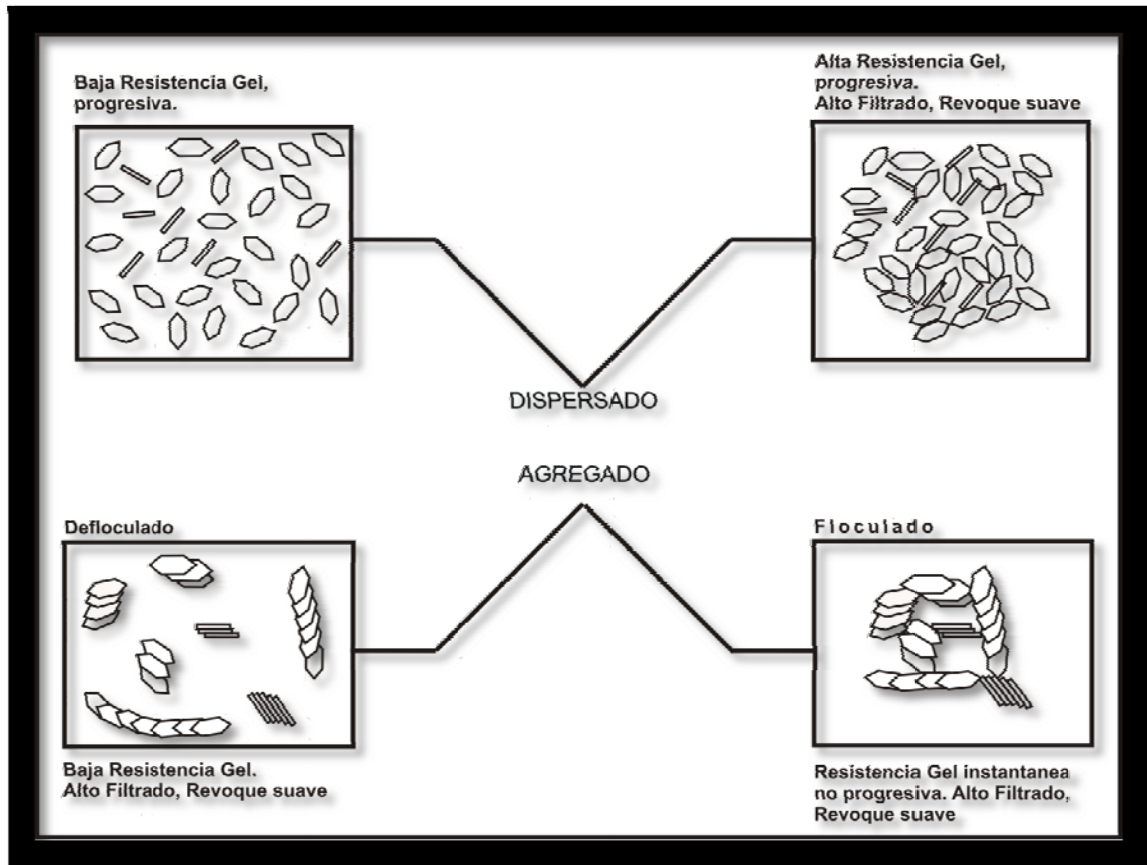


Figura 13. Condiciones de los Cuatro Estados de la Bentonita
Fuente: Apuntes de Fluidos de Perforación UNAM

La Figura 13 es una representación grafica del comportamiento de las arcillas dependiendo el estado en el cual se encuentra y como varían sus propiedades más importantes.

1.5 RENDIMIENTO DE LAS ARCILLAS

Si bien el tamaño coloidal de las partículas de arcilla, hacen que ellas sean activas en lodos base agua, el grado de actividad varía de una a otra; por consiguiente, su efecto viscosificante será diferente para cada una de estas arcillas.

El rendimiento API de las arcillas se define como “el número de barriles de lodo de 15 cP de viscosidad que se pueden producir por la adición de una tonelada de arcilla seca a agua dulce” (las atapulguitas se evalúan en agua saturada de sal). La viscosidad mencionada es la aparente tal como se muestra en la Figura 14, donde 15 cP es un valor crítico.

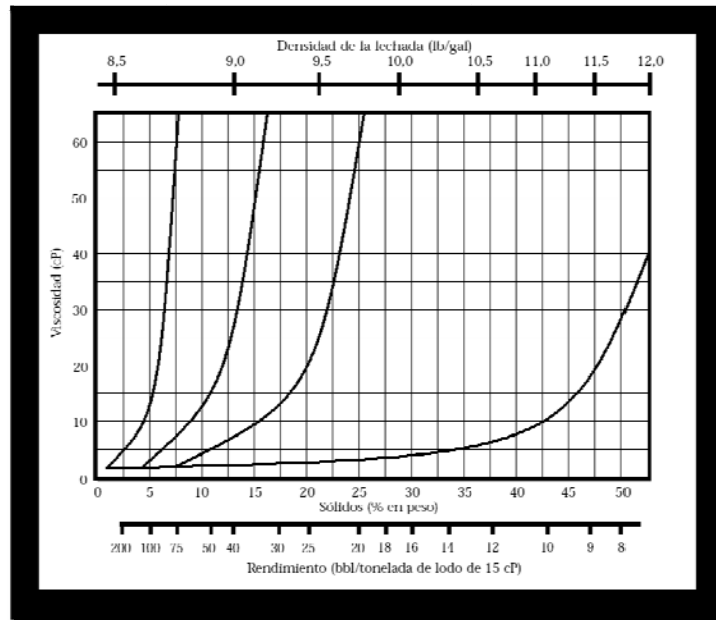


Figura 14. Rendimiento de las Arcillas
Fuente: IMCO. Tecnología Aplicada de Lodos

Las adiciones de arcilla ejercen poco efecto sobre la viscosidad hasta que esta se acerca al punto crítico; de ahí en adelante, pequeñas adiciones producen marcados efectos sobre la viscosidad.

El rendimiento de las arcillas esta dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Rend}(bbl/Ton) = \frac{2000 \left[\frac{lb}{Ton} \right]}{\left[\frac{lb}{bbl} \right]_{15 \text{ cP}}} \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

1 Ton = 2000 lb americanas de 453,6 gramos

1 bbl = 42 galones americanos

Luego de realizar las conversiones necesarias se tiene:

$$\text{Rend} = \left(\frac{572}{c} \right) - 3,42 \quad \text{Ec. 2}$$

donde:

c: % en peso de arcilla para producir una viscosidad de 15 cP

Esta expresión se usa para determinar el rendimiento de la arcilla natural (gravedad específica GE=2,5) en agua dulce. Si se desea obtener el rendimiento de otras arcillas en otro medio, se debe tener en cuenta su gravedad específica y la densidad del medio.

2. CONTAMINACIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Un contaminante es cualquier tipo de material (sólido, líquido o gas) que tiene un efecto perjudicial sobre las características físicas o químicas de un fluido de perforación. Lo que en un tipo de fluido de perforación constituye un contaminante, en otro no será necesariamente un contaminante.

Los sólidos reactivos de baja densidad son contaminantes comunes en todos los fluidos de perforación. Estos sólidos se componen de sólidos perforados que se han incorporado dentro del sistema o que resultan del tratamiento excesivo con arcillas comerciales.

Desde el punto de vista económico, los sólidos perforados y los problemas relacionados con su control tienen un mayor impacto sobre el costo del lodo que los otros tipos de contaminación.

2.1 TIPOS DE CONTAMINANTES Y EFECTOS SOBRE LAS PROPIEDADES DEL LODO

La composición y tratamiento de los fluidos de perforación depende de los minerales encontrados o de las adiciones de ciertos materiales en las operaciones de perforación. Pero algunos materiales, bajo ciertas circunstancias, pueden considerarse como contaminantes.

La contaminación del lodo es uno de los problemas que frecuentemente se presentan durante la perforación. En general, se considera contaminante, todo material que al entrar a formar parte del lodo modifica sus propiedades de una manera tal que altera su buen

funcionamiento. Estos materiales pueden ser sólidos inertes (recortes de la formación) y sólidos solubles (sales de calcio, sodio y magnesio).

2.1.1 Contaminación con Anhidrita (CaSO_4) o Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

El yeso y la anhidrita son formas cristalinas diferentes del sulfato de calcio (CaSO_4) que se encuentran a veces durante la perforación. El Yeso es un sulfato de calcio hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mientras que la anhidrita es un sulfato de calcio.

El sulfato de calcio se encuentra en secciones espesas, en estratos, en aguas de formación, incrustado en sedimentos como en formaciones de evaporitas y algunas veces como roca de cubierta de un domo salino.

La severidad de este contaminante depende principalmente de la cantidad perforada. Si se encuentra solamente una pequeña cantidad de un contaminante, éste puede ser tolerado mediante la precipitación del ion calcio. Si se encuentran grandes cantidades, el sistema de lodo debería ser convertido en un sistema a base de calcio. Los sistemas a base de cal y de yeso pueden tolerar la contaminación de anhidrita o yeso sin afectar negativamente las propiedades del lodo.

El efecto inicial de la contaminación de calcio sobre un sistema de lodo a base de bentonita es la alta viscosidad, altos esfuerzos de gel y un mayor filtrado. La medida en que estas propiedades son afectadas depende de la concentración del contaminante, la concentración de sólidos reactivos y la concentración de defloculantes químicos en el lodo de perforación.

Como se muestra a continuación, al solubilizarse en agua, el sulfato de calcio se ioniza en iones calcio y sulfato.



La solubilidad de CaSO_4 es controlada por el pH, la salinidad y la temperatura. El aumento del pH y de la temperatura reduce la solubilidad del yeso, mientras que el aumento de los cloruros del lodo aumenta la solubilidad. La solubilidad del sulfato de calcio es reversible y alcanzará algún grado de equilibrio con el ambiente químico.

La primera indicación de contaminación de anhidrita o yeso es el aumento de las propiedades físicas, incluyendo la viscosidad Marsh, el punto cedente y los esfuerzos de gel. Será necesario realizar pruebas químicas para identificar el contaminante químico que está presente, porque el aumento de estas propiedades físicas también constituye la primera indicación de otros tipos de contaminación química.

Las principales indicaciones de contaminación de yeso o anhidrita incluyen:

- a. Aumento de la cantidad de calcio en el filtrado. Es posible que este aumento inicialmente no resulte evidente si hay algún excedente de iones carbonato, bicarbonato o fosfato en el lodo, o si se está aumentando el pH del sistema de lodo. Sin embargo, una vez que el yeso solubilizado haya agotado estos elementos químicos, el pH disminuirá porque el pH del yeso es muy bajo (6 a 6,5). Esta reducción del pH resultará en un aumento importante de la cantidad de calcio en el filtrado, visto que la solubilidad del calcio varía en relación inversamente proporcional al pH.

- b. La reducción del pH y de la alcalinidad y el aumento de la cantidad de calcio en el filtrado constituyen los indicadores más confiables.
- c. Debido a la solubilidad relativamente limitada de la anhidrita y del yeso, los recortes pueden contener trazas del mineral. Esto es demostrado frecuentemente en los recortes por la presencia de bolitas blandas de material soluble en ácido.
- d. La prueba cualitativa para el ion sulfato debería indicar un aumento. Sin embargo, esta prueba también detecta el ion sulfonato. La prueba carece de sentido si se usa lignosulfonato como defloculante principal, a menos que se efectúe una comparación con el lodo no contaminado.

Cuando el yeso o la anhidrita entran a formar parte del lodo, se origina una agregación y floculación dentro del mismo, lo cual produce un aumento en la viscosidad, el gel, el filtrado o la torta del lodo, tal como se muestra en la Tabla 3.

2.1.2 Contaminación con Cemento (Silicato complejo de $\text{Ca}(\text{OH})_2$)

La contaminación con cemento ocurre una o varias veces durante la perforación y se presenta cuando después de cementar el revestimiento, se perforan los tapones de cemento.

La severidad de la contaminación y su efecto sobre las propiedades del lodo depende del contenido de sólidos y tipo de concentración de floculantes y de la cantidad de cemento incorporado.

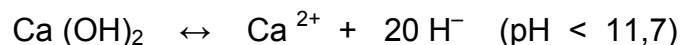
En cada pozo que es perforado existe la posibilidad de perforar a través del cemento. Las únicas circunstancias bajo las cuales el cemento no

es un contaminante son cuando se usa agua clara, salmueras, lodos a base de calcio o lodos base aceite, o cuando el cemento está totalmente curado. El sistema de lodo más usado es el sistema de bentonita de bajo pH. En este caso, el cemento puede tener efectos muy perjudiciales sobre las propiedades del lodo.

La severidad del contaminante depende de factores tales como el tratamiento químico, el tipo y la concentración de sólidos, la cantidad de cemento perforado, y la medida en que el cemento se curó en el pozo. Se debe recordar que la barita a granel puede ser contaminada ocasionalmente por cemento durante el transporte o en el equipo de perforación, y puede causar una contaminación de cemento grave, aunque no se haya anticipado ninguna de estas situaciones.

El efecto inicial de la contaminación de cemento es la alta viscosidad, altos esfuerzos de gel y el aumento de la pérdida de filtrado. Esto resulta del aumento del pH y de la adsorción del ion calcio en las partículas de arcilla, causando la floculación.

Cemento es un silicato de cal complejo, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Al solubilizarse en agua o en la fase acuosa de un fluido de perforación, produce una abundancia de iones hidroxilo (OH^-).



La reacción anterior es reversible y representa un equilibrio entre la concentración de cemento y el pH del lodo. La solubilidad de la cal disminuye a medida que el pH del lodo aumenta. Cuando el pH excede de 11,7 la cal se precipita dentro de la solución. Por lo tanto, la cal se vuelve prácticamente insoluble a un pH mayor de 11,7 y proporciona un excedente o una reserva de cal no reaccionada, debido a la presencia

de cemento no disuelto. La indicación principal de la contaminación de cemento es un aumento importante del pH, de Pm y del excedente de cal calculado, tal como sea medido por Pm y Pf.

Si la cantidad de cemento perforado es relativamente pequeña, el problema no es grave. El lodo contaminado puede ser eliminado en la zaranda o tratado con defloculantes y precipitantes.

La etapa de la operación de perforación puede ser importante cuando se realiza el tratamiento de la contaminación de cemento. Una pequeña contaminación puede ser tratada eficazmente para dejar un fluido satisfactorio en el pozo como fluido de empaque, pero en muchos casos no se toma suficiente tiempo para acondicionar el lodo correctamente.

La contaminación con cemento a altas Temperaturas de Fondo (BHT) debe ser tratada rápida y completamente para evitar la gelificación o solidificación que suele producirse a altas temperaturas.

Cuando se perfora un pozo con una gran cantidad de cemento, se debe tener en cuenta las siguientes opciones:

- a. Si la operación de cemento se encuentra en una etapa intermedia o final, se debería considerar la posibilidad de usar agua en vez de lodo de perforación para perforar el cemento. Esta opción sólo es viable cuando el cemento se encuentra en un pozo que está totalmente revestido y cuando no hay ninguna comunicación de presión a través del cemento.
- b. Si es necesario usar el lodo de perforación, los problemas de contaminación pueden generalmente resolverse si la operación de perforación se encuentra en una etapa intermedia. A estas

alturas de la operación, se suele contar con suficiente tiempo para realizar el tratamiento y la dilución gradual a fin de acondicionar el lodo correctamente.

- c. Si el pozo está en la etapa de terminación, sería necesario establecer un tiempo suficiente para tratar apropiadamente la contaminación de cemento, si no, un problema de gelificación podría desarrollarse. Si se usa un lodo cálcico como fluido de empaque, el lodo podría ser tratado simplemente con defloculantes y mediante la dilución.

El efecto del pH sobre la solubilidad del cemento dificulta el tratamiento con precipitantes, a menos que se cuente con suficiente tiempo para realizar la dilución y la reducción del pH. Los iones hidroxilo producidos por el cemento aumentan el pH, haciendo que el calcio (cemento) sea insoluble.

Por lo tanto, un lodo muy contaminado puede tener propiedades de flujo típicamente bajas, debido a la reacción de intercambio de iones calcio, al alto pH, alta alcalinidad, alto Pm, bajo calcio de filtrado y al filtrado generalmente alto, según la concentración química del lodo. Siempre se debe tener mucho cuidado al realizar el tratamiento del lodo contaminado por cemento.

Es posible que las bajas propiedades de flujo derivadas de las pruebas realizadas a bajas temperaturas no indiquen la condición del lodo en el fondo del pozo, especialmente a las temperaturas de fondo mayores de 275 ° F. La gelificación producida por altas temperaturas puede constituir un problema grave con los lodos contaminados por el cemento.

2.1.3 Contaminación con Sales

Los tres tipos de sales de roca naturales encontradas durante las operaciones de perforación son la Halita (NaCl), la Silvita (KCl) y la Carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$).

Estas sales están clasificadas por orden de solubilidad creciente.

2.1.3.1 Halita (NaCl)

La contaminación con cloruro de sodio (NaCl) o también llamada Halita (sal común) puede provenir de la perforación de domos salinos o de corrientes de agua salada y es la sal que es perforada con más frecuencia, además constituye el principal componente de la mayoría de los flujos de agua salada.

El efecto inicial sobre el lodo de perforación es la floculación de las arcillas causada por la acción de masas del ion sodio. La viscosidad Marsh, el punto cedente, los esfuerzos de gel y el filtrado aumentan cuando se encuentra la halita.

La presencia de halita puede ser confirmada por un aumento de los cloruros. Las arcillas se deshidratan cuando hay suficiente sodio y tiempo. Cuando esto ocurre, el tamaño de la partícula disminuye debido a la reducción de agua adsorbida. El agua liberada se reincorpora a la fase continua del lodo, lo cual puede resultar en una ligera reducción de la viscosidad plástica.

Pero las partículas de arcilla deshidratada floculan, causando un alto punto cedente, altos esfuerzos de gel y un filtrado alto. El filtrado

aumentará en proporción directa a la cantidad de sal que se ha incorporado en el lodo.

En lodos de agua dulce, la contaminación con sal es un problema grave, debido a que produce la disminución del pH, y aumento en las pérdidas de filtrado. El componente reológico que más se altera es el punto de cedencia, por la neutralización de las cargas superficiales de las partículas de arcilla, las cuales, al disminuir las fuerzas de repulsión, tienden a unirse formando agregados de tamaño no coloidal. El efecto de esta contaminación se muestra en la Tabla 3.

Los grandes cambios que causa la sal en las propiedades de los lodos en el pozo son los siguientes:

- Derrumbes de Lutitas.
- Ensanchamiento del hueco, hasta que el lodo esté completamente saturado de sal.

La sal es un contaminante que no puede removerse económicamente. Los lodos que contengan hasta 10000 ppm de sal pueden tratarse con químicos para restablecer las propiedades reológicas y de filtración.

2.1.3.2 Silvita (KCl)

La contaminación con silvita produce la misma reacción de las propiedades del lodo y requiere el mismo tratamiento del lodo contaminado con halita. Si el lodo no contiene cloruros, excepto los que se obtienen al perforar la sal de silvita, el valor de la valoración del cloruro constituiría una medida precisa de la concentración de iones potasio. Sin embargo, esto casi nunca ocurre.

No es raro que estas sales estén inter-estratificadas. La valoración cuantitativa del ion potasio puede ser utilizada para identificar la sal como silvita pura o silvita parcial, a efectos geológicos.

Es importante conocer el tipo de sal que se perforará. Como la solubilidad de la silvita es ligeramente más alta que la halita, una sección de sal de silvita maciza perforada con un fluido saturado de halita aún puede derrumbarse en cierta medida, aunque no con la misma severidad que si se usara agua dulce.

Es difícil preparar un fluido saturado de KCl que tenga propiedades de flujo deseables, un buen control de filtrado y buenas características de suspensión. Sin embargo, si fuera necesario (y suponiendo que las condiciones del pozo lo permiten), se podría usar un fluido claro saturado de KCl.

2.1.3.3 Carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$)

La sal compleja “carnalita” es relativamente rara. Sin embargo, esta sal existe en cierta medida en algunas partes de los Estados Unidos, Sudamérica, Europa y el Medio Oriente. El caso más notable es el de Europa del Norte, donde la carnalita subyace el área de perforación del Mar del Norte. Se trata de la sal de Zechstein, la cual se compone de halita, silvita y carnalita inter-estratificadas.

Los problemas del lodo asociados con la carnalita son graves y tienen dos aspectos:

- a. Cuando está solubilizada, dos cationes fuertes (calcio y magnesio) actúan sobre las arcillas para causar la floculación y

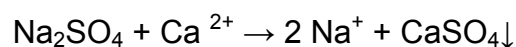
la deshidratación. Si éste fuera el único problema, el tratamiento del lodo no sería demasiado complicado.

- b. En la presencia de iones hidroxilo (OH^-), el magnesio de la carnalita disuelta se precipita como Hidróxido de Magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$). Este precipitado ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) es una sustancia gelatinosa espesa que actúa como viscosificante. Al pH relativamente bajo de 9.9, hay suficientes iones hidroxilo presentes para que el precipitado tenga un profundo efecto sobre la viscosidad del lodo. El magnesio sólo puede ser precipitado por la soda cáustica. Esta reacción empieza a producirse con solamente 0,03 lb/bbl de soda cáustica. Por lo tanto, si es posible, la soda cáustica no debería usarse. Si el magnesio es precipitado por la soda cáustica, la viscosidad aumentará.

La mayoría de los lodos de perforación son circulados en el estado alcalino para maximizar el rendimiento de las arcillas y otros productos químicos usados para tratar los fluidos de perforación.

También son circulados en el estado alcalino para minimizar la corrosión. El calcio debería ser eliminado aumentando el pH y tratando con carbonato de sodio para neutralizar el calcio como CaCO_3 .

El sulfato de sodio (Na_2SO_4) es uno de los productos químicos que están disponibles para controlar el calcio del filtrado en fluidos que tienen un alto contenido de magnesio. La reacción química es la siguiente:



Esta reacción no afecta el contenido de potasio o magnesio. Sin embargo, controlará el calcio del filtrado hasta un máximo de 400 mg/l. Esta es la solubilidad de equilibrio de CaSO_4 , o yeso, y es indicada por el segmento reversible de la ecuación anterior.

2.1.3.4 Cloruro de Calcio (CaCl_2)

Este es otro tipo de sal común que es considerada como contaminante en los lodos de perforación. Esta sal no existe naturalmente en la forma cristalina, debido a la extrema solubilidad que presenta este compuesto. Sin embargo, esta sal junto con el cloruro de magnesio (MgCl_2) pueden existir individualmente, juntas o con otras sales disueltas en agua irreductible. En el caso de las sales, el mecanismo de contaminación está basado en las reacciones de intercambio catiónico con las arcillas, la acción de masas por el catión predominante y, a veces, el pH.

Los únicos sistemas sobre los cuales las sales disueltas no tienen casi ningún efecto son los sistemas de agua clara, las salmueras, los lodos base aceite y algunos sistemas de polímeros con bajo contenido de coloides. Los sistemas de lodo a base de bentonita no son afectados de diferentes maneras según el origen de la sal, ya sea el agua de preparación, agua salada, sal de roca o los flujos de agua salada.

Los efectos iniciales son la alta viscosidad, altos esfuerzos de gel, un filtrado alto y un aumento importante del contenido de cloruros, acompañado por pequeños aumentos de la dureza en el filtrado del lodo. Se produce un intercambio catiónico entre la sal y las arcillas para expulsar el ion calcio de las partículas de arcilla, lo cual resulta en un aumento de la dureza.

La detección de un aumento de cloruros no define el problema con suficiente precisión para determinar la mejor manera de tratar el lodo, ya que la prueba de cloruros no identifica el ion o los iones metálicos que están asociados con los cloruros.

2.1.3.5 Flujos de Agua Salada

Las aguas irreductibles pueden contener una amplia gama de sales. El origen de estas sales está directamente relacionado con el origen de los sedimentos propiamente dichos. Como los sedimentos marinos se depositan en agua salada, éstos contienen generalmente sales que son similares a las que se encuentran en el agua salada. Sin embargo, como la mayoría del agua es expulsada durante el proceso de compactación, la concentración de sal puede ser considerablemente más alta.

La solubilidad de la mayoría de las sales comunes es directamente proporcional a la temperatura. A medida que la temperatura de una solución de sal aumenta, la solubilidad de la sal en esa solución aumenta. Una solución que está saturada con una sal en particular a la temperatura superficial, es capaz de contener más sal en solución a temperaturas elevadas. Además, otras reacciones químicas, tales como la lixiviación de los minerales de sedimentos por el agua freática, pueden enriquecer las aguas irreductibles con aniones y cationes adicionales. Muchas de éstas pueden ser perjudiciales para los fluidos de perforación.

Las aguas muy enriquecidas con calcio y magnesio son las más perjudiciales. En el caso del agua con un alto contenido de magnesio, las relaciones que se describieron con anterioridad para la carnalita son aplicables. Los indicadores de magnesio son los siguientes:

- a. Reducción rápida del pH.
- b. Espesamiento del lodo con adiciones de soda cáustica o carbonato de sodio.
- c. Valoración para la concentración de iones magnesio. La valoración de dureza total está indicada como la concentración de calcio soluble en mg/l. Sin embargo, esta valoración también detecta el magnesio. Para confirmar la presencia y concentración de magnesio, el calcio y el magnesio deben ser valorados separadamente.

Los indicadores para un flujo de agua con alto contenido de calcio, suponiendo que la cantidad de magnesio presente es poca o prácticamente nula, serían:

- a. Menor efecto sobre el pH.
- b. Respuesta positiva del lodo a las adiciones de soda cáustica o carbonato de sodio.
- c. Valoración para la concentración verdadera de iones calcio.

Los términos agua irreductible de alto contenido de calcio o alto contenido de magnesio son usados porque la sal de sodio está casi siempre presente. Esto ilustra el hecho que la determinación de cloruros puede inducir a errores. Por ejemplo, observar la variación en la relación de cloruros a iones metálicos asociados en las sales descritas anteriormente.

NaCl	-	Halita
KCl	-	Silvita

MgCl ₂	-	Cloruro de magnesio
CaCl ₂	-	Cloruro de calcio
KMgCl ₃	-	Carnalita

En una solución pura de una sal, esta sal puede ser identificada por el contenido de cloruros y la valoración de los cationes (excepto el sodio). Sin embargo, en soluciones de sales mezcladas, el problema se complica hasta el punto de convertirse en una cuestión puramente teórica.

Esto es especialmente cierto porque sólo el calcio, el potasio y el magnesio pueden ser identificados con facilidad en el campo. Se supone que los cloruros que no están asociados con los cationes identificables, están asociados con los iones sodio.

2.1.4 Contaminación con Cal (Ca(OH)₂)

La Cal (Ca (OH)₂) ejerce el mismo efecto que el cemento cuando se añade a un lodo. En los lodos que tienen una alta concentración de iones hidroxilo, la cal sirve como una fuente potencial de iones Ca⁺⁺ y OH⁻. En otros lodos es una fuente directa de dichos iones.

En un lodo no pueden existir simultáneamente los iones Ca⁺⁺ y CO₃⁼ en forma libre. De coexistir, se combinan para formar Carbonato de calcio (CaCO₃). De forma similar tampoco pueden coexistir los iones de Ca⁺⁺, OH⁻ y HCO₃⁻ en un lodo.

Por consiguiente a veces se añaden pequeñas cantidades de cal a un lodo cuando se sospecha la existencia de problemas de carbonato o bicarbonato, pero no sin antes efectuar ensayos piloto para verificar el efecto real del tratamiento propuesto sobre las propiedades del lodo.

Al reaccionar los silicatos del cemento con el agua del lodo, se forman grandes cantidades de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). La presencia del hidróxido de calcio causa reacciones químicas las cuales deterioran las propiedades reológicas y del filtrado del lodo. El ion OH^- aumenta el pH drásticamente y el ion calcio Ca^{++} afecta las características de la arcilla.

2.1.5 Contaminación con Sólidos de Perforación

La contaminación con sólidos indeseables generalmente no afecta las propiedades químicas del lodo, pero elevan la viscosidad plástica, la densidad, la resistencia del gel, el punto de cedencia y el filtrado. Estas variaciones son mostradas en la Tabla 3.

Los sólidos también aumentan los costos de operación por el tratamiento, ya sea por dilución, floculación selectiva o empleo de equipo para la remoción mecánica de sólidos.

Los sólidos inertes no absorben agua pues son eléctricamente neutros y fácilmente dispersables. Entre los sólidos inertes se tiene la arena, los feldespatos y la barita. A excepción de la barita, estos sólidos no son deseables en el lodo, pues traen como consecuencia un aumento en la viscosidad plástica, en las pérdidas de filtrado y forman una torta gruesa, seca y dura.

Los sólidos activos reaccionan entre si y forman estructuras gelatinosas con el fluido, las cuales son hidratables fácilmente y por sus características influyen en la reología y propiedades de filtrado del lodo.

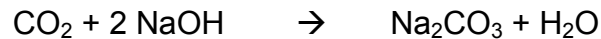
Un ejemplo de estos sólidos es la bentonita y las arcillas naturales del subsuelo que entran al sistema por dispersión de los sólidos de la perforación.

En un lodo, la viscosidad plástica es más baja cuando se presenta la contaminación con sólidos inertes debido a la poca hidratación de estos.

2.1.6 Contaminación con Carbonatos y Bicarbonatos

Las fuentes de contaminación por carbonatos y bicarbonatos más importantes son aquellas que aportan CO_2 al lodo; también cuando se sobre-trata el lodo al perforar cemento.

La reacción que ocurre entre la alcalinidad del lodo y el dióxido de carbono es la siguiente:



Las propiedades reológicas del lodo son gravemente afectadas debido a los cambios de alcalinidad; estas se muestran en la Tabla 3.

La contaminación con carbonato y bicarbonato de sodio puede detectarse porque los incrementos del punto de cedencia y la fuerza de gel a 10 minutos, no son acompañados por incrementos de la viscosidad plástica. En general, los problemas asociados con carbonatos y bicarbonatos pueden ser diagnosticados por el análisis de alcalinidad estándar del filtrado del lodo P_f y M_f .

El uso de alcalinidad estándar da un resultado no muy exacto en el cálculo de carbonatos y bicarbonatos de sodio. Un método más exacto es el uso de P_f , P_1 , P_2 .

2.1.7 Contaminación Con Gases

Los lodos de perforación base agua no solo se pueden ver afectados en sus propiedades reológicas por la contaminación con materiales sólidos o líquidos, sino que también pueden ser contaminados por otras fuentes como los compuestos gaseosos. Se presenta a continuación una breve descripción de algunos de los contaminantes gaseosos más comunes en los lodos de perforación.

2.1.7.1 Contaminación con Sulfuro de Hidrógeno (H_2S)

El contaminante más severo y más corrosivo es el gas de sulfuro de hidrógeno (H_2S). Este gas es destructivo para los materiales tubulares y es tóxico para los seres humanos.

Cuando se identifica la presencia de H_2S , el personal debe usar inmediatamente los equipos apropiados de protección personal y poner en práctica las medidas de seguridad de los trabajadores.

El gas de sulfuro de hidrógeno se origina en:

- a. Depósitos térmicos.
- b. Gas de la formación.
- c. Degradación biológica.
- d. Descomposición de materiales que contienen azufre.

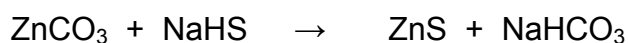
El gas de sulfuro de hidrógeno puede ser identificado por:

- a. Reducción del pH del lodo.
- b. Decoloración del lodo (hacia un color oscuro) debido a la formación de FeS a partir de la barita.
- c. Olor a huevo podrido.
- d. Aumento de la viscosidad y del filtrado debido a la reducción del pH.
- e. Formación de incrustaciones negras (FeS) sobre las tuberías de perforación de acero.

Como el H₂S es un gas ácido, el pH del lodo es reducido rápidamente mediante la neutralización de OH⁻.

Los lodos de alto pH pueden tolerar más sulfuro de hidrogeno el cual puede ser removido por precipitación con carbonato de zinc (ZnCO₃)

Las dos reacciones involucradas son:



2.1.7.2 Contaminación con Dióxido de Carbono (CO₂)

Los efectos del dióxido de carbono como contaminante son:

- a. Reducción del pH debido al CO₂ disuelto en la fase continua y la formación de ácido carbónico, creando el ambiente propicio para la corrosión.

- b. Incremento en la viscosidad plástica debido a la liberación de CO₂ disuelto en la parte superior del hueco.
- c. Reducción de la densidad del lodo, causada por las burbujas del gas CO₂
- d. Formación de espumas en la superficie.
- e. Aumento en los costos de los agentes de tratamiento y acondicionamiento del lodo.

2.1.7.3 Contaminación con Oxígeno (O₂)

Los efectos del oxígeno como contaminante son:

- a. Formar espuma en la superficie.
- b. Causa corrosión en los equipos de perforación asociados a operaciones de circulación.
- c. Aumento en los costos de los agentes de tratamiento y acondicionamiento del lodo.

2.2 TRATAMIENTO DE LODOS CONTAMINADOS

En la tecnología de los lodos de perforación existe la posibilidad de poder tratar un lodo contaminado o en su defecto si el tratamiento no es viable entonces la conversión a otro tipo de lodo mientras el contaminante lo permita.

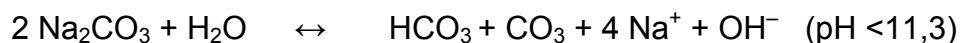
2.2.1 Tratamiento y Conversión en Lodos Contaminados con Anhidrita o Yeso.

Los lodos contaminados con yeso o anhidrita dependiendo de la cantidad de contaminante que contenga pueden ser tratado o convertido, en este caso a un lodo calado o base calcio.

2.2.1.1 Tratamiento

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- I. Aumentar la concentración de defloculante en el sistema. El lignosulfonato y el lignito son defloculantes eficaces en presencia de calcio. Este tratamiento puede ser suficiente, según la cantidad perforada de anhidrita o yeso. El lignito causa la quelación del ion calcio, eliminándolo de esa manera. Si hay demasiado calcio, será necesario usar carbonato de sodio (Na_2CO_3) para precipitarlo.
- II. El pH debe ser mantenido dentro del rango de 9,5 a 10,5 con soda cáustica (NaOH) o potasa cáustica (KOH). Este rango de pH limita la solubilidad del yeso y aumenta el rendimiento del lignosulfonato.
- III. Cualquiera de los siguientes productos químicos puede precipitar un aumento de la cantidad de calcio en el filtrado. La precipitación del calcio con una fuente de iones carbonato es sumamente eficaz. Debido al bajo pH de la anhidrita/yeso (6 a 6,5), el carbonato de sodio constituye el carbonato preferido porque tiene un pH más alto (11 a 11,4) que el bicarbonato de sodio (8 a 8,5). Cuando se mezcla carbonato de sodio en agua, el pH aumenta debido a la formación de un ion hidroxilo, de la manera siguiente:



Si los iones calcio están presentes, éstos se precipitarán como CaCO_3 insoluble (caliza). La reacción entre el carbonato de sodio y el yeso es la siguiente:



Una reacción similar ocurre cuando se usa bicarbonato de sodio como precipitante. Los productos secundarios de la reacción son compuestos químicos tales como el bicarbonato de calcio ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), un material altamente soluble (según el pH). Con la cantidad adicional de soda cáustica para mantener el pH encima de 9,7, el ion bicarbonato se convierte en carbonato.

Luego reacciona con el calcio del filtrado para precipitar CaCO_3 . Sin embargo, el periodo intermedio durante el cual el ion bicarbonato está presente puede crear problemas que pueden ser casi tan graves como la contaminación propiamente dicha.

Por lo tanto se prefiere utilizar carbonato de sodio en lugar de bicarbonato de sodio. Evitar el tratamiento excesivo con carbonato de sodio o bicarbonato. Para esto se debe consultar la cantidad que debe agregarse para el tratamiento. Los fosfatos tienen también la capacidad de tratar el calcio del filtrado. Esta reacción produce un fosfato de calcio insoluble. Los materiales comunes de este tipo que están disponibles incluyen:

- Pirofosfato Ácido de Sodio (SAPP) – $\text{Na}_2\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (pH 4,8)
- Tetrafosfato de Sodio (STP o PHOS)– $\text{Na}_6\text{P}_4\text{O}_{13}$ (pH 8,0)

Los fosfatos están limitados por su estabilidad térmica relativamente baja (aproximadamente 200 °F). Cuando se excede esta temperatura, los fosfatos se convierten en ortofosfatos. Como tales, no son eficaces como defloculantes pero aún son capaces de eliminar el calcio. Sin embargo, el carbonato de sodio constituye el producto preferido para tratar el calcio de la anhidrita o del yeso a temperaturas mayores de 200 °F.

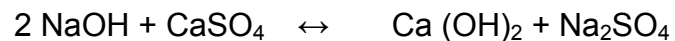
2.2.1.2 Conversión del Lodo Contaminado a un Lodo Base Calcio.

Cuando se perforan grandes secciones de anhidrita o yeso, la magnitud de la contaminación hace que sea prácticamente imposible mantener las propiedades de flujo y el control de filtrado deseables. Por lo tanto es necesario añadir sulfato de calcio para convertir el sistema en un sistema de lodo a base de calcio.

El lodo puede ser convertido en un lodo yeso mediante el tratamiento con soda cáustica, lignosulfonato y yeso adicional. Un lodo base yeso es un sistema de bajo pH, pero se requieren grandes cantidades de soda cáustica para mantener el pH dentro del rango deseado de 9,5 a 10,5. Una “cresta” de viscosidad (aumento) ocurrirá a medida que se añade el yeso adicional, pero con las adiciones apropiadas de agua, soda cáustica y lignosulfonato, el tipo de lodo cambiará después de una circulación y la viscosidad disminuirá. El yeso es añadido hasta que no tenga ningún efecto perjudicial sobre las propiedades del lodo, después de lo cual se mantiene un excedente de yeso (5 a 8 lb/bbl) para alimentar las reacciones químicas que se están produciendo. Los niveles típicos de calcio varían de 600 a 1.200 mg/l en un lodo yeso, según el pH.

El lodo también puede ser convertido en lodo cálcico mediante la aplicación del tratamiento químico que acabamos de describir. Para convertir el lodo en lodo cálcico, se añade una cantidad adicional de cal en vez de yeso, manteniendo un excedente. Para mantener un excedente de cal, la mayoría de la cal debe permanecer insoluble.

Por lo tanto, el pH del lodo cálcico debe ser controlado en exceso de 11,5, mediante adiciones de soda cáustica y cal. La soda cáustica reacciona con el sulfato de calcio para producir cal adicional, de la manera indicada por la siguiente ecuación:



El lodo resultante tratado con cal requiere una cantidad anormal de soda cáustica para mantener el excedente de cal, si se están perforando grandes cantidades de anhidrita o yeso. Por lo tanto, se prefiere generalmente usar un lodo yeso. Ambos lodos requieren la adición de un agente de control de filtrado que no sea demasiado sensible al calcio.

2.2.2 Tratamiento en Lodos Contaminados con Cemento

El éxito del tratamiento de la contaminación consiste en controlar el pH mientras se remueve el calcio y el exceso del hidróxido de calcio del sistema en forma de precipitado en forma de precipitado inerte insoluble.

Un saco de cemento (94 lb) al reaccionar con agua puede formar 74 lb de hidróxido de calcio disponible para reaccionar con el lodo. El volumen de un saco de cemento en la mayoría de los casos es de 1,1 pies³, de modo que si se conoce el volumen de cemento que se debe

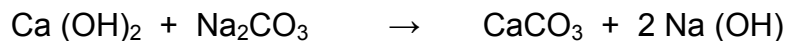
perforar, se puede predecir mejor el tratamiento; esto suponiendo que la totalidad del cemento perforado fuera dispersado en el sistema del lodo.

Debido a que la contaminación con cemento aumenta el pH, el compuesto químico más apropiado para precipitar el calcio es el bicarbonato de sodio. Una libra de bicarbonato de sodio reacciona aproximadamente con 1,1 libras de cemento. El exceso de bicarbonato de sodio dificulta el control de las propiedades del lodo.

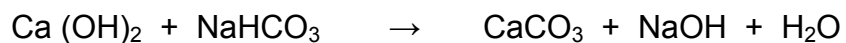
La contaminación con cemento también puede ser tratada con dispersantes orgánicos y con carbonato de sodio.

Las reacciones químicas para el tratamiento de la contaminación con cemento son:

- Con Carbonato de Sodio:



- Con Bicarbonato de Sodio:



- Con SAPP (Pirofosfato Acido de Sodio):



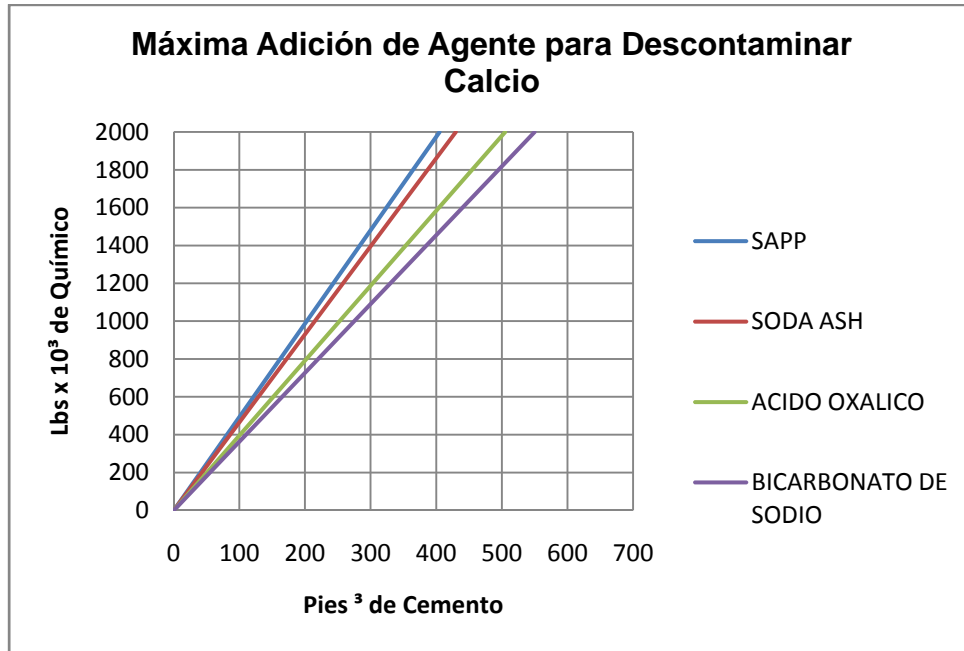


Figura 15. Máxima Adición de Agente para Descontaminar el Calcio
Fuente: Milchem, Drilling Fluids Program

En la Figura 15 se muestran las cantidades en libras de los compuestos químicos requeridos para tratar en superficie la contaminación con cemento.

El bicarbonato de sodio se usa cuando el pH es mayor de 9, reduciendo el pH a un valor cercano a 8,3. Si el pH es menor de 9 se debe usar carbonato de sodio o soda ash porque estos compuestos aumentan el pH al mismo tiempo que precipita los calcio.

Para evitar alteraciones del lodo al perforar cemento es necesario tratar el lodo con soda ash, "SAPP", y bicarbonato de sodio antes de perforar el cemento. Tan pronto se obtienen retornos de cemento es superficie se debe verificar el P_f , y el P_m tres o cuatro veces así como también la fracción volumétrica de agua f_w por medio de la retorta, para calcular el exceso de hidróxido de calcio.

2.2.3 Tratamiento en Lodos Contaminados con Sales

La sal es un contaminante que no puede removerse económicamente. Los lodos que contengan hasta 10000 ppm de sal pueden tratarse con químicos para restablecer las propiedades reológicas y de filtración.

El tratamiento consiste en agregar soda cáustica (NaOH) para aumentar el pH y activar los adelgazantes orgánicos que contenga el lodo. Luego se debe agregar más adelgazante con el objeto de dispersar completamente las partículas contenidas en el lodo. Cuando la concentración de sal es baja se puede usar fosfatos o taninos con soda cáustica, en proporción de 4 a 1 de adelgazante a soda cáustica.

Al aumentar la concentración de sal, los químicos (fosfatos ó taninos) se hacen ineficaces por lo cual se recomienda usar lignosulfonato con soda cáustica en proporción de 1 a 5 libras por barril de lignosulfonato a soda cáustica. Para controlar las pérdidas de filtrado se usa la bentonita pre-hidratada y polímeros (CMC) en cantidades moderadas para evitar incrementos en la viscosidad plástica, punto de cedencia y fuerza del gel.

Cuando la concentración de sal excede de 10000 ppm no es aconsejable ni económico tratar el lodo, sino que se recomienda convertirlo a un lodo salado o a un lodo con calcio.

2.2.4 Tratamiento en Lodos Contaminados con Cal

- a. Según el tipo de sistema usado, se puede usar SAPP u otro dispersante y bicarbonato de sodio para reducir el pH y precipitar

el calcio soluble. Entonces, las partículas de arcilla estarán libres para reaccionar con el diluyente o defloculante utilizado.

- b. Grandes tratamientos de agua y productos especiales para controlar las propiedades de flujo. Añadir bentonita para obtener el filtrado deseado, una vez que las propiedades de flujo están bajo control.

2.2.5 Tratamiento en Lodos Contaminados con Sólidos de Perforación

Los tipos y las cantidades de sólidos presentes en los sistemas de lodo determinan la densidad del fluido, la viscosidad, los esfuerzos de gel, la calidad del revoque y el control de filtración, así como otras propiedades químicas y mecánicas.

Los sólidos y sus volúmenes también afectan los costos del lodo y del pozo, incluyendo factores como la velocidad de penetración (ROP), la hidráulica, las tasas de dilución, el torque y el arrastre, las presiones de surgencia y pistoneo, la pegadura por presión diferencial, la pérdida de circulación, la estabilidad del pozo y el embolamiento de la barrena y del conjunto de fondo. A su vez, estos factores afectan la vida útil de las barrenas, bombas y otros equipos mecánicos.

Existen tres formas en que los sólidos de perforación pueden controlarse:

- Dilución.
- Sedimentación.
- Control mecánico de los sólidos.

La adición de agua es un método económico para reducir la concentración de sólidos en lodos de base agua poco densos y con pocos aditivos. La adición de mucha agua a un lodo densificado puede ser muy costosa, puesto que el nuevo volumen deberá densificarse y tratarse.

Muchos sólidos perforados se separan del lodo por sedimentación si se dejan en reposo por un periodo suficientemente largo. Ese es el propósito de la pileta de sedimentación. La sedimentación es un método particularmente eficaz para controlar los sólidos cuando se emplea agua como fluido de perforación. A menudo el lodo se hace circular por una pileta de reserva para aumentar el tiempo de sedimentación.

Se han desarrollado aditivos especiales para fomentar la sedimentación. Estos aditivos inducen la floculación, lo que hace que las pequeñas partículas se agrumen para formar partículas más grandes, las que son suficientemente pesadas para separarse por sedimentación.

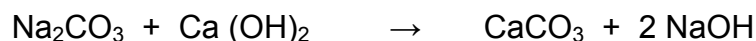
El control mecánico de sólidos entraña el empleo de uno o más de los siguientes métodos:

- Zarandas vibratorias: los sólidos perforados de mayor tamaño quedan retenidos en una malla. Dependiendo del tamaño de los sólidos un cambio de mallas ayuda a veces a resolver los problemas de sólidos.
- Desarenadores (desander) y desarcilladores (desilters): estos remueven la arena y los sedimentos del lodo. También remueven la barita y, por lo tanto, no se deben utilizar en lodos que contienen mucha barita.

- Centrifugas: cuando la densidad del lodo está por arriba de 12 lpg, un medio económico para controlar los sólidos es usualmente el empleo de una centrifuga. Retiene barita y descarta los sólidos finos. Sin embargo, también descarta las sustancias químicas que están en la fase líquida.
- Separadores de limo o limpiadores (mud cleaner): consisten en una combinación de un desarcillador y una malla. Eliminan la arena, reteniendo al mismo tiempo la barita y todas las sustancias químicas. Sin embargo, no remueven sólidos finos.

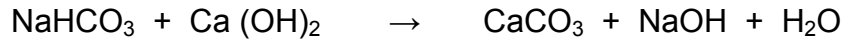
2.2.6 Tratamiento en Lodos Contaminados con Carbonatos y Bicarbonatos

El tratamiento recomendado para remover los carbonatos es precipitándolo como un carbonato de calcio (CaCO_3). Las reacciones que ocurren son:



Los bicarbonatos de sodio no son precipitados como los carbonatos de sodio en las anteriores reacciones, sino que tienen que ser convertidos a carbonatos con la adición de iones hidroxilo, para luego ser precipitados. Las reacciones son las siguientes:





Si la relación ppm HCO_3^- / ppm Ca^{++} es menor de 3.0, se debe agregar soda caustica para incrementar el pH a niveles cercanos a 9.4; si la relación es mayor de 3.0, no son necesarias las adiciones de soda caustica.

2.2.7 Tratamiento de Lodos Contaminados con Sulfuro de Hidrogeno (H_2S)

Un tratamiento de 1 lb/bbl de óxido de cinc elimina aproximadamente 1.000 mg/l de sulfuros.

OBSERVACIÓN: Consultar los reglamentos ambientales y los requisitos de toxicidad acuática locales antes de usar cualquier compuesto de cinc.

No se debe usar más de 2 lb/bbl de óxido de cinc en el tratamiento preliminar del lodo para eliminar H_2S . Se recomienda añadir de 1 a 2 lb/bbl del producto durante el tratamiento preliminar. Para proteger los materiales tubulares contra la corrosión del H_2S , se recomienda usar un lodo base aceite.

El aceite actúa como un agente formador de película en la presencia de H_2S . La ruptura por absorción de hidrógeno es la causa de la destrucción de los materiales tubulares, porque el H_0 (hidrógeno atómico) entra en los pequeños poros del metal sometidos a grandes esfuerzos y se transforma en gas H_2 (hidrógeno molecular), causando la ampliación del volumen de la molécula de hidrógeno, lo cual rompe el metal.

El H₂S no es menos tóxico en lodos base aceite que en lodos base agua. En realidad, con los lodos base aceite sería necesario tomar mayores precauciones que con los lodos base agua, debido a la solubilidad del H₂S en el aceite. La detección del sulfuro de hidrógeno en el lodo puede ser probada de dos maneras:

- a. Tren de Gas de Garrett (GGT).
- b. Prueba de Hach.

Ambas pruebas son rápidas, fáciles y producen resultados fáciles de definir, pero con el tren de gas de Garrett es más preciso y proporciona un resultado cuantitativo.

El procedimiento está descrito en RP 13 B. Si se detecta H₂S en el lodo cuando se usa la prueba de filtrado soluble en el tren de gas de Garrett, será necesario tomar medidas para:

- a. Aumentar inmediatamente el pH hasta un valor de por lo menos 11.5 a 12.0, mediante la adición de soda cáustica.
- b. Amortiguar el pH con cal.
- c. Comenzar tratamientos con óxido de cinc para eliminar los sulfuros solubles del sistema. Si parece que el H₂S proviene (fluye) de la formación, la densidad del lodo debería ser aumentada para interrumpir el flujo de gas dentro del pozo.

Las propiedades químicas del gas de sulfuro de hidrógeno son bastante complejas.

Las acciones descritas anteriormente son recomendadas para minimizar los aspectos tóxicos de este contaminante corrosivo.

Tabla 3. Reconocimiento de Contaminación y Tratamiento de Lodos

Contaminante	WT	FV	PV	YP	Gels	FL	pH	Pm	Pf	Mf	CL ⁻	Ca ²⁺	Sólidos	Tratamiento
Cemento	—	↑	—	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	—	↑ pH 11.5 ↓	—	Bicarbonato o SAPP o diluyente, bicarbonato y ácido cítrico.
Yeso o anhidrita	—	↑	—	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	—	↑	—	Soda cáustica, agua de dilución y diluyente, o carbonato de sodio (más polímero para filtrado).
Sal	—	↑	—	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↗	—	Soda cáustica, aguas de dilución, diluyente y polímero para filtrado.
Carbonato o bicarbonato	—	↑	—	↑	↑	↗	↓	↓	↗	↑	—	↓	—	pH < 10.3; Cal pH 10.3 a 11.3; Cal y Yeso pH >11.3; Yeso.
H ₂ S	—	↑	—	↑	↑	↑	↓	↓	↓	↓	—	↗	—	Soda cáustica, cal y fuente de cinc (óxido de cinc).
Sólidos Antiguos	↗	↗	↗	—	↗	—	—	—	—	—	—	—	↑	Agua de dilución y equipo de remoción de sólidos.
Sólidos Nuevos	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↘	↘	↘	↘	↗	↗	↑	Agua de dilución y equipo de remoción de sólidos y diluyente.

↑ Aumento ↓ Reducción — Sin Cambio ↗ Ligero Aumento ↘ Ligera Reducción

Donde:

WT = Densidad

FV = Viscosidad embudo

PV = Viscosidad Plástica

YP = Punto cedente

Gels = Esfuerzos de Gel

FL = Pérdida de filtrado

Pm = Alcalinidad del lodo

Pf = Alcalinidad del filtrado

Mf = Alcalinidad del filtrado de naranja de metilo

3 TEORÍA SOBRE EL PROCESO DE DISPERSIÓN

El proceso de dispersión de polvos en líquidos es utilizado en muchas industrias:

- Pinturas
- Papel
- Tintas
- Textiles
- Adhesivos
- Farmacéutica, etc.

Todas estas industrias usan aditivos químicos para incrementar o acelerar el proceso de dispersión; este proceso es, esencialmente, un proceso mecánico usado para distribuir en forma homogénea las partículas del sólido en un medio y estabilizan el sistema contra la sedimentación.

3.1 FÍSICO-QUÍMICA DE LA DISPERSIÓN

El término de dispersión es utilizado para referirse al proceso de incorporación de un sólido a un medio líquido de modo tal que el producto final consiste en finas partículas distribuidas a través del medio.

Los dispersantes de pigmentos son usados para incrementar la velocidad a la cual se realiza este proceso.

3.1.1 Etapas del Proceso de Dispersión

Se considera que existen tres etapas en el proceso de dispersión:

- a. Mojado del polvo, que involucra el desplazamiento del aire que se encuentra en las superficies de las partículas.
- b. Las partículas ya mojadas, son rotas en partículas más pequeñas, proceso normalmente acompañado de energía mecánica.
- c. Estabilización: cuando hay ausencia de fuerzas repulsivas, las partículas dispersas tienen la tendencia natural a reducirse, en número, debido a las fuerzas atractivas. La reducción en el número de partículas es denominada floculación. La función principal de un dispersante es mantener estas partículas dispersas en el estado defloculado.

3.1.2 Fuerzas Existentes entre Partículas

Las partículas ejercen entre sí fuerzas de atracción o repulsión y el movimiento Browniano permite que estas se acerquen entre sí. La resultante de las fuerzas atractivas y repulsivas determina que las partículas se aglomeren o no.

3.1.2.1 Fuerzas Atractivas

Durante el acercamiento entre dos partículas dispersadas, existen tanto fuerzas repulsivas como atractivas. Esto se debe a que los aditivos dispersantes son sustancias que al adsorberse en la superficie de un material mantienen las partículas distanciadas mediante procesos de repulsión electrostática y/o impedimento estérico, reduciendo así la tendencia a la aparición de una floculación incontrolada.

- London - Van der Waals: Las fuerzas intermoleculares resultantes de las interacciones de los dipolos de las partículas son las fuerzas atractivas dominantes en las dispersiones coloidales.

Son fuerzas más débiles y sus propiedades dependen de las partículas y del medio de dispersión. Estas fuerzas de atracción surgen de dipolos instantáneos debido a la distorsión de la nube electrónica alrededor de cada átomo.

Entre dos átomos esta atracción es inversamente proporcional a la distancia de la séptima potencia ($1/d^7$); para dos partículas esféricas esta fuerza es inversamente proporcional a la distancia del cubo ($1/d^3$). Así, para una estructura grande de átomos como la arcilla, esta fuerza puede ser significativa. La fuerza de atracción es esencialmente independiente de la concentración electrolítica.

- Puente Poliméricos, en el caso de polímeros adsorbidos
- Puente hidrógeno: actúan a distancia menor que las de London - van der Waals pero son más fuertes
- Fuerzas atractivas electrostáticas o Coulombicas: asociadas a cargas opuestas en las superficies de las partículas.

3.1.2.2 Fuerzas Repulsivas

- **Repulsión Eléctrica de Capas:** Las arcillas tienen superficies negativamente cargadas, este desbalance es compensado por adsorción de iones de la solución circundante mediante atracción electrostática. El efecto de atracción superficial y la difusión de

iones, dan origen a una capa de hidratación alrededor de la partícula de arcilla con una concentración iónica alta cerca de la superficie y que disminuye gradualmente hasta el valor del medio circundante. El volumen alrededor de la superficie es conocido como capa difusa o capa Gouy, y su representación esquemática se muestra en la Figura 16. El grosor de la capa se reduce a medida que aumenta la concentración de sal y la valencia de los iones.

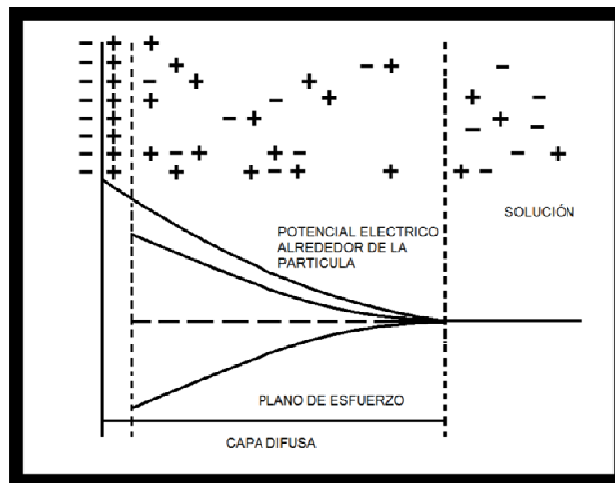


Figura 16. Efecto de Atracción Superficial y Difusión de Iones
Fuente: Muñoz. S. Fluidos de Perforación. Chevron Petroleum
Company of Colombia.

Cuando dos partículas de arcilla se acercan, cada una con su atmósfera difusa de iones, se presenta una interferencia que produce variaciones en la distribución de cargas de las capas. Este cambio implica que debe introducirse energía al sistema para lograr unir las partículas, dado que, la energía no está disponible, las partículas se repelen conservando el estado de más baja energía.

Un aumento en la concentración electrolítica reduce el tamaño de las capas difusas, lo cual implica una disminución de la energía necesaria para alterar las distribuciones de las capas, permitiendo a las partículas acercarse lo suficiente como para que las fuerzas atractivas superen a las fuerzas repulsivas.

- **Des-adsorción de Agua:** Las arcillas gracias a su polaridad mantienen una o dos capas de agua unidas estrechamente a la superficie. Para que las partículas puedan aproximarse al máximo, se requiere desplazar el agua. Esta energía repulsiva llega a ser alta cuando las distancias entre partículas son probablemente menores a 10 Å.
- **Repulsión de los Bordes:** Esta es una fuerza de repulsión de muy corto alcance y que se genera cuando el contacto está lo suficientemente cerca para distorsionar los electrones de los átomos. Esta repulsión impide la interpenetración de los enmallados de átomos.
- **Fuerzas de Repulsión Electroestática entre las Partículas Cargadas:** El mecanismo para estabilizar una dispersión, donde dominan las fuerzas repulsivas es conocido como “estabilización electrostática” o “Coulombica”. Este tipo de estabilización es posible cuando las partículas dispersas poseen una carga eléctrica homogénea; esta carga puede ser desarrollada en distintas formas.

Los siguientes son tres mecanismos que usualmente contribuyen:

- Disociación de grupos iónicos en la superficie de las partículas.
- Adsorción de sólo un tipo de iones o adsorción de iones de cargas opuestas de diferente magnitud.
- Cuando los contra-iones disueltos están presentes en cantidades desiguales.

3.1.3 Mecanismos Defloculantes

Para mantener un sistema en un estado defloculado las fuerzas repulsivas deben ser maximizadas. Esto se puede lograr por dos mecanismos:

- Reducción de la concentración de sal
- Maximización de la carga negativa

3.1.3.1 Reducción de la Concentración de Sal

Con el fin de maximizar la repulsión entre placas, la concentración electrolítica debe ser mantenida tan baja como sea posible.

3.1.3.2 Maximización de las Cargas Negativas

Para maximizar las cargas negativas se deben tener en cuenta dos condiciones:

- Alto pH: Un pH mayor de 8.0 incrementará el número de grupos silíceos ácidos en los bordes de la arcilla. Por tanto, manteniendo un pH alcalino con soda caustica, se pueden estabilizar los sistemas agua-arcilla.
- Adición de defloculantes y dispersantes: Hay una gran variedad de químicos conocidos como adelgazantes o dispersantes, que aunque son de estructuras diferentes se pueden describir como polímeros cargados negativamente.

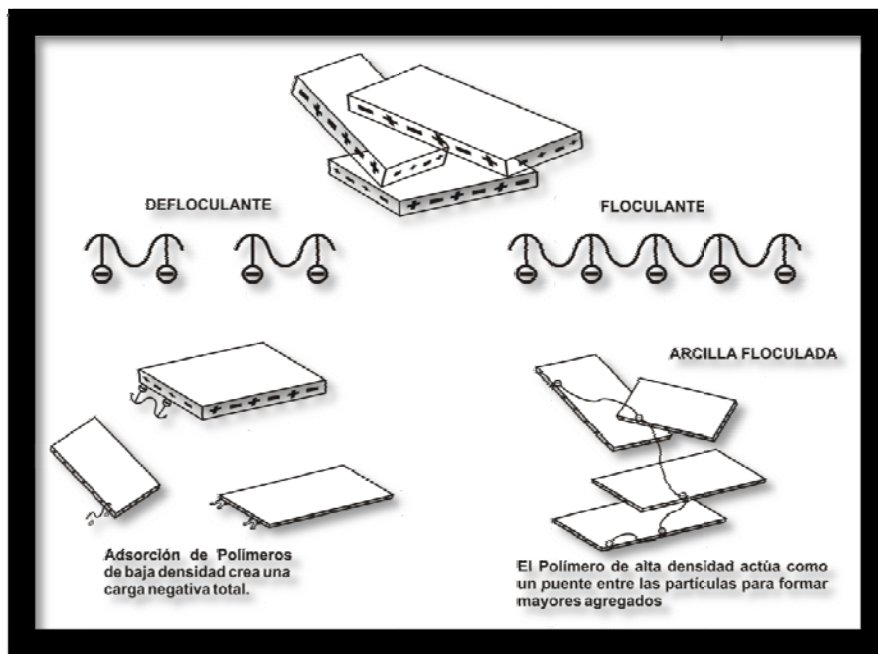


Figura 17. Efecto del Floculante y Defloculante en las Arcillas
Fuente: Muñoz. S. Fluidos de Perforación. Chevron Petroleum Company of Colombia.

La Figura 17 ilustra el mecanismo por el cual una cadena corta de polímeros cargada negativamente puede neutralizar cargas positivas en la arcilla cuando el polímero es adsorbido.

El resultado es una mayor densidad de cargas negativas y un incremento de la repulsión entre partículas.

La tabla 4 es un resumen de los adelgazantes comerciales y sus principales características.

Tabla 4. Primeros Adelgazantes y Dispersantes Comerciales usados en Fluidos de Perforación.

ADELGAZANTE	PH (S/N 1%)	LIMITACIONES
1. Pirofosfato Acido de Sodio	4.3	Se descompone y da propiedades floculantes a temperaturas mayores de 80 °C. No es efectivo en presencia de concentraciones altas de calcio.
2. Tetrafosfato de Sodio	8.0	Al igual que el anterior.
3. Lignosulfonatos	7.0	Empieza a descomponerse a temperaturas superiores de 150 °C. El pH debe ser al menos de 9.0
4. Lignito	3.2	Se descompone a temperaturas superiores a los 175 °C. El pH debe ser al menos de 9.0
5. Taninos	5.0	No es muy efectivo si el pH es menor de 11.0.
6. Surfactantes	---	Arriba de los 150 °C tiene problemas de estabilidad. Es más costoso que el lignito.
7. CMC de baja viscosidad	7.5	Se descompone a temperaturas arriba de los 125 °C. Es sensitivo a altas concentraciones de calcio. Es compatible con agua salada y funciona como defloculante y agente controlador de pérdida de filtrado.

Fuente: Muñoz Navarro, Samuel Fernando. Fluidos de Perforación Chevron Petroleum Company of Colombia.

Los materiales adicionados tienden a ser acidificantes, por tanto se debe acompañar su presencia con soda caustica.

3.1.4 Mecanismos de Floculación

3.1.4.1 Altas Concentraciones de Sal

La concentración de la capa difusa alrededor de la arcilla, debido a la alta concentración de sal, disminuye notablemente las fuerzas repulsivas y permite que las fuerzas atractivas comiencen a predominar.

En la práctica los lodos base agua fresca se pueden flocular, cuando se les adiciona sal.

3.1.4.2 Cationes Polivalentes

Un catión polivalente que contiene más de una carga positiva, puede solamente ser adsorbido sobre varios puntos de intercambio de dos placas diferentes.

Esto genera una estructura de floculación, conocido como “puente de ion” ver Fig. 18.

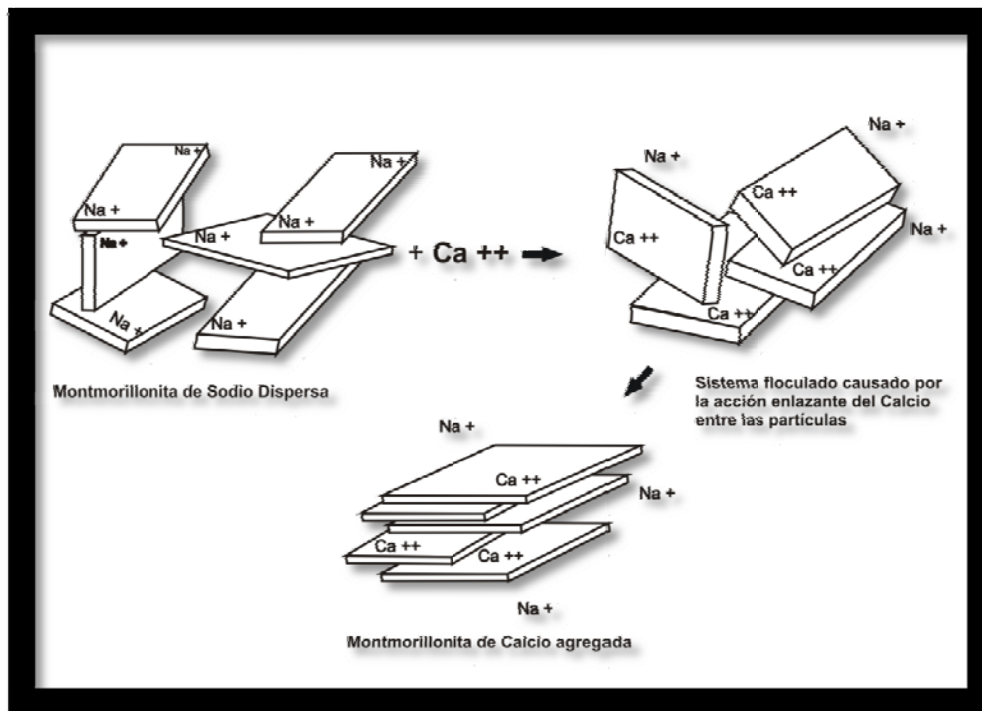


Figura 18. Efecto de los Cationes Polivalentes
Fuente: Muñoz. S. Fluidos de Perforación. Chevron Petroleum Company of Colombia.

El calcio es el ion más común, para conseguir una estructura, aunque también lo son el aluminio, el magnesio y el zirconio. Con el tiempo la floculación da paso a la agregación, si no se toman medidas correctivas eficientes.

3.1.4.3 Floculantes Poliméricos

Los polímeros orgánicos de cadena larga pueden flocular los sistemas de arcilla. La principal causa es la acción enlazante de la molécula, esto le permite mantener varias placas de arcilla unidas al mismo tiempo, como se muestra en la Figura 17.

3.1.4.4 Bajo pH

Dado que las cargas en los bordes de las placas depende del pH, un valor bajo generará más grupos positivos induciéndose asociación entre el borde y la cara de las arcillas. Valores de pH menores de 7.0 probablemente generan esta situación.

3.1.5 Control de la Viscosidad

La viscosidad de los fluidos, es el resultado de la interacción entre la fase continua con los sólidos y con los polímeros de alto peso molecular que están disueltos.

Los enlaces débiles entre las fases del sistema son rotos por la acción cortante generada por el flujo, esto da origen al comportamiento tixotrópico de los fluidos.

La tixotropía es una medida de la resistencia del gel, la cual es una característica importante del lodo para funciones como suspensión de la barita y de los ripios cuando se interrumpe la circulación.

3.1.5.1 Interacciones Agua - Arcilla

Las partículas de arcilla, gracias a enlaces de hidrogeno con las moléculas de agua y el agua asociada a los cationes adsorbidos, dan origen a la reducción de agua libre y a la formación de una estructura resistente al corte y al flujo.

3.1.5.2 Interacciones Agua - Polímero

Su acción es similar a las arcillas, al ayudar a reducir el volumen de agua libre.

3.1.5.3 Interacciones Arcilla - Arcilla

Todos los factores que tienden a aumentar la fuerza de las atracciones tienden a aumentar la viscosidad del sistema. Un balance cuidadoso del estado de floculación y de defloculación, dará las propiedades óptimas de flujo y control de pérdidas de fluidos.

3.1.5.4 Interacciones Arcilla - Polímero

La reacción entre la arcilla y el polímero depende de factores como:

- a. **Peso Molecular:** Hay una relación directa entre el peso molecular y la longitud de la molécula. Un peso molecular alto es un indicativo de una cadena larga, lo cual le da una propiedad floculante dado que pueda asociarse a varias partículas de arcilla al mismo tiempo. Los polímeros de bajo peso molecular son defloculantes.
- b. **Adsorción en la arcilla:** La fuerza y el lugar de la adsorción dependen del carácter químico del polímero. Generalmente los polímeros cargados negativamente se adsorben en las partes positivas de los bordes de las placas. La mayoría de los fluidos

de perforación son de este tipo. La adsorción tiende a ser muy fuerte con polímeros de alto peso molecular.

3.1.5.5 Interacción Polímero – Polímero

Generalmente se piensa que las cadenas poliméricas están suspendidas independientemente en la fase continua, pero en realidad estas se asocian formando cúmulos de polímero. Esto es más en moléculas de mayor tamaño. Por consiguiente, los polímeros de alto peso molecular originan viscosidades mayores que las obtenidas con los polímeros de bajo o menor peso molecular a un mismo nivel de concentración.

Los factores que afectan la viscosidad se resumen en la Tabla 5.

Tabla 5. Factores que Afectan la Viscosidad

Incrementa la viscosidad	Disminuye la viscosidad
a. Aumentar la concentración de sólidos	a. Diluir agua
b. Adicionar polímeros de alto peso molecular	b. Dispersar con polímeros de bajo peso molecular
c. Flocular con calcio y con otros cationes polivalentes	c. Remover el calcio mediante tratamiento químico
d. Flocular con sales	d. Dispersar a altos pH
e. Flocular a bajo pH	e. Remover los sólidos

Fuente: Muñoz. S. Fluidos de Perforación. Chevron Petroleum Company of Colombia.

3.2 TIPOS DE DISPERSANTES

A continuación se mencionan los tipos de dispersantes mas utilizados en la industria de los fluidos de perforación, los cuales son utilizados de acuerdo al tipo de tratamiento que requiera el lodo de perforación.

Estos aditivos se clasifican en los siguientes grupos:

- Taninos
- Lignitos
- Fosfatos
- Lignosulfonatos

3.2.1 Taninos

3.2.1.1 Compuesto de Quebracho

Fabricante	Baroid	IMCO	Magcohar	Milchem
Producto	Tannex	Imco - QBT	M.C. Quebracho	Tanco

Mezcla preparada de quebracho y lignito cuyo pH es de 3,8. Este producto combina la capacidad del lignito como controlador de filtrado y las mejores características dispersantes del quebracho. Ofrece un control excelente de las propiedades de flujo en lodos de agua dulce y en lodos tratados con cal con rangos medios y altos de pH.

Altas concentraciones de sal y/o contaminaciones con calcio limitan la efectividad del compuesto. En lodos de agua dulce se usa de 1 a 2 lpb y en lodos de cal se emplea de 2 a 4 lpb.

3.2.1.2 Tanino Modificado

Fabricante	Baroid	IMCO	Magcobar	Milchem
Producto	Desco	Desco	Desco	Desco

Sólido escamoso, pardo-rojizo, fácilmente soluble en cualquier tipo de agua. Es un material alcalino efectivo en lodos de perforación con una amplia gama de pH; sin embargo, el pH óptimo para el control de las propiedades reológicas es de 9 a 11.

Su estabilidad térmica lo convierte en un excelente reductor de la viscosidad en lodos a altas temperaturas.

El tratamiento recomendado varía de 0,1 lpb para un lodo de bajo contenido de sólidos y de 4 lpb para un sistema disperso densificado.

3.2.2 Lignitos

3.2.2.1 Lignito Procesado

Fabricante	Baroid	IMCO	Magcobar	Milchem
Producto	Carbonox	IMCO-LIG	Tann a Thin	Ligco

Dispersante en lodos de agua dulce. Estabiliza emulsiones de petróleo en agua, da un buen control de la pérdida de filtrado y es excelente en cuanto a estabilidad térmica.

Se usa frecuentemente con el quebracho en lodos tratados con cal; su rango óptimo de pH se encuentra entre 8,5 y 9,5

El tratamiento para lodos de agua dulce es de 1 a 3 lpb y como estabilizador de la emulsión de 1 a 2 lpb.

3.2.2.2 Lignito Alcalinizado

Fabricante	Baroid	IMCO	Magcobar	Milchem
Producto	CC-16	Imco-Thin	Caustilig	Ligcon

Se usa de igual forma que el lignito procesado, dado que el lignito alcalinizado contiene soda caustica, tiene la ventaja de ser mas soluble que el lignito puro, lo cual da por resultado una reacción rápida y la eliminación de la soda caustica cruda para el control de pH en lodos que se mantienen en el rango bajo (8,5 a 9,5).

3.2.3 Fosfatos

3.2.3.1 Pirofosfato Acido de Sodio

Fabricante	Baroid	IMCO	Magcobar	Milchem
Producto	SAPP	SAPP	SAPP	SAPP

Se utiliza como reductor de la viscosidad en lodos de bajo pH, cuando la temperatura no excede de 200 ° F; su pH es 4. Se emplea para precipitar el calcio soluble derivado de la contaminación con yeso o con cemento. Los fosfatos no se deben emplear en lodos tratados con calcio. Como dispersantes alcanzan su máxima efectividad en lodos

con pH 8 a 9. Se usa en cantidades mínimas, ¼ a ½ lpb con adiciones de quebracho y soda caustica.

3.2.3.2 Tetrafosfato de Sodio

Fabricante	Baroid	IMCO	Magcobar	Milchem
Producto	Barofos	Imco-PHOS	Magco Phos	Oil Fos

Posee un pH aproximadamente de 7. Se usa de igual forma que el SAPP.

Los fosfatos se descomponen dando origen a ortofosfatos a 200 ° F, por lo tanto no se debe exceder esta temperatura cuando se desea que funcione como reductor de viscosidad. Las cantidades de tratamiento son pequeñas; si se emplea una cantidad demasiado grande en lodos de bajo contenido de sólidos este puede dispersarse hasta el punto en que la barita se sedimenta o precipita. Para obtener buenos resultados, los fosfatos se deben mezclar con agua en un barril químico y luego drenar gota a gota en el sistema de lodo.

3.2.4 Lignosulfonatos

3.2.4.1 Lignosulfonato Modificado

Fabricante	Baroid	IMCO	Magcobar	Milchem
Producto	Q-Broxin	Imco VC-10	Spersene	Unical

Constituido por un cromo lignosulfonato de sodio modificado (pH de 4). Su función es controlar la pérdida de filtrado en lodos de agua dulce, lodos base cal y lodos salados. Se usa para tratar contaminaciones con yeso, cemento, anhidrita y sal, es un excelente emulsificante de petróleo crudo o diesel, trabaja a altas temperaturas (300 a 400 ° F) y variados rangos de pH (7-12).

✓ Tratamiento

- De 1 a 3 lpb como dispersante para lodos de agua dulce
- De 2 a 6 lpb como dispersante en lodos tratados con cal, yeso, cemento y sal.
- De 2 a 4 lpb como tratamiento en la contaminación con cemento, yeso y sal.

3.2.4.2 Lignosulfonato Libre de Cromo

Fabricante	Baroid	Magcobar	Milchem
Producto	RD-2000	MAGCO CFL	Unical

Es un lignosulfonato modificado, lo cual lo hace un dispersante excelente sin necesidad de emplear sales de cromo, sirve como dispersante y controlador de filtrado en lodos de agua dulce, salada, cal, yeso y KCL. Tiene un pH de 3,5 por lo que requiere de soda caustica para trabajar en un pH de 8 a 12.

✓ Tratamiento

- Dispersante para lodo de agua dulce de 2 a 3 lpb
- Tratamiento para contaminación con yeso, sal o cemento de 3 a 4 lpb
- Dispersante para lodos tratados con cal, yeso o sal de 3 a 6 lpb.

3.3 CAMPOS DE APLICACIÓN DE LOS DISPERSANTES

El concepto de dispersión tiene un amplio campo de aplicación y para poder llevar a cabo este proceso se necesitan de agentes dispersantes que entran a formar parte de la solución en la cual se necesita que sus componentes estén dispersos.

Para lograr este propósito se debe tener en cuenta el campo de aplicación, dentro de los cuales están:

- Industria Petrolera
- Industria Textil
- Industria Farmacéutica
- Industria de los Cosméticos
- Industria de las Pinturas

3.3.1 En la Industria Petrolera

En la industria de los hidrocarburos se utilizan diferentes tipos de dispersantes, dependiendo del tipo de operación que se busca realizar,

esto hace referencia a procesos de dispersión en lodos de perforación para la estabilización de las partículas y mejoramiento de las propiedades de los fluidos de perforación.

También, los procesos de dispersión son utilizados cuando se presentan derrames de crudo en las costas y en alta mar, esto con el fin de poder realizar el proceso de recolección del crudo derramado de una mejor manera.

3.3.1.1 En Lodos de Perforación.

Cuando en los Fluidos de perforación entran componentes de la formación los cuales se mezclan con el lodo, se comienzan a perder las propiedades reológicas óptimas con las que debe contar un lodo de perforación, esto implica alteraciones en la viscosidad del lodo y disminución de las propiedades de la torta, al no poder controlar las pérdidas de filtrado hacia la formación.

Dependiendo del tipo de sustancia que se mezcla con el lodo, se utiliza un determinado tipo de dispersante para poder traer de vuelta en la medida de lo posible o mejorar lo más que se pueda, las propiedades originales del lodo de perforación.

Los tipos de dispersantes utilizados en este campo de los lodos de perforación, fueron descritos en la sección anterior, numeral 3.2

3.3.1.2 En Derrames de Hidrocarburos

Los dispersantes fomentan la formación de numerosas y minúsculas gotas de hidrocarburos y retardan la re-coalescencia de dichas gotas para formar manchas nuevamente.

Esto ocurre porque los dispersantes contienen surfactantes (agentes tenso activos) que reducen la tensión interfacial entre el hidrocarburos y el agua.

Las moléculas de los surfactantes poseen grupos de cabeza hidrofílica (que buscan el agua) que se asocian con las moléculas de agua y colas oleofílicas (que buscan el hidrocarburo) que se asocian al hidrocarburo. De este modo, las moléculas del surfactante rodean a las gotitas de hidrocarburos y las estabilizan.

Esto ayuda a estimular la dilución rápida mediante los movimientos del agua. La figura 19 muestra al surfactante que se sitúa en la interfaz agua/hidrocarburo.

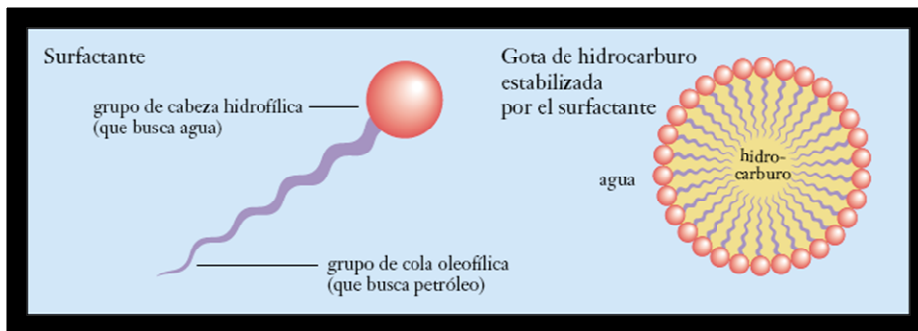


Figura 19. Composición y Efecto de los Surfactantes
Fuente: Serie Informes de Ipieca. Vol. 5. Nov. /2001

La Fig. 20 muestra el hidrocarburo dispersado en gotitas estabilizadas por el surfactante.

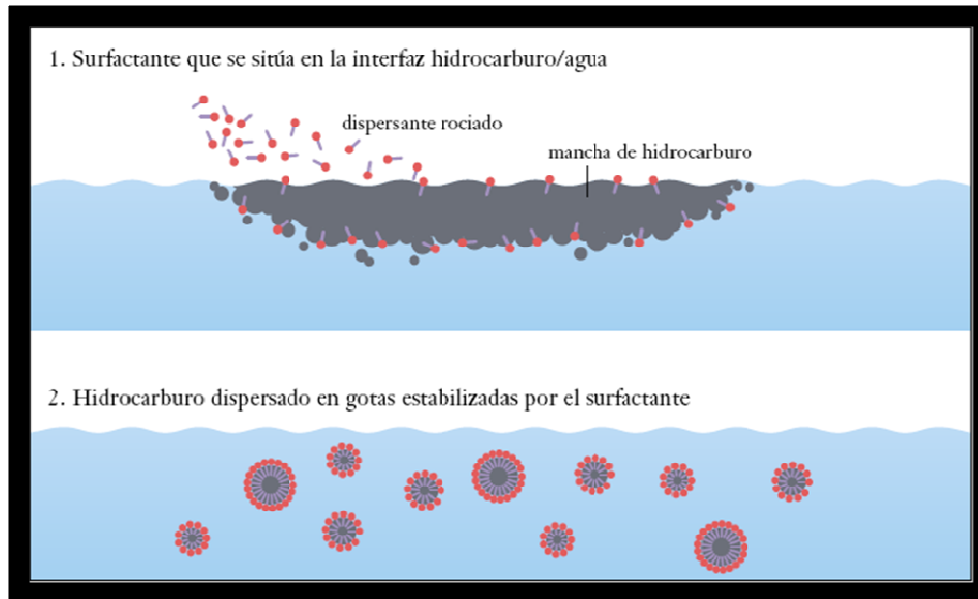


Figura 20. Efecto de Estabilización de los Surfactantes
Fuente: Serie Informes de Ipieca. Vol. 5. Nov. /2001

Los dispersantes alteran el equilibrio entre la dispersión natural y la emulsificación, acercando el equilibrio hacia la dispersión y alejándolo de la emulsificación.

Los ingredientes activos en los dispersantes, los surfactantes o agentes tenso activos, alteran las propiedades de la interfaz hidrocarburo/agua, de forma tal que la misma cantidad de energía producida por el oleaje, genera una proporción mucho más grande de pequeñísimas gotas de hidrocarburos, suprimiendo por otro lado la emulsificación. Al aplicar dispersante en el hidrocarburo derramado, es posible inhibir la formación de emulsiones a la vez que se fomenta la dispersión de la mancha. Este procedimiento se ilustra con la figura 21.

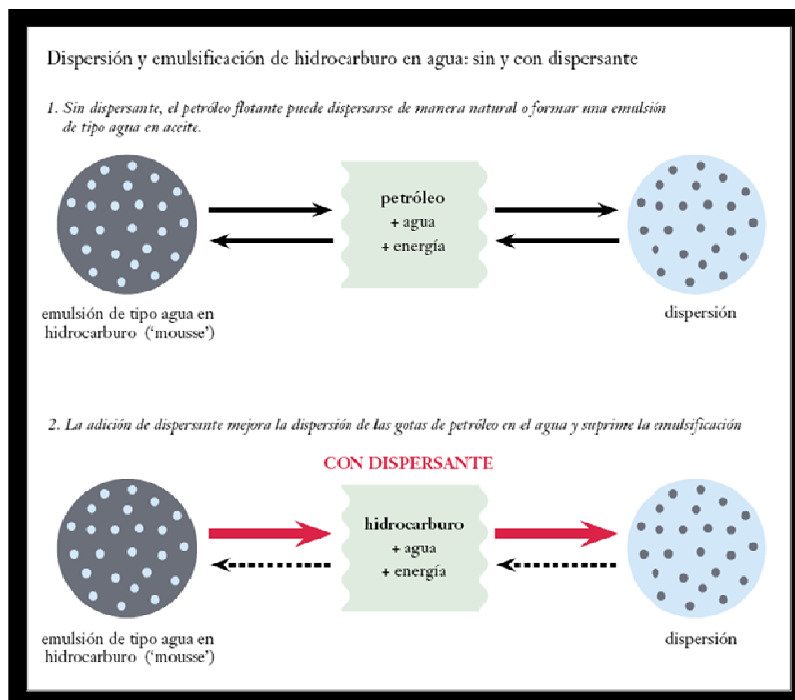


Figura 21. Dispersión-Emulsificación de Hidrocarburo en Agua: sin y con Dispersante

Fuente: Serie Informes de Ipieca. Vol. 5. Nov. /2001

3.3.2 En la Industria Textil

Los colorantes insolubles en forma de dispersiones acuosas son empleados en varios procesos de teñido y estampado, por lo cual son necesarios los dispersantes en la preparación de colorantes, ya que estabilizan el estado disperso con precisión durante su aplicación y pueden también prevenir que se precipite el colorante.

Los dispersantes empleados pueden dividirse en dos clases:

- a. Surfactantes
- b. Oligo-electrolíticos y poli-electrolíticos

Ambos tienen una estructura anfotérica y su actividad se basa en la formación de películas protectoras electrostáticas y mecánicas

alrededor de las partículas dispersas del colorante, con lo cual se previene su precipitación y aglomeración.

3.3.3 En la Industria Farmacéutica

En la industria farmacéutica los derivados carboximetilados se usan como aditivos dispersantes en tabletas y en sistemas de liberación controlada de medicamentos mediante la obtención de complejos con sustancias farmacológicamente activas.

Algunos productos como el almidón de yuca y algunos almidones modificados son ampliamente usados en la fabricación de píldoras o tabletas, en las cuales cumplen dos funciones: como agente de dispersión de polvo y como ligante del ingrediente activo de la tableta. Cuando esta es ingerida, el almidón absorbe rápidamente la humedad y se hincha causando un estrés interno al interior de la tableta el cual se desintegra y libera el ingrediente activo.

3.3.4 En la Industria de los Cosméticos

En las máscaras con elevado contenido en pigmentos, se adicionan dispersantes para mejorar la estabilidad de la formulación. Estos dispersantes pueden ser copolímeros acrílicos/dimetilpolisiloxano disueltos en una silicona volátil, que además proporcionan una película hidrófoba y lipófoba de larga fijación.

También se emplean pigmentos que, técnicamente, son emulsiones de un copolímero alquilacrilato y que confieren ventajas adicionales al producto terminado: buena resistencia al agua, mayor brillo y una película más dura y flexible.

3.3.5 En la Industria de las Pinturas

En la producción de pinturas, la dispersión de los pigmentos en el vehículo (formado por el ligante o resina, disolventes y diluyentes) es una de las operaciones fundamentales para obtener un producto de alta calidad. Dado que se trata de la interacción de un líquido con un sólido, la operación debe ser optimizada para evitar la aparición de defectos tanto en la pintura al estado líquido (floculación, flotación, sedimentación) como durante la formación de la película o en la película formada (pérdida de brillo, cambio de color o tono, etc.); también de otros relacionados con la reología del sistema disperso.

Durante la dispersión tienen lugar tres etapas:

- Humectación
- Reducción mecánica de tamaño
- Estabilización

En la de humectación se produce un contacto íntimo entre una fase sólida (pigmentos y cargas) y una líquida (vehículo), con desplazamiento simultáneo del aire y la humedad absorbidos sobre la superficie de la sustancia sólida.

La zona interfacial sólido/gas (pigmento/aire) es transformada a sólido/líquido (pigmento/vehículo).

En la de reducción mecánica del tamaño de los pigmentos y/o cargas se utilizan fuerzas de cizalla producidas por medios de dispersión apropiados, los que reducen los aglomerados al tamaño de partículas individuales.

En la tercera y última etapa, es necesaria una estabilización del estado de dispersión alcanzado para evitar un apelmazamiento de las

partículas, es decir, una re-aglomeración o floculación no controlada durante el almacenamiento de la pintura líquida y/o también en la película de pintura aún húmeda.

Si bien el éxito de la operación depende, en primera instancia, de la acertada selección de la mezcla de disolventes y diluyentes que componen el vehículo, las etapas de humectación y estabilización aumentan su eficiencia por la acción de los aditivos incorporados a la formulación. En general, suelen usarse aditivos específicos para cada etapa pero la acción también puede ser realizada por un mismo producto que actúe como humectante y dispersante.

3.4 LA FUNCIÓN DE LOS DISPERSANTES EN LOS LODOS DE PERFORACIÓN

A medida que se va llevando a cabo la perforación de un pozo, se van añadiendo al lodo materiales provenientes de las formaciones del pozo los cuales van a afectar primordialmente las propiedades reológicas y de filtrado del lodo. Por esta razón se deben emplear productos adelgazantes o dispersantes que puedan contra-restar los efectos nocivos provocados por estos materiales.

Los productos químicos de carga aniónica que se usan comúnmente para el tratamiento del lodo de perforación incluyen fosfatos, taninos, ligninas de ácido húmico (lignito), lignosulfonatos y polímeros sintéticos de bajo peso molecular.

Esta adsorción modifica el equilibrio de las fuerzas que actúan sobre la partícula de arcilla, pasando de una fuerza de atracción (floculación) a una fuerza repulsiva (defloculación). En lugar de unirse, las partículas se rechazan o tienden a evitar cualquier contacto entre ellas.

Los agentes de tratamiento químico reducen la floculación en los fluidos de perforación base agua-arcilla, mediante uno o varios de los siguientes mecanismos.

- Eliminando el contaminante mediante precipitación
- Reduciendo los efectos del contaminante mediante la complejidad del lodo contaminado (secuestro)
- Neutralizando la floculación mediante la satisfacción de las cargas catiónicas en las partículas de arcilla
- Encapsulando o formando una película protectora alrededor de la partícula de arcilla.

3.5 PRUEBAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LOS DISPERSANTES

Las propiedades físicas y químicas de un lodo de perforación deben ser controladas para asegurar un desempeño adecuado del fluido de perforación. Los parámetros son verificados y ejecutados tanto en el laboratorio como en el pozo para ser registrados en el informe de campo.

En este trabajo de investigación el producto que fue objeto de análisis fue el Mucílago de Fique para poder determinar su efectividad como posible dispersante biodegradable en lodos de perforación.

3.5.1 Propiedades Reológicas

La reología de los fluidos de perforación comprende tres propiedades:

- I. Viscosidad Plástica
- II. Punto de Cedencia

III. Resistencia al gel

La viscosidad es una medida de la resistencia al flujo de un fluido; en operaciones de perforación, se debe controlar y proveer los medios para su respectiva medición. Las condiciones del pozo, la velocidad de bombeo, la tasa de penetración, el tamaño de los cortes, la presencia de dispersantes y el peso, son los principales factores que influyen en la viscosidad.

En la determinación de la viscosidad se usan tres instrumentos:

- I. Embudo Marsh
- II. Viscosímetro Rotatorio o Fann

Para este trabajo de investigación se utilizó el Viscosímetro rotatorio o Fann.

3.5.1.1 Viscosidad Aparente (V_a)

Es una medida del esfuerzo de corte y una función de la cantidad de sólidos que componen el fluido de perforación. La viscosidad aparente se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_a = \frac{\theta_{600}}{2} \quad \text{Ec. 3}$$

donde:

V_a : Viscosidad Aparente, en cP (centipoises)

θ_{600} : Lectura a 600 rpm dada por el viscosímetro de Fann

3.5.1.2 Viscosidad Plástica (V_p)

Es una componente de la viscosidad aparente, resultante del roce mecánico de las diferentes partículas que componen el lodo; se realiza para medir la concentración, tamaño y forma de los sólidos en los lodos.

La viscosidad plástica se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_p = \theta_{600} - \theta_{300} \quad \text{Ec. 4}$$

donde:

θ_{600} : Lectura a 600 rpm dada por el viscosímetro de Fann

θ_{300} : Lectura a 300 rpm dada por el viscosímetro de Fann

V_p : Viscosidad Plástica, en cP (centipoises)

3.5.1.3 Punto de Cedencia (Y_p)

Segunda componente de la viscosidad aparente, es una medida de las fuerzas de atracción electroquímicas en condiciones de flujo. Ellas son función del medio ambiente eléctrico, de la concentración y/o de las cargas superficiales de las partículas.

El punto de cedencia se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Y_p = \theta_{300} - V_p \quad \text{Ec. 5}$$

donde:

Y_p : "Yield Point" o punto de cedencia en lb/100 pies²

3.5.1.4 Fuerza de Gel

Parámetro para medir la estructura del gel; es una medida de la fuerza de atracción electroquímica entre las partículas que componen el lodo en condiciones estáticas.

Esto va ligado con el concepto de tixotropía la cual es “La propiedad que tienen los lodos de espesarse bajo condiciones estáticas y volver a adquirir sus propiedades una vez iniciada la circulación”.

3.5.1.5 Interpretación de los resultados

Hay rangos óptimos estipulados para viscosidad plástica, punto de cedencia y fuerza de gel, dependiendo del tipo de lodo, densidad, contenido de sólidos y profundidad. Una vez determinadas las propiedades, se debe verificar si estos valores caen dentro de los rangos recomendados.

- Variaciones en la viscosidad plástica usualmente indica un cambio en el contenido de sólidos.
- El cambio en la viscosidad aparente puede suceder por variación con el contenido de sólidos o el contenido de sales en el lodo.
- Un aumento de la viscosidad aparente proveniente del punto de cedencia se debe a:
 - ✓ Agentes contaminantes disueltos en el lodo como: Sal, Yeso, Anhidrita, etc.
 - ✓ Rompimiento de las partículas de arcilla por la acción trituradora de la broca.
 - ✓ Tratamiento químico excesivo o insuficiente.

- Una reducción en la capacidad de arrastre puede indicar una disminución en el punto de cedencia.
- Para reducir el punto de cedencia es necesario la adición de sustancias químicas (taninos, fosfatos, lignitos) que anulen el efecto de las cargas eléctricas sobre las arcillas.

3.5.2 Filtración API Estándar

Cuando el fluido de perforación circula frente a una formación permeable perderá algo de su fase líquida dentro de esta, las partículas coloidales del lodo se depositarán sobre las paredes del hueco y formarán una torta. El líquido que se pierde por filtración es el filtrado y la velocidad relativa a la cual ocurre este fenómeno es denominada pérdida de filtrado.

La prueba de Filtración está determinada a 30 minutos de acuerdo a la norma API pero para reducir el tiempo se puede aplicar la siguiente ecuación.

$$Q_2 = Q_1 \sqrt{\frac{T_2}{T_1}} \quad \text{Ec. 6}$$

donde:

Q_2 : Filtrado a 30 minutos en c.c.

Q_1 : Filtrado a 7 minutos con 30 segundos en c.c.

T_2 : Tiempo de prueba a 30 minutos

T_1 : Tiempo al cual se efectúa la prueba (7 minutos con 30 segundos)

3.5.2.1 Interpretación de los Resultados

El filtrado API estándar debería ser lo suficientemente bajo para prevenir el daño a la formación debido al exceso de pérdida de fluido y lo suficientemente alto para permitir una máxima tasa de penetración. La cantidad recomendada de pérdida de filtrado API, para un pozo particular usualmente se especifica en el programa de lodos.

Un aumento en el filtrado puede ser causado por flujos de agua, contaminaciones, presencia de sólidos y variaciones en el pH del lodo, debido a que cada material posee un rango óptimo de trabajo para obtener de él su máxima capacidad de rendimiento.

La presencia de altas pérdidas de filtrado en zonas productivas, pueden invadirla o bloquearla, por lo que es necesario el uso de dispersantes y reductores de filtrado.

Grandes zonas lavadas debido a altas pérdidas de filtrado ocasionan errores en la toma de registros.

La Filtración también es afectada por el tiempo, la presión, la permeabilidad de la torta, la temperatura y el grado de dispersión de las partículas.

3.5.3 Filtración a Alta Presión y Alta Temperatura (HPHT)

Algunos agentes de control de filtración tienden a perder su eficiencia cuando son sometidos a presiones y temperaturas altas; por lo tanto, se han desarrollado pruebas de filtración que simulan las condiciones de presión y temperatura elevadas, determinando de esta manera una pérdida de fluido mas real.

En esta prueba se busca a la vez el comportamiento de los aditivos utilizados en los fluidos de perforación, para poder determinar la efectividad de los mismos a condiciones reales de presión y temperatura. En este trabajo de investigación se busca poder realizar en la medida de lo posible esta prueba para someter la mejor dosificación de Mucilago de Fique y demás aditivos y poder apreciar el comportamiento a condiciones de HPHT.

3.5.4 Determinación del Ion Hidrogeno (pH)

El grado de acidez o alcalinidad del fluido de perforación se expresa en términos de pH. Una solución neutra tiene un pH de 7, las soluciones alcalinas varían en el rango de 7 a 14, mientras que las soluciones acidas varían de 1 a 7.

El pH en los lodos afecta el grado de dispersión de las arcillas, la solubilidad de varios productos y sustancias químicas, la corrosión y las propiedades reológicas de los lodos.

Se usan dos métodos para determinar el pH de los lodos:

- I. Método del Colorímetro
- II. Método Electrométrico

Para este trabajo de investigación se utilizó el pH-metro disponible en el laboratorio de lodos y cementos de la escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander.

3.5.4.1 Interpretación de los Resultados

El pH del lodo debe coincidir con el pH y temperatura a la cual los productos químicos deben trabajar para obtener un mejor rendimiento y eficiencia.

El método colorímetro no se debe emplear si hay cloruros presentes en concentraciones superiores a 10000 ppm, porque se obtienen valores de pH erróneos. Un aumento de pH puede ser ocasionado por contaminación con cemento, cal o adiciones no controladas de soda caustica (NaOH).

Los valores de pH elevados originan una dispersión rápida de las arcillas ocasionando derrumbes y daños a la formación. Una disminución en el pH es causada por una contaminación con sal, para esto es necesario el uso de dispersantes.

En la tabla 6 se muestran los rangos recomendados de pH para varios tipos de lodos.

Tabla 6. Rangos Recomendados de pH para Varios Tipos de Lodos.

Tipo de Lodo	Rango de pH
Agua - Bentonita	8 – 9
Lignosulfonato - Yeso	9,5 – 10,5
Cal	12 - 14
KCl	7 – 10
Sal	10,5 – 11,5
Polímeros	Generalmente 9

Fuente: Ospino, Rafael Enoc. Reestructuración Teórico-Práctica del Laboratorio de Lodos y Cementos (Manual Práctico).1988

3.5.5 Análisis del Filtrado

Se deben realizar las pruebas químicas al lodo y al filtrado para determinar la presencia de contaminantes tales como: Sales (cloruros), anhidrita, yeso, cal, cemento (calcio) y así poder determinar si se requiere un tratamiento o se debe realizar la respectiva conversión a lodo salado (>10000 ppm Cl⁻) o conversión a lodo calado (>200 ppm Ca⁺⁺).

3.5.5.1 Interpretación de los Resultados

Un aumento en la concentración de Cloruros indica la presencia de sustancias como Cloruro de Calcio o Cloruro de Sodio, las cuales tienden a aumentar la viscosidad aparente, la pérdida de filtrado, el punto de cedencia y la corrosión; por lo tanto se debe reducir el contenido de cloruros por medio de la dilución. Una variación excesiva en el contenido de cloruros disminuye el pH, originando la disminución del rendimiento de ciertas sustancias; se debe adicionar soda caustica para elevar el pH del lodo a un rango adecuado.

Un aumento en el contenido de calcio ocasiona pérdidas de filtrado, aumento en la viscosidad marsh, viscosidad plástica y resistencia del gel, siendo necesaria la precipitación de los iones de calcio y su remoción.

El aumento en el contenido de calcio puede provenir de:

- Yeso-Anhidrita, la cual ocasiona una disminución del pH en el lodo.
- Cemento, el cual produce un aumento en el pH del lodo.
- CaCl₂, el cual ocasiona una disminución en el pH del lodo.

4. FACTIBILIDAD DEL USO DEL MUCÍLAGO DE FIQUE COMO DISPERSANTE BIODEGRADABLE EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA

Este capítulo está enfocado al estudio como tal del uso del mucílago de fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación. Se hace una revisión de la información concerniente a las generalidades de la planta de fique, usos y producción. En lo relacionado con la investigación se presenta el diseño experimental, la recolección y obtención del mucílago de fique y las respectivas pruebas de laboratorio realizadas. También se realiza un análisis de los resultados obtenidos y se elabora una valoración tanto económica como ambiental de la producción y procesamiento de fique para la factibilidad de su uso como dispersante en lodos de perforación.

4.1 GENERALIDADES DEL FIQUE

El uso de fibras naturales ha sido parte de la vida del hombre desde siempre, para la elaboración de sus vestidos, su vivienda, para empacar sus pertenencias y sus productos agrícolas.

Con la fabricación de fibras sintéticas que poseen mejores propiedades específicas, por un tiempo su uso decayó; sin embargo, desde 1995, el interés de los países desarrollados por el uso de los recursos naturales renovables y su aplicación en productos de etiqueta verde, ha girado de nuevo hacia el uso de fibras naturales (Corpoica, 2004).

Países como Estados Unidos, Canadá y Alemania, trabajan materiales reforzados con fibras naturales en la industria automotriz, en

manufactura, en construcción, en empaques y eventualmente en la industria aeroespacial.

En Colombia, el Fique se cultiva en la parte alta de la sierra templada y fría. En sus orígenes, el Fique crecía casi de manera espontánea y los habitantes de estas regiones lo desfibaban para la fabricación de alpargatas, hamacas, jíqueras, costales, redes y cuerdas para sus labores domésticas, igualmente sus subproductos eran utilizados con fines medicinales. Los principales departamentos productores de fique se ubican en la región andina del país, son 13 departamentos y se calcula en 72 los municipios productores de fique.

Sin embargo, los cinco (5) principales departamentos productores Cauca, Nariño, Antioquia, Santander y Boyacá (ver Tabla 7), representan el 99% de la superficie cosechada, estimada en más de 23.000 hectáreas (MADR et. al, 2004).

En los últimos dos años se han incorporado a la siembra de este cultivo dos (2) departamentos nuevos como Risaralda y Caldas dentro de un proyecto que ARD/CAPP (Colombia Agribusiness Partnership Program) le aprobó a la Compañía de Empaques S.A. para fomentar el cultivo del fique en éstos Departamentos, además de Antioquia y Nariño, haciéndolo competitivo teniendo en cuenta el déficit que existe en el país de más de 7.000 toneladas por año. Este proyecto ha contado con el apoyo de las respectivas Secretarías de Agricultura departamentales, CORPOCALDAS y CARDER, teniéndose previsto para el 2006, la suscripción de un Convenio de Producción Más Limpia y el montaje de varias plantas desfibradoras y de beneficio de fique que cumplan con las normas ambientales como en el municipio de Pueblo Rico (Risaralda).

Tabla 7. Superficie Cosechada, Producción y Rendimiento en Figue, por Departamento. Años Agrícolas 1992-2002.²

Dpto.	Variable	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Antioquia	Superficie	1.376	1.334	1.198	1.233	1.100	1.050	961	1.167	1.043	917	851
	Producción	2.190	2.394	2.550	2.550	2.347	2.320	2.049	2.286	1.964	1.631	1.550
	Rendimiento	1.592	1.795	2.128	2.068	2.134	2.210	2.132	1.960	1.883	1.777	1.821
Boyacá	Superficie	603	773	472	423	619	627	174	115	91	110	99
	Producción	717	1.203	775	722	905	698	266	220	108	117	102
	Rendimiento	1.189	1.556	1.641	1.707	1.463	1.114	1.529	1.915	1.187	1.066	1.027
Caldas	Superficie	77	47	24	60	26	25					
	Producción	205	83	55	191	60	63					
	Rendimiento	2.662	1.761	2.292	3.183	2.308	2.520					
Cauca	Superficie	7.979	8.233	7.710	8.200	9.485	8.229	7.605	6.942	7.563	7.066	7.210
	Producción	9.825	10.172	9.067	9.824	11.478	9.485	8.811	7.649	7.594	7.201	7.942
	Rendimiento	1.231	1.236	1.176	1.198	1.210	1.153	1.159	1.202	1.004	1.019	1.101
Nariño	Superficie	3.261	4.171	4.269	4.944	7.035	7.159	5.626	4.895	4.378	4.007	4.690
	Producción	6.001	7.451	5.885	10.126	13.268	18.156	6.385	5.399	4.534	4.545	5.490
	Rendimiento	1.840	1.786	1.379	2.048	1.886	2.536	1.135	1.103	1.036	1.134	1.171
Risaralda	Superficie	3	10	12	44	7	28	22	57	57	57	57
	Producción	6	20	14	45	7	22	18	47	47	47	47
	Rendimiento	2.000	2.000	1.167	1.023	1.000	786	818	825	825	825	825
Santander	Superficie	1.365	1.438	1.703	3.249	3.904	3.904	3.922	3.922	4.855	4.645	4.484
	Producción	2.730	1.731	3.008	5.691	5.352	4.880	5.596	5.701	5.107	4.932	4.753
	Rendimiento	2.000	1.204	1.766	1.752	1.371	1.250	1.427	1454	1.052	1.062	1.060
Total	Superficie	14.664	16.006	15.388	18.153	22.176	21.022	18.311	17.098	17.987	16.802	17.391
	Producción	21.674	23.054	21.353	29.149	33.416	35.624	23.125	21.303	19.355	18.473	19.884
	Rendimiento	1.478	1.440	1.388	1.606	1.507	1.695	1.263	1.246	1.076	1.099	1.143

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Figuero 2006

4.1.1 Características

El género *Furcraea* Vent., comprende cerca de 20 especies diferentes, algunas de las cuales se utilizan para la extracción de fibras.

Frecuentemente estas especies han sido confundidas con las pertenecientes al género *Agave*, de las cuales son completamente distintas desde el punto de vista botánico.

El nombre del género es también a veces erradamente designado como *Fourcroya* (Spreng, 1817) o *Furcroea* (Haw, 1819).

El género *Furcraea* fue llamado así por Etienne Pierre Ventenat en 1793, en honor del conde Antoine de Fourcroy, químico del jardín du Roi de París.

Las plantas del género *Furcraea* forman rosetas de hojas grandes y carnosas, semejantes a las de muchas especies del género *Agave*, pero en vez de la fuerte y grande espina terminal de las hojas de esta última, terminan en pequeñas puntas coriáceas o a veces pueden tener una pequeña y débil espina.

Las flores de las *Furcraeas* son numerosas y péndulas blanco – verdosas, en cambio las del *Agave* son amarillas y de racimos erectos.



Figura 22. Variedad *Furcraea Bedinghausii*

Fuente: www.cacti.co.nz

La ubicación del fique dentro de la botánica general es la siguiente:

Tabla 8. Botánica Taxonómica del Fique

Reino	Vegetal	Sub-Clase	Monocotyledonae
Phylum	Tracheophyta	Orden	Liliflorae (Liliales)
División	Spermatophyta	Familia	Agaveceae
Clase	Angiopermae	Genero	Furcrae

Fuente: Pérez Jorge. El Fique; Su Taxonomía Cultivo Y Tecnología

- ESPECIES: *Macrophylla* Baker, *Cabuya* Trel, *Andina* Trel, *Castilla*, etc.

- Nombre vernáculo: Fique, Cabuya, Penca, Fique Pirulero, Maguey, Cabui, Cabuya Blanca, Chuchao, Cocuiza, etc.

En algunas variedades recurrentes, los bordes según la variedad pueden ser enteros, dentados, acerrados y aún crenados o festoneados.

La superficie del limbo puede ser glabras, glabrescentes, canescentes o seriaceas. Tienen vernación convoluta y cuando están desarrolladas son carnosas y paralelinervias.

Pueden llegar a medir hasta 3 metros. Las flores de la *Furcraea* son numerosas, blanco-verdosas y con racimos no tan erectos, en cambio las de *Agave* son amarillas y en racimos erectos.

A parte de ser plantas grandes, de tallo erguido, su altura puede variar entre 2 m y 7 m con hojas ubicadas de forma radial que varían entre 10 y 20 cm de ancho.

En las plantas jóvenes las hojas son gruesas, carnosas de color verde azulado y a medida que esta crece, se desarrolla en la base un tronco corto que lleva de 75 a 100 hojas cuya longitud puede variar de 150 a 200 cm y su anchura de 15 a 20 cm en la parte más ancha cerca de la mitad, angostándose a 10 cm cerca de la base, la cual tiene un espesor de 6 a 8 cm, como se muestra en la Figura 23.

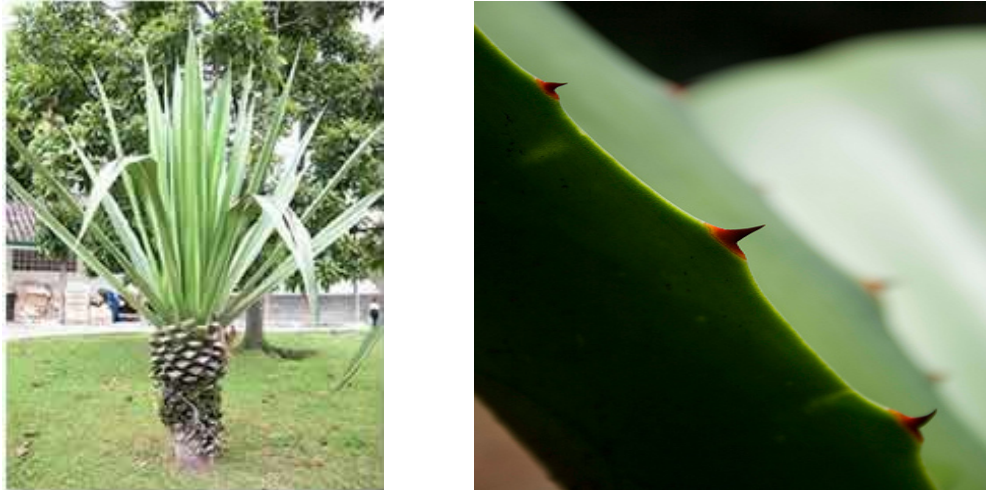


Figura 23. Variedad *Furcraea Macrophylla* y Borde de la Hoja de Fique.

Fuente: <http://www.agronet.gov.co>

Las semillas tienen endospermo carnoso que rodea el pequeño embrión. El fique como planta casi xerofítica, presenta estructuras peculiares de defensa contra las condiciones de aridez, como hojas carnosas, número reducido de estomas, epidermis cerosa, cutícula gruesa y una presión osmótica dentro de las células relativamente baja.

Otras características morfológicas de la planta de fique son la presencia de raíces primarias formadas por el desarrollo de la radícula de los bulbos o de los hijuelos, estas se ramifican y dan origen a las raíces secundarias.

Las raíces se extienden hasta cubrir un área relativamente grande, lo que le facilita la consecución del agua; almacenan agua en sus hojas y tallos y pueden resistir sequías relativamente prolongadas.

La humedad, por el contrario, las afecta significativamente por carecer de mecanismos de defensa contra los excesos de agua, lo que puede ocasionarle la muerte.

En este sentido, las condiciones climáticas óptimas para su plantación comercial son a una temperatura entre los 19 y 23 grados centígrados, altura entre 1.300 y 1.900 m.s.n.m.; humedad relativa entre el 50 y 70%; precipitación de 1.000 a 1.600 mm anuales y una luminosidad promedio de 5 a 6 horas diarias.

El fique es una planta rustica como pocas, que se adapta a variadas condiciones agro ecológicas, lo que le ha valido ser considerada como una planta de tercera categoría.

Sin embargo, para que el fique sea un cultivo económicamente rentable, necesita crecer en suelos sílice-arcillosos y afines, de textura mediana, de buena porosidad, que facilite su oxigenación, buen drenaje, tanto externo como interno, con un PH que va de 5,5 a 7,0.

La materia orgánica constituye una parte importante en la fertilidad del suelo, proporcionando una correcta granulación y capacidad de laboreo y suministrando una buena gama de nutrientes al fique.

4.1.1.1 Especies Cultivadas en Colombia

El cultivo de fique es tradicional en el país y dentro de las especies cultivadas más comunes se encuentran:

4.1.1.1.1 Tunosa Común



Figura 24. Tunosa Común (*Furcraea gigantea*)
Fuente: Cía. de Empaques, 2005 & Ecofibras et. al, 2005.

Tabla 9. Características de la Variedad Tunosa Común

Nombre Científico	Furcraea Gigantea
Nombres Comunes	Tunosa común, Fique Tunoso, aloe y creole en Mauricio, piteira y pita en Brasil.
Origen y distribución	Se considera una planta originaria del Brasil, en donde crece espontáneamente, y a pesar de que en Colombia crece también de la misma manera, su uso es restringido según los agricultores nacionales.
Características físicas	Posee hojas de color verde brillante por ambos lados con presencia de espinas de color café en los bordes, sobrevive a suelos pobres en nutrientes; para alargar su vida útil es necesario que se desarrollen condiciones de semi-humedad, temperatura cálida y una buena exposición a la luz solar.
Plagas	En plantaciones extensas es susceptible al Gusano Pasador y a la Viruela.

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006

4.1.1.1.2 Uña de Águila



Figura 25. Uña de águila (*Furcraea Macrophylla*)
Fuente: Cía. de Empaques, 2005 & Ecofibras et. al, 2005.

Tabla 10. Características de la Variedad Uña de Águila

Nombre Científico	Furcraea Macrophylla
Nombres Comunes	Uña de águila, Fique Macho, Pirulero, Jardineña.
Origen y Distribución	Originaria de Colombia, se desarrolla en los departamentos de Cauca, Santander, Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y Nariño.
Características Físicas	Posee hojas de color verde claro por encima y ceniza por debajo, se destaca por tener en el borde de las hojas espinas encorvadas con un aguijón pequeño en las puntas. Esta planta se desarrolla en ambientes secos y crece bien en climas cafeteros de aproximadamente 1200 a 2000 m.s.n.m., es buena productora de fibra. Las dimensiones de sus hojas varían de 150 a 200 cm de largo y de 8 a 14 cm de ancho. La productividad es de aproximadamente 20 años.
Contenido de Fibra por Hoja	3 a 4,5%
Plagas	Susceptible al Mal rosado, gotera, Antracnosis, Gusano pasador, Chinche, Chupadora y Cochinilla.

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006

4.1.1.1.3 Ceniza



Figura 26. Ceniza (*Furcraea cabuya*)
Fuente: Cía. de Empaques, 2005.

Tabla 11. Características de la Variedad Ceniza

Nombre Científico	<i>Furcraea cabuya</i>
Nombres Comunes	Cabuya hembra, negra o lisa, Fique Cenizo, sin espinas.
Origen y distribución	Originaria de Colombia, Costa Rica y Panamá. Las principales zonas de cultivo en país son los Santanderes y Antioquia.
Características físicas	Sus hojas carecen de espinas de colores verdes y lisos por encima y grisáceos en el envés, de 150 a 300 cm de largo. Son plantas xerófitas de 2 a 7 m de altura. Se reproduce por hijuelos y bulbillos, cada planta produce alrededor de 1 kilo de cabuya al año, se desarrolla en climas con una altura de 1500 a 2000 m.s.n.m.
Contenido de Fibra por Hoja	2,5 a 4%
Plagas	Tolerante a la macana y a la gotera, pero es muy susceptible al Gusano Pasador.

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006

4.1.1.1.4 Bordo de Oro

Tabla 12. Características de la Variedad Bordo de Oro

Nombre Científico	Furcraea castilla
Nombres Comunes	Bordo de Oro, Castilla, Espada, Filo de Barbera, Diente de Caballo.
Origen y Distribución	Originaria de Colombia, cultivada principalmente en Antioquia y Tolima.
Características Físicas	Posee hojas verdes y brillantes provistas de una franja color amarillo carey compuesta de algunas espinas rudimentarias. Se desarrolla entre los 1200 y 1600 m.s.n.m. donde es factible encontrar temperaturas que oscilan entre los 20 a 23 °C. Tiene un período de vida útil de 15 a 20 años.
Contenido de Fibra por Hoja	3 a 4%
Plagas	Tolerante y resistente a insectos pero climas en climas fríos puede verse afectada por hongos.

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006

4.1.1.1.5 Rabo de Chucha

Tabla 13. Características de la Variedad Rabo de Chucha.

Nombre Científico	Furcraea andina
Nombres Comunes	Rabo de Chucha o penca, maguey, cabuya.
Origen y Distribución	Esta especie crece espontáneamente en el Perú y Ecuador. En Colombia es cultivada en el departamento de Nariño.
Características Físicas	Posee hojas delgadas de color verde oscuro, con presencia de espinas encorvadas que miden entre 120 y 170 cm de largo y de 10 a 15 cm de ancho, son angostas en la base. Las flores no producen semillas pero en su lugar forman bulbillos cónicos que producen las hojas verdes. Anualmente esta planta produce cerca de 1 kg de fibra natural.
Contenido de Fibra por Hoja	2 a 3%
Plagas	Tolerante y resistente a insectos pero climas en climas fríos puede verse afectada por hongos.

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006

Otras especies conocidas son la *Furcraea hexapétala* y *Furcraea humboldiana*, entre otras. Estas especies han sido confundidas con el sisal y otras plantas pertenecientes al género agave, que como se mencionó anteriormente, son diferentes desde el punto de vista botánico.

4.1.1.2 Composición de la hoja de Fique

Tanto las características químicas como físicas son importantes conocer, para determinar los posibles usos de la planta de fique. Cabe destacar que estas características varían de acuerdo a la planta y al cultivo.

4.1.1.2.1 Composición Química de la Hoja de Fique

El Mucílago de Fique no cuenta con información cualitativa y en detalle sobre las sustancias que lo componen. Como hace algunos años atrás los productores desechaban esto a las corrientes de agua pues lo conocían como desperdicio, hoy en día ya se está obteniendo información valiosa sobre las utilidades que se le pueden llegar a conocer esta planta.

Tabla 14. Composición Química de la Hoja de Fique

FIBRA		JUGO	BAGAZO	
Cenizas	0,70%	Clorofila	Cenizas	12,20%
Celulosa	73,80%	Carotenoides	E.E.	3,64%
Resinas, Ceras y Grasas	1,90%	Saponinas Azúcares	Proteína Elementos Nitrogenados	9,84% 71,29%
Lignina	11,30%	Resinas	Calcio	21,65%
Pentosanos	10,50%	Flavonoides Ácidos Orgánicos	Fósforo Magnesio	0,09% 0,2%
TOTAL	98,20%	Alquitranes Agua Lignina Calcio Lipoides Fósforo	Fósforo Sodio Cobre Hierro Manganeso Zinc	1,81% 0,04% 14 ppm 647 ppm 33 ppm 17 ppm

Fuente: Arroyave & Velásquez, 2001.

4.1.1.2.2 Estructura Física de la Hoja de Fique

De la hoja de fique se obtiene hasta un 70% del extracto líquido donde más del 50% del porcentaje anterior es utilizado en la industria farmacéutica.

Tabla 15. Estructura Física de la Hoja de Fique

COMPONENTE	PORCENTAJE EN LA HOJA	PORCENTAJE ÚTIL	USOS
Fibra	5	4	En la industria textil, empaques
Jugo	70	40	Extracción de esteroides
Estopa	8	3	Pulpa de papel
Bagazo	17	10	Material de construcción, abonos

Fuente: Arroyave & Velásquez, 2001.

4.1.1.2.3 Fibra

La fibra extraída constituye un 4% del peso total de la hoja de fique. Conformar la estructura principal de las paredes celulares del tejido vegetal, compuesta por celulosa y algunas impurezas como ligninas y pigmentos.

Actualmente expertos colombianos han creado otras opciones para el uso de la fibra, entre estas están la sustitución de las cuerdas de plástico que sostienen la planta de plátano y otros cultivos, por las fibras del fique las cuales se degradan y son más económicas lo cual contribuye a la disminución del tiempo para recogerlo.

4.1.1.2.4 Estopa y Bagazo

Se establece que un 30% de la hoja pertenece a las fibrillas, mientras que el 70% restante corresponde a la pulpa vegetal. Las fibrillas que también conocidas como estopa, pueden extraerse por tratamientos fisicoquímicos del residuo para ser utilizados en la fabricación de pulpa de papel, mientras que el producto restante conocido como bagazo, se utiliza en los cultivos mismos como fertilizante orgánico.

4.1.1.2.5 Jugo de Fique

Del desfibrado de la planta sólo se utiliza un 4% que es fibra y queda un 96% de residuos y subproductos que, en general, se desechan. El jugo constituye el 70%, del cual hasta el 40% se puede extraer por prensado (torta).

Este es una suspensión con características variables, dependiendo de la edad, la estación del año y la fertilidad del suelo. De color verde ocre, tiene un olor característico fuerte, y es muy corrosivo. Su densidad media a escala experimental es de 1.02 Kg. /L y su pH varía entre 4 y 5. Sus constituyentes se conocen en forma cualitativa, siendo agua, celulosa, materia orgánica y minerales, con los siguientes valores porcentuales:

- 85% humedad.
- 6% celulosa. (D-glucosa)
- 8% parte orgánica y amorfa (Con Sacarosa, proteínas, Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Potasio, Saponinas Sapogeninas y otros componentes).
- 1% Minerales.

Este 96% se desecha porque se desconocen sus innumerables usos.

Por tal razón expertos colombianos han creado diferentes opciones para usar el fique, entre estas la sustitución de las cuerdas de plástico que sostienen las plantas de plátano y otros cultivos, por cuerdas de fique pues este producto se degrada, es más económico y no se pierde tiempo al recogerlo..

4.1.1.2.6 Mineralogía y Materia Orgánica de la planta de Fique

La hoja de fique está conformada por minerales como el potasio, fósforo, urea, nitrógeno entre otros, que a continuación se especifican con mayor claridad. A su vez la materia orgánica está conformada por sacarosa, proteínas, esteroides, saponinas y sapogeninas.

Tabla 16. Composición Mineralógica del Fique

ELEMENTOS	CENIZAS (%)	HOJA	FIBRA
Nitrógeno	6,84	1,32%	0,22%
Fósforo	0,58	0,49%	0,04%
Potasio	0,61	7,56%	0,26%
Calcio	1,51	3,58%	0,96%
Magnesio	0,11	0,72%	0,10%
Sodio	0,42	0,40%	0,55%
Hierro	0,98	52,20 ppm	31,60 ppm
Cobre	0,03	8,10 ppm	1,40 ppm
Manganeso	0,06	45,60 ppm	9,40 ppm
Zinc	0,06	35,00 ppm	16,90 ppm
Boro	trazas	14,50 ppm	1,80 ppm
Cobalto	trazas	trazas	trazas
Cloro	0,16	trazas	trazas

Fuente: Cía. de Empaques S.A. et. al, 2004.

4.1.1.3 Enfermedades y Plagas

La planta de fique tiene un número importante de enfermedades y plagas que evitan que la planta pueda llegar a desarrollarse en forma completa, pues esta es la parte más importante de la planta, que tenga el tiempo prudente para que pueda desarrollar sus componentes.

Tabla 17. Enfermedades.

Nombre	Efectos
Llaga Macana o Rayadilla	Virus que seca la planta hasta dejan inservible la fibra. No tiene control químico.
Mal Rosado o Felpa	Virus que forma costras rosadas que causa la pudrición de las hojas.
Gotera del fique	Hongo que genera manchas negras que destruyen la planta hasta no poder desfibrar las hojas.
Empalizada	Enfermedad fisiológica causada por la deficiencia de boro, ocasionando enrollamiento, estrangulación y endurecimiento en la parte media de algunas hojas.
Antracnosis	Se presentan manchas pardas oscuras en las hojas, lo que disminuye la resistencia de la fibra y la variación de su coloración.
Estrella	Común en Santander, es un hongo que pudre totalmente la hoja
Pudrición Negra Basal	Causada por un hongo, produce una mancha rojiza en la base de la hoja hasta convertirla en una mancha de color negro ocasionando posteriormente la caída de la hoja y la pudrición total del tejido afectado

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006

Tabla 18. Plagas.

Nombre	Efectos
Gusano pasador de las hojas y de las plantas tiernas	Aceleración de la florecencia y muerte prematura, Poca resistencia de las hebras debido a la falta de maduración de las hojas, entre otras.
Chinche Chupadara	Insectos que viven sobre las hojas chupando savia continuamente. Ocurre generalmente en el verano
Cochinilla de las raíces	Se muestran en el cuello vital montones de tierra hechos por las hormigas que viven en simbiosis mutualista con las cochinillas; las hojas se tornan cloróticas y flácidas.
Coleóptero de las hojas	Demeritan la fibra tronchándola; su daño está en proporción directa al número de insectos
Pasador de tallo	Se presenta de forma ocasional, de preferencia en aquellas regiones donde hay cultivos de caña de azúcar y de maíz en el mismo lugar, encontrándolos en los troncos de la planta de fique y aun en la misma base de la planta
Cochinilla de las Hojas	Ataca las hojas maduras y succiona gran cantidad de savia debilitando así la planta.
Acaro de las Hojas	En ataques demasiado severos puede presentarse la defoliación y aún la muerte. Suelen aparecer en lugares cálidos de suelo seco.

Fuente: Guía Ambiental del Subsector Fiquero 2006

4.1.2 Usos

Como resultado de diferentes procesos agro - industriales, la fibra puede ser transformada en productos artesanales, en hilos, tejidos, empaques, biomantos, entre otros. Mientras del bagazo se puede obtener papel, fibra reforzada, aglomerados, relleno de colchones, y musgo ecológico. Y del jugo se logran extraer saponinas: hecogenina y tigogenina (sustancias químicas utilizadas en la industria farmacéutica).

De tal manera se define en la industria del fique los siguientes eslabones: fibra, bagazo y jugos en el eslabón primario; hilados, cordelería y tejidos en el eslabón intermedio; y empaques, tejidos terminados, artesanías, agrotexiles, biomantos, papel, telas de fique, aglomerados, hecogenina, tigogenina, musgos ecológicos utilizados para reemplazar musgos naturales en la decoración de pesebres y stand de almacenes, felpa utilizada en la industria de los colchones alcohol entre otros en el eslabón final.

La cabuya no sólo sirve para hacer empaques, también se puede utilizar como protección y nutriente de cultivos, refuerzo de materiales para construcción y como cuerdas para cercar sembrados.

El fique o cabuya es una fibra biodegradable que al descomponerse se emplea como alimento y abono; además, no contamina el agua y permite realizar una producción más limpia. Sus ventajas son tanto ambientales como de economía, facilidad y calidad. Sin embargo, la cabuya ha sido desplazada por otros materiales como el plástico. Actualmente usa para la elaboración de sacos para empacar café tipo exportación. En Colombia, ha disminuido notoriamente la producción y utilización del fique, situación que se refleja en la crisis existente entre los cultivadores de la fibra.

La fibra, al ser biodegradable, se usa además como biomanto o manto natural para proteger sembrados y como agrotexil para reducir los daños por erosión en carreteras, vías, oleoductos y gasoductos. También se pueden elaborar sacos reciclables de fique para empacar latas, vidrios y plásticos, remplazando las bolsas de basura tradicionales.

En cuanto al bagazo, se conoce la existencia de nuevas propuestas en para la utilización de este como abono en los cultivos de champiñones.

4.1.3 Rendimiento y Producción en Colombia

El fique es una planta natural de Colombia que también crece de manera espontánea en otros países andinos, y cuya utilización ha sido principalmente como fibra en la elaboración de empaques para productos agrícolas tales como la papa y el café, y otros objetos que han hecho de ésta su cultivo de manera permanente.

No obstante, hoy en día se reconoce como un producto vegetal con variedad de aplicaciones de tipo artesanal, agroindustrial y con potencial inmenso en la generación de nuevos beneficios ambientales e industriales que genera empleo e ingresos.

En el sector primario la producción de fique en Colombia genera en promedio cerca de 11.200 empleos anuales directos en más de 17.000 hectáreas distribuidas en diferentes departamentos del país.

En las primeras etapas de producción se obtienen: fibra de fique (cabuya), residuos sólidos, bagazo y jugos.

En cuanto a la localización de la producción de fique, a saber, Cauca Santander, Nariño, Risaralda y Antioquia, fueron responsables por el 99% de la extensión y generaron el 98% de la producción, a pesar de que el fique se cultiva en otros ocho departamentos más.

De acuerdo a cifras de la EAM del Departamento Nacional de Estadística –DANE-, en el año 2004 la industria nacional consumió 9.470 toneladas métricas (Tm.) de fibra de fique (cabuya) que corresponde al 52% de la producción nacional durante ese año.

Se estima que la producción restante sirvió para abastecer la industria de artesanías.

4.1.4 Proceso Productivo del Fique

Ya el cultivo y la producción como tal, inicia en el aprovechamiento del fique, dándose a entender con esto el corte de las pencas al tercer año posterior a la siembra de la planta, durante este periodo intermedio, a lo largo de estos tres años se realizan actividades de fertilización y deshierba.

Finalmente las pencas cortadas se amontonan en sitios equidistantes mientras se continúa con las demás actividades de cosecha, para luego ser transportadas a sitios donde se obtenga mayor beneficio de las hojas o un lugar de almacenamiento para su posterior tratamiento.

Estas hojas se llevan a máquinas desfibradoras donde se hace un raspado mecánico para obtener su fibra; dentro de los productos obtenidos de este proceso se encuentra: La fibra larga, la fibra corta y el bagazo.

De acuerdo con la norma técnica colombiana (NTC 992), la fibra de fique de calidad es aquella que tenga todas sus fibras sueltas y libres de impurezas; a esto se le conoce con el nombre de **beneficio**, cuyas principales modalidades son:

agricultor con máquina propia, el alquiler a parientes y/o amigos, “al partido” cuando se reparten los beneficios de la venta del fique entre los productores y el dueño de la máquina; en otra modalidad el agricultor aporta la gasolina y el aceite que consume la máquina; y por arroba, cuando el desfibrador cobra al agricultor por el total de arrobas de fibra seca.



Figura 27. Cultivo del Fique
Fuente: www.agronet.gov.co

Dicha fibra es sometida a fermentación para reducir la humedad y luego es secada y sacudida para reducir cualquier residuo a través de golpes, posteriormente es blanqueada con alternancia de sol y sereno, aprovechando el efecto de la oxidación de las sustancias orgánicas.

En seguida la fibra conocida como cabuya es empacada en manojos de 1 ó 2 kilos, a los que se les hace una ligera torsión en el centro, para empacarlos en bultos de más o menos 50 kilos con el objeto de ser llevado a los centros de acopio ó a los intermediarios.

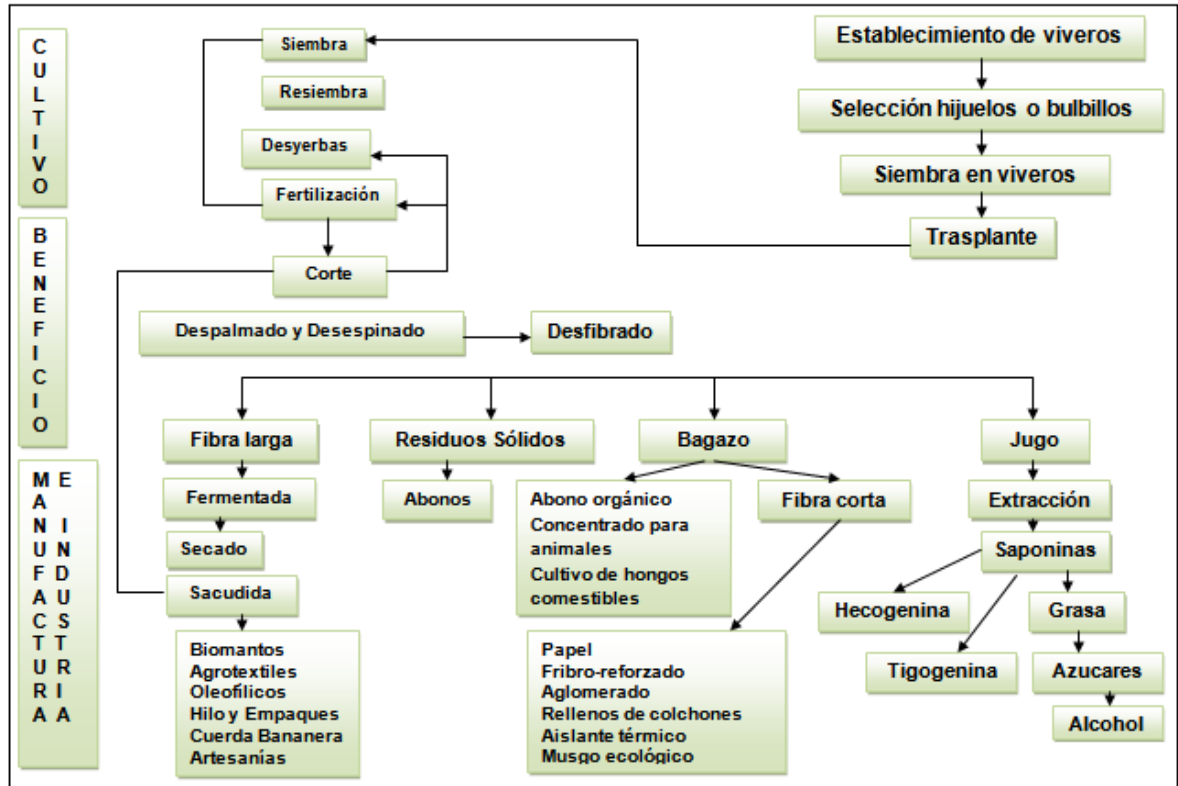


Figura 28. Esquema del Proceso Productivo del Fique
Fuente: MADR et. al, 2004b.

4.1.5 Antecedentes en Investigación sobre el Uso del Mucílago de Fique

A la planta del fique se le han encontrado usos a nivel industrial los cuales hasta hace unos años eran del desconocimiento de los productores de este tipo de planta.

A nivel investigativo, muchas han sido las instituciones públicas y privadas que han realizado estudio a nivel industrial para poder conocer qué utilidad se le puede encontrar al desecho del beneficio de la planta, debido a que es uno de los cultivos que más desperdicios biodegradables genera.

En la escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, en el año 2002, se tuvo la iniciativa por parte del Ingeniero

Emiliano Ariza León, de realizar pruebas y estudios de factibilidad para poder utilizar estos desechos biodegradables en los fluidos de perforación. De esta inquietud investigativa, nació la primera tesis de pregrado, dirigida por el Ingeniero Emiliano Ariza León denominada “Estudio de la Factibilidad del Uso del Extracto de Fique como Viscosificante y controlador de Filtrado en Lodos de Perforación”, realizada por los estudiantes de ingeniería, en ese momento, Pedro León Acosta y Carlos Ochoa.

Los resultados obtenidos en este trabajo de grado no fueron óptimos para lo que se había buscado estudiar, como viscosificante y controlador de filtrado, pero dio la posibilidad de poder realizar estudios de laboratorio para analizar el extracto o mucilago de fique como inhibidor de arcillas o como dispersante en lodos de perforación.

En el año 2005 se desarrollo la tesis denominada “Estudio de Factibilidad para el uso del Mucílago de Fique como Producto Estabilizador de Arcillas”, por los estudiantes, en ese momento, Luis José Restán Caldera y Gustavo Adolfo Ospina Hernández, obteniendo excelentes resultados, debido a que el comportamiento del Mucilago de Fique, obtuvo excelentes resultados comparándolo con el inhibidor de arcillas que más comúnmente se utiliza, el KCl.

La otra aplicación que se evidenció en la tesis de los señores Pedro León Acosta y Carlos Ochoa es la de dispersante; estudio que se realizó en esta investigación.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

En la búsqueda del conocimiento a través de la experimentación se debe elaborar un diseño que permita cuantificar y controlar los

procedimientos que son necesarios para llevar a cabo todas las investigaciones a nivel de laboratorio. Este diseño es el llamado diseño experimental y su propósito principal es conocer las interacciones de cada componente que está presente en los sistemas que se van a analizar.

Para nuestro caso es poder conocer el comportamiento que tiene cada uno de los aditivos que se encuentran en los lodos de perforación base agua al entrar en contacto con nuevos productos como es el caso del mucílago de fique. A su vez también poder estructurar la metodología de las pruebas que se llevaran a cabo para poder obtener información relevante y poder analizar mejor los resultados arrojados por la experimentación.

4.2.1 Identificación y Definición de Variables

En la tabla 22 se identifican las variables que intervienen en la investigación.

Tabla 19. Identificación y Definición de Variables

Variables	Cantidad	Descripción	Concentración
Contaminantes (Variable Independiente)	5	Cal, Sal, Yeso, CaCl ₂ y la Arcilla Natural	A,B
Mucílago de Fique (variable dependiente)	1	Búsqueda de la dosificación más adecuada según el contaminante	N
Dispersantes Comerciales	2	Grupo Control	Recomendada por el fabricante

Fuente: Los Autores

4.2.2 Diseño de Pruebas

Pruebas FASE I

- Pruebas de Compatibilidad.

En esta fase se busco determinar cuáles fueron los productos básicos de un lodo de perforación que reaccionaron al entrar en contacto o al ser mezclados con el mucílago de fique. Para esta prueba se utilizaron los aditivos esenciales en un lodo base y el utilizado para el control de espuma como el Estereato de Aluminio.

Tabla 20. Formularios para la Anotación de los Resultados de la Fase I

No.	MUESTRA	CANT. MUCÍLAGO DE FIQUE (mL)	CANT. OTROS ADITIVOS (gr)	FECHA
1	Mucílago de Fique	50	0	
2	Mucílago de Fique + Bentonita	50	10	
3	Mucílago de Fique + Aquagel	50	10	
4	Mucílago de Fique + Arcilla Natural	50	3	
5	Mucílago de Fique + NaOH	50	0.5	
6	Mucílago de Fique + Estearato de Al	50	0.1	
7	Mucílago de Fique + Dispac	50	1	
8	Mucílago de Fique + Pac-R	50	1	

MUESTRA	FECHA	pH	OBSERVACIONES
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Fuente: Los Autores

- Pruebas de Degradación y Preservación

FASE II. Pruebas Preliminares en Lodo contaminado con Sólidos (Arcilla Natural)

Con estas pruebas se buscó conocer los cambios generados en las propiedades del lodo ser contaminados por ARCILLA NATURAL y a la vez se hizo el tratamiento respectivo con los dispersantes comerciales y con el mucílago de fique (a diferentes concentraciones) el cual permitió determinar la dosificación más óptima del mucilago de fique.

Tabla 21. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase II

LODO	DISPERSANTE	Concent	θ600	θ300	Va	Vp	Yp	Gel	pH
		lpb			θ600/2	θ600-θ300	θ300-Vp	10 seg	
BASE									
Lodo Cont. Arcilla Natural									
Lodo Trat.	DC1								
Lodo Trat.	DC2								
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C1								
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C2								
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C3								
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C4								
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE Cn								

Fuente: Los Autores

FASE III. Pruebas para determinar la efectividad del mucilago de fique en el tratamiento del lodo con diferentes contaminantes.

Con las pruebas de esta fase se buscó conocer los cambios de las propiedades del lodo al ser contaminado con diferentes aditivos a dos

concentraciones (CA y CB) de cada contaminante (contaminante Z) y se procedió al respectivo tratamiento con el Dispersante Comercial 1 (DC1) y el dispersante Comercial 2 (DC2) como referencia y con el mucilago de fique, dispersante en prueba.

Las características de los dispersantes comerciales (DC1 y DC2) que se utilizaron se nombran a continuación:

DC1: Es un lignosulfonato libre de cromo efectivo adelgazante para los fluidos de perforación con base en calcio.

- Aplicación y Funciones
 - ✓ Ayudar a proveer un efectivo control de la tasa de filtración
 - ✓ Ayudar a proveer el control sobre las propiedades reológicas de los sistemas de fluidos de perforación con base en calcio
- Propiedades Características
 - ✓ Apariencia :Polvo
 - ✓ pH :3.0 a 4.0
 - ✓ Gravedad Especifica :1.1
 - ✓ Densidad :23 lb/ft³

El tratamiento recomendado por el fabricante es: agregar de 2 a 10 lbs/bbl (5.71-28.53 kg/m³) del producto.

DC2: Es un copolimero acrílico aniónico y se utiliza en los sistemas base agua para controlar las propiedades reológicas y aportar estabilidad a altas temperaturas.

Este defloculante es especialmente eficaz en sistemas de agua dulce con baja a mediana concentración de sólidos.

- Aplicación y Funciones

- ✓ Deflocular la mayoría de los sistemas base agua.
- ✓ Ayudar a reducir el esfuerzo de corte.
- ✓ Ayudar a reducir al mínimo la floculación con la temperatura.

- Propiedades Características

- ✓ Apariencia :Liquido
- ✓ pH :8.0
- ✓ Gravedad Especifica :1.24

El tratamiento recomendado por el fabricante es agregar al sistema de 1 a 4.

En esta prueba también se buscó identificar la dosificación de mucílago de fique que mejores resultados obtuvo y se realizó en la siguiente fase el proceso de optimización con un lodo de formulación más completa.

Tabla 22. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase III

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	0600	0300	Va (0600 /2)	Vp (0600-0300)	Yp (0300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE										
Lodo con Contam. Z (CA)										
Lodo Tratado	DC1									
Lodo Tratado	DC2									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C1									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C2									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C3									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C4									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C5									
Lodo Tratado	Mucílago de fique Cn									
LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	0600	0300	Va (0600 /2)	Vp (0600-0300)	Yp (0300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE										
Lodo con Contam. Z (CB)										
Lodo Tratado	DC1									
Lodo Tratado	DC2									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C1									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C2									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C3									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C4									
Lodo Tratado	Mucílago de fique C5									
Lodo Tratado	Mucílago de fique Cn									

Fuente: Los Autores

FASE IV. Pruebas de Optimización para determinar la efectividad del mucilago de fique en el tratamiento del lodo con las mejores dosificaciones encontradas.

Con la realización de estas pruebas de optimización se buscó determinar el comportamiento real del mucilago de fique con una formulación más completa de un lodo base, debido a que ya en esta fase es cuando el mucilago de fique entró en contacto con otros aditivos que puedan generar alteraciones en el comportamiento del mucilago de fique como dispersante.

Tabla 23. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase IV

OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON Z										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita										
Lodo contaminado con: Lodo base + Z										
Lodo tratado: Lodo contaminado + X lpb de Mucilago de Fique + OTROS ADITIVOS (Si es necesario)										
Torta Lodo Base										
Torta Lodo Contaminado con Z										
Torta Lodo Tratado										

Fuente: Los Autores

FASE V. Prueba de HPHT y Rolado.

La realización de esta prueba está sujeta a condiciones de disponibilidad de los equipos, debido a que el Laboratorio de Lodos y Cementos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos no cuenta con instrumentos para rolado. Existe un equipo para pruebas HPHT, pero no está funcionando debido a que le falta un mecanismo de válvula para poder operar. El objetivo fue poder conocer el comportamiento del mucílago de fique a temperaturas y presiones más altas.

Tabla 24. Formulario para la Anotación de los Resultados de la Fase V

LODO	DISPERSANTE	Concent	Ø600	Ø300	Va	Vp	Yp	Gel	Q API	pH
		lpb			Ø600/2	Ø600- Ø300	Ø300-Vp	10 seg	mL	
BASE										
Lodo Contaminado con Z										
Lodo Trat. Mejor Dosificación.										

4.3 RECOLECCIÓN Y CONSERVACIÓN DEL ZUMO DE FIQUE

Luego de mencionar las principales características y generalidades actuales de la planta de fique para esta investigación, se procede a describir el proceso de recolección y conservación del Mucílago de Fique que se utilizó en la realización de las pruebas para analizar si es factible el uso del mucílago de fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación base agua.

Para la obtención del mucílago de fique se emplearon hojas que pertenecen a la especie *Furcraea Macrophylla* Baker de la variedad ñña

de águila y pirulero, recogidas en el municipio de Curití departamento de Santander.

4.3.1 Obtención del mucílago de fique

Una vez traídas las hojas desde Curití, se lleva a cabo el proceso de extracción del mucílago de fique el cual se realizó en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la escuela de Ingeniería Química de la UIS (2008).

El procedimiento se inicia lavando las hojas con agua fresca para evitar cualquier tipo de contaminación que pueda alterar la composición química del mucílago a obtener, posteriormente se cortan longitudinalmente en trozos de aproximadamente 50 cm de largo. Ver Figuras 29 y 30



Figura 29. Hojas de Fique

Figura 30. Hojas Cortadas

Fuente: Los Autores

El paso siguiente fue retirar las espinas con cortes en los bordes y luego realizar un corte en cruz en dirección a la longitud de la hoja para facilitar el proceso de prensado. Ver figuras 31, 32 y 33.



Figura 31 y Figura 32. Corte de las Espinas y Corte Longitudinal



Figura 33. Cortes Realizados a la Hoja de Figue para Facilitar el Proceso de Prensado en la Maquina Berstor AF.

Fuente: Los Autores

Luego de realizar el lavado y los respectivos cortes, las hojas de figue se dejaron expuestas al medio ambiente para que se secan de forma natural esto con el fin de evitar que el agua del lavado se mezcle con el agua que tiene internamente la hoja de figue. Ver figura 34.



Figura 34. Secado de las Hojas de Figue
Fuente: Los Autores

Luego de terminar el tiempo de secado, el cual fue de aproximadamente 1 hora, se procedió a realizar la extracción del mucílago de figue por prensado con la máquina de rodillos Berstor AF la cual se muestra en las Figuras 35 y 36. Este equipo fue previamente lijado y limpiado con alcohol industrial para evitar la contaminación del mucílago.



Figura 35 y Figura 36. Prensadora Berstor AF (Lab. Ing Química – UIS, 2008).

Fuente: Los Autores

Luego de limpiar la prensadora, se pasan dos hojas de las cuales no se utiliza el líquido extraído con el fin de “purgar” la maquina y evitar que el alcohol utilizado para la limpieza contaminara el mucílago de fique que iba a ser analizado en las pruebas de laboratorio.

Después de esto se pasó una a una las hojas de fique, a través de los rodillos varias veces hasta extraer la mayor cantidad del extracto. Ver Figuras 37 y 38.

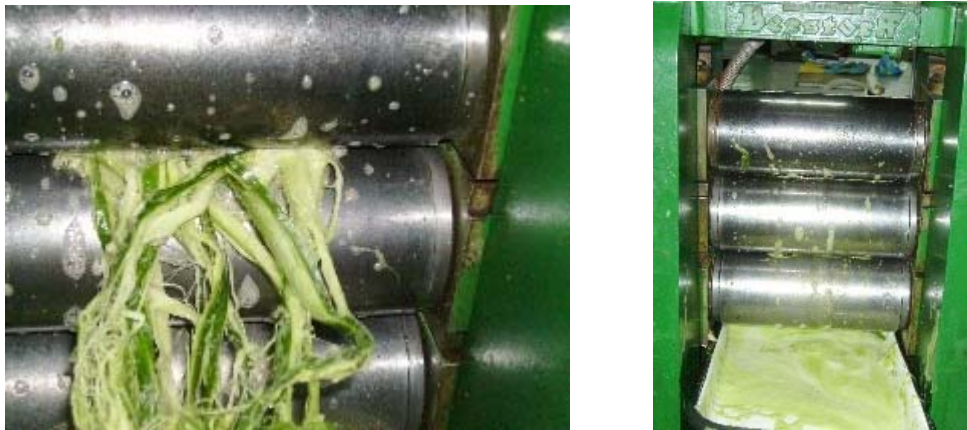


Figura 37 y Figura 38. Extracción del Mucílago de Fique con la Prensadora.

Fuente: Los Autores

A medida que se obtuvo el mucílago de fique, este se fue pasando a través de un colador domestico para retirar las fibras que iban cayendo dentro del liquido y luego este se fue embasando en recipientes plásticos.

Luego de tener en recipientes el mucílago de fique obtenido se procedió a llevarlo a refrigeración para su conservación. (Ver Figuras 39 y 40).



Figura 39 y Figura 40. Mucílago de Fique Colado y Embotellado.

Fuente: Los Autores

4.4 PRUEBAS PRELIMINARES

Previo a la realización de las pruebas preliminares con el Mucílago de Fique como aditivo dispersante, se procedió a la realización de las pruebas de compatibilidad.

Con estas pruebas se pudo conocer en forma independiente, la reacción del mucílago de fique con los aditivos más comúnmente utilizados en lodos de perforación.

4.4.1 Prueba de Compatibilidad FASE I

Las pruebas de Compatibilidad consistieron recoger 8 muestras de mucílago de fique en una cantidad de 50 ml cada una y se mezclaron con los aditivos más comúnmente utilizados en lodos de perforación. Ver Figura 41.



Figura 41. Muestras de la Prueba de Compatibilidad
Fuente: Los Autores

La composición de las muestras de fique con los aditivos analizados en las muestras se describe en la tabla 25.

Tabla 25. Relación de las Muestras Analizadas en la Prueba de Compatibilidad

No	Muestra	Cant. Mucílago de Fique (mL)	Cant. Otros Aditivos (gr)
1	Mucilago de Fique	50	0
2	Mucílago de Fique + Bentonita	50	10 gr
3	Mucilago de Fique + Aquagel	50	10 gr
4	Mucilago de Fique + Arcilla Nat.	50	3 gr
5	Mucílago de Fique + NaOH	50	0.5 gr
6	Mucílago de Fique + Ester de Al	50	0.1 gr
7	Mucílago de Fique + Drispac	50	1 gr
8	Mucílago de Fique + Pac-R	50	1 gr

Fuente: Los Autores

Al comienzo y durante la prueba de compatibilidad se registraron los valores del pH de cada una de las observaciones que se realizaron

periódicamente a cada una de las muestras analizadas. Ver Figuras 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 y 51.



Figura 42 y Figura 43. Muestra 1. Mucílago de Figue y Toma de pH.
Fuente: Los Autores



Figura 44 y Figura 45. Muestra 2. Mucílago de Figue (50 ml) +
Bentonita (10 gr) y Toma de pH.
Fuente: Los Autores



Figura 46. Muestra 3. Mucílago de Fique (50 ml) + Aquagel (10 gr)
Fuente: Los Autores



Figura 47. Muestra 4. Mucílago de Fique (50 ml) + Arcilla Natural (3 gr)
Fuente: Los Autores



Figura 48. Muestra 5. Mucílago de Figue (50 ml) + NaOH (0,5 gr)
Fuente: Los Autores



Figura 49. Muestra 6. Mucílago de Figue (50 ml) + Estearato de Aluminio (0,1 gr)
Fuente: Los Autores



Figura 50. Muestra 7. Mucílago de Figue (50 ml) + Drispac (1 gr)
Fuente: Los Autores



Figura 51. Muestra 8. Mucílago de Figue (50 ml) + Pac-R (1 gr)
Fuente: Los Autores

Los datos obtenidos de la prueba de compatibilidad son mostrados en las tablas: 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 y 33.

Tabla 26. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Nov.-10/2008

MUESTRA	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	NOV 10/08	4.93	La muestra es de color verde oliva, olor fuerte poco desagradable, poca viscosidad, formación de un poco de espuma al ser agitado.
2	NOV 10/08	4.57	La muestra cambia a un color blanco lechoso, con una mayor viscosidad en comparación con la muestra anterior. Hay formación de algo de espuma por la agitación de la muestra. No se evidencia ninguna clase de precipitación.
3	NOV 10/08	4.62	La muestra cambia a un color blanco lechoso parecido al anterior, con una viscosidad mayor en comparación con la muestra anterior. No se evidencia ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
4	NOV 10/08	4.41	Precipitación de la arcilla en la muestra, presencia de dos fases, el mucílago de fique arriba y la arcilla abajo precipitada, no se presenta cambio de color con respecto a la muestra numero uno. Olor igual al de la muestra numero uno.
5	NOV 10/08	7.1	Mantiene las mismas propiedades físicas del mucilago original. Se puede evidenciar el aumento del pH al adicionar Hidróxido de Sodio NaOH.
6	NOV 10/08	4.55	Disminución de espuma luego de la agitación. Olor, color, viscosidad se mantienen iguales a las del mucilago original. No se evidencia ningún tipo de precipitación. Una parte del Estereato de Aluminio no se disolvió en la muestra y aparece adherido en las paredes del frasco y sobre la superficie de la muestra.
7	NOV 10/08	4.51	La muestra tiende a gelificarse hay aumento de viscosidad. Al gelificarse la muestra, permite ver que la fase más clara de la muestra, como lo es el agua propia del mucílago, se acumula dentro de los canales formados por la muestra. Propiedades como olor y color se mantienen.
8	NOV 10/08	4.47	La muestra presenta las mismas características que la muestra anterior.

Tabla 27. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Nov.-11/2008

MUESTRA	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	NOV 11/08	4,91	Se puede notar la presencia de dos fases, agua propia del mucílago en la parte superior y el mucílago en la parte inferior, el color es un poco más oscuro al original y el olor se mantiene igual.
2	NOV 11/08	4,55	Se puede ver que la bentonita y el mucílago forman una sola fase pues muestran la tendencia de gelificación. El color y olor se mantienen constantes. No se evidencia la presencia de ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
3	NOV 11/08	4,60	Se puede ver que la muestra presenta las mismas características de reacción que la muestra anterior, en cuanto a composición, color y olor. No se evidencia ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
4	NOV 11/08	4,41	Esta muestra no ha cambiado en su composición, se ve la arcilla precipitada y el mucílago en la parte superior. El color y el olor se mantienen constantes. No se evidencia ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
5	NOV 11/08	7,09	El color es un verde más oscuro. El olor se mantiene. No se evidencia ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
6	NOV 11/08	4,52	Se puede notar la presencia de tres fases, el agua propia del mucílago en la parte superior, luego sigue en el centro el Estereato de Aluminio que no se disolvió y en la parte inferior el Mucílago de Fique. Color y olor se mantienen constantes. No se evidencia ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
7	NOV 11/08	4,51	Presencia de dos fases, agua del mucílago arriba y mucílago en la parte de abajo. Conserva el mismo aspecto gelatinoso. El color y el olor se mantienen constantes. No se evidencia ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
8	NOV 11/08	4,47	La muestra presenta las mismas características que la muestra anterior.

Tabla 28. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Nov.-19/2008

MUESTR A	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	NOV 19/08	4.85	Se mantiene la presencia de dos fases, agua propia del mucílago en la parte superior y el mucilago en la parte inferior, el color es un poco más oscuro al original y el olor evidencia ya el proceso de fermentación es decir ya es más fuerte. No se evidencia precipitación de sólidos.
2	NOV 19/08	4.32	Se puede observar la gelificación de la muestra. El color se mantiene y el olor muestra un poco de fermento. Se agitó la muestra y el gel pasó a ser líquido nuevamente. No hay precipitación de sólidos.
3	NOV 19/08	4.47	Se pueden observar las mismas características de la muestra anterior. No hay precipitación de sólidos.
4	NOV 19/08	4.30	Se mantienen las características de composición y de color. Dos fases, agua del mucílago arriba y mucílago abajo, la arcilla precipitada. El olor ya presenta señales de fermentación. No se evidencian precipitaciones de sólidos.
5	NOV 19/08	5.68	El color es un verde más oscuro. El olor evidencia el proceso de fermentación. No se evidencia ningún tipo de precipitación dentro de la muestra.
6	NOV 19/08	4.29	Presencia de dos fases. El Estearato de Aluminio que no se disolvió en el control anterior, se precipitó dentro de la muestra. El color es un poco más oscuro y el olor ya presenta señales de fermentación.
7	NOV 19/08	4.33	Las mismas características de la observación de la fecha anterior pero con la diferencia que el olor ya es más fuerte, comenzando el proceso de fermentación.
8	NOV 19/08	4.11	La muestra presenta las mismas características que la muestra anterior.

Tabla 29. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-03/2008

MUESTRA	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	DIC 03/08	4.78	Color verde más oscuro, olor a vinagre, comportamiento gelatinoso. No se evidencia ningún tipo de precipitado.
2	DIC 03/08	4.20	Presencia de una sola fase, porosa, gelificada, manteniendo el color. El olor es mas fermentado. No hay presencia de precipitación de sólidos.
3	DIC 03/08	4.40	Se mantienen las mismas características a la muestra anterior. El olor es mas fermentado. No hay presencia de precipitación de sólidos.
4	DIC 03/08	4.15	Se mantienen las mismas características a la observación de la fecha anterior aunque se evidencian mas secciones porosas. El olor ya es más fuerte, mas fermentado. La arcilla se mantiene precipitada. No se observan otro tipo de sólidos precipitados.
5	DIC 03/08	5.24	Una sola fase, viscosa, homogénea, color verde más oscuro y olor a fermento. No hay precipitación de sólidos.
6	DIC 03/08	4.18	Una sola fase, gelificada, presencia de las partículas de estereato de aluminio insolubles sobrenadantes. El color es un poco más oscuro y el olor ya es más fuerte, mas fermentado. No hay precipitación de sólidos.
7	DIC 03/08	4.21	Casi solidificado, altamente viscoso, una sola fase. El color es más oscuro y el olor es mas fermentado. No hay precipitación de sólidos.
8	DIC 03/08	4.07	Muestra gelificada, el color un poco más oscuro, el olor a fermento más fuerte que la muestra anterior. No hay precipitación de sólidos.

Tabla 30. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-09/2008

MUESTRA	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	DIC 09/08	4.59	El color se presenta como un verde más oscuro, el olor es más fuerte, mas fermentado. No se evidencia ningún tipo de precipitado.
2	DIC 09/08	4.12	Presencia de una sola fase, gelificada en su composición, manteniendo el color. El olor es característico al fermento fuerte. No hay presencia de precipitación de sólidos.
3	DIC 09/08	4.32	Se mantienen las mismas características a la muestra anterior. El olor es mas fermentado. No hay presencia de precipitación de sólidos.
4	DIC 09/08	4.15	Se mantienen las mismas características a la observación de la fecha anterior. El olor ya es más fuerte, mas fermentado. La arcilla se mantiene precipitada. No se observan otro tipo de sólidos precipitados.
5	DIC 09/08	5.14	Se mantienen las mismas características a la observación anterior. El olor ya es más fuerte, mas fermentado. No hay precipitación de sólidos.
6	DIC 09/08	4.01	Se puede observar que la muestra ya presenta una mayor viscosidad con respecto a la observación de la fecha anterior. El color es un poco más oscuro y el olor ya es más fuerte, mas fermentado. No hay precipitación de sólidos.
7	DIC 09/08	4.06	La muestra está gelificada, el color es más oscuro y el olor es mas fermentado. No hay precipitación de sólidos.
8	DIC 09/08	4.00	Muestra gelificada, el color un poco más oscuro, el olor a queso rancio más fuerte que la muestra anterior. No hay precipitación de sólidos.

Tabla 31. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-15/2008

MUESTRA	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	DIC 15/08	4.32	Color verde más oscuro, el olor es más fuerte, bastante fermento. No se evidencia ningún tipo de precipitado. Se empiezan a ver partículas blancas por la fermentación.
2	DIC 15/08	4.01	Una sola fase, gelificada, manteniendo el color. El olor es bastante fermentado. No hay presencia de precipitación de sólidos.
3	DIC 15/08	4.23	Las mismas características de la muestra anterior. El olor es bastante fermentado. No hay presencia de precipitación de sólidos.
4	DIC 15/08	4.07	El olor es más fuerte. La arcilla se mantiene precipitada. Se empiezan a generar partículas de color blanco debido a la fermentación.
5	DIC 15/08	5.05	Se mantienen las mismas características a la observación anterior. El olor es más fermentado. No hay precipitación de sólidos.
6	DIC 15/08	3.99	Aumento de la viscosidad respecto a la observación de la fecha anterior. El color es un poco más oscuro y el olor ya es más fuerte. No hay precipitación de sólidos.
7	DIC 15/08	4.02	La muestra está gelificada, el color es más oscuro y el olor es más fuerte. No hay precipitación de sólidos.
8	DIC 15/08	3.97	Muestra gelificada, el color un poco más oscuro, el olor es mas fermentado que la muestra anterior. No hay precipitación de sólidos.

Tabla 32. Observaciones Prueba de Compatibilidad. Dic.-18/2008

MUESTRA	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	DIC 18/08	4.22	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.
2	DIC 18/08	3.99	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.
3	DIC 18/08	4.07	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.
4	DIC 18/08	4.00	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.
5	DIC 18/08	5.01	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.
6	DIC 18/08	3.91	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.
7	DIC 18/08	4.00	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.
8	DIC 18/08	3.95	Características parecidas a la observación de la fecha anterior. Se evidencian partículas blancas por la fermentación.

Tabla 33. Conclusiones Prueba de Compatibilidad. Dic.-18/2008

MUESTRA	DATE	pH	OBSERVACIONES
1	ENE 19/08	4.05	El mucílago de fique tiene un periodo aproximado para llegar al punto de fermentación de 10 a 15 días. Teniendo en cuenta que no está refrigerado.
2	ENE 19/08	3.91	En la mezcla del mucílago de fique con la bentonita no se presentan señales de precipitación de sólidos ni reacciones atípicas.
3	ENE 19/08	4.01	En la mezcla del mucílago de fique con el Aquagel no se presentan señales de precipitación de sólidos ni reacciones atípicas.
4	ENE 19/08	3.95	En la mezcla del mucílago de fique con la arcilla natural no se presentan señales de precipitación de sólidos ni reacciones atípicas. Solo precipitación de la arcilla.
5	ENE 19/08	4.97	En la mezcla del mucílago de fique con el NaOH no se presentan señales de precipitación de sólidos ni reacciones atípicas. Solo pH más altos.
6	ENE 19/08	3.88	En la mezcla del mucílago de fique con el Estereato de Aluminio no se presentan señales de precipitación de sólidos. Se evidencia de manera visual que la solubilidad del Estereato de Aluminio en el mucílago de fique es muy baja. Y el Estereato insoluble quedó sobrenadante en la muestra.
7	ENE 19/08	3.99	En la mezcla del mucílago de fique con el Drispac no se presentan señales de precipitación de sólidos ni reacciones atípicas. Solo que el grado de gelificación es más alto
8	ENE 19/08	3.93	Características parecidas a la observación de la muestra anterior. No hay presencia de precipitación de sólidos.

4.4.2 Prueba de Degradación y Preservación del Mucilago FASE I

Otra de las pruebas preliminares que se llevaron a cabo, fue la de degradación o fermentación natural del mucilago de fique y su respectiva preservación. Para esta prueba se utilizaron dos tipos de proceso.

- I. Refrigeración del Mucílago de Fique: Luego de obtener el mucílago de fique, se midió el pH del extracto (pH=4.93) e inmediatamente se pasaron las muestras a refrigeración a una temperatura de 5 °C aproximadamente.

El Mucílago de fique refrigerado logro mantener sus características desde el 30 de Octubre de 2008 fecha de extracción del mucílago, hasta el 18 de Diciembre de 2008 que fue cuando se realizo la última observación (pH=4.88).

- II. Control de la Fermentación con Biocida. A 1 bbl equiv., de Mucílago de Fique se le adicionó Aldacide G (bactericida), en la cantidad recomendada por el fabricante (0.5 lpb). El biocida hizo que la muestra tuviera cambios en el color y en el olor. El color se torno café oscuro y el olor ya no fue tan concentrado a mucílago. (Ver la Figura 52).

<p>pH Mucílago de Fique = 4.88</p> <p>pH Mucílago de Fique + Biocida = 5.57</p>



Figura 52. Muestras de Mucílago de Fique con Aldacide (frasco grande) y sin Aldacide (frasco pequeño) al momento de la Adición del Aldacide G.

Fuente: Los Autores

Luego de 10 días de haber preparado la mezcla, se realizó la observación de las muestras para conocer los cambios durante ese periodo. Ver Figuras 53 y 54.

pH Mucílago de Fique = 4.83

pH Mucílago de Fique + Biocida = 5.54



Figura 53 y Figura 54. Muestra de Mucílago de Fique con Aldacide G 10 días después de la mezcla.

Fuente: Los Autores

Se pudo observar con esta prueba preliminar, que el biocida retrasó el proceso de fermentación del mucílago de fique, debido a que el olor a fermento que tuvo la muestra que tenía solamente mucílago no lo tuvo la muestra que contenía el biocida, por el contrario, fue un olor suave sin señales de fermentación.

De acuerdo a la información técnica del bactericida Aldacide G, este producto se utiliza para controlar las bacterias reductoras de sulfatos en la mayoría de los fluidos de perforación base agua.

En la figura 55 se puede ver la formación y apariencia de una capa en la superficie del líquido de la muestra que contiene el Mucílago de Fique con el Aldacide. En esta muestra se evidencia que la generación bacteriana es más lenta en comparación con la muestra del mucílago de fique.

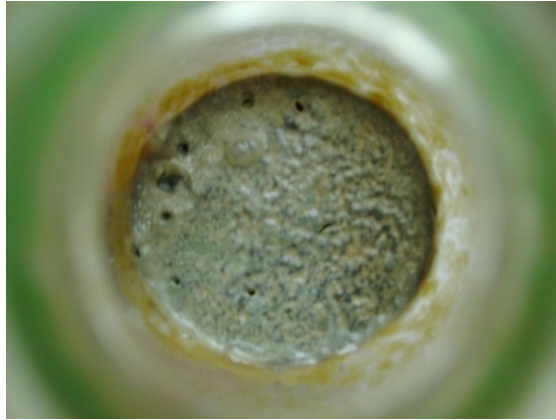


Figura 55. Costra en la Muestra de Mucílago de Fique con Biocida
10 días después.
Fuente: Los Autores

En la figura 56 se ve la apariencia de la capa generada en la muestra del Mucílago de fique, luego de 10 días. En este caso la generación bacteriana es más rápida y la fermentación del mucílago de fique es más rápida.



Figura 56. Apariencia de la Costra en la Muestra de Mucílago de Fique
Fuente: Los Autores

En las pruebas preliminares de degradación y preservación del Mucilago de fique con un bactericida, se obtuvieron buenos resultados en este método de preservación. Se deben realizar pruebas complementarias para poder conocer los resultados óptimos en este procedimiento de conservación.

4.5 PRUEBAS PRELIMINARES CONTAMINACIÓN DEL LODO BASE CON ARCILLA NATURAL Y TRATAMIENTO CON DISPERSANTES FASE II

En la realización de esta prueba se buscó conocer el efecto a nivel reológico que tuvo el mucílago de fique, sin tener en cuenta aun los efectos químicos que se presentan cuando se contamina con otras sustancias como Cal o Yeso.

El Lodo base que se utilizó para esta prueba preliminar se compuso de agua + aquagel. Los resultados de la reología y del Filtrado del lodo base se muestran en la tabla 34:

Tabla 34. Datos del Lodo Base

Propiedad	Valor	Unidad	Propiedad	Valor	Unidad
Va	16	cP	pH	10.45	
Vp	7	cP	Ca ⁺⁺	80	ppm
Yp	18	lb/100 pies ²	Cl ⁻	300	ppm
Gel (10 seg)	9	lb/100 pies ²	Q API	8	mL

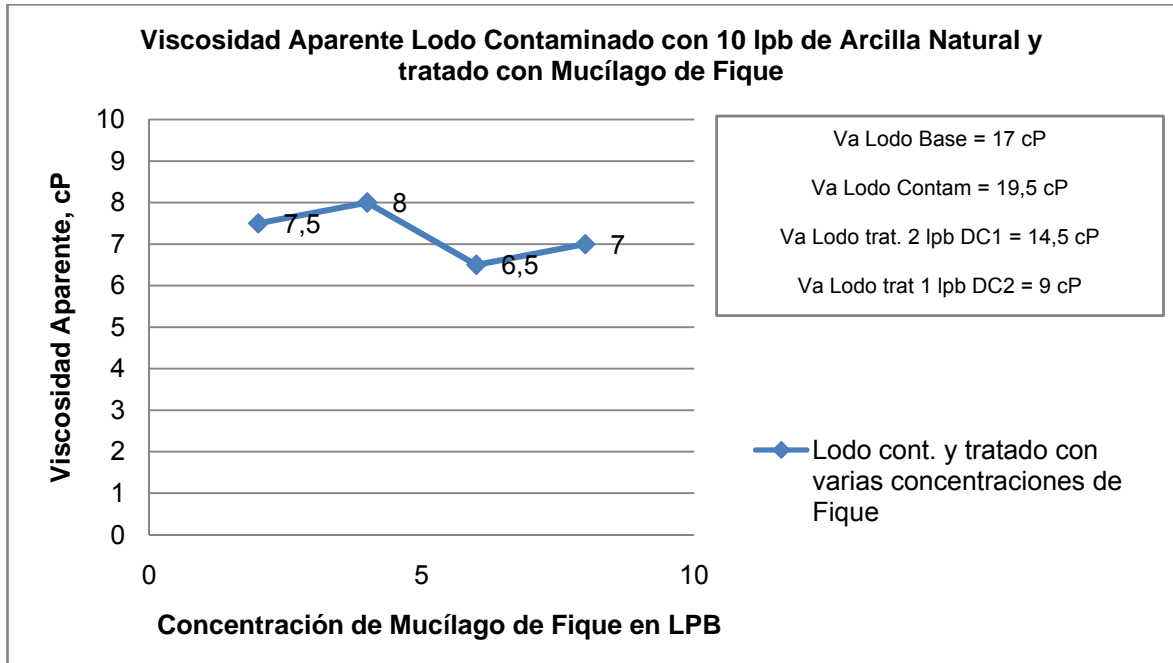
Fuente: Los Autores

- Contaminación con 10 lpb de Arcilla Natural

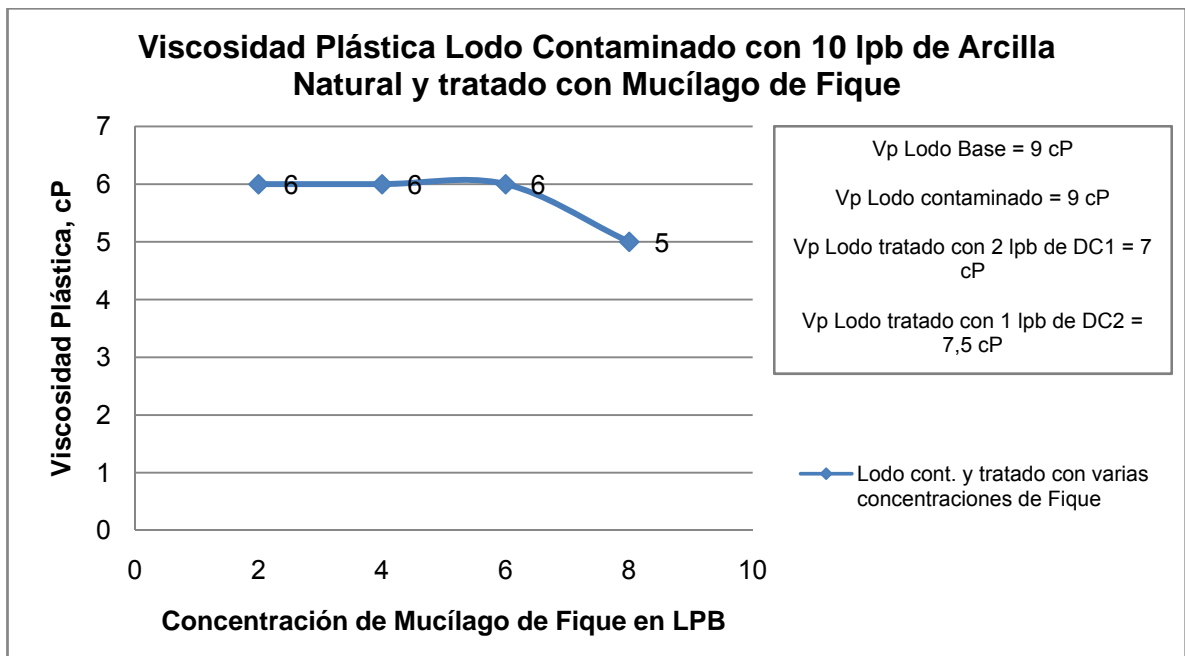
Tabla 35. Resultados de la Contaminación con 10 lpb de Arcilla Natural y Tratamiento con dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concent	Ø600	Ø300	Va	Vp	Yp	Gel	pH
		lpb			Ø600/2	Ø600-Ø300	Ø300-Vp	10 seg	
BASE			34	25	17	9	16	10	10,16
Lodo Cont. Arcilla Natural		10	39	30	19,5	9	21	13	9,9
Lodo Trat.	DC1	2	29	22	14,5	7	15	7	7,83
Lodo Trat.	DC2	1	18	10,5	9	7,5	3	7	9,79
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C1	2	15	9	7,5	6	3	2	8,8
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C2	4	16	10	8	6	4	2	8,31
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C3	6	13	7	6,5	6	1	2	8,59
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE C4	8	14	9	7	5	4	2	8,76
Lodo Trat.	MUCILAGO FIQUE Cn								

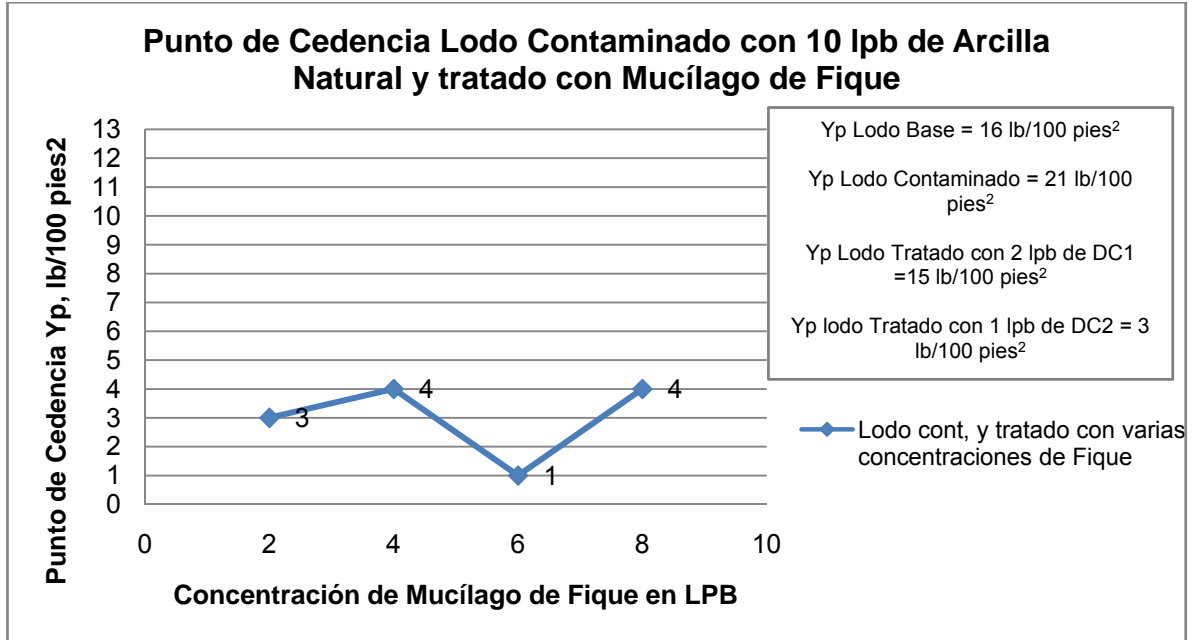
a. Análisis de la Viscosidad Aparente:



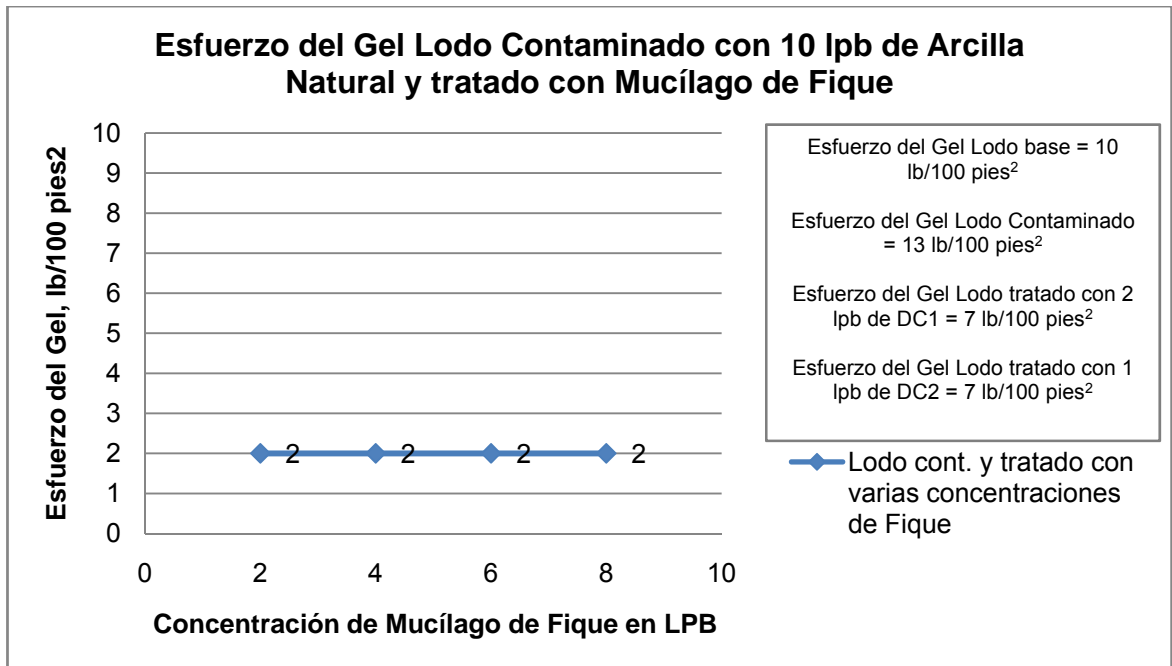
b. Análisis de la Viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis del Esfuerzo de Gel:



Se evidencia el buen comportamiento del mucilago de fique como dispersante en lodos contaminados con arcilla natural, debido a que los valores obtenidos son muy parecidos a los del DC2.

4.6 PRUEBAS DE CONTAMINACIÓN Y TRATAMIENTO CON DISPERSANTES Y MUCILAGO DE FIQUE FASE III

A continuación se muestran los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a los lodos formulados en la presente investigación.

4.6.1 En Lodo Base

El lodo base que se utilizó para estas pruebas preliminares fue el mismo que se utilizó en la Fase II. Los datos de reología, filtrado y torta están en la tabla 34:

1 bbl equiv. de agua + 18 lpb de Aquagel
--

4.6.2 En lodos Contaminados

Los contaminantes utilizados en esta investigación fueron: Cal, Sal común (NaOH), Yeso, Cloruro de Calcio (CaCl_2) y Arcilla Natural.

4.6.2.1 Lodos Contaminados y Tratados con Dispersantes Comerciales y con Mucílago de Fique

Para la evaluación del Mucílago de Fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación base agua, se compararon los

resultados del mucílago de fique con los obtenidos por dos de los dispersantes comerciales más utilizados en lodos de perforación.

Las propiedades reológicas y de filtrado analizadas fueron:

- Viscosidad Aparente
- Viscosidad Plástica
- Yield Point
- Resistencia del Gel

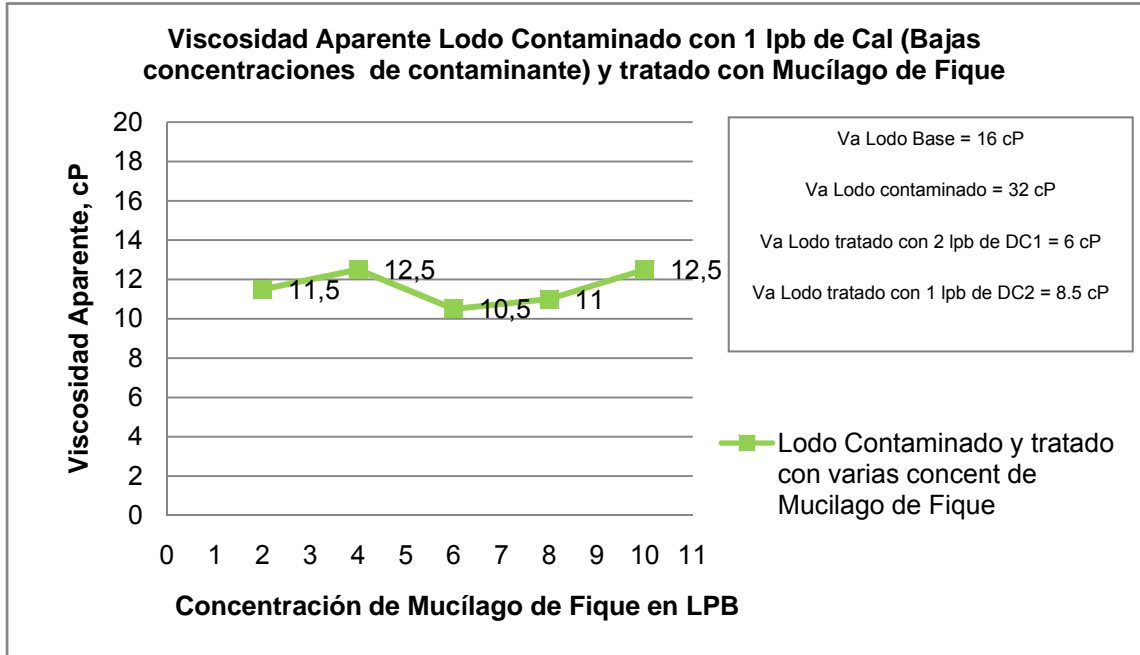
4.6.2.1.1 Pruebas de Contaminación del Lodo Base con Cal a Dos Concentraciones

I. Contaminación con 1 lpb de Cal

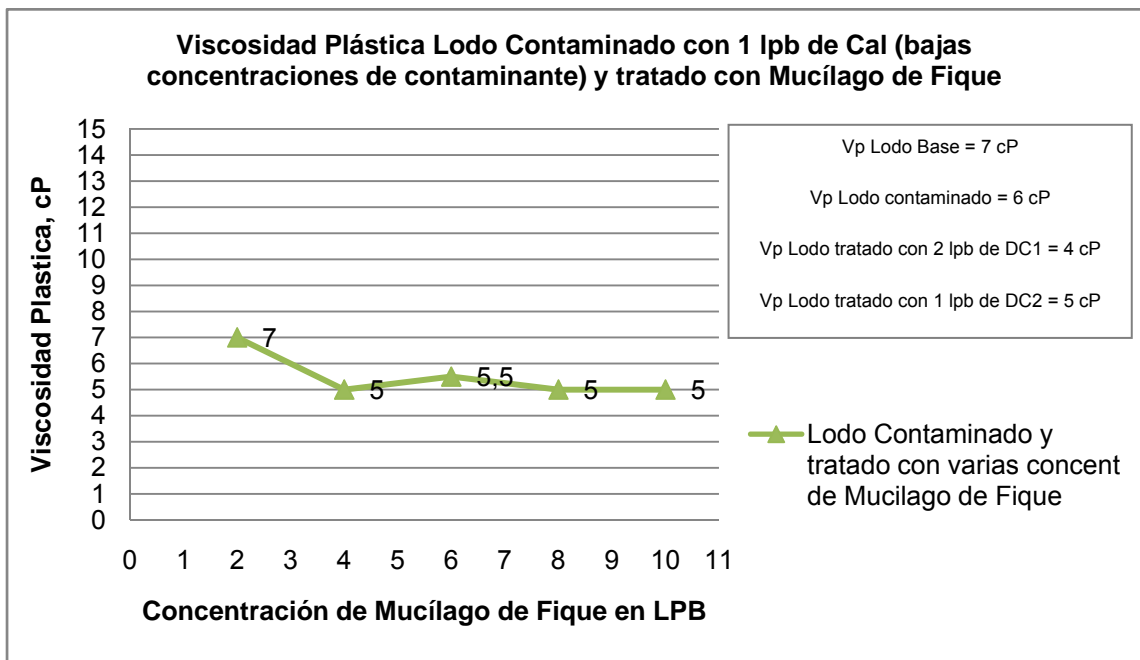
Tabla 36. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de Cal y Tratamiento con dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	θ600	θ300	Va (θ600/2)	Vp (θ600-θ300)	Yp (θ300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		1	64	58	32	6	52	14	30	13.45
Lodo Trat.	DC1	2	12	8	6	4	4	6	28	12.55
Lodo Trat.	DC2	1	17	12	8.5	5	7	7	29	13.97
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	23	16	11.5	7	9	6	31	13.37
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	25	20	12.5	5	15	9	32	13.21
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	21	15.5	10.5	5.5	10	7	33	13.15
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	22	17	11	5	12	9	34	13.08
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	25	20	12.5	5	15	9	35	13
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

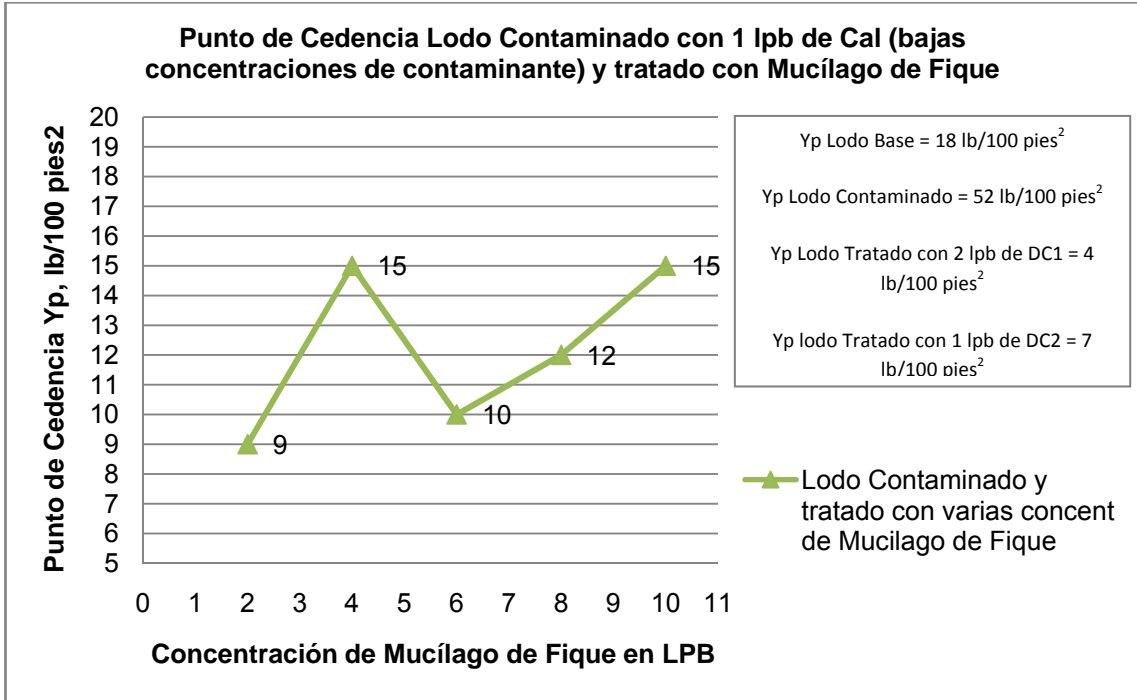
a. Análisis de la Viscosidad Aparente:



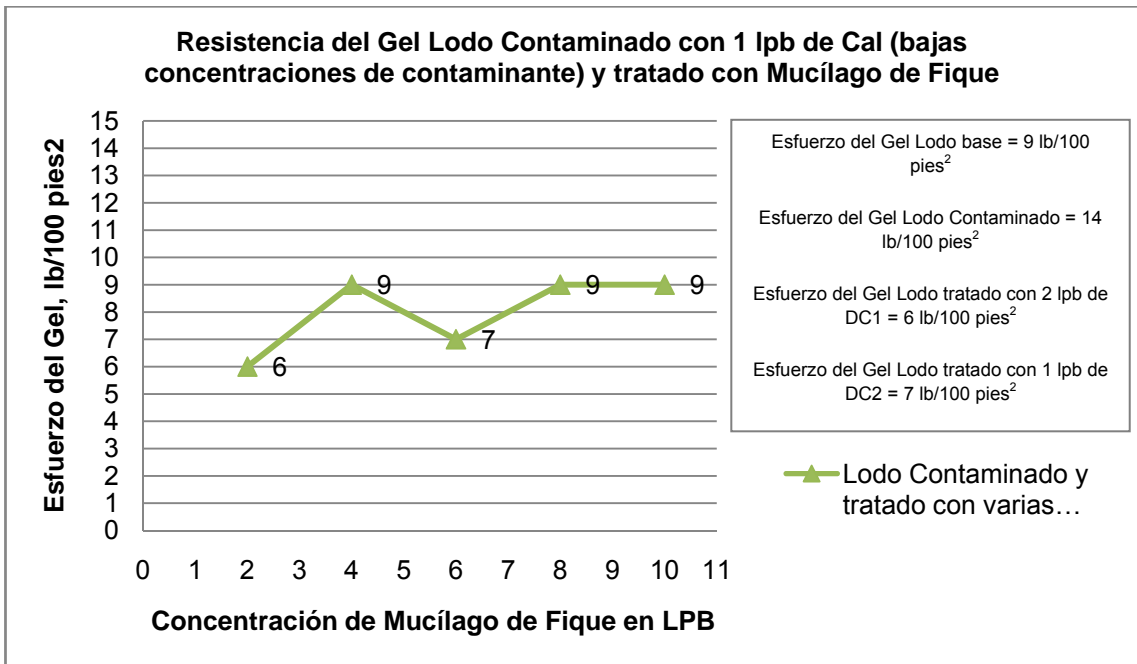
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



El mucilago del fique logro bajar la viscosidad aparente del lodo contaminado con 1 lpb de Cal desde 32 cP hasta un mínimo de 10.5 cP, observando un buen poder adelgazante. Los resultados son comparables con los obtenidos al utilizar los dispersantes comerciales. Igualmente se observa para las propiedades de viscosidad plástica, punto de cedencia y resistencia del gel.

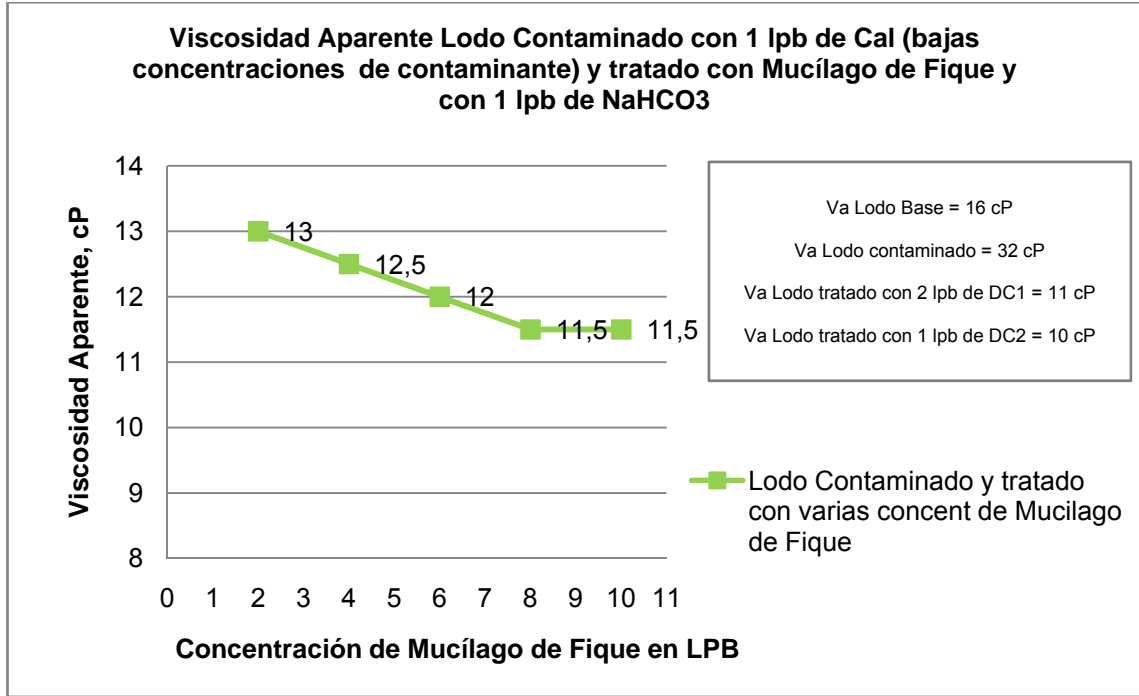
II. Tratamiento con Bicarbonato de Calcio del lodo contaminado con 1 lpb de Cal

Tabla 37. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de Cal, Tratamiento con Bicarbonato de Sodio y Dispersantes.

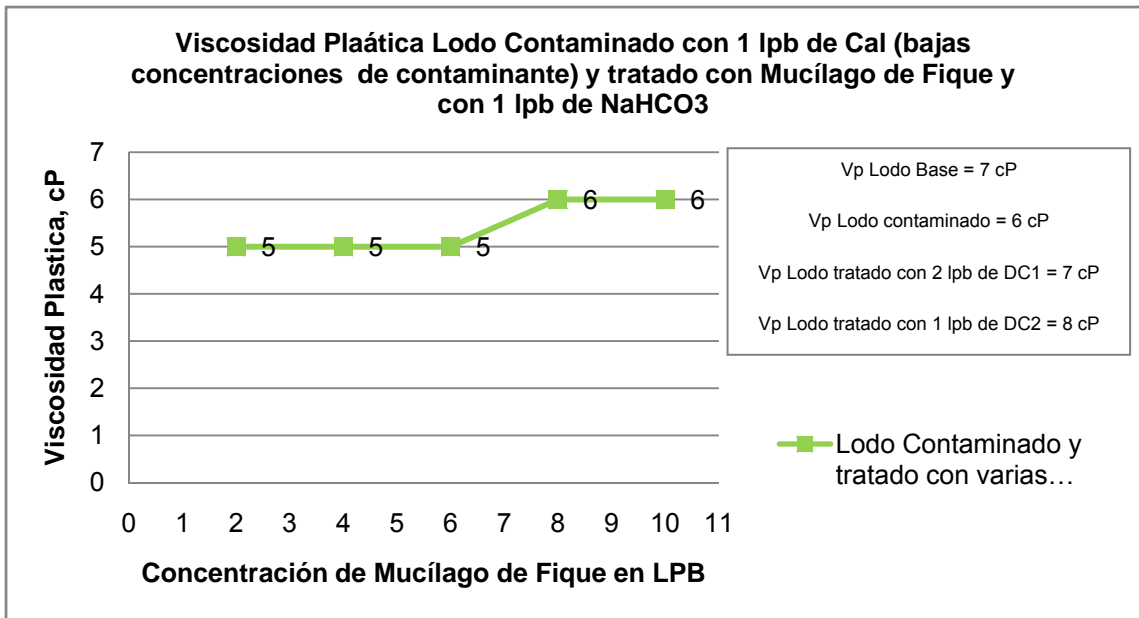
LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	Ø600	Ø300	Va (Ø600/2)	Vp (Ø600-Ø300)	Yp (Ø300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		1	64	58	32	6	52	14	30	13.45
Lodo Trat.	Bicarbonato de Sodio		31	24	15.5	7	17	15	30	10.85
Lodo Trat.	DC1	2	22	15	11	7	8	4	28	9.66
Lodo Trat.	DC2	1	20	12	10	8	4	2	26	10.87
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	26	21	13	5	16	12	31	10.78
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	25	20	12.5	5	15	11	32	10.71
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	24	19	12	5	14	10	32	10.67
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	23	17	11.5	6	11	8	32	10.57
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	23	17	11.5	6	11	8	31	10.48
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

Fuente: Los Autores

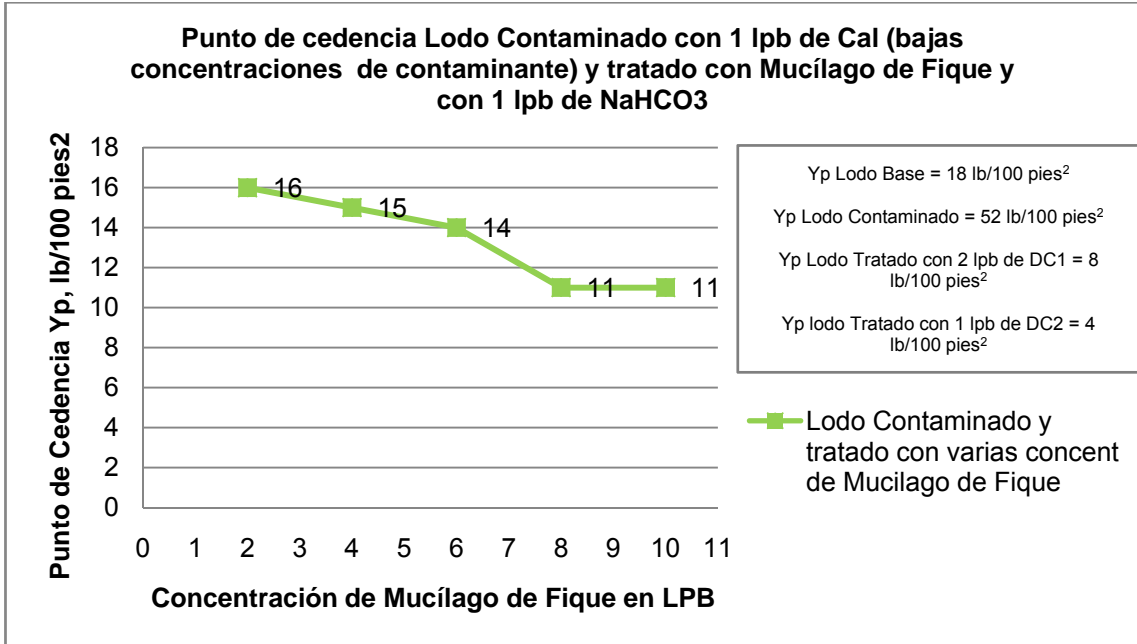
a. Análisis de la Viscosidad Aparente:



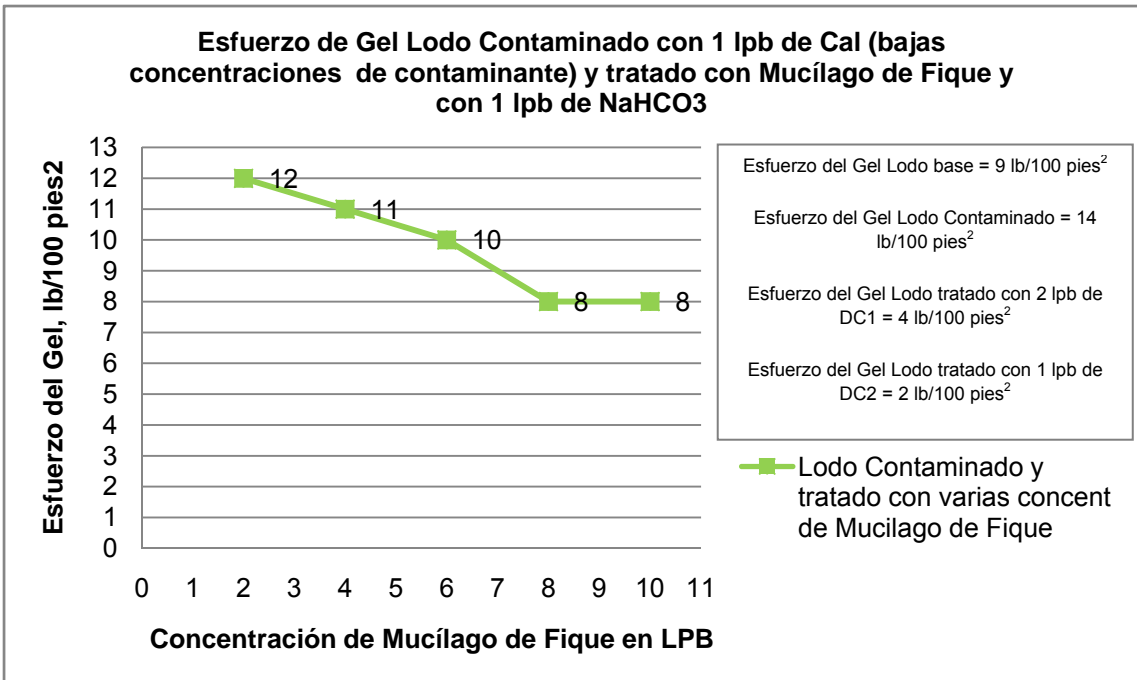
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



De acuerdo a las graficas anteriores se puede notar que al tratar con bicarbonato de sodio los lodos contaminados con Cal, es decir los lodos que contienen menos de 200 ppm de Ca ++. Se obtienen buenos resultados a medida que se incrementa la concentración del Mucílago de fique.

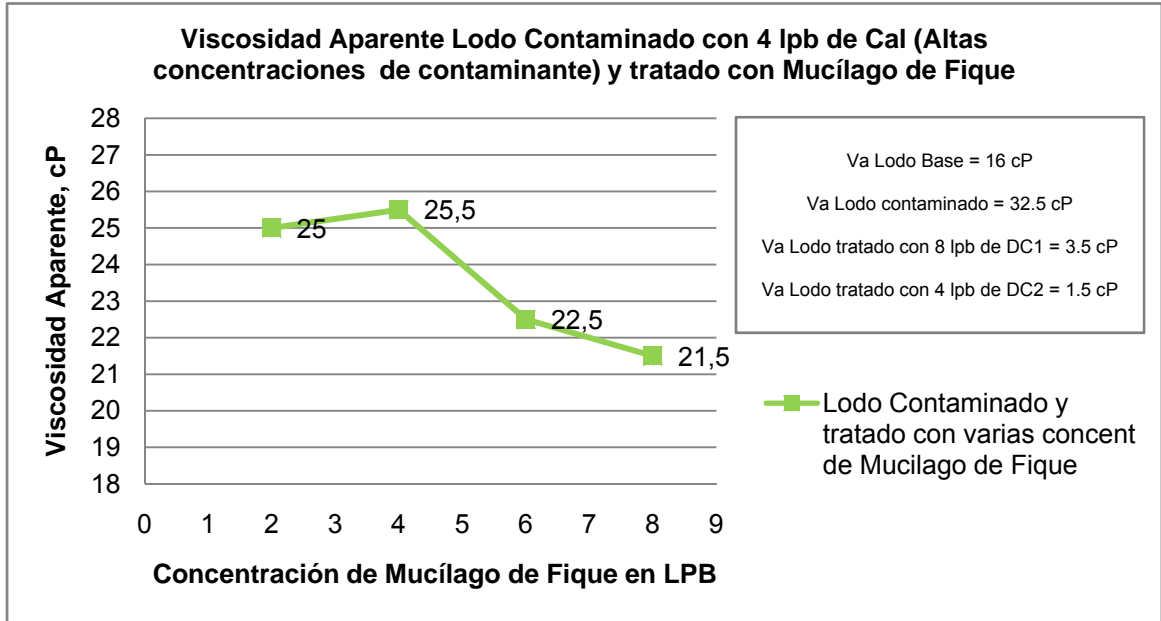
Por los resultados obtenidos en los lodos contaminados con cal y que además contengan <200 ppm de Ca⁺⁺ la mejor dosificación encontrada para este tipo de lodos es de **4 lpb de Mucílago de Fique**.

III. Contaminación con 4 lpb de Cal

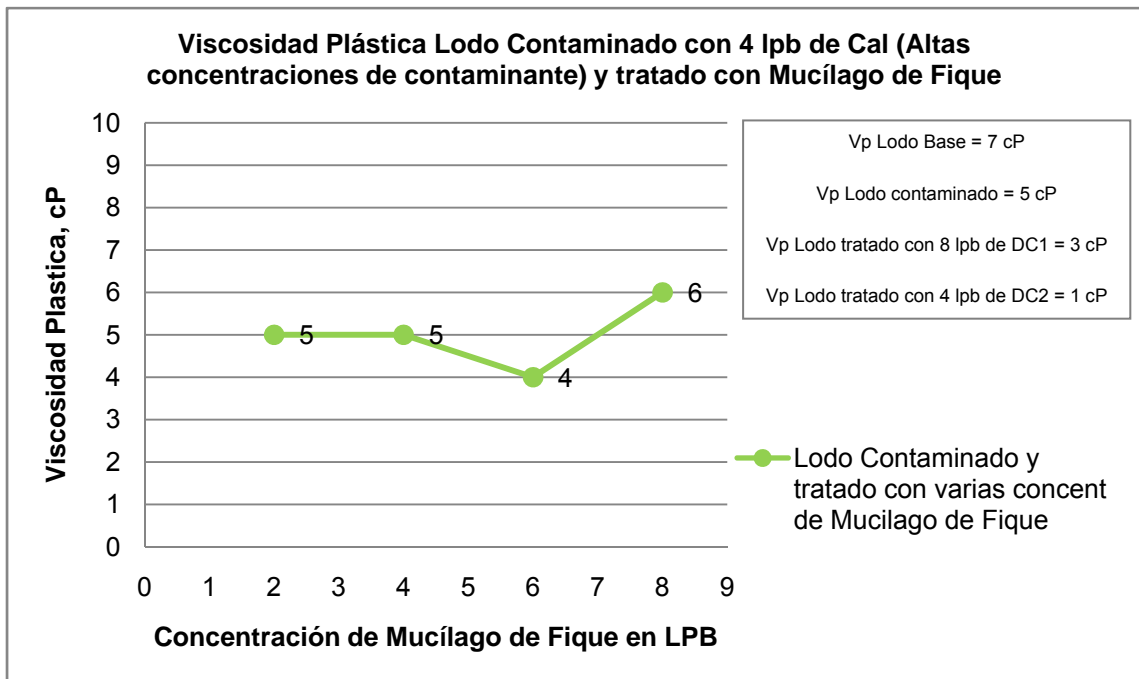
Tabla 38. Resultados de la Contaminación con 4 lpb de Cal y Tratamiento con dispersantes.

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	θ600	θ300	Va (θ600/2)	Vp (θ600-θ300)	Yp (θ300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		4	65	60	32.5	5	55	19	76	14.39
Lodo Trat.	DC1	8	7	4	3.5	3	1	2	67	12.74
Lodo Trat.	DC2	4	3	2	1.5	1	1	1	58	13.26
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	50	45	25	5	40	25	70	13.16
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	51	46	25.5	5	41	23	69	13.11
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	45	41	22.5	4	37	12	69	13.08
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	43	37	21.5	6	31	12	70	13.07
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

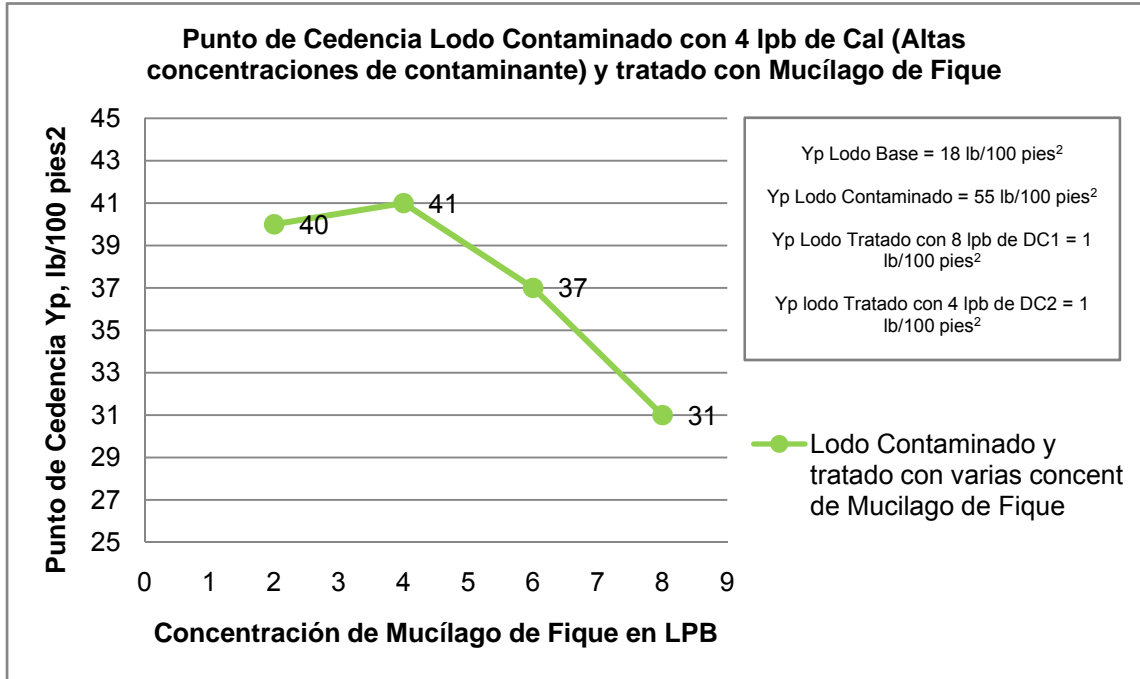
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



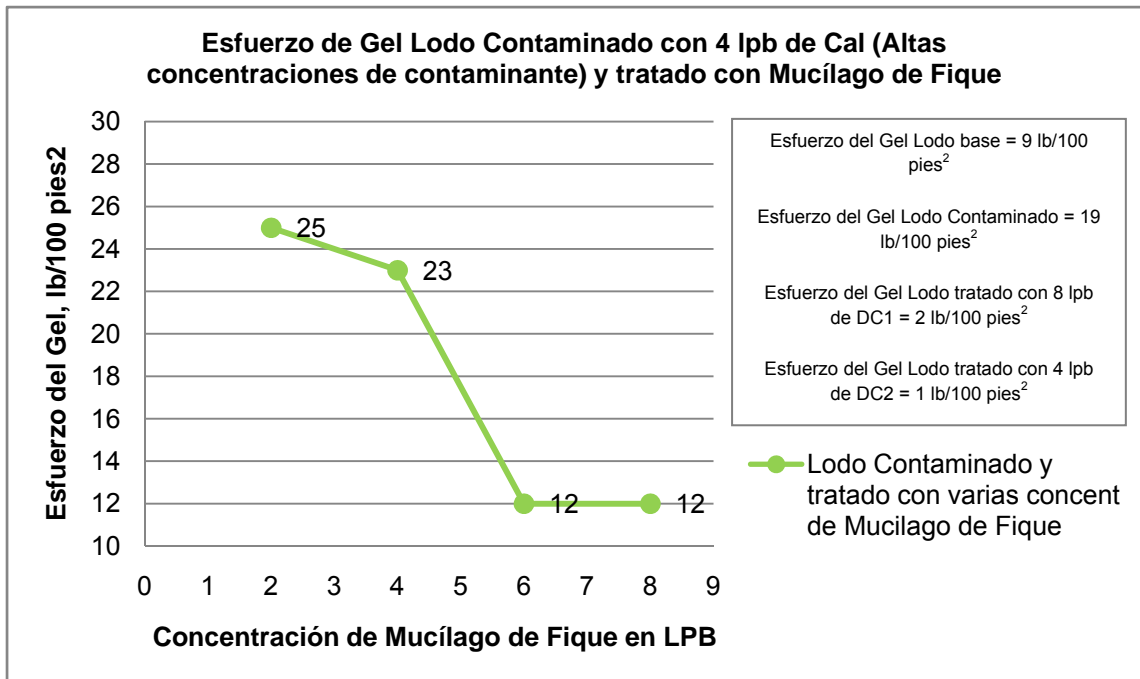
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



Se puede notar que al incrementar la concentración de Cal como contaminante, el Mucílago de fique disminuye la viscosidad aparente del lodo, pero no logra obtener resultados parecidos a los obtenidos con los dispersantes comerciales. Igual sucede con las demás propiedades reológicas.

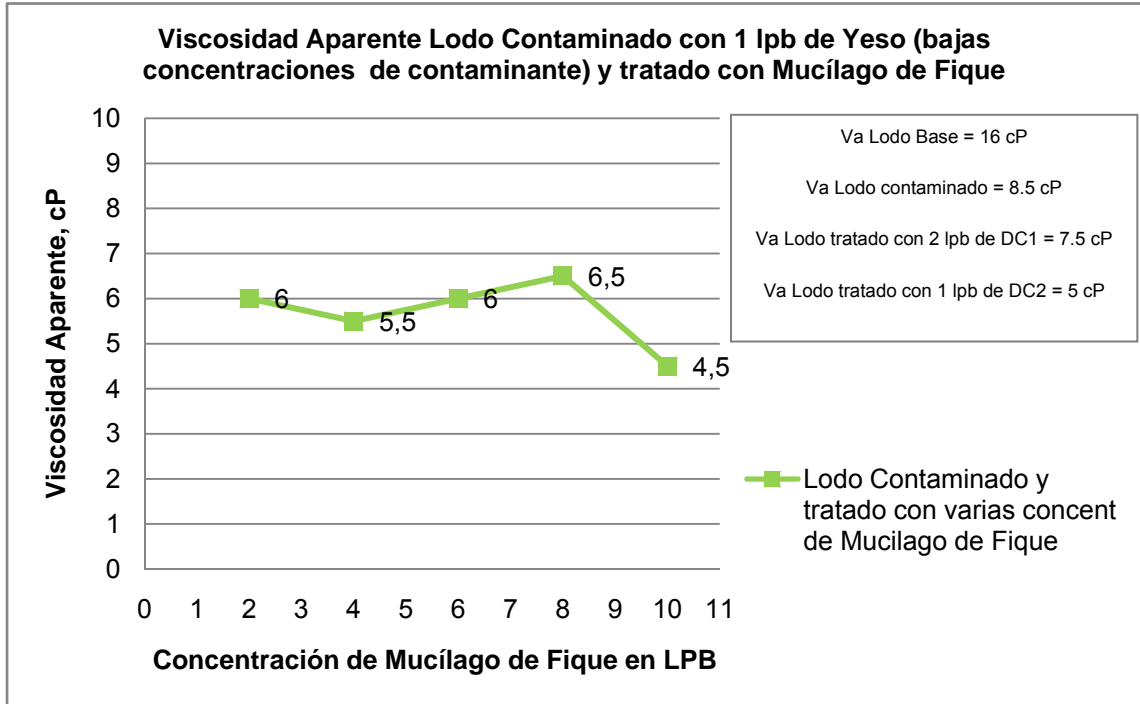
4.6.2.1.2 Pruebas de Contaminación del Lodo Base con Yeso a Dos Concentraciones

I. Contaminación con 1 lpb de Yeso

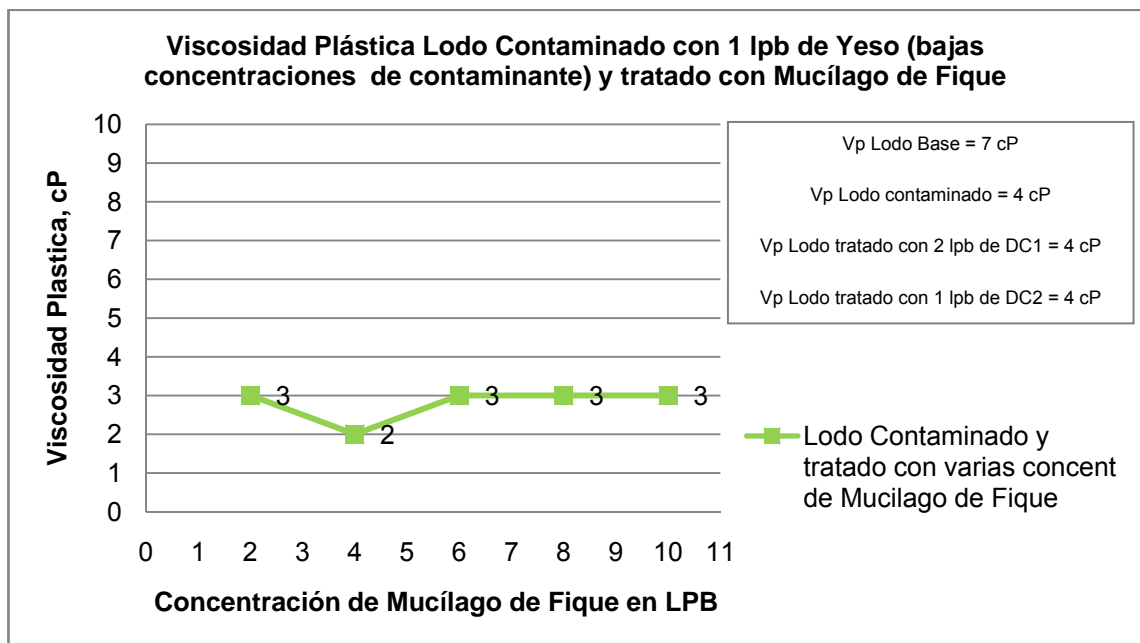
Tabla 39. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de Yeso y Tratamiento con Dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	Ø600	Ø300	Va (Ø600/2)	Vp (Ø600-Ø300)	Yp (Ø300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		1	17	13	8.5	4	9	6	53	8.46
Lodo Trat.	DC1	2	15	11	7.5	4	7	7	58	7.53
Lodo Trat.	DC2	1	10	6	5	4	2	4	33	10.34
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	12	9	6	3	6	5	53	9.72
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	11	9	5.5	2	7	4	54	9.25
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	12	9	6	3	6	5	55	9.52
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	13	10	6.5	3	7	4	55	9.95
Lodo Trat.(1Lpb NaHCO3)	Muc. de Fique C5	10	9	6	4.5	3	3	2	56	9.26
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

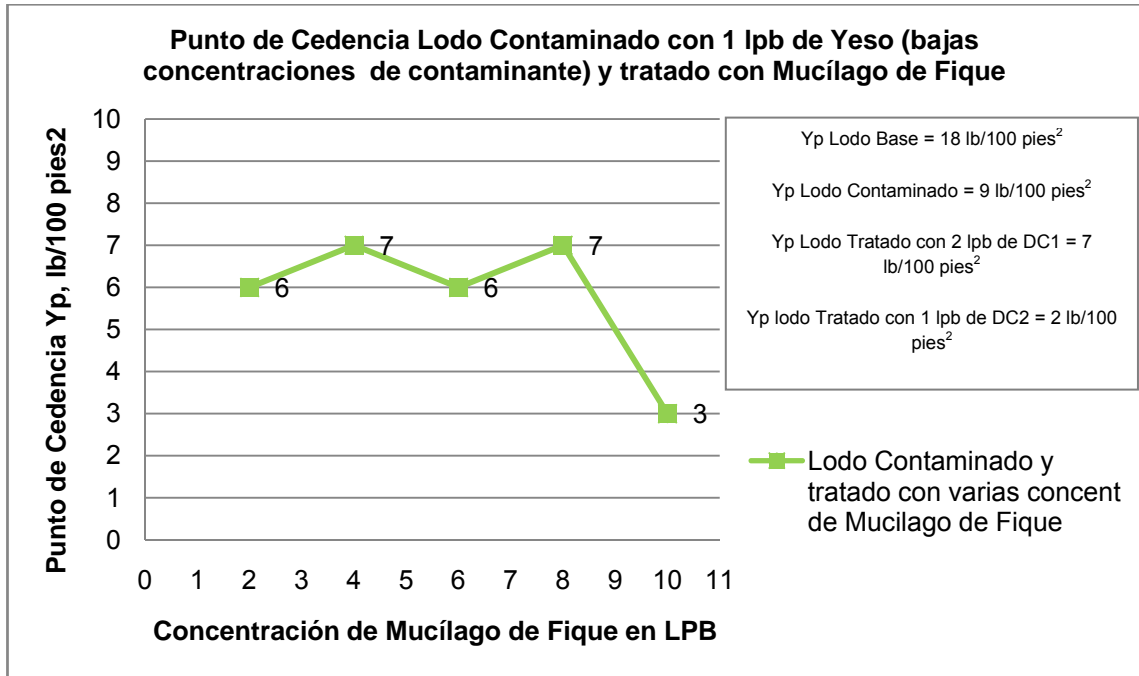
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



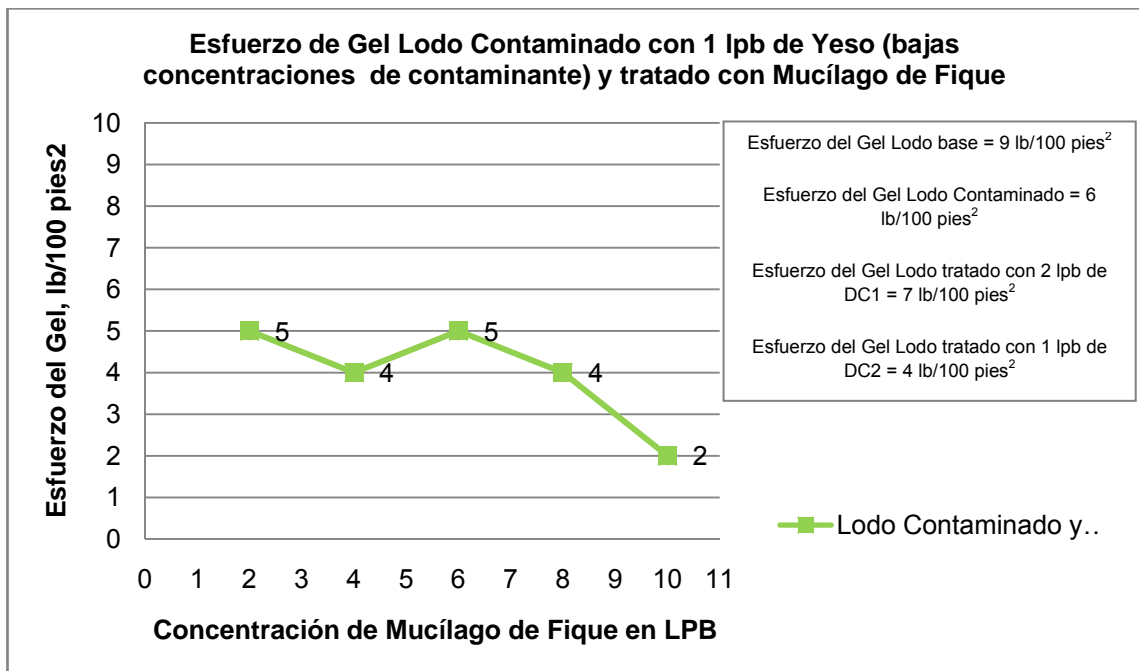
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



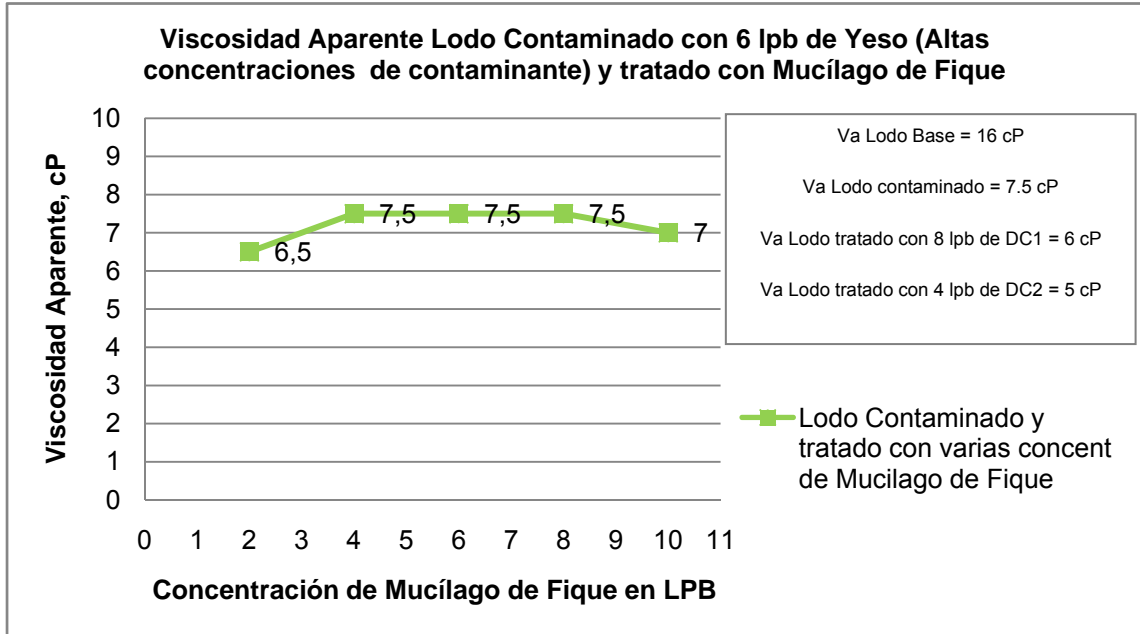
El yeso es otro contaminante que aporta iones de calcio a los lodos, con esta grafica se puede notar que el mucílago de fique funciona en lodos contaminados con yeso que no superan los 200 ppm de Ca^{++} , ya que los resultados obtenidos son muy buenos, incluso mejores que los obtenidos con el DC1, y muy cercanos a los resultados obtenidos con el DC2. El comportamiento se mantiene en las otras propiedades del lodo tratado con mucílago de fique

II. Contaminación con 6 lpb de Yeso

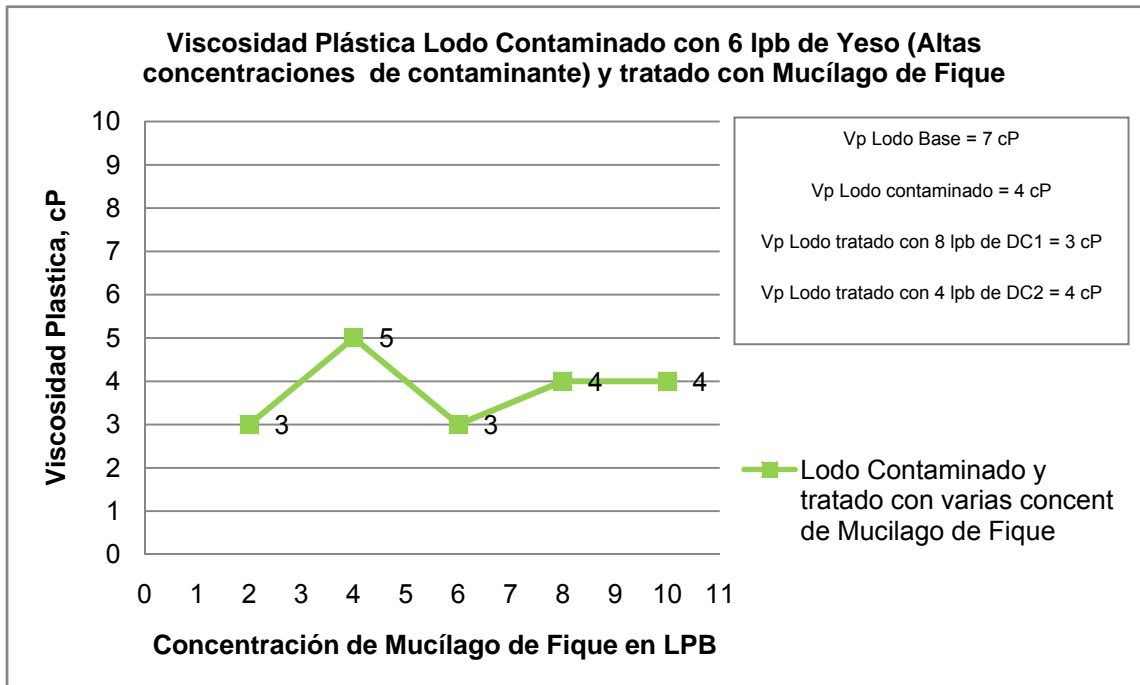
Tabla 40. Resultados de la Contaminación con 6 lpb de Yeso y Tratamiento con Dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	Ø600	Ø300	Va (Ø600/2)	Vp (Ø600-Ø300)	Yp (Ø300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		6	15	11	7.5	4	7	6	74	8.91
Lodo Trat.	DC1	8	12	9	6	3	6	4	74	6.13
Lodo Trat.	DC2	4	10	6	5	4	2	3	58	9.81
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	13	10	6.5	3	7	6	81	9.05
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	15	10	7.5	5	5	6	83	11.47
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	15	12	7.5	3	9	6	82	11.01
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	15	11	7.5	4	7	5	84	10.98
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	14	10	7	4	6	6	85	10.15
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

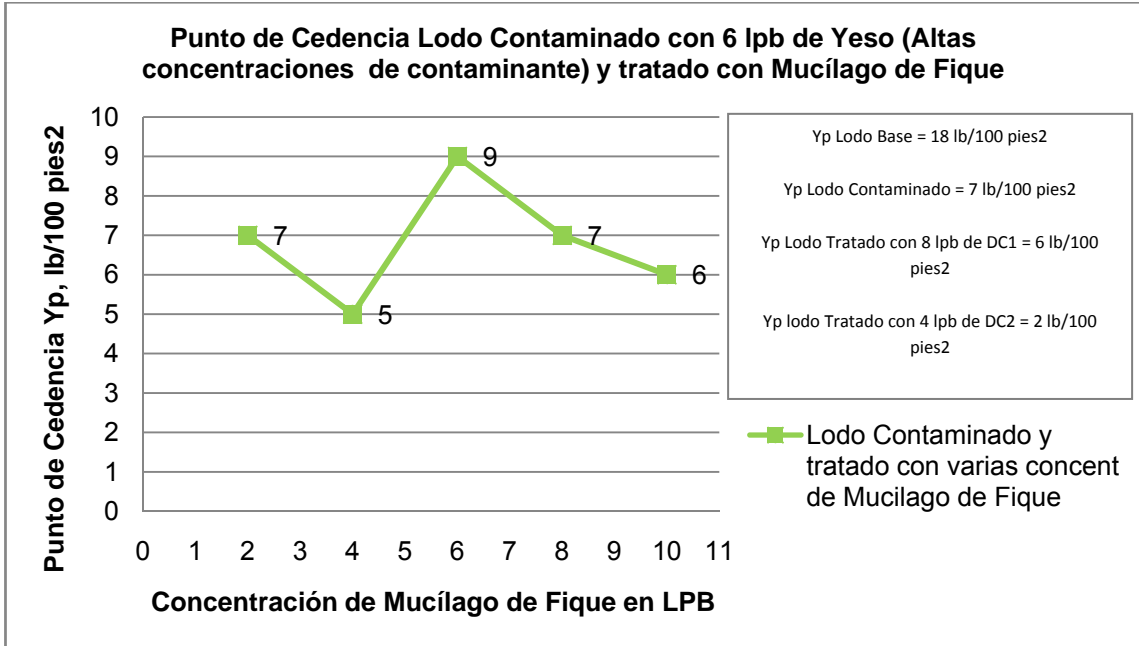
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



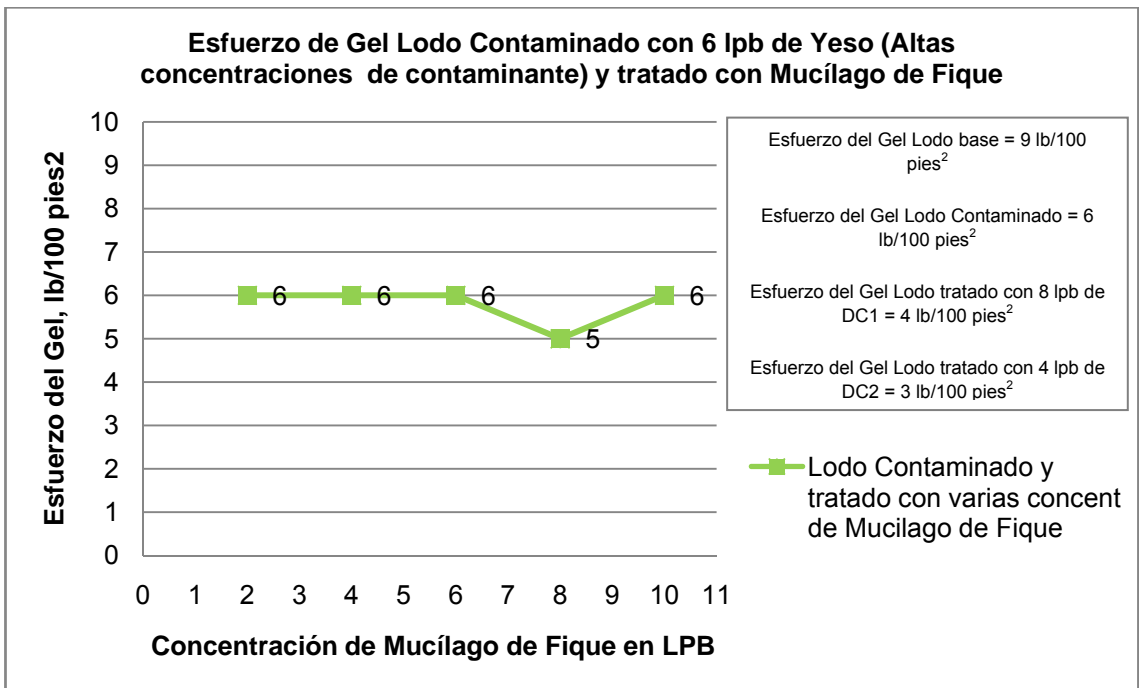
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



En general los resultados obtenidos con el mucílago de fique en lodos contaminados con 6 lpb de yeso fueron muy similares a los obtenidos con los dispersantes comerciales, pero no significativos comparados con las propiedades del lodo contaminado. Se puede concluir que el mucílago de fique no es recomendable como dispersante en lodos base calcio. En conclusión, el mucílago de fique puede funcionar en lodos contaminados con Yeso que contengan menos de 200 ppm Ca⁺⁺. Para este tipo de contaminación se recomienda una dosificación de **4 lpb de Mucílago de Fique.**

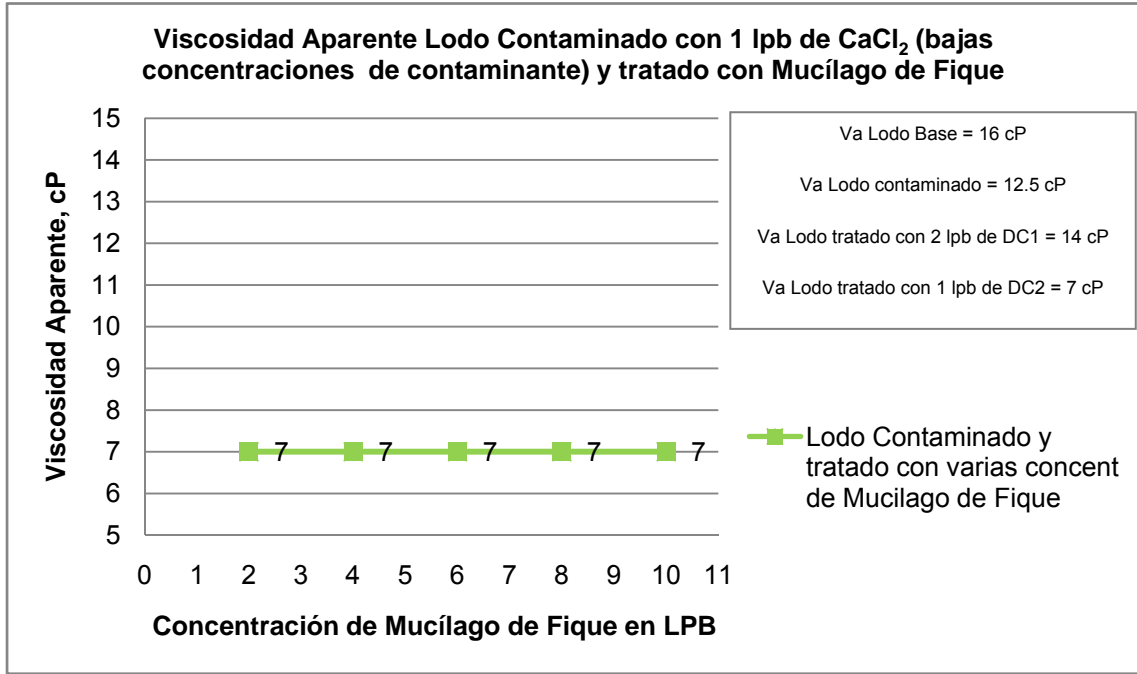
4.6.2.1.3 Pruebas de Contaminación del Lodo Base con Cloruro de Calcio (CaCl₂) a Dos Concentraciones.

I. Contaminación con 1 lpb de CaCl₂

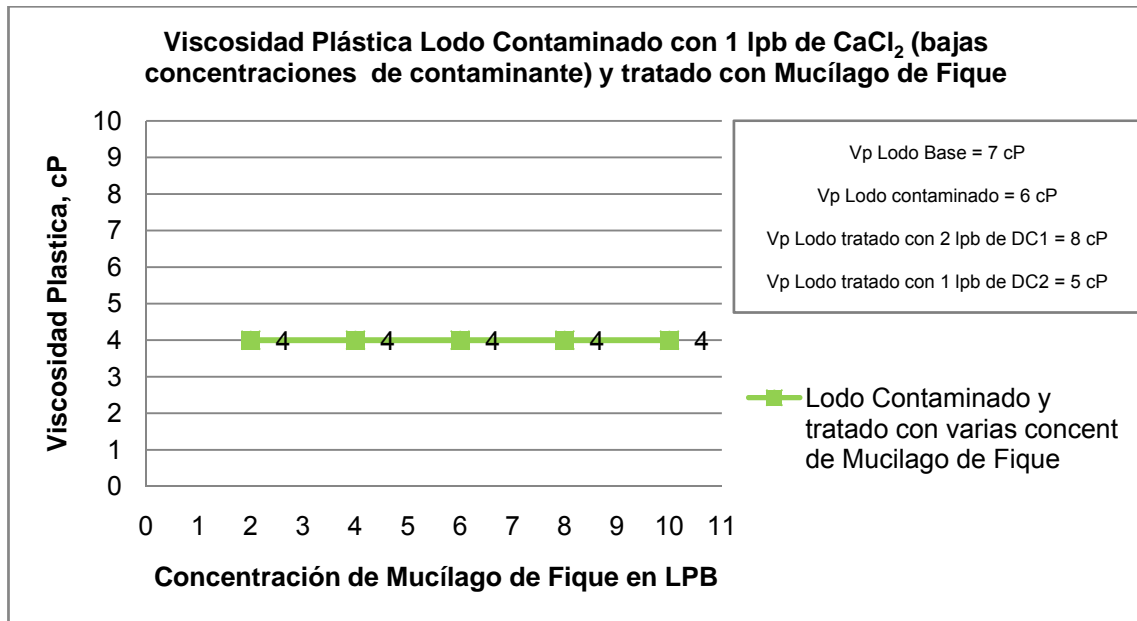
Tabla 41. Resultados de la Contaminación con 1 lpb de CaCl₂ y Tratamiento con Dispersantes.

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	θ600	θ300	Va (θ600/2)	Vp (θ600-θ300)	Yp (θ300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		1	25	19	12.5	6	13	11	30	10.77
Lodo Trat.	DC1	2	28	20	14	8	12	12	28	7.93
Lodo Trat.	DC2	1	14	9	7	5	4	2	23	10.66
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	14	10	7	4	6	5	24	12.11
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	14	10	7	4	6	6	25	8.51
Lodo Trat.+ 2 gotas NaOH	Muc. de Fique C3	6	14	10	7	4	6	5	27	11.8
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	14	10	7	4	6	6	26	9.95
Lodo Trat.(1Lpb NaHCO ₃)	Muc. de Fique C5	10	14	10	7	4	6	5	28	9.26
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

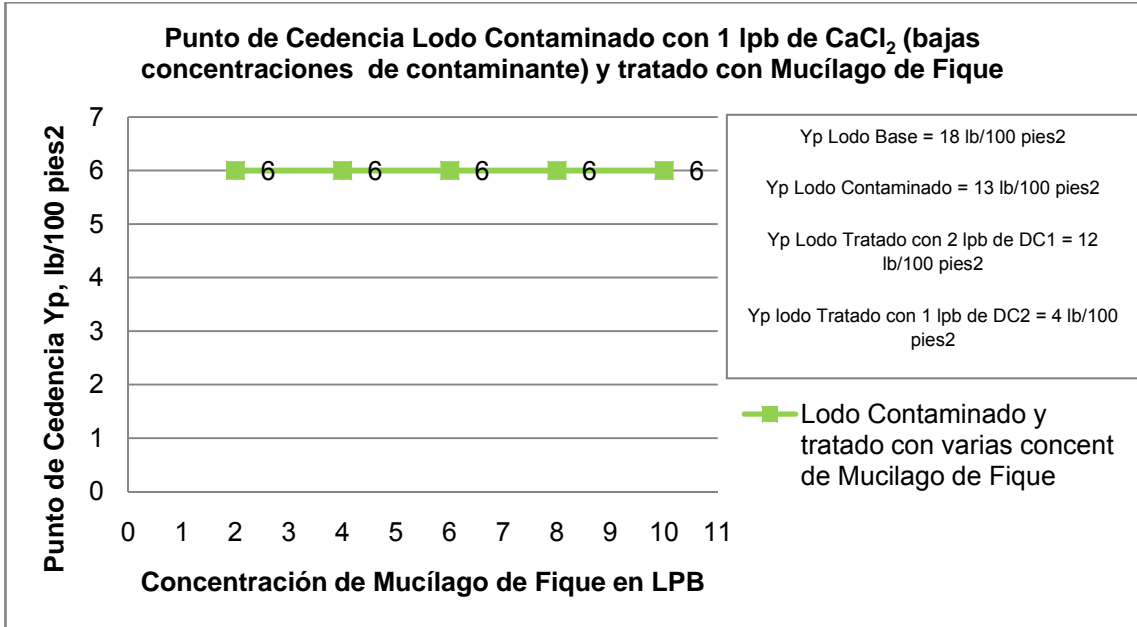
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



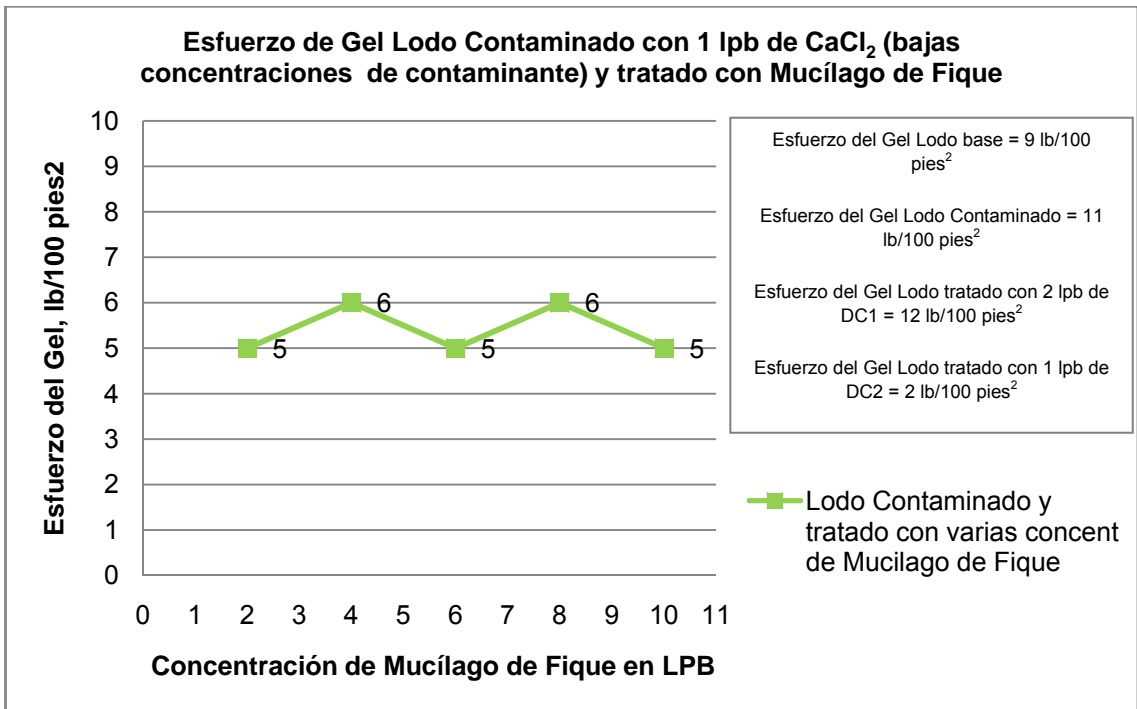
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



En lodos contaminados con bajas concentraciones de CaCl_2 se puede notar que el mucilago de fique tiene un efecto positivo en el control de las propiedades reológicas, igualando el valor obtenido con el DC2 y superando a los resultados del DC1. Las propiedades reológicas se mantuvieron constantes con el incremento de la concentración del Mucilago

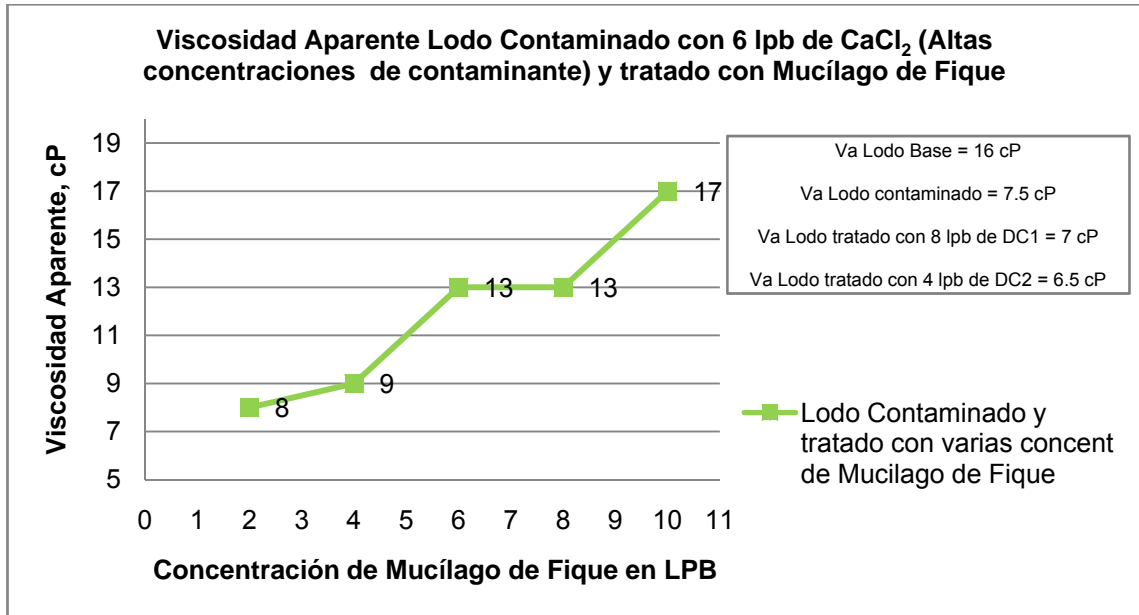
En conclusión, para un lodo contaminado con baja concentración de CaCl_2 , se pueden utilizar una dosificación de **2 lpb de Mucilago de Fique**.

II. Contaminación con 6 lpb de CaCl_2

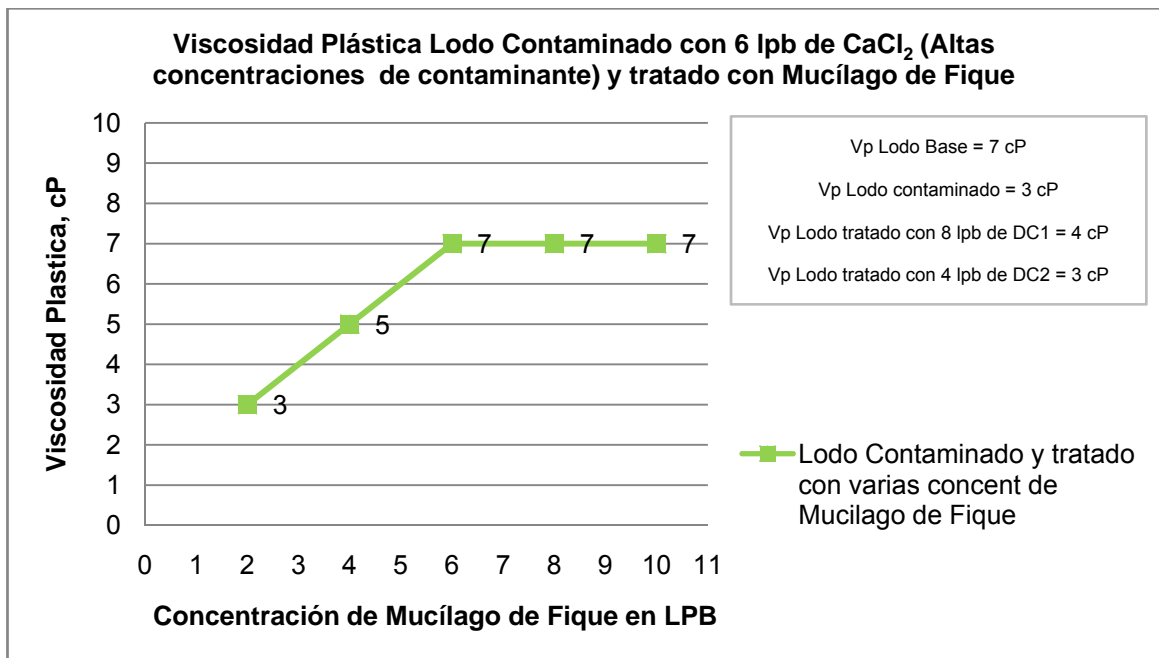
Tabla 42. Resultados de la Contaminación con 6 lpb de CaCl_2 y Tratamiento con dispersantes.

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	θ_{600}	θ_{300}	Va ($\theta_{600}/2$)	Vp ($\theta_{600}-\theta_{300}$)	Yp ($\theta_{300}-Vp$)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		6	15	12	7.5	3	9	6	92	8.35
Lodo Trat.	DC1	8	14	10	7	4	6	5	85	5.23
Lodo Trat.	DC2	4	13	10	6.5	3	7	14	78	8.35
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	16	13	8	3	10	6	123	7.66
Lodo Trat.+ 4 gotas NaOH	Muc. de Fique C2	4	18	13	9	5	8	7	122	11.8
Lodo Trat.+ 2 gotas NaOH	Muc. de Fique C3	6	26	19	13	7	12	7	125	12.01
Lodo Trat.+ 1 gotas NaOH	Muc. de Fique C4	8	26	19	13	7	12	8	124	12.11
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	34	27	17	7	20	7	128	11.01
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

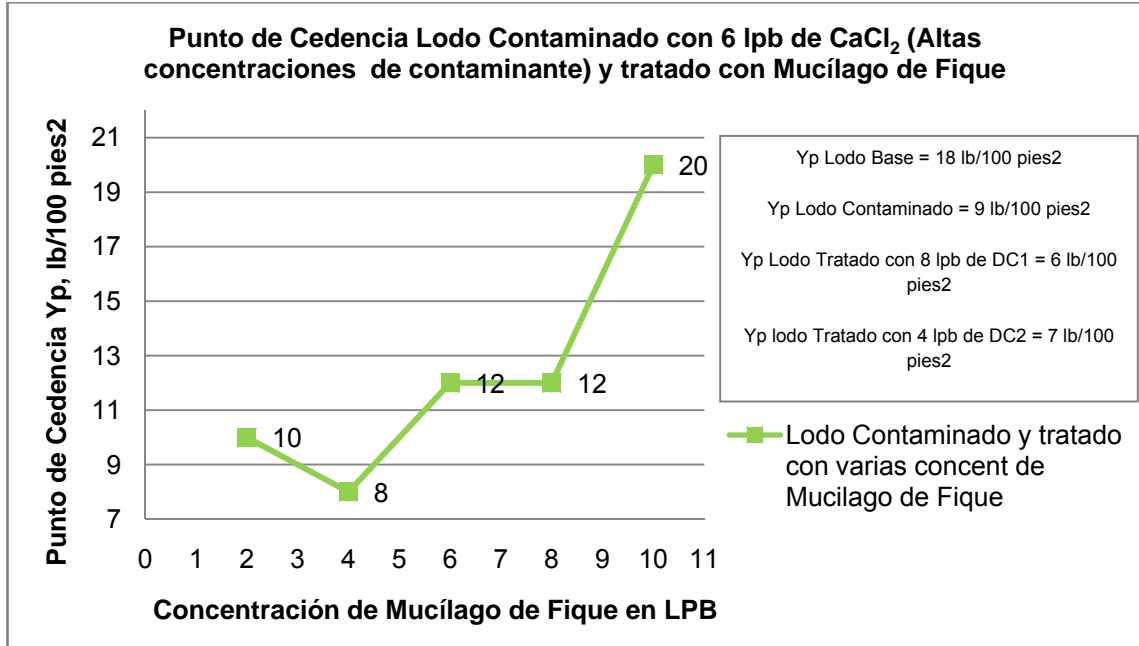
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



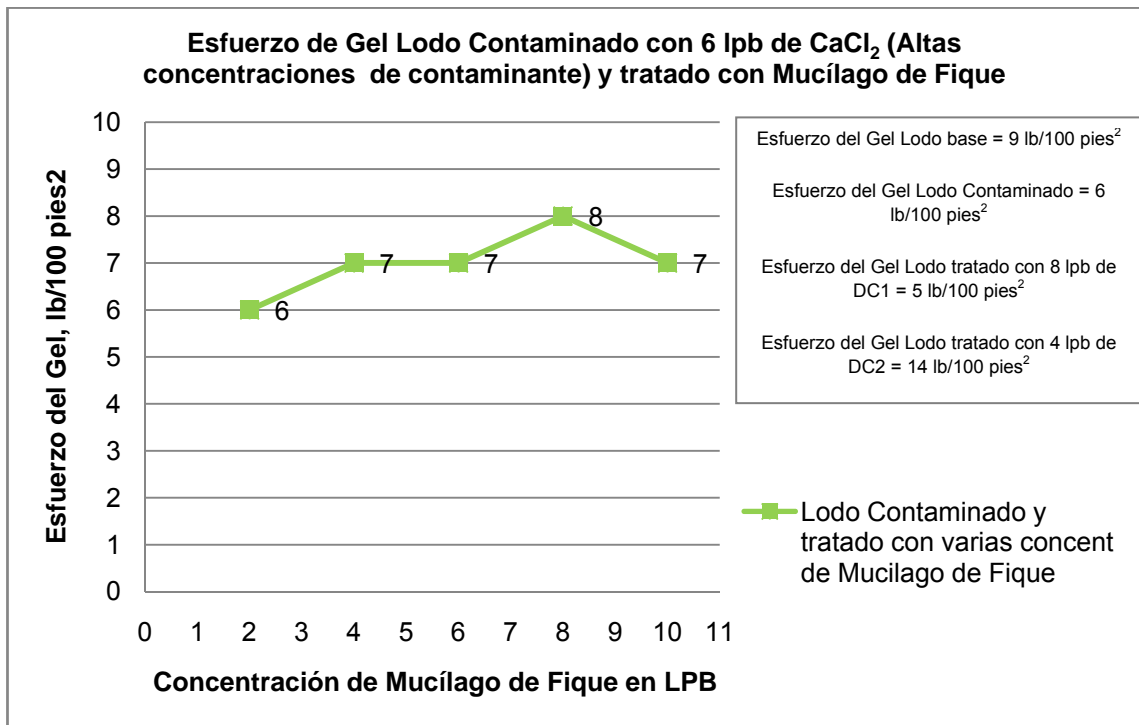
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



Para lodos contaminados con CaCl_2 y que contengan más de 200 ppm de Ca^{++} , el mucílago de fique incrementa las propiedades reológicas, por tanto no es recomendable usarlo como dispersante para lodos base calcio.

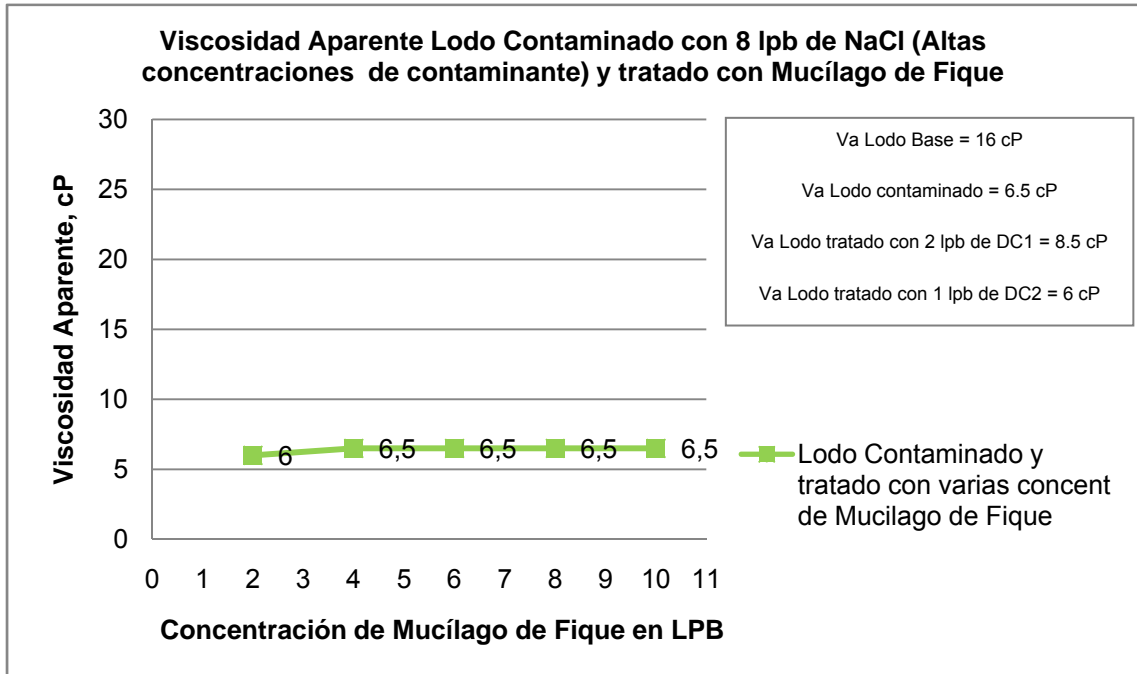
4.6.2.1.4 Pruebas de la Contaminación del Lodo Base con Sal Común (NaCl) a Tres Concentraciones

I. Contaminación con 8 lpb de NaCl (<10000 ppm NaCl)

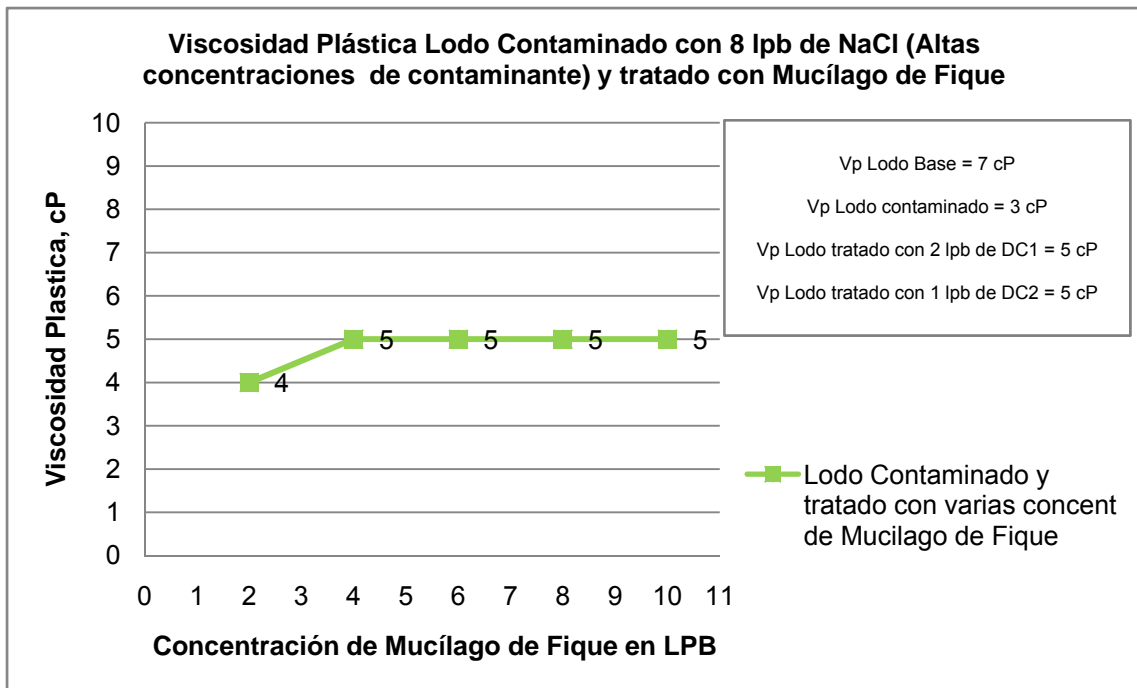
Tabla 43. Resultados de la Contaminación con 8 lpb de NaCl y Tratamiento con Dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	θ600	θ300	Va (θ600/2)	Vp (θ600-θ300)	Yp (θ300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		8	13	10	6.5	3	7	7	54	9.2
Lodo Trat.	DC1	8	17	12	8.5	5	7	6	48	5.4
Lodo Trat.	DC2	4	12	7	6	5	2	9	50	9.1
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	12	8	6	4	4	5	44	8.23
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	13	8	6.5	5	3	5	45	7.69
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	13	8	6.5	5	3	5	46	7.55
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	13	8	6.5	5	3	5	47	7.43
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	13	8	6.5	5	3	5	47	7.31
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

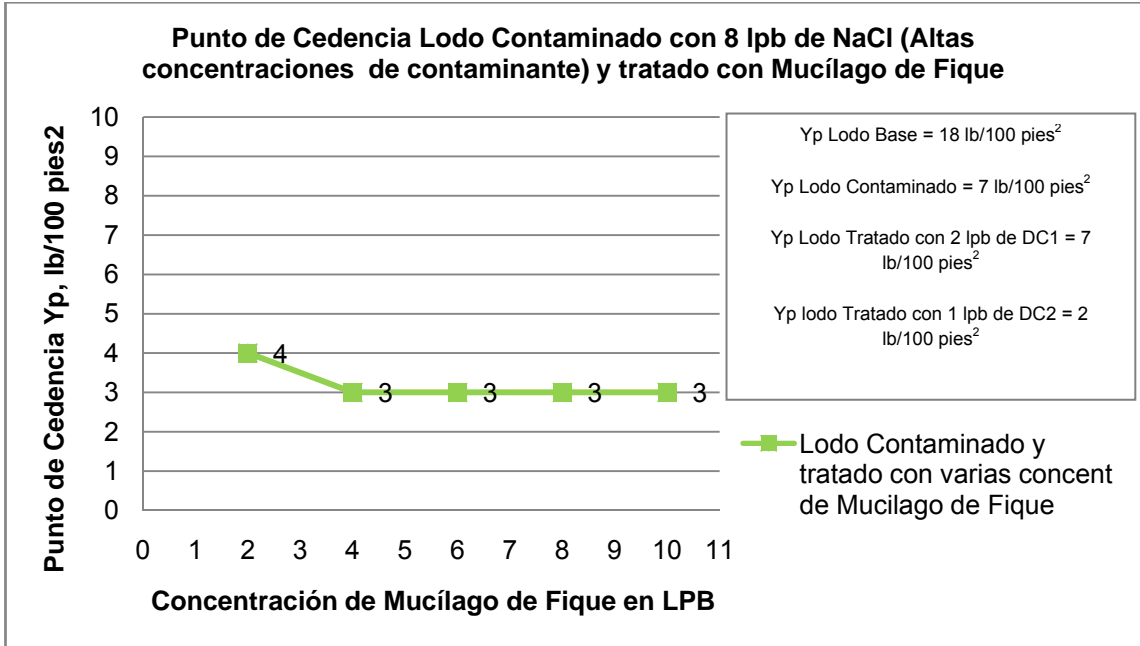
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



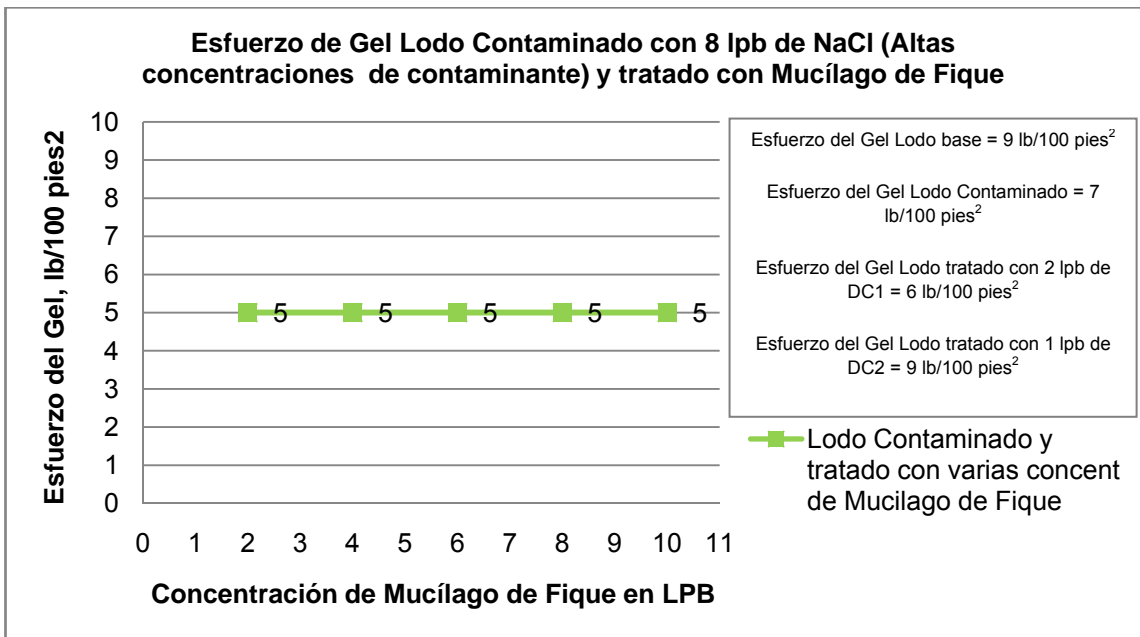
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



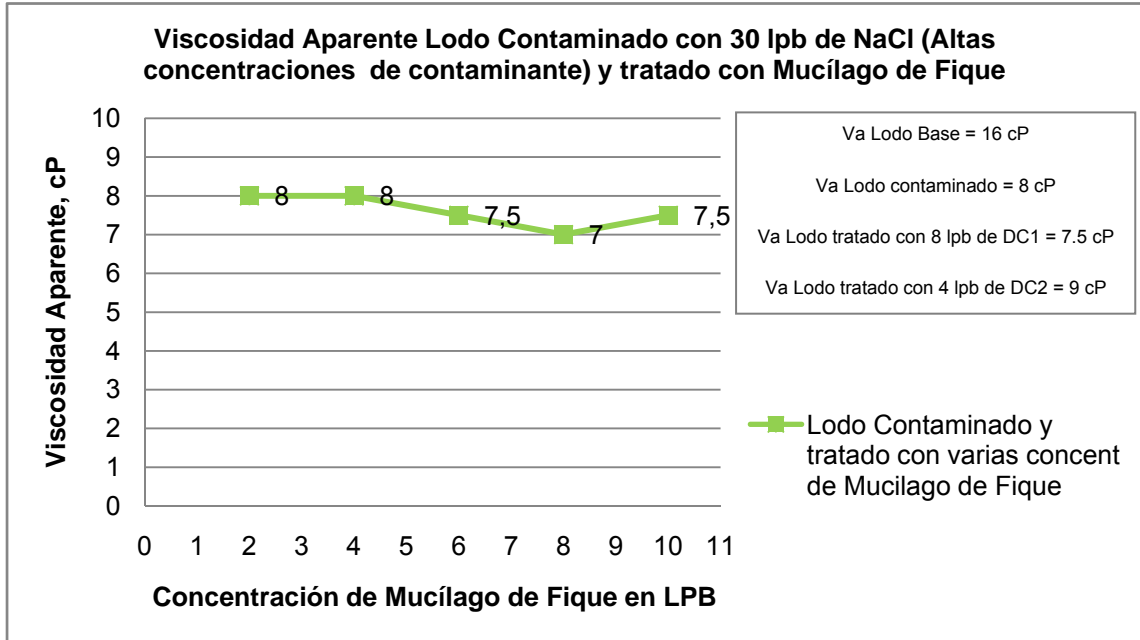
Los valores obtenidos con todas las concentraciones de mucílago de fique estuvieron muy cercanos a los valores obtenidos con los dispersantes comerciales, lo que indica que con la mínima concentración de mucílago de fique se obtienen buenos resultados.

II. Contaminación con 30 lpb de NaCl

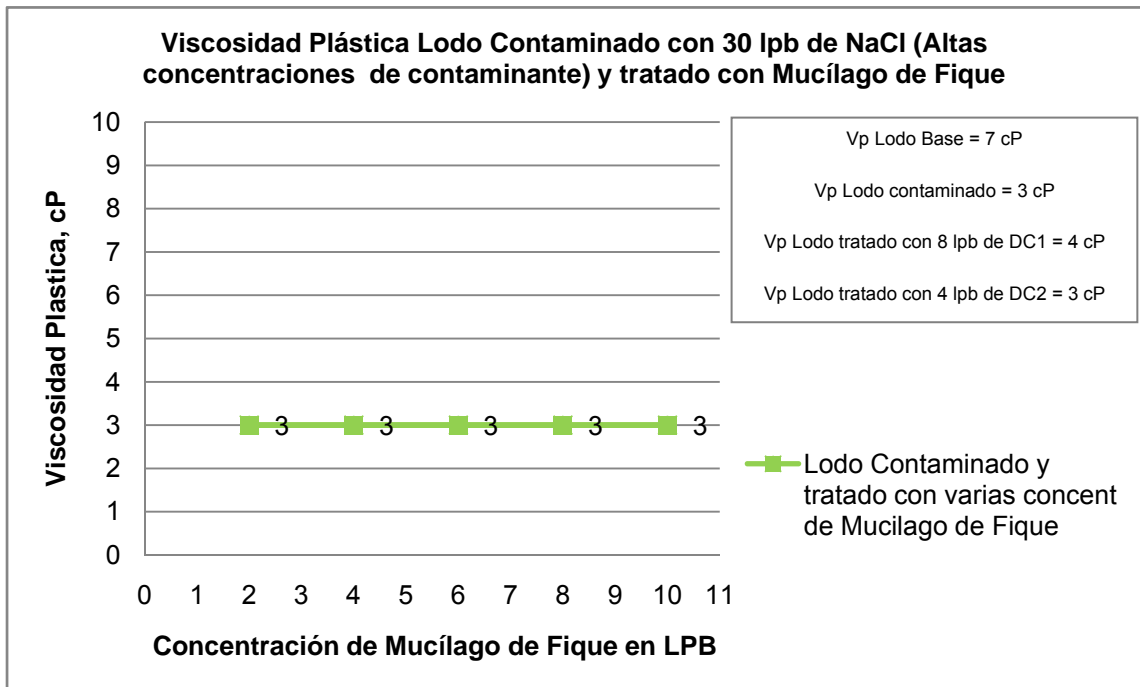
Tabla 44. Resultados de la Contaminación con 30 lpb de NaCl y Tratamiento con Dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	Ø600	Ø300	Va (Ø600/2)	Vp (Ø600-Ø300)	Yp (Ø300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		30	16	13	8	3	10	5	53	8.8
Lodo Trat.	DC1	8	15	11	7.5	4	7	5	50	4.84
Lodo Trat.	DC2	4	18	15	9	3	12	6	51	8.76
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	16	13	8	3	10	5	54	8.13
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	16	13	8	3	10	6	55	7.54
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	15	12	7.5	3	9	6	56	7.13
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	14	11	7	3	8	6	57	6.75
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	14	11	7	3	8	6	58	6.68
Lodo Trat.+ 2 gotas NaOH	Muc. de Fique C6	10	15	12	7.5	3	9	4	58	11.45
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

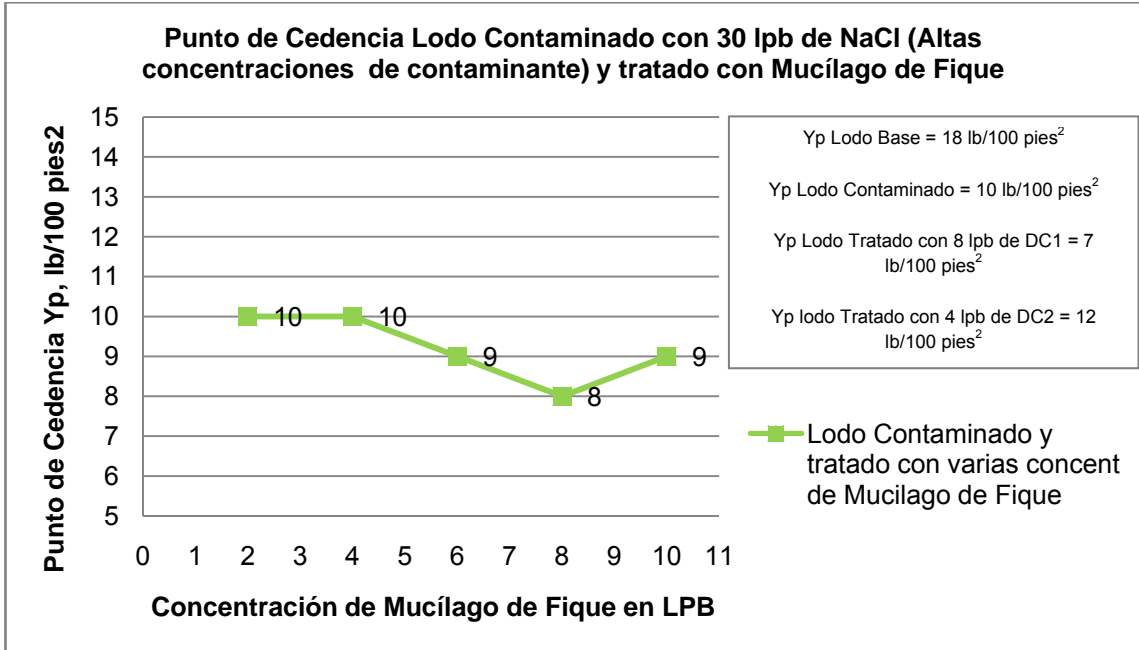
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



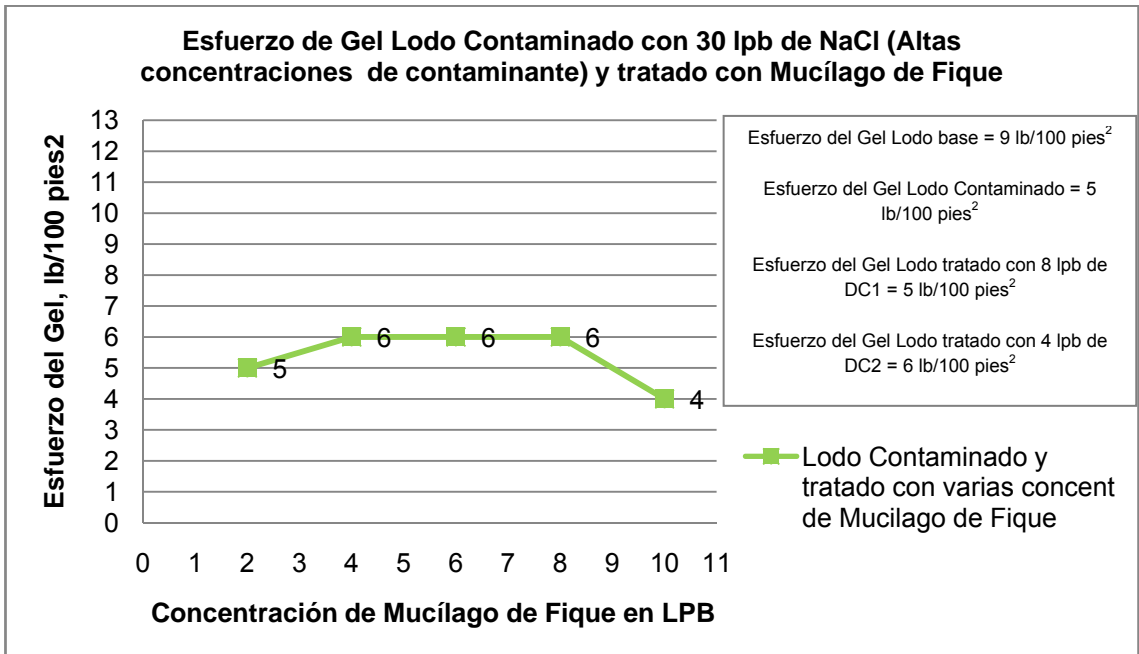
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



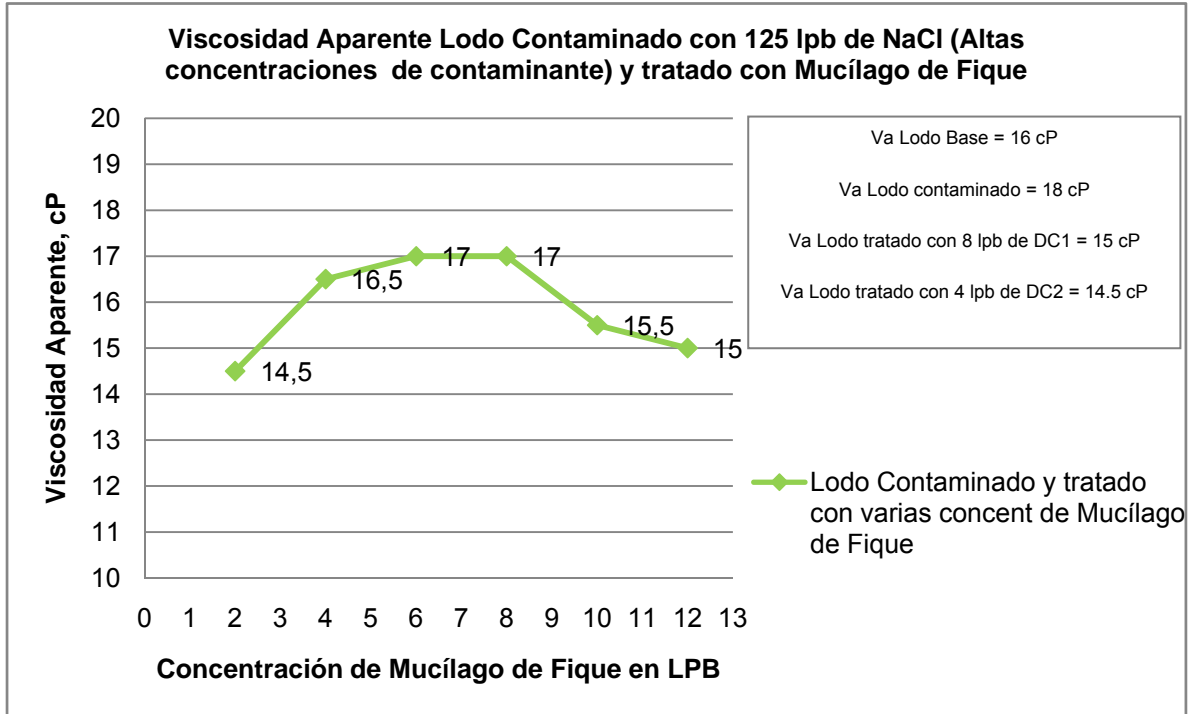
Para un lodo con contenido de sal >10000 ppm de NaCl el mucilago de fique como dispersante presenta un comportamiento similar a los obtenidos con los dispersantes comerciales.

III. Contaminación con 125 lpb de NaCl (Lodos Saturados)

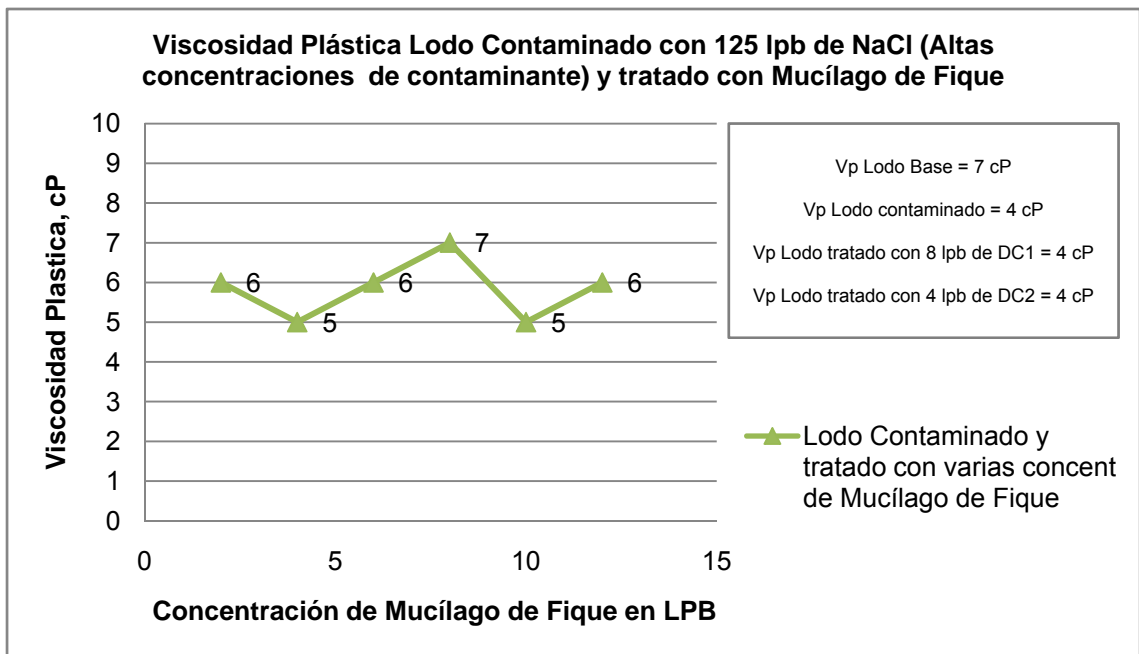
Tabla 45. Resultados de la Contaminación con 125 lpb de NaCl y Tratamiento con Dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	Ø600	Ø300	Va (Ø600/2)	Vp (Ø600-Ø300)	Yp (Ø300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		125	36	32	18	4	28	12	60	8.46
Lodo Trat.	DC1	8	30	26	15	4	22	10	67	4.8
Lodo Trat.	DC2	4	29	25	14.5	4	21	10	65	8.35
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	29	23	14.5	6	17	9	66	8.09
Lodo Trat.	Muc. de Fique C2	4	33	28	16.5	5	23	11	67	7.71
Lodo Trat.	Muc. de Fique C3	6	34	28	17	6	22	11	69	7.35
Lodo Trat.	Muc. de Fique C4	8	34	27	17	7	20	13	69	7.02
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	31	26	15.5	5	21	12	69	6.8
Lodo Trat.	Muc. de Fique C6	12	30	24	15	6	18	10	70	6.47
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

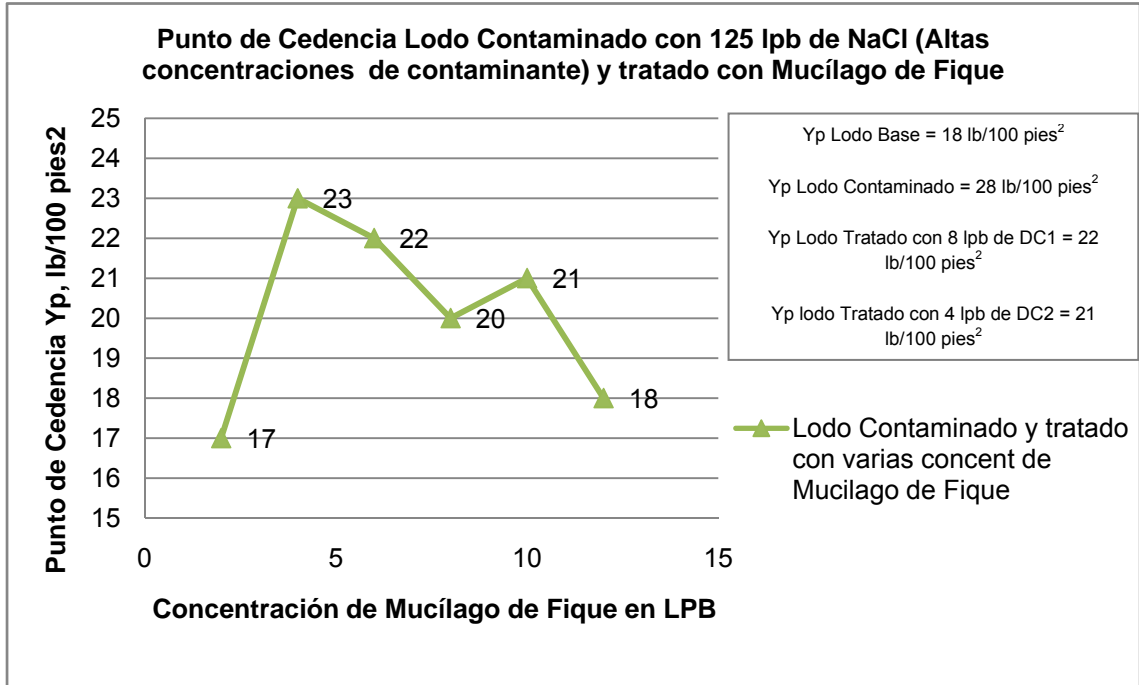
a. Análisis de la Viscosidad Aparente:



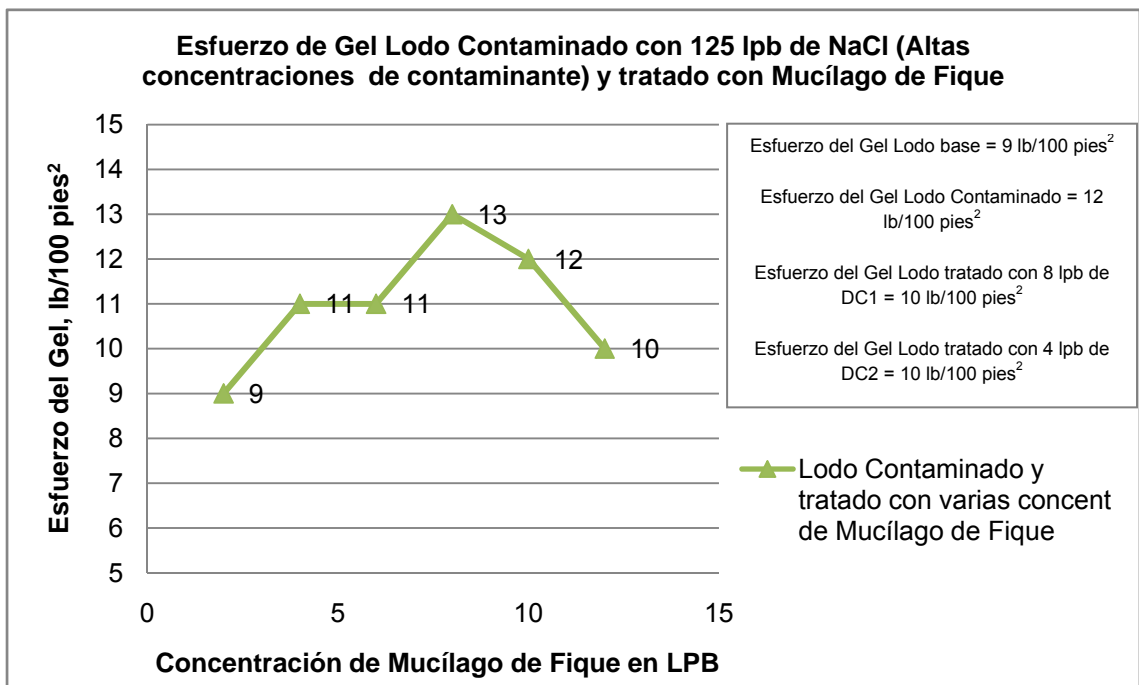
b. Análisis de la Viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



Para un lodo salado saturado, el mucilago de fique como dispersante presenta un comportamiento similar a los obtenidos con los dispersantes comerciales y lo logra con la mínima dosificación, por esta razón se escoge la dosificación de **2 lpb de Mucílago de Fique**.

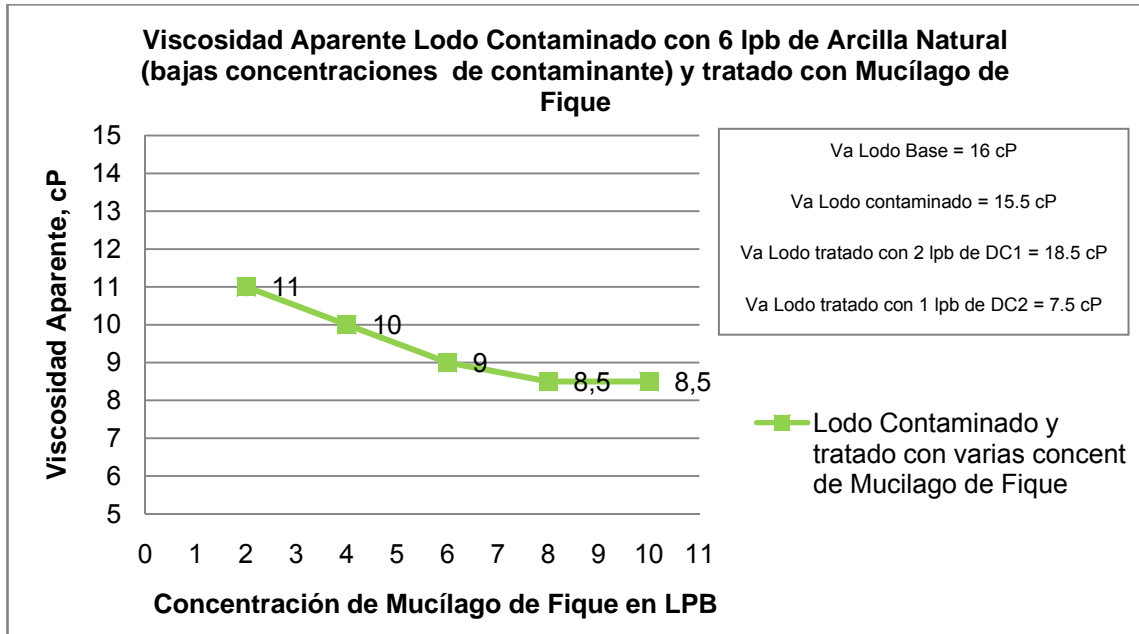
4.6.2.1.5 Pruebas de la Contaminación del Lodo Base con Arcilla Natural a Dos Concentraciones

I. Contaminación con 6 lpb de Arcilla Natural

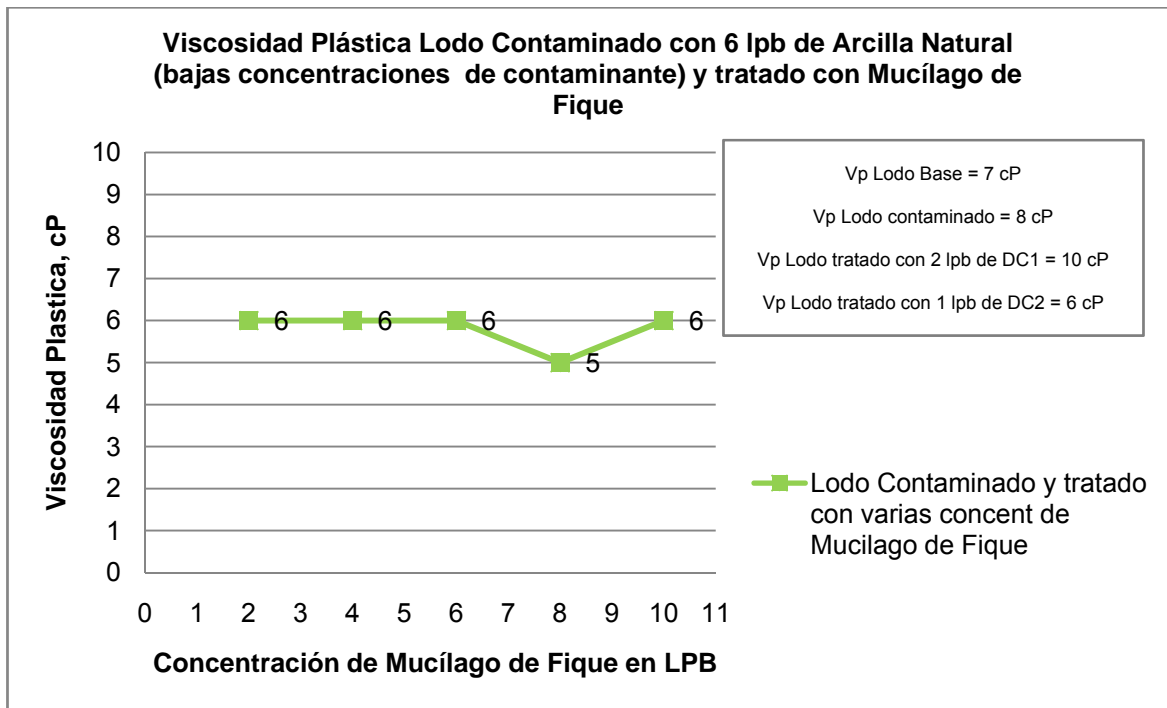
Tabla 46. Resultados de la Contaminación con 6 lpb de Arcilla Natural y Tratamiento con Dispersantes

LODO	DISPERSANTE	Concentr. (Lpb)	θ600	θ300	Va (θ600/2)	Vp (θ600-θ300)	Yp (θ300-Vp)	Gel (10seg)	Q API (ml)	pH
BASE			32	25	16	7	18	9	8	10.45
Lodo Cont.		6	31	23	15.5	8	15	10	25	9.87
Lodo Trat.	DC1	2	37	27	18.5	10	17	8	26	8.20
Lodo Trat.	DC2	1	15	9	7.5	6	3	1	22	9.97
Lodo Trat.	Muc. de Fique C1	2	22	16	11	6	10	4	24	9.86
Lodo Trat.+ 4 gotas NaOH	Muc. de Fique C2	4	20	14	10	6	8	5	25	9.41
Lodo Trat.+ 2 gotas NaOH	Muc. de Fique C3	6	18	12	9	6	6	4	27	9.26
Lodo Trat.+ 1 gotas NaOH	Muc. de Fique C4	8	17	12	8.5	5	7	3	26	8.84
Lodo Trat.	Muc. de Fique C5	10	17	11	8.5	6	5	4	32	8.64
Lodo Trat.	Muc. de Fique Cn									

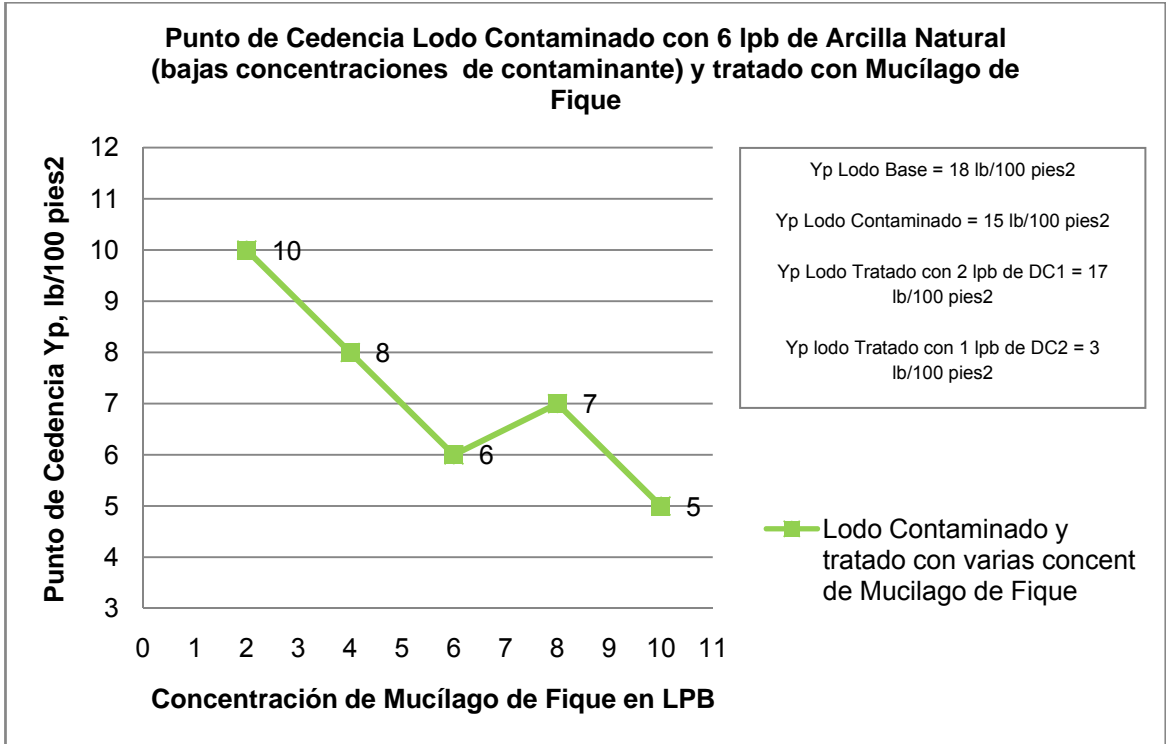
a. Análisis de la viscosidad Aparente:



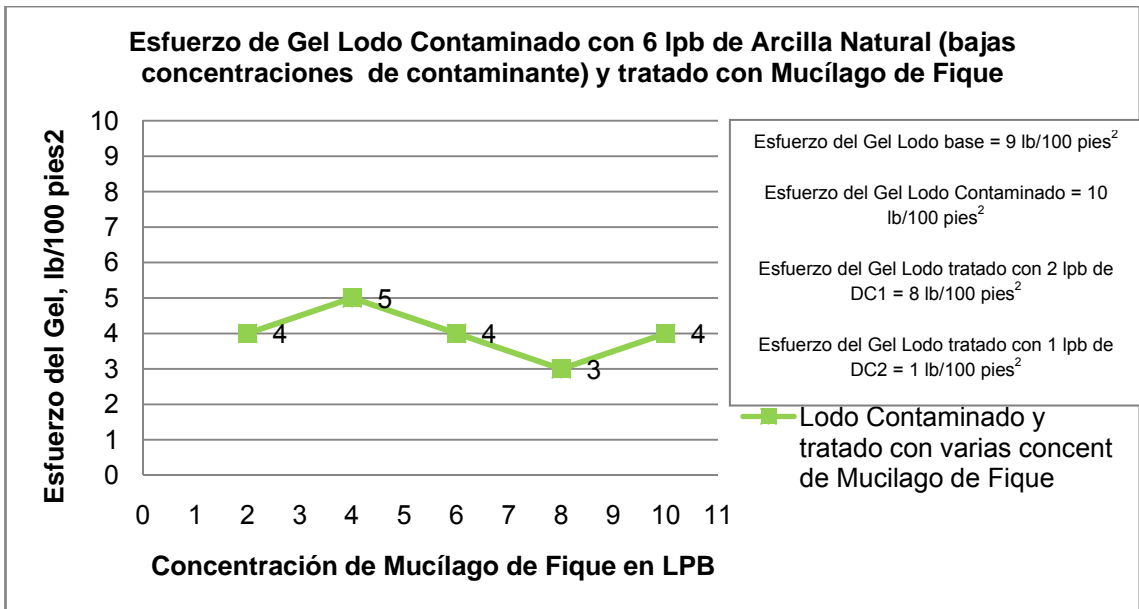
b. Análisis de la viscosidad Plástica:



c. Análisis del Punto de Cedencia:



d. Análisis de la Resistencia del Gel:



Se puede notar que el mucilago de fique al aumentar su concentración disminuye las propiedades del lodo contaminado con sólidos de perforación y su efecto es similar al DC2 y mejor que los obtenidos con el DC1. Por tanto la dosificación recomendada para este tipo de contaminación es de **8 lpb de mucilago de fique**

4.7 PRUEBAS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL USO DEL MUCÍLAGO DE FIQUE COMO DISPERSANTE EN LODOS BASE AGUA

Con los mejores resultados obtenidos como se muestra en la tabla 47 en el uso del mucilago de fique como dispersante en lodos con diferentes contaminantes y comparado con dispersantes comerciales, se procedió a realizar pruebas partiendo de un lodo base y agregando la concentración óptima de mucilago de fique en cada caso.

Tabla 47. Dosificaciones para la prueba de Optimización.

Tipo de Contaminante	Dosificación Escogida
Cal (< 200 ppm de Ca ⁺⁺)	4 lpb de Mucilago de Fique
Yeso (< 200 ppm de Ca ⁺⁺)	4 lpb de Mucilago de Fique
CaCl ₂ (< 200 ppm de Ca ⁺⁺)	2 lpb de Mucilago de Fique
NaCl (Sal Común)	2 lpb de Mucilago de Fique
Arcilla Natural	8 lpb de Mucilago de Fique

Composición del lodo base:

1 bbl equiv. agua + 18 lpb de Aquagel + 0,5 lpb de Pac-L + 88,26 lpb de Barita

La cantidad de barita adicionada se calculó para pasar el lodo de una densidad inicial de $\rho_1=8.55$ lpg a una densidad final de $\rho_2=10$ lpg
 Los resultados de reología, pérdida de filtrado y propiedades químicas del lodo base se muestran en la Tabla 48

Tabla 48. Propiedades del lodo base.

Propiedad	Valor	Unidad	Propiedad	Valor	Unidad
θ_{600}	59		Va	29,5	cP
θ_{300}	43		Vp	16	cP
Gel	13	lb/100 pies ²	Yp	27	lb/100 pies ²
$\rho_{\text{lodo final}}$	9,9	lb/gal	m Ba	88,2	lb/gal
pH	10,41		Q API	6	mL
Pf	0.1		Ca ⁺⁺	40	ppm
Mf	1.1		Cl ⁻	800	ppm
Torta					
Plástica, Consistente y 1/32 de espesor					

En las tablas 49 a 55 se presentan los resultados de los lodos contaminados y su tratamiento utilizando el Mucilago de Fique como dispersante.

Tabla 49. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 0.8 lpb de Cal

1. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON CAL (<200 ppm de Ca ⁺⁺)										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita	10.41	0.1	1.1	29.5	16	27	13	6	800	40
Lodo contaminado con 0.8 lpb de cal: Lodo base + 0.8 lpb de cal	12.63	0.1	1.4	32	16	32	15	12	800	120
Lodo tratado: Lodo contaminado + 4 lpb de Mucilago de Fique + 1 lpb de Bicarbonato de Sodio	10.42	0.1	1.7	22	14	16	9	10	800	80
Torta Lodo Base	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Contaminado con 0.8 lpb de Cal	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Tratado	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									

En la prueba de optimización del uso del mucílago de fique para lodos contaminados con bajas concentraciones de cal (<200 ppm de Ca⁺⁺) se observa que hay un efecto dispersante logrado por el mucílago de fique.

Por esta razón es factible el uso del mucílago de fique como dispersante en lodos base agua contaminados con bajas concentraciones de Cal.

Tabla 50. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 0.8 lpb de Yeso

2. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON YESO (<200 ppm de Ca ⁺⁺)										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita	10.41	0.1	1.1	29.5	16	27	13	6	800	40
Lodo contaminado con 0.8 lpb de Yeso: Lodo base + 0.8 lpb de Yeso	12.63	0	1.2	20.5	12	17	10	6	800	120
Lodo tratado: Lodo contaminado + 4 lpb de Mucílago de Fique + 4 lpb de Aquagel pre hidratado + 1 lpb de Bicarbonato de Sodio + NaOH	10.42	0.1	0.9	20.5	13	15	9	4	800	80
Torta Lodo Base	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Contaminado con 0.8 lpb de Yeso	Plástica, Consistente y < 1/32 de espesor									
Torta Lodo Tratado	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									

En este caso para el tratamiento se utilizó aquagel pre hidratado, sin embargo, las propiedades reológicas se mantuvieron al agregarle el mucílago de fique, lo cual muestra su efectividad como dispersante.

Tabla 51. Optimización del Uso de Mucílago de Figue para Lodos Contaminados con 0.8 lpb de CaCl₂

3. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON CaCl ₂ (<200 ppm de Ca ⁺⁺)										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita	10.41	0.1	1.1	29.5	16	27	13	6	800	40
Lodo contaminado con 0.8 lpb de CaCl₂: Lodo base + 0.8 lpb de CaCl ₂	10.36	0	0.5	16	9	14	7	18	1100	120
Lodo tratado: Lodo contaminado + 2 lpb de Mucílago de Figue + 4 lpb de Aquagel pre hidratado + 1 lpb de Bicarbonato de Sodio	10.45	0.1	1.2	22	14	16	6	14	1000	80
Torta Lodo Base	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Contaminado con 0.8 lpb de CaCl₂	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Tratado	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									

Cuando el lodo de perforación se contamina con el CaCl₂ (<200 ppm de Ca⁺⁺) y se hace el tratamiento, incluyendo el mucílago de figue se obtiene un buen control de las propiedades reológicas. Esto demuestra que el mucílago presenta un buen comportamiento en el tratamiento de este tipo de lodos.

Tabla 52. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 8 lpb de NaCl.

4. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON NaCl (<10000 ppm de NaCl)										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita	10.41	0.1	1.1	29.5	16	27	13	6	800	40
Lodo contaminado con 8 lpb de NaCl: Lodo base + 8 lpb de NaCl	8.4	0	0.1	12	7	10	5	14	7000	40
Lodo tratado: Lodo contaminado + 2 lpb de Mucílago de Fique + 4 lpb de Aquagel pre hidratado	10.88	0	0.1	10.5	6	9	3	14	7000	40
Torta Lodo Base	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Contaminado con 8 lpb de NaCl	Quebradiza, consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Tratado	Quebradiza, consistente y 1/32 de espesor									

Se puede notar que las propiedades del lodo tratado disminuyeron de manera considerable y además estuvieron por debajo de los valores mostrados por el lodo contaminado. Por tanto se puede concluir que es factible el uso del mucílago de fique como dispersante en lodos de agua dulce.

Tabla 53. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 30 lpb de NaCl

5. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON NaCl										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita	10.41	0.1	1.1	29.5	16	27	13	6	800	40
Lodo contaminado con 30 lpb de NaCl: Lodo base + 30 lpb de NaCl	8.5	0	0.1	8	5	6	5	50	24000	40
Lodo tratado: Lodo contaminado + 2 lpb de Mucílago de Fique + 8 lpb de Aquagel pre hidratado + 0.5 lpb de Pac-L	10.21	0	0.1	12	9	6	3	20	24000	40
Torta Lodo Base	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Contaminado con 30 lpb de NaCl	Quebradiza, consistente y 2/32 de espesor									
Torta Lodo Tratado	Plástica, consistente y 2/32 de espesor									

A pesar de que se utilizó aquagel pre hidratado y una cantidad adicional de controlador de filtrado, las propiedades reológicas no se incrementaron sustancialmente, lo cual quiere decir que el mucilago actuó como dispersante. Con lo anterior se puede inferir que el mucilago de fique se puede utilizar como dispersante en un lodo salado.

Tabla 54. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con 125 lpb de NaCl

6. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON NaCl										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita	10.41	0.1	1.1	29.5	16	27	13	6	800	40
Lodo contaminado con 125 lpb de NaCl: Lodo base + 125 lpb de NaCl	7.89	0	0.1	11	7	8	7	73	180000	40
Lodo tratado: Lodo contaminado + 2 lpb de Mucílago de Fique + 1 lpb de Pac-L	10.52	0	0.1	17	12	10	7	45	180000	40
Torta Lodo Base	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Contaminado con 125 lpb de NaCl	Quebradiza, consistente y 2/32 de espesor									
Torta Lodo Tratado	Plástica, consistente y 2/32 de espesor									

La alta concentración de sal aumentó la presencia de espuma en el lodo con lo cual se presentan errores de lectura en el viscosímetro, lo que enmascara el verdadero efecto dispersante del mucílago. Se agregó un antiespumante sin lograr disminuir la presencia de espuma. Por lo anterior no se puede afirmar o negar la efectividad del mucílago de fique como dispersante para lodos salados saturados.

Tabla 55. Optimización del Uso de Mucílago de Fique para Lodos Contaminados con de Arcilla Natural.

7. OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL MUCILAGO DE FIQUE PARA LODOS CONTAMINADOS CON ARCILLA NATURAL										
Procedimiento	pH	Pf	Mf	Va	Vp	Yp	GEL	Q API	CL ⁻	Ca ⁺⁺
				(cP)	(cP)	(lb/100 pies ²)	(10 seg)	(c.c.)	ppm	ppm
Lodo Base: 1 bbl equiv de agua + 18 lpb de aquagel + 0.5 lpb de Pac-L + 88.26 lpb de Barita	10.41	0.1	1.1	29.5	16	27	13	6	800	40
Lodo contaminado con 25 lpb de Arcilla Natural: Lodo base + 25 lpb de Arcilla Natural	9.64	0	0	18	15	6	1	6	800	40
Lodo tratado: Lodo contaminado + 2 lpb de Mucílago de Fique + 1 lpb de Pac-L	10.04	0	0	12	7	10	7	14	800	40
Torta Lodo Base	Plástica, Consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Contaminado con 25 lpb de Arcilla Natural	Quebradiza, consistente y 1/32 de espesor									
Torta Lodo Tratado	Plástica, consistente y 1/32 de espesor									

Se puede notar que el tratamiento con el mucílago de fique para lodos contaminados con sólidos de perforación tiende a disminuir las propiedades de viscosidad aparente y viscosidad plástica, mostrando un buen efecto dispersante.

Con el objetivo de evaluar el efecto dispersante del mucílago de fique a condiciones altas de temperatura por el método de la prueba de

envejecimiento por rolado, se proyectó realizar este tipo de prueba a estas condiciones de temperatura al lodo tratado que presentó los mejores resultados con el mucílago de fique.

Debido a que el laboratorio de lodos y cementos de la escuela de Ingeniería de Petróleos no cuenta con los equipos para poder realizar este tipo de pruebas, se hizo la gestión para llevarlas a cabo en los laboratorios de otras empresas de la industria petrolera en donde en otras investigaciones se ha recibido apoyo tecnológico. Sin embargo, debido al auge en los trabajos de perforación y compromisos de estas empresas fue imposible lograr este objetivo.

En la Tesis de Pregrado “ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL USO DEL MUCÍLAGO DE FIQUE COMO PRODUCTO ESTABILIZADOR DE ARCILLAS” realizada en el año 2005 por los estudiantes Luis José Restan Caldera y Gustavo Adolfo Ospina Hernández, se realizaron pruebas de rolado para un lodo similar, incluso con alto contenido de mucílago.

A este lodo le realizaron pruebas reológicas a 120 ° F mostrando que estas fueron iguales antes y después del rolado, con lo cual se podría decir que el comportamiento del mucilago de fique no es afectado por las condiciones de envejecimiento y exposición a altas temperaturas.

Para el caso de las Prueba HPHT, la cual mide la cantidad de pérdidas de filtrado a una presión igual a 500 psi, no es en extremo realizarla debido a dos razones:

- La prueba HPHT se realiza especialmente para lodos de perforación base aceite.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la tesis de pre-grado “Estudio de Factibilidad para el Uso del Extracto de Fique como Viscosificante y Controlador de Filtrado” desarrollada por los estudiantes, Carlos Ochoa y Pedro León Acosta, no se obtuvieron resultados favorables para poder controlar las perdidas del filtrado.

4.8 ANÁLISIS Y VALORACIÓN AMBIENTAL Y ECONÓMICA

Para poder conocer el impacto a nivel ambiental y económico que tiene la producción de fique en Colombia, esta investigación se baso en la información suministrada por los siguientes entes territoriales:

- CADEFIQUE
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural
- Comités Técnicos Regionales
- Acuerdo Nacional de Competitividad

4.8.1 Aspecto Ambiental

El cultivo del fique, ambientalmente, presenta algunos inconvenientes relacionados con la contaminación. Durante el proceso de desfibrado de las hojas, se genera una serie de subproductos los cuales no son utilizados adecuadamente, por lo que se convierten en sustancias contaminantes de las fuentes de agua, debido al lavado de la cabuya (dado que el bagazo y el jugo del fique contienen sustancias tóxicas como las saponinas, que al parecer desplazan el oxígeno disuelto en el

agua por el proceso de oxidación, afectando la ictiofauna en las quebradas), y del suelo.

La posible aplicación industrial del mucílago de fique, llevarían a un mejor manejo de estos desechos. Por esta razón se recomienda llevar a cabo estudios que permitan conocer el grado de biodegradabilidad del mucílago de fique.

El impacto Ambiental, en el caso de empezar a captar la producción de la planta de fique y utilizar el mucílago como materia prima para la extracción de productos que puedan ser utilizados en la industria petrolera, sería de grandes beneficios, puesto que se empezarían a utilizar actualmente estos productos que desde épocas anteriores se desechan como materia inservible.

4.8.2 Aspecto Económico

Tabla 56. Costos para producir 1 litro de mucílago.

ITEM	VALOR (\$)
Valor de la Maquinaria (\$)	50.000.000,00
Costos de Operación (\$)	5.000.000,00
Costos de Mantenimiento (\$)	5.000.000,00
Insumos (\$)	2.000.000,00
Otros Costos (\$)	1.000.000,00
Costo total de producción anual (\$)	63.000.000,00
Costo del litro de mucílago de fique (\$)	2.100,00

Fuente: Los Autores

Para una estimación de costos de producción se tomaron datos promedio de 2400 plantas por hectárea (ver tabla 57), suponiendo una inflación 1,2 % anual (ver tabla 58). El pronóstico se llevó a cabo para un periodo de 10 años. Tiempo en el cual se calcularon las siguientes cifras (ver tablas 59 y 60), hasta obtener una TIR de 65% anual, con un interés 35%. Esta es la pauta para hacer un análisis económico y el cual arrojó los siguientes resultados. De lo siguiente según los el proyectó con estas especificaciones sería viable ya que la VPN es mayor que la inversión.

Tabla 57. Producción de plantas, hojas y mucílago en 1 hectárea

ITEM	CANTIDAD
Hectáreas cultivadas por año	1,00
Número de plantas por hectárea	2.400,00
hojas utilizadas por planta/año	25,00
hojas por hectárea	60.000,00
Peso de la hoja (gramos)	750,00
Densidad promedio del mucílago (gr/cc)	1,020
Litros de mucílago por hoja (Lt)	0,50
Producción de mucílago anual (Lt)	30.000,00

Fuente: Los Autores

Tabla 58. Datos Económicos Iniciales para la Producción de Mucílago.

CONCEPTO	VALOR
Precio de Venta del Mucílago (\$)	1850
IPC (anual) (%) para costos	7
Tasa de oportunidad (%)	25
Tasa de incrementos en el precio de venta del mucílago (%)	20

Fuente: Los Autores

Tabla 59. Costos, Ingresos y Flujo Neto de Caja (fnc) Anual para la Producción de Mucílago de Fique.

AÑO	COSTOS (\$)	INGRESOS (\$)	Flujo Caja Neto (\$)
1	63000000	55500000	-7500000
2	67410000	66600000	-810000
3	72128700	79920000	7791300
4	77177709	95904000	18726291
5	82580149	115084800	32504651
6	88360759	138101760	49741001
7	94546012	165722112	71176100
8	101164233	198866534	97702301
9	108245729	238639841	130394112
10	115822930	286367810	170544879

Fuente: Los Autores

Tabla 60. Cálculo del TIR para la producción de mucílago de fique a 10 años.

Flujo Caja Neto (\$)	FCN _n /(1+TIR) (\$)
-7500000	-5681818
-810000	-464876
7791300	3387569
18726291	6168166
32504651	8111027
49741001	9403097
71176100	10193344
97702301	10600183
130394112	10717478
170544879	10619385
Σ	63053554

Fuente: Los Autores

TIR = 32%

5. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio, es factible el uso del Mucílago de Fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación base agua.
- En el caso de lodos contaminados con NaCl, a medida que se incrementaban los iones de Cl^- en el lodo al aumentar la concentración de NaCl, el Mucílago de Fique presento variación en los resultados debido a que al aumentar las concentraciones de Mucilago de Fique para el tratamiento, se presenta la generación de un alto contenido de espuma.
- Las dosificaciones del mucílago de fique para ser utilizado como dispersante biodegradable en lodos de perforación base agua, dependiendo del tipo de contaminante, están dentro de los valores de dosificación utilizados por los dispersantes comerciales utilizados en esta investigación. Lo cual es muy favorable debido a que se necesitan dosificaciones muy bajas para el tratamiento de lodos contaminados.
- El Mucílago de Fique al entrar en contacto con los aditivos más comúnmente utilizados en lodos de perforación, no generó ningún tipo de reacción que presentara algún tipo de precipitado extraño el cual pudiera desmejorar la efectividad o el rendimiento de los aditivos utilizados y del propio mucílago.

- El mucílago de Fique al ser un compuesto perecedero, necesita de algún método de conservación para su posterior utilización. En este estudio se procedió a mantener refrigerado el Mucílago de Fique y se obtuvieron muy buenos resultados, pues luego de 2 meses de haber extraído el Mucílago de Fique de las Hojas, la variación del pH del extracto fue mínima.
- En las pruebas preliminares de preservación con biocida se pudo ver que este compuesto retrasó el proceso de fermentación del mucílago de fique.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de contaminación con cal, yeso y CaCl_2 , se encontró que es factible el uso de Mucílago de Fique como dispersante en este tipo de lodos de perforación, siempre y cuando el contenido de Ca^{++} sea menor de 200 ppm.
- En el caso de la contaminación con NaCl , los resultados obtenidos con el Mucilago de Fique fueron muy buenos en los lodos de agua dulce y lodos salados, pues el Mucílago presentó un buen control de las propiedades del lodo.
- El mucílago de fique es sensible a la agitación, pues a medida que se incrementa la concentración del mucílago para el tratamiento de los lodos contaminados, la aparición de espuma se hace más abundante.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer un estudio más profundo para conocer la efectividad del Mucílago de Fique como dispersante en lodos Salados Saturados.
- El Mucílago de Fique es una sustancia que está compuesta por un gran número de elementos y compuestos los cuales tienen diferentes aplicaciones. Se recomienda hacer un estudio a nivel químico-molecular para poder determinar cuál de los componentes que contiene el Mucílago de Fique es el que tiene esta propiedad de actuar como dispersante.
- Estudiar el comportamiento del mucílago de fique en lodos base aceite, con el fin de establecer si es posible utilizarlo como aditivo en este tipo de lodos y si es factible utilizarlo como dispersante.
- Es necesario al realizar este tipo de investigaciones a nivel de laboratorio, contar con todos los instrumentos, materiales y equipos que sean posibles con el fin de llevar a cabo una investigación más profunda y a tiempo. Para ello se recomienda contar con el apoyo permanente de instituciones fuera del campus universitario para evitar posibles inconvenientes.
- Es vital contar con un suficiente soporte económico, disponibilidad de materiales y equipos para poder realizar un buen trabajo de investigación, pues por falta de materiales, se tuvieron inconvenientes para poder comenzar a tiempo a realizar las pruebas de laboratorio.

- Buscar nuevas alternativas para la conservación del mucílago de fique.
- Buscar otras aplicaciones que puedan tener los compuestos y materiales que se obtienen de la planta de fique, pues debido a su gran cantidad de compuestos, muy seguramente tendrá muchas más utilidades a nivel industrial.
- Al utilizar Estereato de Aluminio como antiespumante en lodos tratados con Mucílago de Fique, se recomienda disolver el compuesto Estereato de Aluminio en diesel para que pueda hacer el efecto anti-espumante, de lo contrario no funciona.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Amoco Production Company. Drilling Fluids Manual
- ANNIS, M., Smith, M., Drilling Fluids Technology. Exxon Company. Julio 1974
- Apuntes de Fluidos de Perforación. UNAM.
- BAROID A HALLIBURTON COMPANY, 1998. Manual de Fluidos Baroid y Hojas con Datos de Productos de Baroid. Houston, Texas.
- BUSTOS, J., OSPINO, R., Reestructuración teórico-práctica del Laboratorio de Lodos y Cementos (Manual Teórico y Manual Práctico), UIS, Bucaramanga, 1988.
- Delvasto, S., Gutiérrez, R., y López, M.: Aprovechamiento Integral del Fique – Materiales Fibroreforzados y Aditivos, Informe Técnico presentado al Ministerio de Agricultura. 1995 Universidad del Valle, Santiago de Cali.
- Disponible en Internet: www.edafologia.com
- Disponible en Internet: www.glossary.oilfield.slb.com
- DRILLING FLUIDS PROCESSING HANDBOOK. Elsevier. 2005,
- FEDEFIQUE, SAC & SINA: Guía Ambiental para el Subsector Fiquero. 2006 Ministerio del Medio Ambiente, Bogotá.

- IMCO: Tecnología Aplicada de Lodos. Imco Services: Una Compañía Halliburton.
- M-I & SWACO, 2001. Drilling Fluids Engineering Manual. Versión 2.0. Houston, Texas
- MUÑOZ, S., Fluidos de perforación, Chevron Petroleum Company of Colombia, Santa Fe de Bogotá, Octubre de 1991
- OCHOA, C., y ACOSTA, P.: Estudio de Factibilidad para el Uso del Extracto de Fique como Viscosificante y Controlador de Filtrado, Tesis de Pregrado, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, 2002.
- OSPINA H., GUSTAVO A., Estudio de Factibilidad para el Uso del Mucílago de Fique como Producto Estabilizador de Arcillas, Tesis de Pregrado, Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, 2005.
- Pérez, J.: El Fique, su Taxonomía, Cultivo y Tecnología. 2da ed. 1974 Colina, Medellín
- RODRÍGUEZ, E., Reestructuración Teórico-Práctica de la Guía de Laboratorio de Lodos y Cementes. Tesis de Pregrado UIS. 2007.