

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE PULPA DE CAFÉ COMO ADITIVO  
EN LODOS DE PERFORACIÓN**

**ADEL ALBERTO MANCILLA POLANCO  
CAMILO ANDRÉS QUIROGA BERDUGO**

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

**2012**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE PULPA DE CAFÉ COMO ADITIVO  
EN LODOS DE PERFORACIÓN**

**ADEL ALBERTO MANCILLA POLANCO**

**CAMILO ANDRÉS QUIROGA BERDUGO**

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

**Director**

**OSCAR FERNANDO LÓPEZ SILVA**

**Ingeniero de petróleos**

**Co-Director**

**M. Sc. EMILIANO ARIZA LEÓN**

**Ingeniero de petróleos**

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

**2012**

## DEDICATORIA

Este gran triunfo quiero dedicárselo primero que todo a DIOS, a quien le debo todo lo que soy, y quien me ha dado la fortaleza y sabiduría necesaria para lograr alcanzar este gran sueño. Para ÉL este y todos los triunfos que vengan en adelante.

A mis padres SAÚL QUIROGA y CECILIA BERDUGO, la bendición más grande que me ha dado Dios, que con su ejemplo me han enseñado a forjar mi propio camino y luchar persistentemente por alcanzar todos mis sueños, quienes me brindaron el amor más puro y noble. Es con ellos con quien quiero compartir todos mis éxitos.

A mis hermanas NATALY y ELIANA, dos grandes mujeres que me han guiado y aconsejado siempre que lo he necesitado, con quienes he compartido grandes momentos de felicidad. Este logro se ha convertido en una razón más para agradecerles ese gran apoyo.

A todos mis GRANDES AMIGOS de la universidad, su amistad es el regalo más valioso que me llevo de esta etapa de mi vida que estoy por culminar, con su apoyo incondicional me ayudaron a superar todas las dificultades que se presentaron a lo largo de la carrera, ustedes también hacen parte de este gran logro.

Finalmente, quiero dedicar este triunfo a toda mi FAMILIA, quienes me han acompañado durante toda mi vida, y quienes siempre se han preocupado por mi bienestar y felicidad.

**CAMILO ANDRÉS QUIROGA BERDUGO**

## DEDICATORIA

Este es un día muy especial en mi vida, no me salen palabras para expresar realmente lo que estoy sintiendo. Le agradezco primero que todo al señor que me dio la vida, al todopoderoso Dios, ya que sin él no estuviese escribiendo lo que realmente estoy redactando. Cuando todo parecía oscurecerse y no encontraba el camino, él fue mi guía. Todo este triunfo es tuyo Dios muchas gracias por todo y siempre te lo agradeceré. Espero que en este nuevo camino seas tú, él que me ayudes a construir objetivos sólidos e inquebrantables. Objetivos que me ayuden a ser cada día una mejor persona y un mejor profesional.

En segundo lugar quiero agradecerle a mi Madre Genny Polanco, que en los momentos cuando sentía que no podía más, esos momentos que me sentía solo, esos momentos que no hallaba de donde sacar fuerzas para seguir adelante en el cumplimiento de mis objetivos, siempre estuvo allí, eso solo era levantar el teléfono y al día siguiente estaba acompañándome para darme fuerzas y recordarme cuales eran mis objetivos. Después de que te ibas, me sentía lleno de nuevo y con las suficientes fuerzas para seguir mi camino. Muchas gracias mami te lo agradezco, un besote y un abrazo gigante pa' ti te amo demasiado mejor amiga.

Quiero expresarle mi agradecimiento también a mi hermana por su apoyo, por darme un abrazo cuando más lo necesitaba, porque cuando me enfermaba ella era mi doctora, que siempre debió ser una doctora. Sé que tú más que nadie sabes lo que quieres, espero que ahora que no voy a estar acompañándote tengas la verzaquera de salir adelante, porque conozco todas tus capacidades. Perdóname cuando te dije que no podías, ahora sé más que nunca que me equivoque.

Este triunfo también va para mi Padre Adel Mancilla, el cual es la persona a la cual yo quiero llegar, el es mi objetivo, se que con mucho esfuerzo llegaré a ser lo que él es hoy. Él es la persona que yo más admiro en este mundo y sé que seguiré siendo así por el resto de mi vida, realmente no sé quién sería yo sin que tú te hubieras topado en mi vida. Me siento muy orgulloso de ser hijo tuyo papi, te agradezco todos los momentos que hemos vivido, cuando me acompañabas a verme tapar en los partidos y me dabas aliento cuando me iba mal en una prueba de natación. Gracias papi se que algún día llegaré a ser como tú.

Hermanito esto también es pa' ti, eres la persona que yo más quiero en este mundo, eres mi parcerero, mi otra alma, quiero que siempre salgas adelante en todo, si en algún momento necesitas ayuda mía sabes que nunca te la negaré. Eres una persona muy inteligente y muy capaz para resolver cualquier problema que se presente. Sé que en algún momento el núcleo familiar lo lideraras tú, por esta razón tienes que concientizarte que para adquirir esa responsabilidad necesitas acatar las decisiones de mis padres, cualquiera que sea esta. Te amo mucho y sabes que conmigo siempre podrás contar en las malas y en las buenas, eres más que mejor amigo.

Este triunfo también va para mi abuelo, que con sus historias me ayudaron a crecer (no se me olvida que me prometiste que ibas a tomarte una botella de whisky cuando me graduará) y a mi abuela. También quiero agradecerle a mi tía Marlene y tía Liboria, que siempre me consintieron cuando estuve en Cartagena, y siempre estuvieron pendientes de mí. Finalmente lo que no puede faltar, esto va para mis grandes amigos, los cuales los quiero mucho el Dani, Jhon Ja, el papa, Camilo, Camilin. Y a mis amigas que no olvidaré Verito y mi Vane. A todos muchas gracias por colaborar en este logro.

**ADEL ALBERTO MANCILLA POLANCO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Son muchas las personas que contribuyeron no solo en la realización del presente proyecto, sino también en el crecimiento de nuestras vidas durante el transcurso de nuestra estancia en la Universidad, tanto a nivel personal como profesional. En esta ocasión, los autores queremos expresar nuestro agradecimiento a:

A nuestros padres, por brindarnos todo su amor y apoyo, lo cual fue una fuente de motivación para nosotros.

Al Ingeniero Oscar Fernando López, por aceptar la dirección de este proyecto y brindarnos su conocimiento y apoyo incondicional durante el desarrollo del mismo.

Al M.Sc. Emiliano Ariza León, por el tiempo dedicado, sus consejos y orientaciones fueron de gran ayuda para lograr realizar este proyecto.

A la escuela de Ingeniería de Petróleos de la Universidad Industrial de Santander, por permitirnos usar el Laboratorio de Lodos y Cementos, especialmente a Alexander Beltrán, por compartir con nosotros su tiempo, su experiencia y brindarnos su colaboración en el uso del laboratorio; de igual manera a nuestro compañero Jorge Salgado, por orientarnos en el desarrollo de las pruebas en el laboratorio.

Al Laboratorio de Cromatografía del Centro de Investigación CENIVAM, por prestarnos el servicio de Liofilización requerido para el tratamiento del producto evaluado, en especial a la M.Sc. Deyanira Caballero Méndez, que con su orientación nos permitió tener una mayor claridad en cuanto al desarrollo de este proceso.

A la escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Industrial de Santander, por facilitarnos el uso de equipos del Laboratorio de Caracterización de Materiales de Construcción, los cuales fueron necesarios para el procesamiento del producto evaluado.

A todos nuestros Amigos, con quienes hemos compartido esta gran experiencia, por brindarnos su compañía y sus consejos a lo largo de toda la carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	22
1. GENERALIDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN .....	23
1.1. DEFINICIÓN.....	23
1.1.1. Funciones de los lodos de perforación .....	23
1.2. FASES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN.....	24
1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN .....	24
1.3.1. Fluidos de perforación base agua.....	24
1.3.2. Fluidos de perforación base aceite .....	25
1.4. PROPIEDADES DEL LODO DE PERFORACIÓN Y SU MEDICIÓN .....	25
1.4.1. Propiedades Físicas de los Fluidos de Perforación .....	26
1.4.1.1. Densidad .....	26
1.4.1.2. Viscosidad .....	26
1.4.1.3. Yield Point ó Punto de Cedencia .....	27
1.4.1.4. Resistencia o Fuerza de Gel .....	27
1.4.1.5. Filtrado API.....	27
1.4.1.6. pH .....	28
1.4.2. Propiedades Químicas de los Lodos de Perforación .....	28
1.4.2.1. Alcalinidad .....	28
1.4.2.2. Dureza.....	28
1.4.2.3. Concentración de Cloruros .....	28
2. GENERALIDADES DE LOS DISPERSANTES, VISCOSIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO .....	29

2.1.	PROCESO DE DISPERSIÓN.....	29
2.1.1.	Proceso Físico-Químico de la dispersión.....	29
2.1.1.1.	Fases de un Proceso de dispersión.....	29
2.1.1.2.	Tipos de fuerzas existentes entre Partículas .....	30
2.1.1.3.	Mecanismos Defloculantes.....	31
2.1.1.4.	Mecanismos de Floculación .....	32
2.1.1.5.	Control de la Viscosidad de un Lodo de Perforación .....	32
2.1.2.	Tipos de dispersantes.....	34
2.1.3.	Función de los dispersantes en Lodos de Perforación.....	36
2.2.	COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS COMO VISCOSIFICANTE .....	36
2.2.1.	Tipos de Arcillas .....	36
2.2.2.	Función de las Arcillas en los Lodos de Perforación.....	37
2.2.3.	Composición de los Lodos base agua-arcilla.....	37
2.2.4.	Procesos de enlaces entre las Partículas de Arcilla.....	38
2.2.5.	Rendimiento de las Arcillas .....	39
2.3.	CONTROL DE FILTRADO.....	40
2.3.1.	Teoría de la Filtración.....	40
2.3.2.	Tipos de Filtración .....	41
2.3.3.	Factores que afectan la Filtración.....	41
3.	GENERALIDADES SOBRE LA PULPA DE CAFÉ.....	43
3.1.	GENERALIDADES DEL CAFÉ.....	43
3.1.1.	Variedades de las Especies de Café .....	43
3.1.2.	Composición Química del Café .....	46
3.1.3.	Cultivos de Café en Colombia .....	47
3.1.4.	Componentes del fruto del Café .....	50
3.2.	DESCRIPCIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ.....	51

3.2.1.	Composición Química de la Pulpa de Café.....	52
3.2.2.	Posibles Usos de la Pulpa de Café.....	55
4.	GENERALIDADES SOBRE EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN .....	57
4.1.	MÉTODOS USADOS PARA EL SECADO DE LA PULPA DE CAFÉ.....	57
4.1.1.	Secado al Sol .....	57
4.1.2.	Secador de Túnel a Contracorriente .....	58
4.2.	PROCESO DE LIOFILIZACIÓN.....	59
4.2.1.	Etapas del Secado por Sublimación .....	60
4.2.2.	Fenómenos involucrados en el Proceso de Liofilización .....	63
5.	PROCESOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ EN POLVO	64
5.1.	OBTENCIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ.....	64
5.2.	DESHIDRATACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ .....	65
5.3.	PULVERIZACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ LIOFILIZADA .....	67
6.	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DEL USO DE PULPA DE CAFÉ COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN .....	72
6.1.	DISEÑO EXPERIMENTAL .....	72
6.1.1.	Identificación y Definición de Variables.....	73
6.1.2.	Selección del Diseño Experimental.....	74
6.2.	DISEÑO DE PRUEBAS .....	74
6.2.1.	Fase Preliminar: Prueba de Compatibilidad.....	75
6.2.2.	Primera Fase: Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante .....	78
6.2.3.	Segunda Fase: Pruebas para Evaluar la Efectividad de la Pulpa de Café en Lodos Contaminados.....	83
6.2.3.1.	Contaminación con Sal (NaCL) .....	83
6.2.3.2.	Contaminación con Cemento.....	86
6.2.4.	Tercera Fase: Pruebas de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado	88

6.2.5.	Cuarta Fase: Prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café.....	93
7.	DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	94
7.1.	FASE PRELIMINAR: PRUEBA DE COMPATIBILIDAD .....	94
7.2.	PRIMERA FASE: PRUEBA DE EVALUACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE.....	100
7.3.	SEGUNDA FASE: PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CONTAMINADOS.....	116
7.3.1.	Análisis de los resultados obtenidos de la Pulpa de Café comparados con DC1 en Lodos contaminados con Sal.....	117
7.3.2.	Análisis de los resultados obtenidos de la Pulpa de Café comparados con DC1 en Lodos contaminados con Cemento.....	125
7.4.	TERCERA FASE: PRUEBA PARA EVALUAR LA PULPA DE CAFÉ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO.....	132
7.5.	CUARTA FASE: PRUEBA DE RENDIMIENTO EVALUADO A LA PULPA DE CAFE	138
7.5.1.	Prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café.....	139
7.5.2.	Prueba de Rendimiento de un Viscosificante Comercial (VC).....	142
7.6.	ANÁLISIS DE COSTOS .....	145
8.	CONCLUSIONES.....	156
9.	RECOMENDACIONES.....	158
10.	BIBLIOGRAFÍA .....	159
	ANEXOS .....	161

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1.</b> Factores que afectan la Viscosidad .....	34
<b>TABLA 2.</b> Cuadro Comparativo de las especies de cafeto Coffea Arábica y Coffea Canephora.....	45
<b>TABLA 3.</b> Composición Química del Café Verde según Payen.....	46
<b>TABLA 4.</b> Área Cultivada de Café en Colombia en Miles de Hectáreas por Departamento A Diciembre de 2011. ....	49
<b>TABLA 5.</b> Composición Química de la Pulpa de Café.....	52
<b>TABLA 6.</b> Contenido de otros compuestos en la Pulpa de Café.....	53
<b>TABLA 7.</b> Contenido de Cenizas y de Minerales de la Pulpa de Café.....	54
<b>TABLA 8.</b> Constituyentes de Paredes Celulares y Polisacáridos Estructurales en la Pulpa de Café.....	55
<b>TABLA 9.</b> Datos Operacionales del Secador de Túnel a Contracorriente.....	59
<b>TABLA 10.</b> Contenido de Humedad Final de las muestras de Pulpa de Café .....	66
<b>TABLA 11.</b> Identificación y Definición de Variables. ....	73
<b>TABLA 12.</b> Concentraciones de las diferentes Muestras Analizadas .....	76
<b>TABLA 13.</b> Registro de las Observaciones de la Prueba de Compatibilidad .....	77
<b>TABLA 14.</b> Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante. ...	79
<b>TABLA 15.</b> Formato para el Registro de las Propiedades Químicas para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante. ....	81
<b>TABLA 16.</b> Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Sal. ....	84
<b>TABLA 17.</b> Formato para el Registro de las Propiedades Químicas para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Sal .....	85
<b>TABLA 18.</b> Formato para el Registro de las Propiedades Químicas para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Cemento .....	86
<b>TABLA 19.</b> Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Cemento.....	87
<b>TABLA 20.</b> Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado. ....	89
<b>TABLA 21.</b> Formato para el Registro de las Propiedades Químicas de los lodos para el Análisis de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado .....	91
<b>TABLA 22.</b> Formato utilizado para el registro de los datos de la Prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café. ....	93
<b>TABLA 23.</b> Resumen de las Observaciones de la Prueba de Compatibilidad a diez días	95
<b>TABLA 24.</b> Resultados de los datos (Originales) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café y DC1 .....	101

<b>TABLA 25.</b> Resultados de los datos (Réplica) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café y DC1 .....	103
<b>TABLA 26.</b> Reducción de las propiedades reológicas de un lodo calado tratado con 5 ppb de Pulpa de Café y DC1 .....	107
<b>TABLA 27.</b> Análisis estadístico de la Viscosidad Aparente para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados .....	108
<b>TABLA 28.</b> Análisis Estadístico de la Viscosidad Aparente para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados .....	109
<b>TABLA 29.</b> Análisis estadístico de la Viscosidad Plástica para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados .....	109
<b>TABLA 30.</b> Análisis Estadístico de la Viscosidad Plástica para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados .....	110
<b>TABLA 31.</b> Análisis estadístico del Punto de Cedencia para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados .....	110
<b>TABLA 32.</b> Análisis Estadístico del Punto de Cedencia para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados .....	111
<b>TABLA 33.</b> Análisis estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 seg para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados.....	111
<b>TABLA 34.</b> Análisis Estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 segundos para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados.....	112
<b>TABLA 35.</b> Análisis estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 minutos para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados.....	112
<b>TABLA 36.</b> Análisis Estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 minutos para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados.....	113
<b>TABLA 37.</b> Resultados pruebas químicas para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados .....	114
<b>TABLA 38.</b> Resultados de los datos (Originales) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café en Lodos contaminados con Sal.....	118
<b>TABLA 39.</b> Reducción de las propiedades reológicas de un lodo contaminado con sal tratado con 5 ppb de Pulpa de Café y DC1.....	121
<b>TABLA 40.</b> Resultados de las Propiedades Químicas de la Pulpa de Café y el dispersante DC1 en Lodos contaminados con Sal.....	123
<b>TABLA 41.</b> Resultados de los datos (Originales) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café y DC1 en Lodos contaminados con Cemento.....	126
<b>TABLA 42.</b> Reducción de las propiedades reológicas de un lodo contaminado con cemento tratado con 5 ppb de Pulpa de Café y DC1 .....	129
<b>TABLA 43.</b> Resultados de las Propiedades Químicas de la Pulpa de Café y el Dispersante DC1 en Lodos contaminados con Cemento .....	130
<b>TABLA 44.</b> Resultados pruebas del filtrado para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado (réplica).....	133
<b>TABLA 45.</b> Resultados pruebas físicas para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado.....	134

<b>TABLA 46.</b> Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones del Controlador comercial CF1 .....	137
<b>TABLA 47.</b> Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones del Controlados comercial CF2.....	138
<b>TABLA 48.</b> Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones de Pulpa de Café .....	138
<b>TABLA 49.</b> Resultados de la prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café en agua dulce (Original).....	139
<b>TABLA 50.</b> Resultados de la prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café en agua dulce (Réplica) .....	140
<b>TABLA 51.</b> Análisis estadístico del Rendimiento de la Pulpa de Café en agua dulce ....	142
<b>TABLA 52.</b> Resultados de la prueba de Rendimiento del Viscosificante VC en agua dulce (Original).....	143
<b>TABLA 53.</b> Resultados de la prueba de Rendimiento del Viscosificante VC en agua dulce (Réplica) .....	143
<b>TABLA 54.</b> Costos requeridos para la obtención de 50 Libras de Pulpa de Café procesada .....	149
<b>TABLA 55.</b> Comparación de los Costos para la adquisición de un saco (50 lb) de Pulpa de Café y de Dispersante DC1 .....	150
<b>TABLA 56.</b> Especificaciones Técnicas y Operacionales del Equipo para la Liofilización de la Pulpa de Café .....	151
<b>TABLA 57.</b> Costos requeridos para la obtención de 50 Libras de Pulpa de Café procesada al Comprar el Liofilizador .....	155

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.</b> Asociación de las Arcillas .....	39
<b>FIGURA 2.</b> Ilustración de un cafeto de la especie Coffea Arabica. (Fotografía de Fernando Rebelo, 2005) .....	45
<b>FIGURA 3.</b> Participación en la Producción Total de Café por continente en el 2011. ....	48
<b>FIGURA 4.</b> Esquema del Área Cultivada de Café en Colombia por Departamentos para el año 2011. ....	49
<b>FIGURA 5.</b> Corte Longitudinal de la Cereza de Café.....	50
<b>FIGURA 6.</b> Diagrama Esquemático del Liofilizador.....	60
<b>FIGURA 7.</b> Diagrama Temperatura - Concentración del Agua y una Solución Acuosa....	61
<b>FIGURA 8.</b> Ciclo de la Liofilización .....	62
<b>FIGURA 9.</b> Esquema del Secado por Sublimación .....	63
<b>FIGURA 10.</b> Recipientes utilizados para el Almacenamiento de la Pulpa de Café Fresca	65
<b>FIGURA 11.</b> Equipo Liofilizador Virtis Advantage. ....	66
<b>FIGURA 12.</b> Muestra de Pulpa de Café Liofilizada .....	67
<b>FIGURA 13.</b> Pulpa de Café Liofilizada molida por Primera vez.....	68
<b>FIGURA 14.</b> Pulpa de Café Liofilizada molida por Segunda vez.....	68
<b>FIGURA 15.</b> Muestra de Pulpa de Café Liofilizada y tamizada a 200 µm. ....	69
<b>FIGURA 16.</b> Tamizador Mecánico utilizado. ....	69
<b>FIGURA 17.</b> Producto de Residuo después del Proceso de Tamizado.....	70
<b>FIGURA 18.</b> Diagrama de los Procesos implementados para la adecuación de la Pulpa de Café.....	71
<b>FIGURA 19.</b> Muestras de Agua Fresca y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días.....	97
<b>FIGURA 20.</b> Muestras de Viscosificante VC y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días.	97
<b>FIGURA 21.</b> Muestras de Soda Cáustica y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días.....	98
<b>FIGURA 22.</b> Muestras de Cal y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días. ....	98
<b>FIGURA 23.</b> Muestras de Extendedor de VC y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días.	98
<b>FIGURA 24.</b> Muestras de Carbonato de Calcio y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días. ....	99
<b>FIGURA 25.</b> Muestras de Sal y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días.....	99
<b>FIGURA 26.</b> Muestras de Cemento y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días. ....	99
<b>FIGURA 27.</b> Comportamiento de la Viscosidad Aparente a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1 .....	104
<b>FIGURA 28.</b> Comportamiento de la Viscosidad Plástica a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1 .....	105
<b>FIGURA 29.</b> Comportamiento del Punto de Cedencia a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1 .....	105

<b>FIGURA 30.</b> Comportamiento de los Esfuerzos de Gel a 10 segundos a diferentes concentraciones de Pulpa de Café Y DC1 .....	106
<b>FIGURA 31.</b> Comportamiento de los Esfuerzos de Gel a 10 Minutos a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1 .....	106
<b>FIGURA 32.</b> Comportamiento del contenido de Iones $Cl^-$ a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1 .....	115
<b>FIGURA 33.</b> Comportamiento del contenido de Iones $Ca^{++}$ a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1 .....	115
<b>FIGURA 34.</b> Comparación del comportamiento de la Viscosidad Aparente de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	119
<b>FIGURA 35.</b> Comparación del comportamiento de la Viscosidad Plástica de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	119
<b>FIGURA 36.</b> Comparación del comportamiento del Punto de Cedencia de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	120
<b>FIGURA 37.</b> Comparación del comportamiento del Esfuerzo de Gel a 10 segundos de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	120
<b>FIGURA 38.</b> Comparación del comportamiento del Esfuerzo de Gel a 10 minutos de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	121
<b>FIGURA 39.</b> Comparación del comportamiento del Contenido de Iones de Cloruro de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	124
<b>FIGURA 40.</b> Comparación del comportamiento del Contenido de Iones de Calcio de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	124
<b>FIGURA 41.</b> Comparación del comportamiento de la Viscosidad Aparente de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	127
<b>FIGURA 42.</b> Comparación del comportamiento de la Viscosidad Plástica de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	127
<b>FIGURA 43.</b> Comparación del comportamiento del Punto de Cedencia de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	128
<b>FIGURA 44.</b> Comparación del comportamiento de los Esfuerzos de gel a 10 segundos de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	128
<b>FIGURA 45.</b> Comparación del comportamiento del Esfuerzo de gel a 10 minutos de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	129
<b>FIGURA 46.</b> Comparación del comportamiento de Contenido de iones $Cl^-$ de un Lodo contaminado con Cemento al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	131
<b>FIGURA 47.</b> Comparación del comportamiento del Contenido de iones $Ca^{++}$ de un Lodo contaminado con Cemento al ser tratado con Pulpa de Café y DC1 .....	132
<b>FIGURA 48.</b> Comparación de los resultados de filtrado API a diferentes concentraciones de los productos evaluados .....	136
<b>FIGURA 49.</b> Comparación de los resultados del Filtrado API a diferentes concentraciones de los productos evaluados .....	136
<b>FIGURA 50.</b> Curva de Rendimiento de la Pulpa de Café.....	140
<b>FIGURA 51.</b> Curva Rendimiento - Viscosificante VC .....	144

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A.</b> Tablas de Algunos Aditivos utilizados en la industria como dispersantes, viscosificantes y controladores de filtrado .....	161
<b>ANEXO B.</b> Tablas de resultados de la prueba de compatibilidad .....	167
<b>ANEXO C.</b> Resultados de las Pruebas de Réplica y su respectivo análisis estadístico para lodos Contaminados con Sal y Cemento .....	192

## RESUMEN

### TÍTULO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL USO DE PULPA DE CAFÉ COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN\*

**AUTORES:** Adel Alberto Mancilla Polanco  
Camilo Andrés Quiroga Berdugo\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Pulpa de Café, Liofilización, Agentes Viscosificantes, Agentes Controladores de Filtrado, Agentes Dispersantes, Compatibilidad.

### DESCRIPCIÓN

Una de las mayores preocupaciones de la industria petrolera consiste en la reducción del alto impacto ambiental que genera el uso de aditivos químicos en el diseño de los fluidos de perforación. Por esta razón, ha surgido la necesidad de implementar aditivos que sean biodegradables, con el fin de contribuir a la preservación del medio ambiente. El presente proyecto nace con el objetivo de estudiar el uso de la pulpa de café como aditivo para lodos de perforación, como una propuesta para reducir la contaminación generada por los aditivos comerciales.

La pulpa de café es el primer producto que se obtiene como resultado del proceso de beneficio que se le realiza al grano del café, el cual representa en base seca alrededor del 29% del peso total del fruto. Este producto se caracteriza por tener en su composición altos contenidos de taninos, ligninas y celulosa, los cuales son compuestos utilizados como base para la creación de aditivos comerciales en fluidos de perforación.

El presente proyecto está dividido en 7 capítulos. El primero describe las generalidades y las propiedades de los fluidos de perforación; el segundo se enfoca en las generalidades de los agentes dispersantes, viscosificantes y controladores de filtrado; el tercero hace referencia a las generalidades de la pulpa de café; el cuarto consiste en el proceso de liofilización; el quinto se basa en el proceso necesario para transformar la pulpa de café en polvo; el sexto contiene información concerniente con el diseño experimental donde se describen las diferentes pruebas a realizar; y finalmente el capítulo 7, corresponde al desarrollo de las pruebas con su respectivo análisis de resultados, junto con el análisis de costos concerniente a la producción de un saco de pulpa de café.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela Ingeniería de Petróleos. Director: Ing. Oscar Fernando López Silva. Co-director: M.Sc. Emiliano Ariza León.

## ABSTRACT

**TITLE: STUDY OF FEASIBILITY OF THE USE OF COFFEE PULP AS AN ADDITIVE IN DRILLING FLUIDS\***

**AUTHORS:** Adel Alberto Mancilla Polanco  
Camilo Andrés Quiroga Berdugo\*\*

**KEY WORDS:** Coffee Pulp, Lyophilization, Viscosifier Agents, Filtration Control Agents, Dispersant Agents, compatibility.

### DESCRIPTION

One of the major concerns of the oil industry is the reduction of the high environmental impact generated by the use of the chemical additives in the drilling fluids design. For this reason, it has become necessary to implement biodegradable additives, in order to contribute to the preservation of the environment. This project arises with the objective of studying the use of coffee pulp as an additive in drilling fluids, as a proposal to reduce the pollution caused by chemical additives.

The coffee pulp is the first product obtained as a result of the profit process that is made to the coffee bean, which represents in dry form about 29% of the total weight of the fruit. This product is characterized by its high content of tannins, lignins and cellulose, which are compounds used as a basis for the creation of commercial additives in drilling fluids.

This project is divided into 7 chapters. The first chapter describes generalities and properties of the drilling fluids; the second chapter focuses on generalities of dispersant, viscosifier and filtration control agents; the third chapter refers to generalities of coffee pulp; the fourth one describes the lyophilization process; the fifth one is based on the process necessary to transform the coffee pulp into powder; the sixth chapter contains information concerning to the experimental design, which describes the different test to be developed; and finally chapter 7, is the development of the test with their respective result analysis, along with the analysis of the costs associated to the production of a sack of coffee pulp.

---

\* Degree Project

\*\* Physicochemical Engineering's Faculty. Petroleum Engineering School. Director: PE. Oscar Fernando López Silva. Co-director: M.Sc. Emiliano Ariza León.

## INTRODUCCIÓN

Desde el establecimiento de la industria petrolera a nivel mundial, esta ha sido considerada como una de las industrias que más genera contaminación al medio ambiente debido en gran medida al alto impacto ambiental que genera la utilización de aditivos químicos en el diseño de un lodo de perforación.

Actualmente el propósito de las multinacionales y empresas especializadas es la implementación de aditivos que sean biodegradables para el diseño de fluidos de perforación, con el objetivo de contribuir a la preservación del medio ambiente.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario estudiar el comportamiento de productos naturales como aditivos en lodos de perforación, con el fin de remplazar los productos químicos usados en el diseño de estos fluidos para reducir considerablemente la contaminación y el impacto ambiental generado por el uso de este tipo de aditivos.

Por esta razón, el presente trabajo tiene la finalidad de analizar el comportamiento de la pulpa de café como un posible aditivo y el costo de obtener este producto con las características necesarias para su uso en fluidos de perforación.

En esta investigación se realizaron pruebas para determinar la efectividad de la pulpa de café como dispersante, controlador de filtrado y viscosificante en lodos base agua a diferentes concentraciones para establecer el comportamiento de este producto frente a aditivos comerciales. Además, se llevó a cabo un análisis de costos para determinar la posibilidad de utilizar este producto en la industria, comparando sus costos con el precio venta de algunos aditivos usados en campo.

## **1. GENERALIDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN**

En este capítulo se presenta una descripción de algunos conceptos importantes que se necesitan para mejorar la comprensión de la temática del presente trabajo. Inicialmente, se presenta una breve definición de los fluidos de perforación, los tipos que existen y las fases que los componen y posteriormente se discuten algunas de sus propiedades tanto físicas como químicas.

### **1.1. DEFINICIÓN**

Se denomina lodo de perforación a un fluido con características físicas y químicas necesarias para facilitar el desarrollo de una operación de perforación minimizando los problemas concernientes a la estabilidad del pozo, y demás problemas operacionales. Estos fluidos se preparan con ciertos aditivos, teniendo en cuenta las formaciones que se planean perforar.

#### **1.1.1. Funciones de los lodos de perforación**

Un lodo de perforación debe ser diseñado para cumplir con funciones necesarias, que permiten realizar una operación de perforación de la manera más fácil y óptima, minimizando los problemas operacionales que puedan presentarse. Entre algunas de sus funciones tenemos:

- Remoción de los ripios de perforación.
- Control de la presión de formación.
- Suspensión de ripios de perforación.
- Mantenimiento de la estabilidad del pozo.
- Enfriamiento, lubricación y sostenimiento de la broca y conjunto de Perforación.
- Transmisión de la energía hidráulica a las herramientas y a la broca.

## **1.2. FASES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN**

Existen varias razones por las cuales se diferencian estas fases, principalmente se diferencian porque cumplen funciones distintas en las propiedades de un lodo de perforación.

### **❖ Fase continua de los lodos de perforación**

La fase continua es una fase líquida que lleva consigo todos los aditivos químicos que fueron agregados para el diseño del lodo de perforación y los sólidos y minerales provenientes de la formación. En el caso de los lodos base aceite con emulsión inversa, la fase continua es al aceite (Diesel) y la discontinua la salmuera emulsionada.

### **❖ Fase discontinua de los lodos de perforación**

Esta fase es también conocida como la fase dispersa de un lodo de perforación. Esta fase consiste en partículas sólidas provenientes de los aditivos químicos y de los sólidos generados por la operación de perforación, o también de gotas de fluido suspendidas en la fase continua.

## **1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN**

En general, los fluidos de perforación pueden dividirse en tres categorías dependiendo de la fase continua que los conforma. Estos son: fluidos base agua, fluidos base aceite y fluidos neumáticos.

### **1.3.1. Fluidos de perforación base agua**

Los fluidos base agua son aquellos que su fase continua es agua (dulce o salada). Estos sistemas se consideran muy versátiles, sencillos y tiene un bajo costo comparado con otros sistemas de lodos. Se utilizan básicamente para perforar formaciones no reactivas, productoras y no productoras de hidrocarburos.

Existen dos tipos de emulsiones: emulsión directa y emulsión inversa. La emulsión directa se caracteriza porque su fase continua es el agua y su fase discontinua es aceite. En la emulsión inversa las fases continuas y discontinuas son lo contrario.

### **1.3.2. Fluidos de perforación base aceite**

Estos sistemas de fluidos se caracterizan por tener en su fase continua el aceite, y por ende su filtrado es 100% aceite. Puede clasificarse como lodo base aceite de emulsión inversa o 100% aceite. Este tipo de fluidos se utilizan básicamente cuando se perforan formaciones reactivas y productoras.

#### **❖ Emulsión Inversa**

Son fluidos se caracterizan por ser una mezcla de agua en aceite, donde la fase continua es aceite y el agua se encuentra como fase dispersa en el aceite comportándose en este caso como la ase discontinua.

#### **❖ Fluido 100% Aceite**

Son fluidos como lo dice su nombre 100% aceite, que contienen agentes emulsificantes con la habilidad de absorber el agua de formación y emulsionarla de forma efectiva en el fluido. Estos fluidos son básicamente utilizados para obtener núcleos y perforar formaciones de lutitas sensibles al agua.

## **1.4. PROPIEDADES DEL LODO DE PERFORACIÓN Y SU MEDICIÓN**

Es de vital importancia llevar un control continuo de las propiedades del lodo, ya que un cambio de éstas en el desarrollo de la perforación podría causar muchos problemas. En este numeral se hará una breve descripción de las propiedades del lodo, las cuales están

involucradas en este proyecto de investigación, y que más adelante serán tema de análisis.

### **1.4.1. Propiedades Físicas de los Fluidos de Perforación**

#### **1.4.1.1. Densidad**

La densidad de un lodo se puede definir como la contrapresión que ejerce el fluido de perforación a las paredes del pozo, razón por la cual se considera la propiedad más importante en el control de la estabilidad del pozo y la presión de formación. Es directamente proporcional al peso de la columna de lodo. La densidad de un lodo se puede medir en una balanza conociendo un volumen específico de lodo. La escala de la balanza registra directamente la densidad del lodo, la cual puede ser expresada en lb/gal, lb/ft<sup>3</sup>, lb/Bbl, peso específico o gradiente de presión (psi/ft).

#### **1.4.1.2. Viscosidad**

La viscosidad de un lodo de perforación se define como la resistencia que el fluido opone a circular cuando es forzado a fluir. Es un indicativo del grado de limpieza que proporciona el fluido hacia el pozo, el sostenimiento de los sólidos en suspensión y la habilidad del mismo en facilitar la remoción de los rípios de perforación en equipos de control de sólidos. Básicamente se pueden medir 3 tipos de viscosidad:

- Viscosidad API: La cual se mide mediante un embudo Marsh y sirve para comparar la fluidez del lodo con el agua.
- Viscosidad Plástica: La cual está ligada a la forma, tamaño y concentración de los sólidos en el lodo. Esta se puede medir mediante un viscosímetro (en nuestro caso un Viscosímetro de Fann), y es equivalente a la resta de la lectura entre  $\Theta 600$  y  $\Theta 300$ , este valor es expresado en lb/100ft<sup>2</sup>.

- Viscosidad Aparente, la cual es la viscosidad que aparenta tener el fluido a una tasa definida de corte, su valor equivale a la mitad de la lectura del  $\Theta 600$ , expresado en unidades de  $\text{lb}/100\text{ft}^2$ .

#### **1.4.1.3. Yield Point ó Punto de Cedencia**

El Punto de Cedencia es una medida de la fuerza de atracción o electroquímica entre partículas del fluido de perforación, bajo condiciones dinámicas de flujo. Su valor es medido a partir de un viscosímetro (viscosímetro de Fann), y es equivalente a la sustracción entre las lecturas de  $\Theta 300$  y la viscosidad plástica, este valor esta expresado en  $\text{lb}/100\text{ft}^2$ .

#### **1.4.1.4. Resistencia o Fuerza de Gel**

La fuerza de gel es una medida de las propiedades tixotrópicas que presenta el lodo, esta se define como las fuerzas de atracción o electroquímicas entre las partículas presentes en el lodo, bajo condiciones estáticas de flujo. Esta propiedad hace referencia a la capacidad de suspensión del lodo. En nuestro caso se midieron las fuerzas de gel a 10 segundos y a 10 minutos, estas dos lecturas se toman en el viscosímetro de Fann a una velocidad de corte de 3 RPM.

#### **1.4.1.5. Filtrado API**

El filtrado se refiere a la cantidad de líquido (fase continua) que pasa a través de la torta hacia las formaciones permeables, debido a la presión diferencial que se encuentra sometido el lodo de perforación. Un buen diseño de un lodo de perforación debe generar un revoque liso, delgado y resistente. Además, el filtrado debe ser compatible con los fluidos del yacimiento para no alterar sus propiedades. En este trabajo se determino el filtrado API, utilizando una Filtro prensa que trabaja a condiciones de 100 psi de presión diferencial y temperatura ambiente durante un tiempo de 30 minutos.

#### **1.4.1.6. pH**

El pH hace referencia al equilibrio químico del lodo de perforación, lo cual es una medida de la estabilidad de los aditivos químicos en el fluido de perforación. El pH indica el grado de acidez o basicidad del lodo de perforación. En la industria, el lodo de perforación debe ser básico con el objetivo de minimizar los problemas de corrosión que podría presentar la tubería de perforación por estar en contacto continuo con el fluido de perforación.

### **1.4.2. Propiedades Químicas de los Lodos de Perforación**

#### **1.4.2.1. Alcalinidad**

La alcalinidad hace referencia a la cantidad de iones solubles en agua capaces de reaccionar con un ácido. La alcalinidad a la fenolftaleína (Pf) hace referencia a la cantidad de ácido que se requiere para disminuir el pH del filtrado en 8.3. La alcalinidad al metilo de naranja (Mf) hace referencia a la cantidad de ácido requerido para disminuir el pH del filtrado a 4.3.

#### **1.4.2.2. Dureza**

La dureza de un lodo de perforación es causada por la cantidad de sales de calcio y magnesio presentes en el agua o en el filtrado del lodo. La dureza del lodo me puede indicar las ppm de calcio que se encuentran en el lodo, la cual es considerada un contaminante en los lodos base acuosa.

#### **1.4.2.3. Concentración de Cloruros**

La concentración de cloruros en un lodo de perforación indica la cantidad de iones cloruros que se encuentran disueltos en el filtrado del lodo. Una concentración de cloruros alta puede determinar que en el desarrollo de la perforación el lodo se contamina por la presencia de un domo salino.

## **2. GENERALIDADES DE LOS DISPERSANTES, VISCOSIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO**

El objetivo de este capítulo es mencionar las características, procesos y funciones que cumplen ciertos aditivos en los lodos de perforación, debido a que en el presente trabajo se evaluará un producto (pulpa de café) como dispersante, viscosificante y controlador de filtrado para determinar si este producto cumple con alguna de estas funciones.

### **2.1. PROCESO DE DISPERSIÓN**

Un proceso de dispersión es básicamente un proceso mecánico, el cual tiene como objetivo distribuir homogéneamente las partículas sólidas dentro de un fluido, y por ende la disminución de su viscosidad.

#### **2.1.1. Proceso Físico-Químico de la dispersión**

En un proceso de dispersión es muy importante conocer los procesos (fuerzas de atracción y repulsión entre partículas) que ayudan a generar la distribución de los sólidos dentro de un fluido. Estos procesos serán mencionados a continuación.

##### **2.1.1.1. Fases de un Proceso de dispersión**

Existen básicamente 3 fases o procesos físicos que ayudan a la generación de un proceso de dispersión.

- Mojado de los sólidos, esto involucra el desplazamiento del aire que se encuentra en la superficie de las partículas.

- Fragmentación de partículas grandes a más pequeñas, las partículas mojadas se dividen en partículas más pequeñas usualmente acompañado de energía mecánica.
- Estabilización, cuya acción consiste en prevenir el proceso de sedimentación al dispersar dentro del fluido las partículas que se dividieron en la fase anterior.

#### 2.1.1.2. Tipos de fuerzas existentes entre Partículas

Las partículas dentro del fluido ejercen fuerzas atractivas y repulsivas entre sí, y el fenómeno de acercamiento entre ellas se debe al movimiento browniano. De esta manera el resultado de las fuerzas atractivas y repulsivas es un aspecto muy importante en la determinación de la aglomeración de estas partículas.

##### ❖ Fuerzas Atractivas

Durante el proceso de acercamiento de las partículas dentro de un fluido se producen fuerzas atractivas y repulsivas. Los aditivos dispersantes, los cuales son sustancias que se asientan en la superficie de un material determinado, tiene como función mantener las partículas dispersas mediante procesos de repulsión electrostática o impedimento estérico, evitando la formación de aglomeraciones dentro del fluido de perforación. Algunas de las fuerzas que entran a esta categoría son:

- **Fuerzas de Van der Waals:** Son fuerzas intermoleculares resultantes de la interacción entre los dipolos de las partículas.
- **Atracción dipolo-dipolo:** Estas fuerzas resultan de la interacción no covalente entre dos partículas polares.
- **Puentes de Hidrógeno:** Este es un tipo especial de atracción dipolo-dipolo entre un átomo de hidrogeno, el cual está formado por un enlace polar, y un átomo electronegativo. Este tipo de fuerzas intermoleculares están presentes en el agua.

### ❖ **Fuerzas Repulsivas**

Los aditivos dispersantes tienen como función ayudar a producir este tipo de fuerzas entre partículas, disminuyendo la aglomeración de partículas, y por ende estabilizando el sistema para evitar la sedimentación de las mismas.

- **Repulsión eléctrica de Capas:** El efecto de atracción superficial y difusión de iones originan una capa de hidratación alrededor de la partícula de arcilla con una concentración alta de iones en su superficie, lo que genera que cuando las partículas se acercan, se produzca una interferencia que produce una variación en la distribución de cargas en las capas.
- **Des-adsorción de Agua:** Las arcillas de acuerdo a su polaridad mantienen capas de agua unidas a la superficie. De esta manera para que las partículas puedan unirse o aproximarse, se requiere el desplazamiento de las capas de agua.
- **Repulsión de los Bordes:** Esta es una fuerza de repulsión de corto alcance, es decir, que se produce cuando el contacto entre las partículas es suficientemente que los electrones de los átomos se distorsionan.
- **Fuerza de repulsión Electrostática entre Partículas cargadas:** El proceso para la estabilización de una dispersión, en la cual dominan las fuerzas repulsivas se conoce como estabilización electrostática. Esta estabilización se produce básicamente cuando las partículas dispersas tienen una carga eléctrica homogénea.

#### **2.1.1.3. Mecanismos Defloculantes**

Para mantener un sistema de lodo base acuosa defloculado es necesario que las fuerzas repulsivas entre partículas aumenten para ayudar al proceso de dispersión de materiales dentro del fluido. Esto se puede lograr teniendo en cuenta la reducción de la concentración de sal y el aumento de las cargas negativas.

#### 2.1.1.4. Mecanismos de Floculación

Los mecanismos de floculación tienen como objetivo aumentar la viscosidad del lodo, aumentando las fuerzas atractivas entre los materiales que constituyen el fluido de perforación. Algunos de estos mecanismos son:

- **Altas concentraciones de sal:** Un aumento de la concentración de sal disminuye considerablemente las fuerzas repulsivas, y por ende las fuerzas atractivas predominan, por lo cual se observa un incremento de la viscosidad del lodo.
- **Cationes Polivalentes:** Un catión polivalente es un ion que contiene cargas positivas, este tipo de catión genera una estructura de floculación conocida como puente de ion.
- **Floculantes Poliméricos:** Los polímeros orgánicos de cadena larga tienen la facultad de flocular sistemas de arcillas, donde la acción de la molécula produce una fuerza enlazante, la cual permite mantener varias placas de arcillas unidas al mismo tiempo.
- **pH bajo:** Un bajo pH aumenta las moléculas con cationes positivos, lo cual ayuda al proceso de floculación en el fluido de perforación.

#### 2.1.1.5. Control de la Viscosidad de un Lodo de Perforación

La viscosidad es una propiedad determinante en términos de perforación de un pozo, ya que con esta se puede determinar el grado de limpieza de un pozo teniendo en cuenta la tixotropía del fluido de perforación, la cual es una medida de la resistencia de gel y las características que tiene el fluido en suspender el material viscosificante y los ripsos de perforación.

La viscosidad influye directamente en la calidad del revoque, en este caso un lodo muy floculado no proporcionará un revoque con las características necesarias para no generar problemas en la cara del pozo. Por esta razón es necesario tener un control de la viscosidad del fluido de perforación y esta se puede lograr utilizando agentes viscosificantes o agentes dispersantes, dependiendo de las características del pozo que se está perforando.

La viscosidad del fluido de perforación es una propiedad que indica la interacción existente entre la fase continua y los sólidos constituyentes del lodo. Teniendo en cuenta lo anterior, las interacciones entre la fase continua y los agentes necesarios para la creación de un lodo de perforación tienen gran influencia en el control de la viscosidad del fluido. Algunas de las interacciones que pueden presentarse son:

- **Interacciones agua-arcilla**

Las arcillas, debido tanto a los enlaces de hidrógeno con las moléculas de agua, como al agua proveniente de los cationes absorbidos, generan una disminución del agua libre, y por ende proporciona una estructura resistente al corte y al flujo.

- **Interacciones agua-polímero**

Esta interacción cumple una función similar a las interacciones agua-arcilla, ayudar a reducir el agua libre del lodo y proporcionar una estructura resistente al corte y al flujo.

- **Interacciones arcilla-arcilla**

Estas interacciones tienen a aumentar las fuerzas de atracción entre partículas, y por consiguiente la viscosidad del fluido. Por lo que es necesario realizar un balance adecuado de viscosificante y dispersante para proporcionar las propiedades óptimas de flujo y pérdidas de fluido.

- **Interacciones arcilla-polímero**

Estas interacciones dependen básicamente de su peso molecular y de la adsorción de la arcilla. Un alto peso molecular indica una molécula de cadena larga, lo cual genera

floculación debido a que la molécula puede asociarse a varias placas de arcilla en el mismo instante. Una solución sería utilizar polímeros de bajo peso molecular.

Con respecto a la adsorción en la arcilla, los polímeros cargados negativamente se adhieren en la superficie de la arcilla. Esta adsorción es más fuerte con polímeros de alto peso molecular, lo cual genera un aumento de la viscosidad del fluido.

Algunos de los factores que afectan la viscosidad se pueden observar en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Factores que afectan la Viscosidad

<b>AUMENTO DE LA VISCOSIDAD</b>	<b>REDUCCIÓN DE LA VISCOSIDAD</b>
Aumentar la concentración de sólidos	Diluir agua.
Agregar polímeros (Alto peso molecular)	Agregar polímeros (Bajo peso molecular)
Flocular con calcio	Remover el calcio con tratamiento químico
Flocular con sales	Dispersar a altos Ph
Flocular a bajo pH	Remover los sólidos

**FUENTE.** Cárdenas, Jhins. Estudio de la Factibilidad del uso del mucílago de fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación. Tesis de grado. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 2009.

### 2.1.2. Tipos de dispersantes

#### ❖ Taninos

Los taninos consisten en un grupo de sustancias complejas astringentes que, por lo general están compuestos de carbono, hidrogeno y oxigeno, y en algunos casos contienen pequeñas cantidades de nitrógeno y fósforos. Son fácilmente solubles en sustancias alcalinas y son precipitados por metales pesados. Los taninos son clasificados

como taninos hidrolizables, los cuales son esterés de uno o más ácidos polifenólicos, y taninos condensados que consisten de núcleos fenólicos.

#### ❖ **Fosfatos**

Los fosfatos son potentes dispersantes no iónicos, que a pequeñas cantidades pueden generar una disminución considerable de la viscosidad. Los fosfatos usados por la industria son: el pirofosfato de sodio (SAPP) y el tetrafosfato de sodio (STP o PHOS).

Estos son usados principalmente en lodos con un bajo pH y en lodos de perforación inicial. Los fosfatos reducen la viscosidad bien sea neutralizando las fuerzas de atracción cuando estos se adhieren a la superficie de los sólidos o por medio de la eliminación de los iones calcio y magnesio del lodo.

#### ❖ **Lignito**

El lignito es un dispersante utilizado ampliamente en la industria petrolera para el control de la viscosidad de los fluidos de perforación, estos son solubles en fluidos con pH alcalino. Por esta razón se adiciona soda cáustica con los aditivos de lignito de bajo pH. Los aditivos de lignitos no son eficaces en altas concentraciones de calcio, pero son moderadamente eficaces en altas concentraciones de sal.

#### ❖ **Lignosulfonatos**

Estos aditivos son muy eficaces y producen buenos resultados cuando se trata con un pH alcalino. Pueden ser utilizados en altas concentraciones de sal y calcio.

#### ❖ **Ligninas**

Las ligninas son productos similares al lignito y a los lignosulfonatos, estos son más eficaces a bajas temperaturas y en ambientes de alta salinidad.

Un resumen de los dispersantes utilizados por las empresas prestadoras de servicios en términos de fluidos de perforación se muestra en el Anexo A.

### **2.1.3. Función de los dispersantes en Lodos de Perforación**

A medida que se lleva a cabo la perforación, ciertos materiales provenientes de la vecindad del pozo se arrastran junto con el lodo de perforación debido al continuo contacto del fluido con las paredes del pozo. Estos materiales principalmente afectan las propiedades reológicas y el control de filtrado, razón por la cual se utilizan dispersantes para contrarrestar el efecto generado. Los agentes dispersantes modifican el equilibrio que actúa sobre la partícula de arcilla, pasando de fuerzas atractivas (floculación) a fuerzas repulsivas (defloculación).

## **2.2. COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS COMO VISCOSIFICANTE**

Es necesario entender el comportamiento de las arcillas en los lodos de perforación, con el objetivo de controlar adecuadamente las propiedades reológicas y de filtrado de estos fluidos.

### **2.2.1. Tipos de Arcillas**

Existe un gran número de minerales arcillosos de gran interés en los fluidos de perforación. Las arcillas se dividen básicamente en tres tipos:

#### **❖ Arcillas en forma de agujas no Hinchables**

En este tipo de arcillas se encuentran la atapulguita y la sepiolita. Se dice que la forma de la arcilla es parte fundamental en la capacidad que tiene la misma para aumentar la viscosidad, teniendo en cuenta lo anterior el tamaño natural de sus cristales finos y la forma de aguja permite que la arcilla desarrolle una estructura de escobillas amontonadas, mostrando así una gran estabilidad coloidal.

Debido a su característica de agujas no hinchables, estas se identifican por tener un control de filtrado débil. Por esta razón, se utiliza la atapulguita como viscosificante en lodos base agua salada, entre tanto que la sepiolita se utiliza como extendedor para fluidos geotérmicos y de alta temperatura.

#### ❖ **Arcillas laminares no Hinchables**

En este grupo de arcillas se encuentran la illita, clorita y kaolinita. Las illitas se caracterizan por no tener la capacidad de presentar un hinchamiento entre capas. Las cloritas se caracterizan porque no se hinchan en su forma pura, pero pueden ser modificadas para que se hinchen ligeramente. Las kaolinitas se caracterizan por no expandirse al entrar en contacto con el agua, debido a que el agua no es capaz de penetrar las capas.

#### ❖ **Arcillas laminares Hinchables**

En este grupo de arcillas se encuentra la montmorillonita sódica, la cual se añade al lodo para aumentar su viscosidad y reducir el filtrado. Las propiedades reológicas y de filtrado dependen de la cantidad de arcillas contenidas en el lodo.

### **2.2.2. Función de las Arcillas en los Lodos de Perforación**

Las arcillas en los lodos de perforación juegan un papel fundamental ya que como se vienen mencionando a lo largo de este libro están directamente relacionadas con las propiedades reológicas y de filtrado de los fluidos de perforación. Las funciones que deben cumplir las arcillas son suministrarle viscosidad al fluido de perforación, y proporcionar un revoque para sellar las formaciones permeables y evitar las pérdidas por filtrado y atascamiento de la tubería.

### **2.2.3. Composición de los Lodos base agua-arcilla**

En estos lodos de perforación, ciertos materiales se mantienen suspendidos y algunos otros se disuelven en la fase continua del fluido (agua). Para la creación de un lodo de

perforación se utiliza un número importante de aditivos con el objetivo de obtener las propiedades óptimas necesarias para perforar exitosamente un pozo, estos componentes se pueden dividir en tres categorías principales:

- ❖ La fase líquida es la fase continua del fluido de perforación. Esta fase líquida puede ser agua dulce, salada, blanda, dura, etc.
- ❖ La fase de sólidos reactivos, los cuales pueden ser arcillas comerciales, hidratables incorporadas y lutitas provenientes de las paredes del pozo o formaciones perforadas, estas son mantenidas en suspensión por la fase continua. Estos sólidos son tratados químicamente para obtener las propiedades deseadas del lodo.
- ❖ Los sólidos inertes, los cuales son sólidos que no son químicamente reactivos, estos son mantenidos en suspensión por la fase continua.

#### **2.2.4. Procesos de enlaces entre las Partículas de Arcilla**

Una vez conocida la cantidad y calidad de la arcilla de un lodo de perforación, es importante conocer el estado de asociación de las partículas de arcilla. Los distintos procesos de enlaces deben ser comprendidos para entender y controlar los cambios reológicos que se generan durante la perforación de un pozo. Algunos de los estados de asociación presentes en las partículas de arcillas son:

##### **❖ Agregación**

Enlace conocido como cara a cara, consiste en la formación de láminas y paquetes más gruesos. La agregación reduce el número de partículas, y por lo tanto provoca una disminución de la viscosidad plástica.

##### **❖ Dispersión**

La dispersión genera un resultado adverso respecto a la agregación, ya que de esta resulta un mayor número de partículas, y por ende un aumento de la viscosidad plástica.

El grado de dispersión depende de la cantidad de electrolitos en el agua, cationes intercambiables y la concentración de arcillas.

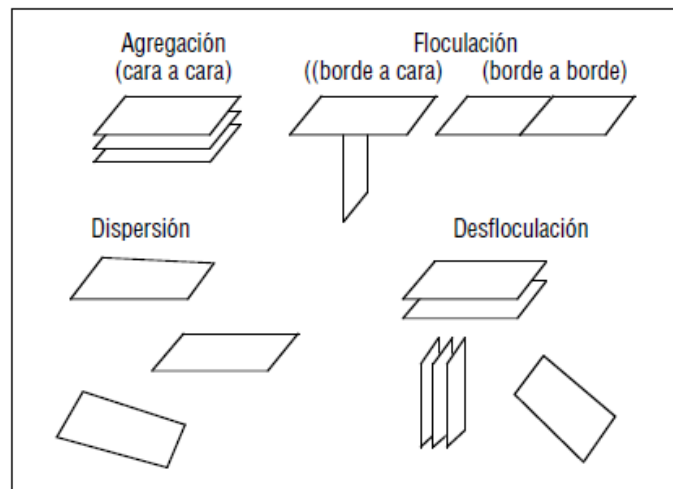
#### ❖ Floculación

La floculación hace referencia a la asociación entre borde a borde o borde a cara entre partículas, esto genera un aumento de la viscosidad, gelificación y filtrado.

#### ❖ Defloculación

Este estado hace referencia a la disociación de las partículas que se encuentran floculadas que trae consigo una reducción de la viscosidad del lodo. Esto básicamente es generado por la adición de químicos que neutralizan las cargas electroquímicas, lo cual elimina la atracción existente en las partículas de arcilla. Estos productos son conocidos como dispersantes o adelgazantes de lodo.

**FIGURA 1.** Asociación de las Arcillas



**FUENTE.** MI & SWACO, 2001. Drilling Fluids Engineering Manual. Houston, Texas.

### 2.2.5. Rendimiento de las Arcillas

La prueba de rendimiento para la arcillas se define como la cantidad de material seco requerida para aumentar la viscosidad del lodo a 15 cP. Se toma la medida de 15 cP ya

que es una medida crítica, esto es porque grandes adiciones de arcilla aumentan poco la viscosidad hasta llegar a 15 cP, después de esta medida poca adición de arcilla provocará un aumento considerable de la viscosidad.

En el Anexo A se mostrara un resumen de los agentes viscosificantes que se utilizan en la industria.

## **2.3. CONTROL DE FILTRADO**

Una de las principales funciones de los lodos de perforación es proporcionar un revoque liso, plástico y poco permeable con el objetivo de sellar las formaciones permeables y controlar las pérdidas de filtrado, además de minimizar la magnitud de ciertos problemas que se pueden presentar en una perforación, como el aumento del torque y arrastre, la existencia de tuberías pegadas, perdidas de circulación, baja calidad de los registros y daños a la formación.

La filtración hace referencia a la acción mediante la cual la presión diferencial permite la entrada de la fase continua a las formaciones permeables, durante esta etapa las partículas sólidas son filtradas formando un revoque con las características necesarias para proporcionar un control de filtración adecuado.

Los fluidos de perforación deben ser diseñados para sellar las formaciones permeables lo más pronto posible, con el objetivo de evitar que el lodo entre a estas formaciones modificando las propiedades del crudo presente en las cercanías de la cara del pozo.

### **2.3.1. Teoría de la Filtración**

Para que se produzca filtración se deben cumplir tres condiciones.

- Presencia de un fluido o un fluido líquido-lechada de sólidos.
- Presencia de un medio permeable.

- La presión del fluido debe ser mayor a la presión del medio permeable.

Durante la perforación se hace circular un fluido a través del pozo, el cual mantendrá una presión superior a la presión de poro de la formación, con el propósito de generar un revoque que se acumule sobre las formaciones permeables, mientras que la fase continúa del lodo fluye a través de la torta y dentro de las formaciones permeables.

### **2.3.2. Tipos de Filtración**

#### **❖ Filtración Estática**

Como su nombre lo indica esta se da bajo cuando el fluido de perforación no está circulando, también se habla de filtración estática durante conexiones y viajes. La medición de filtración y revoque tanto de baja temperatura y presión, como de alta temperatura y presión se basan en las normas del instituto americano del petróleo (API).

#### **❖ Filtración Dinámica**

Este tipo de filtración se diferencia a la anterior, por el hecho de que el fluido se encuentra circulando, por lo que representa condiciones reales de perforación. En muchas ocasiones la tasa de filtración es considerablemente más alta a la tasa de filtración producida por una prueba estática.

### **2.3.3. Factores que afectan la Filtración**

Existen diferentes factores que hay que tener en cuenta para controlar el filtrado en una operación de perforación y terminación de pozos, lo cual es muy importante en lo que se refiere a la calidad del revoque que se pueda generar.

### ❖ **Tiempo**

El tiempo es un factor muy importante que afecta directamente el volumen de filtrado después de terminada una prueba de filtrado.

### ❖ **Diferencias de Presiones - Compresibilidad del Revoque**

Teniendo en cuenta que la mayoría de los revoques de los lodos son comprimibles, un aumento de la presión diferencial disminuye la permeabilidad de la torta. La compresibilidad y la permeabilidad de la torta son características importantes en lo que se refiere al control de filtrado y el espesor del revoque.

### ❖ **Permeabilidad del Revoque**

Este es quizás el factor más importante para determinar la calidad de la torta y en control de filtrado en una formación. Básicamente depende de la forma, tamaño y deformación de las partículas en el fluido de perforación.

### ❖ **Viscosidad del Fluido de Perforación**

La viscosidad afecta directamente la filtración de fluido a la formación. Un aumento o disminución de la viscosidad puede producir un aumento o disminución de las pérdidas de filtrado mientras se perfora un pozo determinado.

### ❖ **Composición de orientación de los Sólidos**

La forma, tamaño y concentración de sólidos en el fluido de perforación, y la manera como estas reaccionan al medio son factores muy importantes que afectaran directamente la tasa de filtración en la formación.

### **3. GENERALIDADES SOBRE LA PULPA DE CAFÉ**

El objetivo de este capítulo es el de dar una visión general de ciertos temas concernientes al café, las diferentes especies existentes, su composición y su producción. De la misma manera, se expone una descripción completa de la composición química de la pulpa de café, junto con algunos de los usos que actualmente se le ha dado a dicho producto.

#### **3.1. GENERALIDADES DEL CAFÉ**

El café es una semilla procedente de plantas tropicales conocidas como cafetos. El cafeto hace parte de la familia de las Rubiáceas (Rubiaceae) y del género Coffea.

Por lo general, las raíces del cafeto suelen penetrar hasta 50 cm de profundidad. Sus hojas pueden varían tanto en tamaño como en textura, siendo comúnmente elípticas y algo onduladas. Sus frutos se asemejan a cerezas, estas suelen ser de colores que varían desde verde claro a rojo oscuro o amarillo según la variedad. En su interior, el fruto contiene dos semillas, las cuales son tostadas y molidas para su uso industrial como base para la preparación de infusiones.

Un árbol de cafeto requiere alrededor de 3 años para dar su primea floración y cerca de 5 años para su primera cosecha. Por lo general, el cafeto florece dos veces o más por año, siendo la humedad del ambiente un factor influyente en este aspecto. El fruto o cereza madura en el curso de las 32 semanas siguientes a la aparición de la flor en el cafeto.

##### **3.1.1. Variedades de las Especies de Café**

Las rubiáceas como familia botánica contienen alrededor de 500 géneros y más de 6000 especies. Hacia los años de 1737 el científico naturista y botánico Carlos Linneo catalogó

al cafeto dentro del género *Coffea*, del cual actualmente hacen parte cerca de 30 especies. Algunas de las especies más comunes de este género son la *Coffea Arábica* y la *Coffea Canephora*, las cuales son las especies más cultivadas a nivel industrial.

❖ ***Coffea Canephora (Café Robusto)***

Esta especie presenta una amplia distribución geográfica y suele encontrarse de manera silvestre en África, en países como el Congo, Sudán y el noroeste de Tanzania y Angola. Cerca del 35% del café que se comercializa en el mundo pertenece a esta especie. Ciertas condiciones ambientales favorecieron el desarrollo de cierta resistencia a numerosas plagas y enfermedades, entre ellas a la Roya. Se cultiva generalmente en altitudes por debajo de 1000 metros. Es de polinización cruzada, por lo que para su cultivo se deben sembrar varios genotipos compatibles. No se cultiva en Colombia. Su contenido de cafeína es mayor al 2%.

Es un arbusto liso, de hojas anchas, corrugadas y largas de hasta 30 cm de largo y hasta 15 cm de ancho. Sus frutos son ampliamente elipsoidales de hasta de 16 mm.

❖ ***Coffea Arabica (Café Arábigo)***

Actualmente es la principal especie del género, constituyendo más del 60% del café que se comercializa en el mercado internacional. Esta especie se auto poliniza o auto fertiliza. Su centro de origen se encuentra en el Sudeste de Etiopía, el Sur del Sudán y el Norte de Kenya. Se considera un café de altura, que se cultiva bien en zonas con temperaturas de 18 a 23 °C. En Colombia las plantaciones están concentradas en altitudes que oscilan entre los 1200 y los 1800 metros sobre el nivel del mar. Su contenido de cafeína está entre 1,0 y 1,4% en base seca, y es menos amargo que otras especies. Es el café de mejor calidad como bebida.

Sus cultivos generalmente se dan entre los 1350 y 2000 metros sobre el nivel del mar. Tiene características morfológicas de arbusto, sus hojas son elípticas y oblongas. Sus frutos por lo general son de forma elipsoidal.

**FIGURA 2.** Ilustración de un cafeto de la especie *Coffea Arabica*. (Fotografía de Fernando Rebelo, 2005)



**FUENTE.** Extraído del Proyecto: ESTUDIO DEL CAFÉ ESPECIAL ECUATORIANO. Fundación Universitaria Iberoamericana, Noviembre de 2010.

En el siguiente cuadro comparativo mostrado en la Tabla 2, se resumen algunas de las características principales de las dos especies descritas con anterioridad.

**TABLA 2.** Cuadro Comparativo de las especies de cafeto *Coffea Arábica* y *Coffea Canephora*.

CARACTERÍSTICAS DE LA ESPECIE	ESPECIE	
	<i>Coffea Arábica</i>	<i>Coffea Canephora</i>
Altura del Árbol	6 - 20 [ft]	16 - 30 [ft]
Altitud óptima para su cultivo	1350 - 2000 [m.s.n.m]	< 1000 [m.s.n.m]
Temperatura óptima para su cultivo	15 - 34 °C	24 - 30 °C
Tamaño de la hoja	5 - 20 [cm]	16 [mm]
Contenido de cafeína	1% - 1,4%	> 2%
Tolerancia a plagas	Susceptible	Tolerante

**FUENTE.** Autores.

### 3.1.2. Composición Química del Café

Antes de entrar en detalle en la composición del café es necesario mencionar de manera general el tratamiento que se realiza a la cereza de café luego de ser recolectada.

Después de ser cosechados, los granos de café son llevados a los beneficios, en donde inicialmente son sumergidos en un tanque de agua, con el objetivo de remover los granos dañados, los frutos verdes u otros materiales extraños, aprovechando que dichos elementos en estas condiciones flotan.

Luego de pasar por los tanques, el café es sometido a una serie de operaciones, en donde es despulpado y secado hasta obtener un grano tipo pergamino seco.

Posteriormente es pasado por una operación de trilla cuyo producto resultante recibe el nombre de café verde. Dicho producto en estas condiciones puede ser transportado para su comercialización, o por otro lado, puede ser procesado (tostado y molido) para su venta como base para la elaboración de bebidas.

Para este proyecto se prefirió utilizar la composición química del café verde como punto de partida para tener una idea de la composición de sus componentes, que para el fin de este proyecto es el conocimiento de las propiedades de la pulpa de café.

A continuación se presenta la Tabla 3, la cual especifica la composición química del café verde según Payen.

**TABLA 3.** Composición Química del Café Verde según Payen.

<b>COMPONENTE</b>	<b>CONTENIDO EN GRAMOS POR CADA 100 GRAMOS DE PRODUCTO</b>
Celulosa	34
Agua	12
Materias grasas	10 a 13
Glucosa, dextrina y ácido vegetal indeterminado	15,5
Materias nitrogenadas neutras (legumina y caseína)	10
Cafeína libre cristalizabile	0,8

**TABLA 3. (Continuación)**

<b>COMPONENTE</b>	<b>CONTENIDO EN GRAMOS POR CADA 100 GRAMOS DE PRODUCTO</b>
Materias nitrogenadas	3
Aceite volátil concreto insoluble en agua	0,001
Esencia aromática suave soluble en agua	0,002
Substancias minerales (potasio, ácidos fosfóricos, sulfúrico, silícico)	6,697

**FUENTE.** Extraído del Proyecto: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA DEL USO DEL MUCILAGO DE CAFÉ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO EN LODOS BASE AGUA. Universidad Industrial de Santander, Julio de 1997.

### **3.1.3. Cultivos de Café en Colombia**

En la actualidad, el café es considerado uno de los productos vegetales más importantes en el comercio internacional, produciéndose en distintas regiones del mundo. Para el 2011 la producción mundial de café alcanzó los 128,546 millones de sacos (cada saco contiene 60 kg de café), de los cuales el 63% corresponde a Café Arábica y el resto (37%) al tipo Robusta<sup>1</sup>.

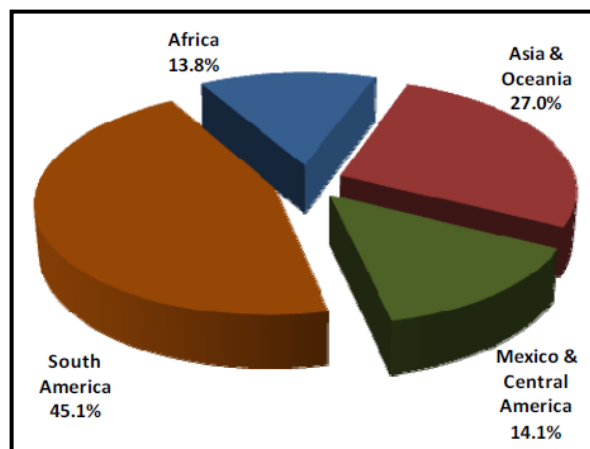
Con respecto a la producción del país, Colombia está dentro de los 8 países productores a nivel mundial, con una producción de cerca de 8,5 millones de sacos registrados en el año de 2011<sup>2</sup>.

A continuación se presenta la Figura 3, en donde se puede observar el aporte por continente en la producción de café mundial.

<sup>1</sup> Datos extraídos de: "INFORME MENSUAL SOBRE EL MERCADO DEL CAFÉ" del mes de febrero de 2012 elaborado por la ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE CAFÉ (OIC), p. 5.

<sup>2</sup> Ibid., p. 5.

**FIGURA 3.** Participación en la Producción Total de Café por continente en el 2011.



**FUENTE.** ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE CAFÉ. Informe Mensual sobre el Mercado del Café. Febrero de 2012.

En Colombia existen cultivos de café de alta calidad sembrados a una altitud que llega a ser, en ocasiones, cercana a los 2,000 metros sobre el nivel del mar. El café cultivado es 100% de la especie Arábica, el cual es un café de alta montaña. En cuanto a la temperatura media a la cual se cultiva el café, en Colombia por la altitud asociada con montañas, se permite que las temperaturas varíen en un rango de 18° a 24 °C. Bajo estas temperaturas se hace viable el cultivo del café, ya que se evita la ocurrencia de heladas.

La zona cafetera colombiana abarca cerca de 3,3 millones de hectáreas ubicadas en los rangos de altura ideal y distribuida prácticamente en la totalidad de las regiones montañosas del país.

El café en Colombia se cultiva en las diferentes vertientes de las tres ramas de la Cordillera de los Andes y en la Sierra Nevada de Santa Marta. Sin embargo en la actualidad, el cultivo y la recolección del café sólo se extienden en una zona que oscila entre las 850.000 y 900.000 hectáreas. Las demás regiones en donde se podría producir café se están utilizando para el mantenimiento de bosques naturales y el desarrollo de otras actividades agrícolas.

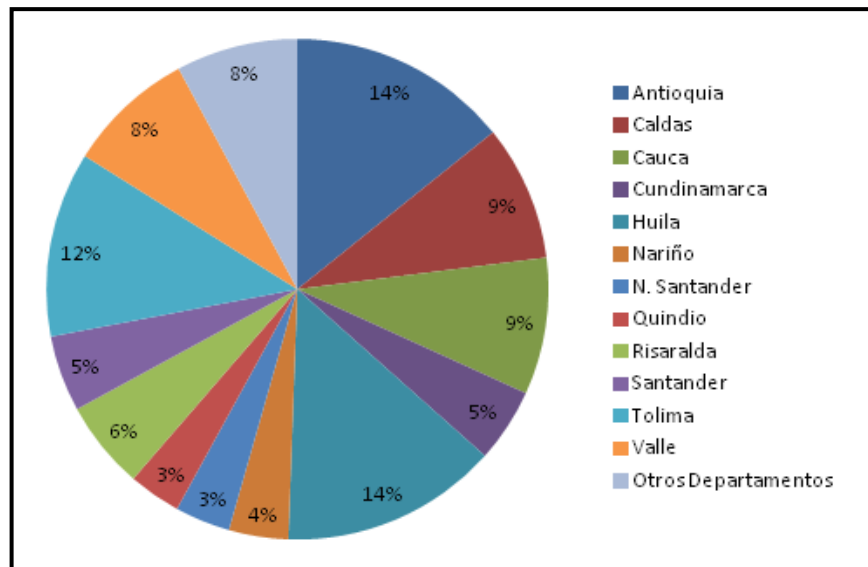
En la Tabla 4 y Figura 4, se muestra la distribución del Área Sembrada de café por departamentos en Colombia hasta el año 2011.

**TABLA 4.** Área Cultivada de Café en Colombia en Miles de Hectáreas por Departamento A Diciembre de 2011.

DEPARTAMENTO	2011	Porcentaje (%)	DEPARTAMENTO	2011	Porcentaje (%)
Antioquia	131,17	14,24	Quindío	31,07	3,37
Caldas	80,52	8,74	Risaralda	52,56	5,71
Cauca	81,17	8,81	Santander	45,23	4,91
Cundinamarca	43,85	4,76	Tolima	109,86	11,93
Huila	129,15	14,02	Valle	75,80	8,23
Nariño	35,37	3,84	Otros Departamentos	72,40	7,86
N. Santander	32,90	3,57	<b>NACIONAL</b>	<b>921,05</b>	<b>100</b>

**FUENTE.** Extraído y Modificado de: PRODUCTORES Y CULTIVOS DE CAFÉ EN COLOMBIA  
Página Web. [www.federaciondecafeteros.org](http://www.federaciondecafeteros.org)

**FIGURA 4.** Esquema del Área Cultivada de Café en Colombia por Departamentos para el año 2011.



**FUENTE.** Autores.

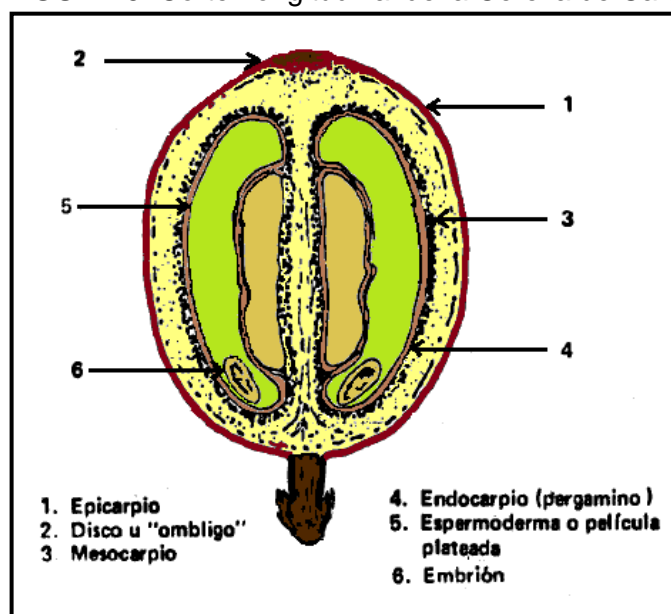
### 3.1.4. Componentes del fruto del Café

El fruto de café está formado por el epicarpio o piel, el mesocarpio o pulpa, el endocarpio o pergamino y la semilla. En el interior de cada cereza existen dos semillas separadas por una capa y rodeadas por una pulpa de tono amarillo. Una fina película plateada rodea al endospermo, el cual está cubierto a su vez por una membrana fina de color amarillo conocida como pergamino, sobre el que se encuentra una sustancia gelatinosa y azucarada llamada mucílago.

La semilla está formada por el endospermo (de color verdoso o amarillento) y el embrión (de tono blanquecino). Las células que componen el endospermo contienen sustancias como almidón, aceites esenciales y alcaloides (cafeína).

En la Figura 5 se muestra un corte longitudinal de un fruto de café, en donde se presentan algunas de las fracciones anatómicas del fruto.

**FIGURA 5.** Corte Longitudinal de la Cereza de Café.



**FUENTE.** Extraído y modificado del libro Pulpa de Café: Composición, Tecnología y Utilización. J. E. BRAHAM. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

### ❖ ***Pulpa de Café***

En el ítem 3,2 titulado Generalidades de la Pulpa de Café, del presente capítulo se presenta una descripción detallada acerca de este componente.

### ❖ ***Cascarilla o Pergamino***

El pergamino del café es la estructura que envuelve el grano inmediatamente después de la capa mucilaginosa, y representa alrededor de 12% del grano de café en base seca. Se caracteriza químicamente por su alto contenido de fibra cruda; además de tener un contenido de lignina que puede alcanzar el 18%, junto con un nivel de cenizas insolubles que alcanza el 5%.

### ❖ ***Mucílago***

El mucílago constituye el mesocarpio del grano del café, está localizado entre la pulpa y la cáscara de éste. Representa alrededor del 20% del fruto en base húmeda y el 5% del peso seco. El mucílago está conformado por una capa de aproximadamente 0,5 a 2 mm de espesor que se encuentra fuertemente adherida a la cáscara del grano del café. Es un sistema coloidal líquido, liofílico, por lo que es considerado un hidrogel. El mucílago es una estructura rica en azúcares y pectinas, contiene agua y ácidos orgánicos. No contiene taninos ni cafeína.

## **3.2. DESCRIPCIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ**

La pulpa de café contiene cerca de 88% de agua y presenta altos niveles de taninos. Desde hace poco, se ha empezado a usar en forma cruda para producir una gran variedad de productos, entre éstos, la producción de melaza y gas biológico. Por tal motivo, se ha visto que los procesos que se le suelen realizar a la pulpa se encaminan a hacer de éste un producto apto para el consumo animal, en la mayoría de los casos en forma de ensilaje.

### 3.2.1. Composición Química de la Pulpa de Café

La pulpa de café es el primer producto que se obtiene como resultado del procesamiento que se le realiza al grano de café, el cual representa en base seca, alrededor del 29% del peso total del fruto.

En la Tabla 5, se muestran algunos valores representativos de la composición química proximal de la pulpa de café, los cuales corresponden a muestras de pulpa fresca, pulpa deshidratada, y de pulpa almacenada por dos o tres días después de haber sido obtenida.

**TABLA 5.** Composición Química de la Pulpa de Café.

<b>PULPA DE CAFÉ</b>	<b>FRESCA</b>	<b>DESHIDRATADA</b>	<b>FERMENTADA NATURALMENTE Y DESHIDRATADA</b>
% Humedad	76,7	12,6	7,9
% Materia seca	23,3	87,4	92,1
% Extracto etéreo	0,48	2,5	2,6
% Fibra cruda	3,4	21,0	20,8
% Proteína cruda	2,1	11,2	10,7
% Cenizas	1,5	8,3	8,8
% Extracto libre de Nitrógeno	15,8	44,4	49,2

**FUENTE.** Extraído del Libro Pulpa de Café: Composición, Tecnología y Utilización. J. E. BRAHAM.  
Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

De la anterior tabla, se puede observar que el contenido de humedad de la pulpa es muy alto. El nivel de agua de este material representa una de las mayores desventajas para su uso, analizándolo desde el punto de vista de transporte, manejo, procesamiento y uso

directo en la alimentación animal. Sin embargo el material ya deshidratado contiene cerca del 10% de proteína cruda, 21% de fibra cruda y 8% de cenizas.

#### ❖ **Compuestos Orgánicos de Interés**

Otros compuestos orgánicos que están presentes en la pulpa de café se muestran en la Tabla 6. Algunas de estas sustancias son de gran interés para este trabajo, ya que se ha visto que productos con contenido de taninos y de pectinas se han venido utilizando en la industria petrolera como materiales dispersantes y controladores de filtrado en los lodos de perforación.

**TABLA 6.** Contenido de otros compuestos en la Pulpa de Café.

<b>COMPUESTOS</b>	<b>% BASE SECA</b>
Taninos	1,80 - 8,56
Sustancias Pécicas Totales	6,5
Azúcares Reductores	12,4
Azúcares no Reductores	2,0
Cafeína	1,3
Acido Clorogénico	2,6
Acido Cafeico Total	1,6

**FUENTE.** Extraído del Libro Pulpa de Café: Composición, Tecnología y Utilización. J. E. BRAHAM. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

#### ❖ **Minerales**

En este espacio se resume el contenido promedio de minerales en la fracción de cenizas de la pulpa de café.

En la Tabla 7, se muestra el contenido de cenizas y minerales de la pulpa de café.

**TABLA 7.** Contenido de Cenizas y de Minerales de la Pulpa de Café.

<b>COMPUESTO</b>	<b>CONTENIDO (%)</b>
Ceniza [gramos]	8,3
Ca [mg]	554
P [mg]	116
Fe [mg]	15
Na [mg]	100
K [mg]	1765
Zn [ppm]	4
Cu [ppm]	5
Mn [ppm]	6,25
B [ppm]	26

**FUENTE.** Extraído del Libro Pulpa de Café: Composición, Tecnología y Utilización. J. E. BRAHAM. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

#### ❖ **Carbohidratos**

A continuación se muestra los resultados del fraccionamiento de la pared celular y de los polisacáridos de la pulpa de café. Como se puede observar, la pulpa de café tiene una proporción considerable de ligninos, razón por la cual se espera que su comportamiento como dispersante sea eficiente, ya que en estudios anteriores se ha visto que éste componente ayuda a reducir la floculación en los fluidos de perforación base agua-arcilla.

En la Tabla 8, se presenta los constituyentes de paredes celulares y polisacáridos estructurales en la pulpa de café

**TABLA 8.** Constituyentes de Paredes Celulares y Polisacáridos Estructurales en la Pulpa de Café.

<b>COMPUESTO</b>	<b>CONTENIDO (G %)</b>
Contenido Celular	63,2
Fibra detergente neutra	36,8
Fibra ácida detergente	34,5
Hemicelulosa	2,3
Celulosa	17,7
Lignina	17,5
Proteína Lignificada	3,0
Proteína Cruda	10,1
Cenizas Insolubles	0,4

**FUENTE.** Extraído del Libro Pulpa de Café: Composición, Tecnología y Utilización. J. E. BRAHAM. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

### **3.2.2. Posibles Usos de la Pulpa de Café**

La idea de encontrarle un uso a la pulpa de café se desarrolló al observar que este producto presentaba ciertas propiedades que se podían aprovechar sin la necesidad de realizarle un tratamiento costoso. En sus inicios, se le dio un uso como un producto apto para el consumo animal, ya sea ensilado o secado. Posteriormente se pensó en extraer de la pulpa la proteína, así como las sustancias pécticas junto con algunas de sus enzimas. Igualmente, se ha intentado aprovechar la fermentación natural del producto para desarrollar un buen fertilizante orgánico, el cual trae consigo una liberación de gas biológico que puede aprovecharse como una fuente de energía. A continuación se dará una breve descripción de algunos sus usos.

### ❖ **Extracción de la Cafeína**

Este proceso se ha venido desarrollando debido a que se ha visto que la cafeína es responsable de algunos de los efectos físicos adversos observados en nutrición animal. Por otra parte, el precio del mercado de la cafeína es relativamente alto, presentando además una extensa variedad de usos. Con el propósito de retirarle este compuesto a la pulpa, se han ensayado varios métodos de extracción tanto para la pulpa fresca como en base seca. Los datos revelan que estos métodos extraen casi la totalidad de la cafeína, presentando un 29% de extracción de sólidos totales.

### ❖ **Fertilizante Orgánico**

Al analizar los problemas ambientales que se generaban por la descomposición de la pulpa de café al acumularse como medio de disposición al tratarla como un residuo; junto con la necesidad del mantenimiento de los suelos tropicales, los cuales se agotan rápidamente por la actividad bacteriológica que se mantiene durante todo el año por los cultivos de café, se ha visto que un buen uso para ésta es utilizarla como fertilizante orgánico en las plantaciones de café. Para esto, se están usando diferentes métodos, siendo el más común el extraer de la pulpa fresca de los pulperos y llevarla directamente a los cafetos.

### ❖ **Otros Usos**

Otro de los usos que se le ha dado a la pulpa de café consiste en la producción de melaza usada para el consumo animal. Para tal fin se ha tratado la pulpa con un proceso de hidrólisis durante un tiempo no mayor a 6 horas a condiciones de 121°C y 15 [psi].

Debido a que aún no se han desarrollado estudios en donde se utilice la pulpa de café en la industria petrolera, y observando que este producto posee algunos compuestos que pueden aprovecharse para el control de las propiedades de los lodos de perforación en base agua, se ha buscado por medio de este trabajo intentar dar los primeros pasos para darle a este producto un uso adicional que, llegado el caso, podría ser de gran interés.

## **4. GENERALIDADES SOBRE EL PROCESO DE LIOFILIZACIÓN**

Como se mencionó en el capítulo anterior, la pulpa de café tiene un alto contenido de humedad (cerca del 85% en volumen). Debido a esto, es necesario realizar una operación de secado para evitar los altos costos que involucran el transporte y tratamiento que debe realizársele a la pulpa para sus respectivos usos. Por tal motivo se debe buscar un proceso que resulte en un costo del subproducto (en su forma seca) que pueda competir con los costos de los productos que este busque sustituir.

### **4.1. MÉTODOS USADOS PARA EL SECADO DE LA PULPA DE CAFÉ**

Existen diversas tecnologías de secado aplicables a la pulpa de café, algunas de estas utilizan ciertos aditivos o procesos que de una u otra forma generan cambios que pueden traer como resultado un producto de características de secado completamente diferentes a las presentadas por la materia prima original.

Para este trabajo se describirán brevemente dos de estos procesos de deshidratación, y se hará un énfasis especial en el proceso de liofilización, el cual fue el método que se empleó para el secado previo de la pulpa para el estudio realizado.

#### **4.1.1. Secado al Sol**

Este proceso se realiza en lugares donde exista una disponibilidad de espacio y donde las condiciones climáticas lo permitan. Es por esto que la mayoría de las veces se tiende a utilizar los patios de secado del grano de café.

Para un buen funcionamiento de este método se recomienda colocar una capa de 5 centímetros de pulpa por metro cuadrado de superficie, dándoles varias vueltas de manera constante durante el día. Algunos ensayos han probado que para obtener un

producto con un porcentaje de humedad entre el 10-14% se requieren alrededor de 3 días en condiciones climáticas favorables, aunque este valor suele subir al orden de los 8 días debido a que estos patios en condiciones favorables son preferiblemente usados para el secado del grano de café, por lo que se dispone de una menor área superficial.

Aunque este método es el más común y más viable económicamente hablando, aunque es necesario recordar que es dependiente de las fluctuaciones de las condiciones climáticas del lugar donde se pretende realizar la operación de secado. Se ha visto que bajo condiciones climáticas malas, el tiempo de secado puede superar los 15 días, siendo esto un factor que puede incrementar las posibilidades de que la pulpa entre en un deterioro microbiano, lo que consecuentemente afectaría negativamente la calidad del producto final y posiblemente su uso posterior.

#### **4.1.2. Secador de Túnel a Contracorriente**

En este método la pulpa es introducida a un equipo que por medio de una ráfaga de aire caliente le retira cierto porcentaje de humedad de manera mecánica. La cantidad de agua retirada dependerá de la temperatura a la cual se está inyectando el aire y del tiempo de exposición de la pulpa a éste, para esto deberá controlarse dichas condiciones para evitar alterarle las propiedades al producto.

Ciertas de las limitaciones que presenta este método es que al utilizar un equipo especial para su operación, se requiere tanto de energía eléctrica para su funcionamiento, como del mantenimiento del equipo. A esto hay que añadir el uso de combustibles para el calentamiento del aire inyectado, lo cual trae consigo costos operacionales adicionales. Con el fin de calentar el aire, inicialmente se utilizó diesel como combustible, pero luego de ciertos ensayos se observó que si se manejaba una mezcla de 50% diesel y 50 % de cascarilla de café, estos costos se reducían casi a la mitad.

A continuación se presenta la Tabla 9, en donde se muestran algunos datos de estos secadores y de ciertas de las condiciones operacionales manejadas. Estos datos se obtuvieron considerando la pulpa húmeda con un 85% de humedad y la pulpa seca resultante con un 10% de humedad.

**TABLA 9.** Datos Operacionales del Secador de Túnel a Contracorriente

<b>COMPONENTE</b>	<b>VALOR</b>
Carga [kg/m <sup>2</sup> ]	7,3
Tiempo de Secado [min/carga]	185
Área Total [m <sup>2</sup> ]	613
Número de Túneles	2
Longitud [m]	13,1
Velocidad del Aire [m/min]	82,3
Temperatura del Aire [°C]	120

**FUENTE.** Extraído y modificado del libro Pulpa de Café: Composición, Tecnología y Utilización. J. E. BRAHAM. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá.

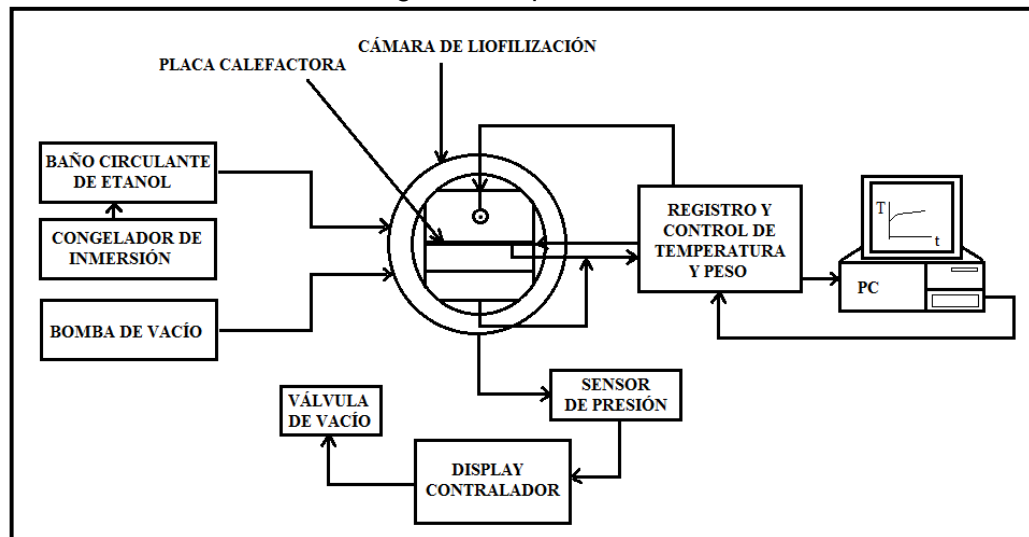
#### **4.2. PROCESO DE LIOFILIZACIÓN**

La liofilización es un proceso de secado mediante sublimación. A diferencia de los procesos de secado convencionales este método reduce las pérdidas de los compuestos responsables del sabor y el aroma de los alimentos, por lo que es apropiado para deshidratar productos al calor y ricos en sustancias volátiles. Este proceso consta fundamentalmente de dos etapas, en la primera se congela el producto y en el segundo el producto es secado por sublimación directa del hielo bajo presión reducida. Para una mejor comprensión, es necesario recordar que la sublimación consiste en la transformación de sólido a vapor de agua, sin antes haber pasado por el estado líquido.

Este método trabaja a bajas temperaturas evitando que el producto sufra de cualquier tipo de deterioro térmico, por lo que solo puede hacerse si la temperatura y la presión parcial de vapor de hielo son inferiores a las del punto triple, es decir, a condiciones cercanas a los 0°C y 0,08 psi. La manera como se efectúa esta congelación incide en forma definitiva en el producto final. Una de las grandes ventajas de utilizar este método es que se puede lograr una calidad tan alta que el producto rehidratado es prácticamente indistinguible de la materia prima.

En la Figura 6, se presenta el diagrama esquemático del liofilizador y el liofilizador usado para el secado de la pulpa de café, respectivamente.

**FIGURA 6.** Diagrama Esquemático del Liofilizador



**FUENTE.** Extraído del Libro Congelación y Liofilización de Alimentos. ORREGO A. Carlos Eduardo. Universidad Nacional de Colombia. Diciembre de 2008.

#### 4.2.1. Etapas del Secado por Sublimación

Después de haber congelado la pulpa de café, y a medida que transcurre el proceso de secado, se genera un calentamiento que genera un frente de sublimación que separa la capa seca de la parte congelada de la muestra, y el cual avanza progresivamente hasta alcanzar el total de la muestra. En este proceso la transferencia de masa ocurre por la migración de los vapores a través de la capa seca de la muestra de la región de mayor presión hacia el de menor presión. A continuación se presenta una descripción de las etapas que intervienen en el proceso de liofilización.

##### ❖ ***Etapa Conductiva***

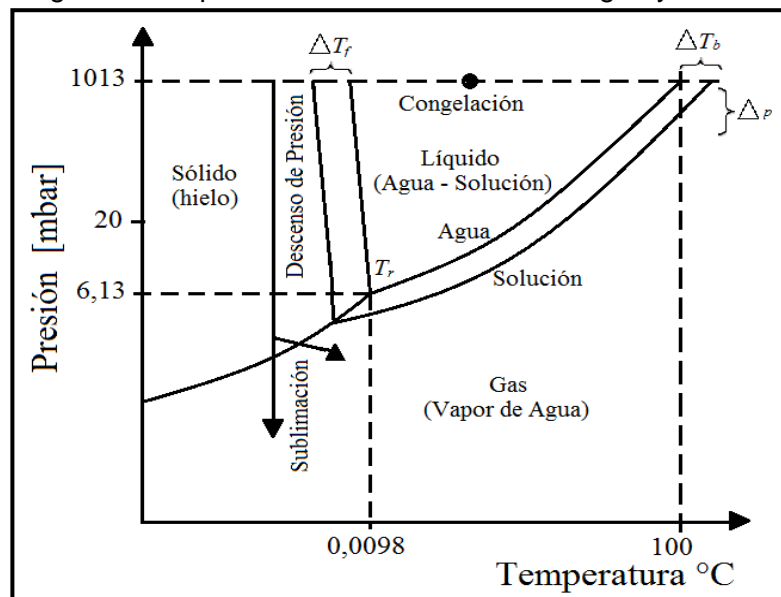
En esta fase la velocidad de sublimación aumenta rápidamente hasta llegar a un máximo. La duración de esta etapa es de alrededor del 10 a 15% del tiempo total del proceso.

❖ **Primera Etapa Difusiva**

Durante esta etapa ocurre la formación de una capa porosa de material seco que genera un descenso en la velocidad de sublimación, debido a que dicha capa opone una resistencia creciente al flujo de calor y al vapor a medida que procede el secado. Esta fase junto con la etapa anterior (conductiva) son conocidas como el secado primario. Durante estas dos etapas se remueve la mayor cantidad de agua, logrando retirar entre el 75 y el 90% de su contenido inicial.

En la Figura 7, se muestra los pasos que involucra un proceso de liofilización, los cuales se presentan en un diagrama de Temperatura - Concentración.

**FIGURA 7.** Diagrama Temperatura - Concentración del Agua y una Solución Acuosa.



$\Delta T_f$  = Descenso del punto de Fusión

$\Delta p$  = Descenso de la presión de Vapor

$\Delta T_b$  = Aumento del punto de Ebullición

$T_r$  = Punto Triple

Presión de Vapor del Hielo				
[°C]	0	-18	-40	-58
[mbar]	6,11	1,25	0,13	0,014

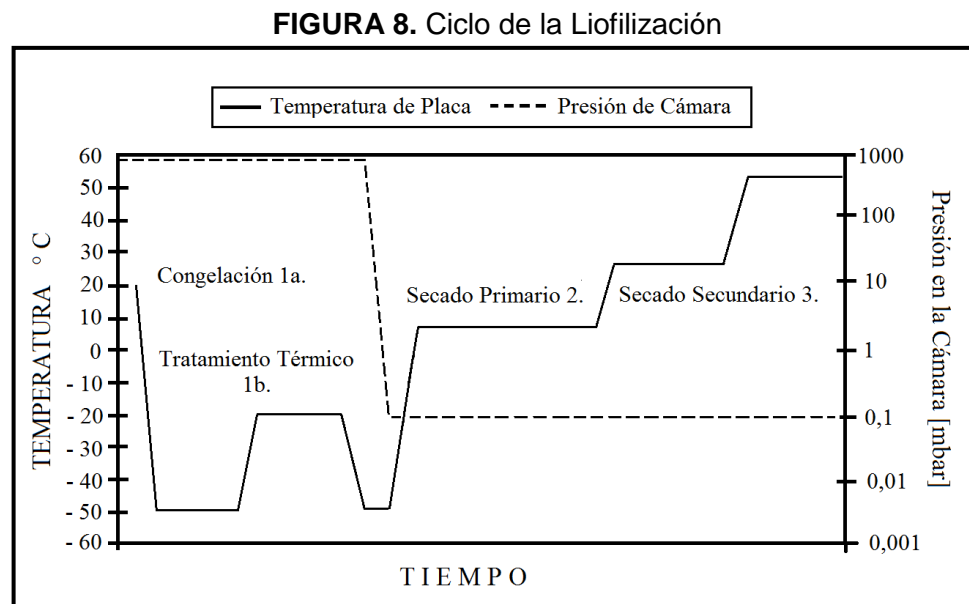
**FUENTE.** Extraído del Libro Congelación y Liofilización de Alimentos. ORREGO A. Carlos Eduardo. Universidad Nacional de Colombia. Diciembre de 2008.

### ❖ Segunda Etapa Difusiva

En esta fase la velocidad de sublimación sigue decreciendo hasta niveles que se aproximan a cero. Esto es debido a que el calor requerido para retirar el agua ligada es más alto que el calor de sublimación. Las porciones remanentes de agua no congelada, que no alcanzan a sublimarse en la primera etapa de secado, lo hacen por evaporación en esta etapa gracias a un aumento en la temperatura de la matriz del producto.

En la práctica se busca mantener el producto a una temperatura de  $-20$  a  $-70^{\circ}\text{C}$ , siempre bajo vacío, durante 2 a 6 horas. Es conveniente llevar la muestra a un contenido de agua de 2 a 8% aproximadamente; sin embargo, lograr controlar el contenido del agua durante la liofilización es bastante difícil. Es necesario que se controle la temperatura en el sistema, ya que si la temperatura del producto seco sobrepasa cierto nivel puede ocurrir la destrucción de diferentes estructuras del producto, la desnaturalización de proteínas, o la fusión y migración de lípidos.

En la Figura 8, se presenta el ciclo de la liofilización.



**FUENTE.** Extraído del Libro Congelación y Liofilización de Alimentos. ORREGO A. Carlos Eduardo. Universidad Nacional de Colombia. Diciembre de 2008.

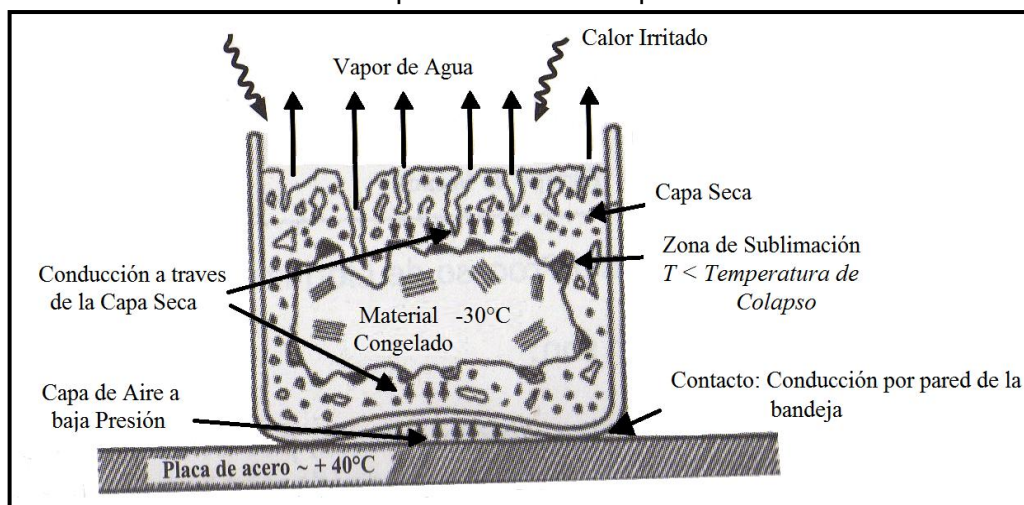
#### 4.2.2. Fenómenos involucrados en el Proceso de Liofilización

En el proceso de liofilización, como en todo proceso de secado, coexisten los fenómenos de transferencia de masa y de calor. En ellos, se combinan la acción de la temperatura y los gradientes de de presión como lo son las fuerzas impulsoras, las cuales deben ser suficientes para vencer las resistencias debidas al espesor de la muestra y de sus características físicas. La transferencia de calor se hace por medio de tres de los siguientes mecanismos:

- ❖ Calor por Radiación: Este mecanismo funciona por medio de placas calefactoras situadas a cierta distancia de la bandeja del producto.
- ❖ Calor por Conducción: Transmitido desde la placa inferior debido a la pequeña película de aire que se forma entre la bandeja que contiene el producto y la placa o la pared del recipiente que lo contiene.
- ❖ Calor por Convección: En él la transferencia se da desde la capa seca hacia la interface sólida

La Figura 9 representa un esquema de secado por sublimación, en él se muestran las resistencias a los distintos mecanismos de transferencia de calor.

**FIGURA 9.** Esquema del Secado por Sublimación



**FUENTE.** Extraído del Libro Congelación y Liofilización de Alimentos. ORREGO A. Carlos Eduardo. Universidad Nacional de Colombia. Diciembre de 2008.

## **5. PROCESOS PARA LA TRANSFORMACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ EN POLVO**

En este capítulo se presenta una descripción de los procesos manejados para transformar la pulpa de café en un producto adecuado para el estudio desarrollado en este trabajo.

Es importante recalcar que actualmente la pulpa de café es considerada un residuo de la industria cafetera, y que la disposición que generalmente se le da a este producto es como abono para el cultivo de los cafetos.

Para la obtención de este producto, el grano de café después de ser recolectado es pasado por una operación de remojo o procesamiento húmedo, en donde es sumergido en un tanque de agua y por medio de un tubo ubicado en el fondo es transportado hacia los pulperos, en donde se separa la pulpa de café del grano por medio de un mecanismo de fricción.

El presente estudio se trabajó con pulpa de café obtenida de La Mesa de los Santos, en el municipio de Los Santos en el Departamento de Santander. El café cosechado en este lugar es orgánico y cultivado bajo sombra. Sus cultivos tienen una extensión de más de 300 hectáreas, con cerca de 1.080.000 plantas de café. Al ser cultivos orgánicos, se garantiza el uso de productos biológicos que no perjudican el medio ambiente y preservan la naturaleza.

### **5.1. OBTENCIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ**

En los cultivos de café de la Mesa de los Santos se adquirieron 30 kilogramos de pulpa de café con el fin de utilizarla como materia prima para este estudio. La muestra de pulpa de café pertenecía al café recolectado de la cosecha del día, y solo tenía 3 horas de haber sido recolectada.

A la muestra de pulpa se le realizó un proceso de lavado con agua fresca, en donde se le retiraron los contaminantes que venían con ella y posteriormente fue llevada al *Centro Nacional de Investigaciones para la Agroindustrialización de Especies Vegetales Aromáticas Medicinales Tropicales* – CENIVAM, el cual se encuentra ubicado dentro de las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander en la ciudad de Bucaramanga. Allí, las muestras fueron almacenadas inmediatamente bajo refrigeración en el congelador a  $-23^{\circ}\text{C}$ , con el objetivo de evitar la fermentación del producto.

En la Figura 10 se pueden observar los recipientes y la muestra de pulpa de café fresca.

**FIGURA 10.** Recipientes utilizados para el Almacenamiento de la Pulpa de Café Fresca



**FUENTE.** Fotografías Tomada por los Autores.

## 5.2. DESHIDRATACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ

En el Laboratorio de Cromatografía perteneciente al CENIVAM, se desarrolló la operación de secado de la pulpa de café fresca, en donde por medio de un proceso de liofilización, se le redujo el contenido de humedad de un valor cercano a los 85% a un valor aproximado de 7,7 %. El equipo utilizado es un liofilizador de referencia Virtis Advantage, el cual procesa una carga máxima de 3kg de pulpa fresca en un periodo aproximado de 30 horas y mediante el cual se obtiene cerca de 700 gramos de producto liofilizado..

Para calcular el contenido de humedad final de la pulpa de café, se sometieron tres muestras a un proceso de desecación a 120 °C, con el fin de retirar el contenido de agua remanente. En la Tabla 10 se muestran los resultados obtenidos del proceso.

**TABLA 10.** Contenido de Humedad Final de las muestras de Pulpa de Café

Muestra	Masa inicial, gramos	Masa final, gramos	Diferencia, gramos	Humedad, %	Desviación estándar
1	5,02	4,63	0,39	7,77	0,19
2	4,98	4,61	0,37	7,43	
3	5,02	4,63	0,39	7,77	

**FUENTE.** Laboratorio de Cromatografía CENIVAM.

En las Figuras 11 y 12 presentan algunas imágenes tanto del equipo utilizado como del producto liofilizado respectivamente..

**FIGURA 11.** Equipo Liofilizador Virtis Advantage.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas en el Laboratorio de Cromatografía del Centro de Investigación del CENIVAM.

**FIGURA 12.** Muestra de Pulpa de Café Liofilizada



**FUENTE.** Fotografías Tomada por los Autores.

### **5.3. PULVERIZACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ LIOFILIZADA**

Luego de haber deshidratada la pulpa de café, se llevó a cabo el proceso de pulverización de la misma. Para esto, inicialmente se pasó la pulpa seca por un molino manual y posteriormente se tamizó el producto utilizando un tamizador mecánico, obteniendo el producto final, con el cual se realizaron las pruebas para el análisis del trabajo.

#### **❖ Proceso de Molienda**

Este proceso se realizó en dos etapas con el objetivo de minimizar tamaño de las partículas y de este modo reducir las pérdidas del producto.

En las Figuras 13 y 14 se presentan las imágenes correspondientes a la primera y la segunda etapa del proceso de molienda, junto con los productos resultantes de dichos procesos.

**FIGURA 13.** Pulpa de Café Liofilizada molida por Primera vez.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores.

**FIGURA 14.** Pulpa de Café Liofilizada molida por Segunda vez.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores.

#### ❖ **Proceso de Tamizado**

Para este proceso se utilizó un tamizador mecánico, con el que se separaron las partículas de diámetros mayores a 200  $\mu\text{m}$ . Dicho tamiz fue facilitado por el Centro de Caracterización de Materiales de Construcción de la Escuela de Ingeniería Civil en la Universidad Industrial de Santander.

En la Figura 15 se muestra el resultado obtenido al pasar la muestra de pulpa de café liofilizada y molida por el tamiz de 200  $\mu\text{m}$ .

**FIGURA 15.** Muestra de Pulpa de Café Liofilizada y tamizada a 200  $\mu\text{m}$ .



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores en el Centro de Caracterización de Materiales de Construcción de la Escuela de Ingeniería Civil.

Igualmente, en las Figuras 16 y 17 se presentan algunas imágenes correspondientes al tamizador mecánico empleado y al producto de residuo de la etapa de tamizado.

**FIGURA 16.** Tamizador Mecánico utilizado.



**FUENTE.** Fotografía Tomada por los Autores en el Centro de Caracterización de Materiales de Construcción de la Escuela de Ingeniería Civil.

**FIGURA 17.** Producto de Residuo después del Proceso de Tamizado

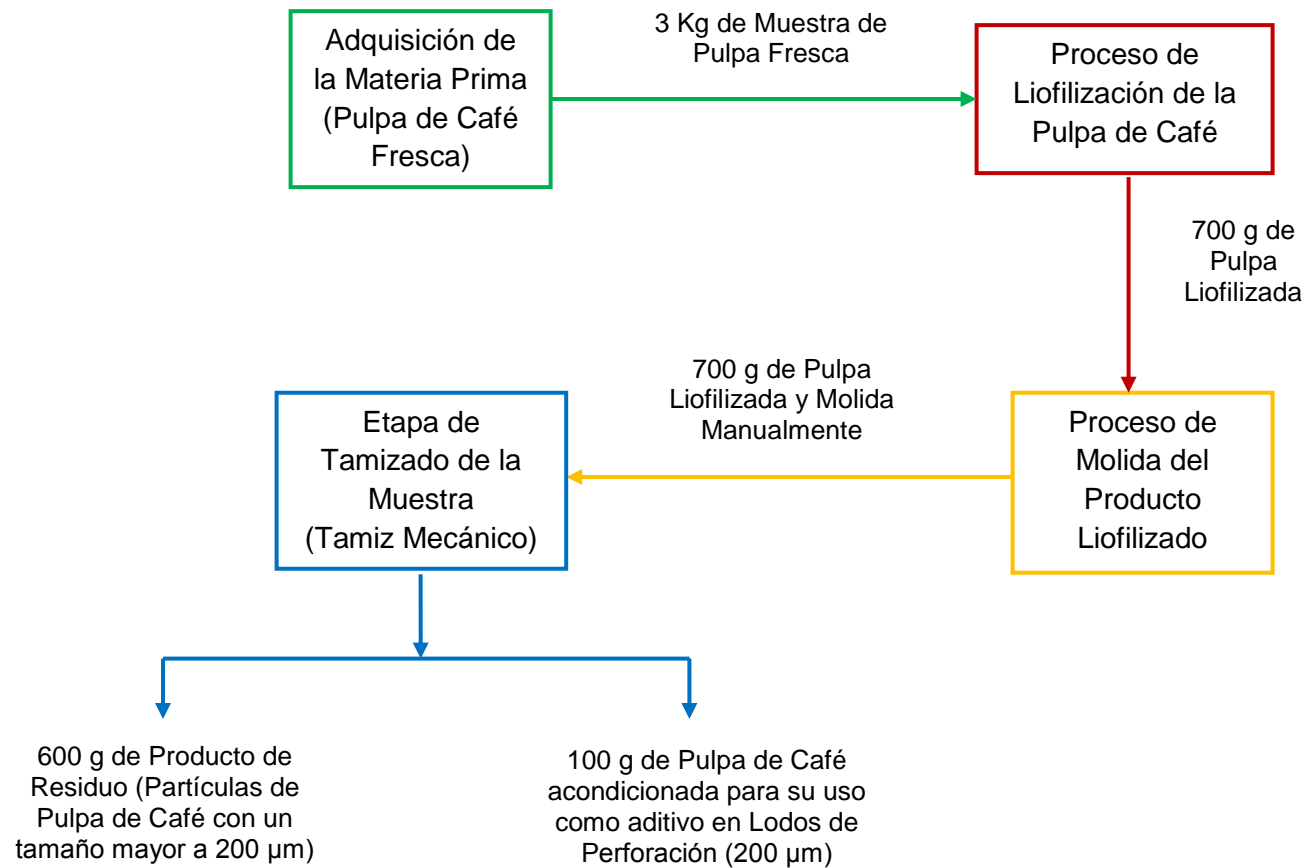


**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores.

Finalmente, tras haber realizado el acondicionamiento de la pulpa de café se obtuvo el producto final, que corresponde a la pulpa de café liofilizada y pulverizada a 200  $\mu\text{m}$ . Este producto final fue el aditivo con el cual se desarrolló el presente trabajo de investigación.

En la Figura 18 se muestra un diagrama en donde se resumen los procesos correspondientes al tratamiento de la pulpa de café y las cantidades resultantes en cada uno considerando como base 3 kg de pulpa fresca.

**FIGURA 18.** Diagrama de los Procesos implementados para la adecuación de la Pulpa de Café.



**FUENTE.** Autores.

## **6. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DEL USO DE PULPA DE CAFÉ COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN**

En el presente capítulo se presenta un análisis preliminar para determinar el comportamiento de la pulpa de café como un posible producto biodegradable utilizado en los lodos de perforación base agua para cumplir la función de agente dispersante, viscosificante ó como controlador de filtrado.

Para el diseño experimental que se planea seguir, inicialmente se va a desarrollar una identificación y definición de las variables a estudiar, y posteriormente se escogerá el diseño experimental más adecuado para el presente trabajo.

Finalmente, se exponen las tablas utilizadas para llevar el registro de la información obtenida de las pruebas realizadas. Igualmente se presenta el diseño de los lodos que se planean preparar, en donde se muestran los aditivos a utilizar y sus respectivas concentraciones.

### **6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL**

El matemático y estadístico inglés Sir Ronald Aylmer Fisher desarrolló en el año de 1935 las bases teóricas implementadas en el diseño de experimentos, las cuales a la fecha aún siguen siendo aplicadas.

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto en específico dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a dichas causas para medir el efecto que tienen en otra variable de interés y así poder establecer con un grado de confianza predefinido de la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

El propósito de un diseño experimental es proporcionar métodos que permitan obtener la mayor cantidad de información válida acerca de una investigación. Frecuentemente cuando se estudia un grupo de tratamientos, los resultados absolutos varían anormalmente mientras que los resultados relativos permanecen razonablemente estables.

El experimento comparativo comienza con un planteamiento exacto del problema a ser resuelto, es decir, se debe hacer una especificación detallada de los objetivos del experimento con una formulación precisa de la hipótesis a probar. Es insuficiente con establecer en forma simple la comparación de estos tratamientos. Esta especificación define la población a la cual las conclusiones serán aplicadas, también especifica las posibles variables de respuesta a ser medidas y establece las diferencias críticas a ser detectadas.<sup>3</sup>

### 6.1.1. Identificación y Definición de Variables

En la Tabla 11 se identifican las diferentes variables, tanto independientes como dependientes, que intervienen en la investigación del presente trabajo.

**TABLA 11.** Identificación y Definición de Variables.

VARIABLES	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Independientes	1	Concentración de Pulpa de Café
Dependientes	11	Densidad, pH, Va, Vp, Yp, Filtrado API, Torta, Mf, Pf, Contenido de cloruros, Dureza
Criterio de Comparación	6	Viscosificante (VC), dispersante (DC1), Controladores de Filtrado (CF1 y CF2), Contaminantes (Sal, Cemento)

**FUENTE.** Autores.

<sup>3</sup> Indagado del proyecto: "FACTIBILIDAD DEL USO DE ALMIDÓN DE YUCA COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN". Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2010. p. 83-85.

### 6.1.2. Selección del Diseño Experimental

Teniendo en cuenta que se debe comparar el producto evaluado (pulpa de café) con los algunos aditivos comerciales utilizados en lodos de perforación, es necesario seleccionar un modelo uni-factorial y aleatorio, el cual me permite observar el comportamiento de cada uno de los productos.

Es importante aclarar que debido a la disponibilidad limitada del laboratorio facilitado para realizar las pruebas y a la cantidad de pulpa de café previamente acondicionada que pudo obtenerse, fue necesario el desarrollo de una sola replica para las pruebas realizadas en el presente proyecto. Además, se calcula una desviación estándar correspondiente a una probabilidad o confiabilidad de los resultados de la prueba de un 85%.

El análisis de varianza a usar es el ANOVA, el cual es un modelo de clasificación simple (una vía) para diseños balanceados y modelo de Tipo Efectos Fijos.

$$y_{ij} = \mu + \tau_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde,

$Y_{ij}$  = Valor respuesta

$i$  = Número de tratamientos

$j$  = Número de replicas

$\mu$  = Media global de las poblaciones combinadas

$T_j$  = Efecto diferencial del tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental aleatorio

### 6.2. DISEÑO DE PRUEBAS

En el presente proyecto, para facilitar el análisis del comportamiento de la pulpa de café ya sea como agente viscosificante, dispersante o como controlador de filtrado en un lodo de perforación base agua, se decidió dividir las pruebas en cinco fases. Algunas de estas

fases involucran el diseño de un Lodo Base (cuyo diseño depende de la función a evaluar), al igual que de la elaboración de lodos con diferentes concentraciones tanto pulpa de café, como de algunos aditivos de comparación.

Dentro de estas fases se incluye el desarrollo de una prueba de compatibilidad, con el objetivo de conocer cómo reacciona la pupa de café al entrar en contacto con los diferentes aditivos utilizados durante el desarrollo del proyecto.

### **6.2.1. Fase Preliminar: Prueba de Compatibilidad**

Antes de realizar las pruebas es necesario tener un conocimiento del comportamiento de cada uno de los aditivos utilizados en los lodos elaborados, al ser mezclados con diferentes concentraciones de pulpa de café.

Para este caso, se mezclaron en 100 ml de agua fresca diferentes concentraciones de pulpa de café con los aditivos utilizados y se depositaron en recipientes de vidrio que fueron debidamente cerrados y rotulados, a los cuales se les hizo un seguimiento periódico con el fin de observar los posibles cambios de sus características (color, existencia de espuma o precipitado y viscosidad, entre otras).

Esta prueba fue desarrollada en las instalaciones del Laboratorio de Lodos y Cementos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en la Sede Principal de la Universidad Industrial de Santander. Las observaciones fueron tomadas en 6 ocasiones. Estas fueron:

- ❖ Inmediatamente después de depositarlas en los recipientes.
- ❖ A dos (2) horas de haberlos cerrado.
- ❖ Luego de un (1) día.
- ❖ Luego de dos (2) días.
- ❖ Luego de siete (7) días.
- ❖ Luego de diez (10) días.

En la Tabla 12 y la Tabla 13 se describen los formatos utilizados para registrar las observaciones de las muestras a evaluar.

**TABLA 12.** Concentraciones de las diferentes Muestras Analizadas

<b>ID</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE PULPA DE CAFÉ [PPB]</b>	<b>CONCENTRACIÓN DE OTROS ADITIVOS [PPB]</b>
1	Pulpa de Café en 100 ml de agua	20	0
2	Pulpa de Café + Bentonita	1	20
3	Pulpa de Café + Bentonita	3	20
4	Pulpa de Café + Bentonita	5	20
5	Pulpa de Café + Bentonita	7	20
6	Pulpa de Café + NaOH	2	0,5
7	Pulpa de Café + NaOH	3	0,5
8	Pulpa de Café + NaOH	5	0,5
9	Pulpa de Café + NaOH	7	0,5
10	Pulpa de Café + Cal	1	4
11	Pulpa de Café + Cal	3	4
12	Pulpa de Café + Cal	5	4
13	Pulpa de Café + Cal	7	4
14	Pulpa de Café + Extendedor	2	1,5
15	Pulpa de Café + Extendedor	3	1,5
16	Pulpa de Café + Extendedor	5	1,5
17	Pulpa de Café + Extendedor	7	1,5
18	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>	2	60
19	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>	3	60
20	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>	5	60
21	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>	7	60
22	Pulpa de Café + NaCl	2	30
23	Pulpa de Café + NaCl	3	30
24	Pulpa de Café + Cemento	2	5
25	Pulpa de Café + Cemento	3	5

**FUENTE.** Autores.

**TABLA 13.** Registro de las Observaciones de la Prueba de Compatibilidad

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
	D	M	A	pH	OBSERVACIONES
1	Pulpa de Café + un Aditivo Específico			[ppb y gr]	[ppb y gr]
				1	Color
				2	Presencia de Espuma o Burbujas
Toma Inicial				3	Presencia de Precipitado
Toma Inicial				4	Otras Observaciones
				1	Color
				2	Presencia de Espuma o Burbujas
Toma a 2 Horas				3	Presencia de Precipitado
Toma a 2 Horas				4	Otras Observaciones
				1	Color
				2	Presencia de Espuma o Burbujas
Toma a 1 Día				3	Presencia de Precipitado
Toma a 1 Día				4	Otras Observaciones
				1	Color
				2	Presencia de Espuma o Burbujas
Toma a 2 Días				3	Presencia de Precipitado
Toma a 2 Días				4	Otras Observaciones
				1	Color
				2	Presencia de Espuma o Burbujas
Toma a 7 Días				3	Presencia de Precipitado
Toma a 7 Días				4	Otras Observaciones
				1	Color
				2	Presencia de Espuma o Burbujas
Toma a 10 Días				3	Presencia de Precipitado
Toma a 10 Días				4	Otras Observaciones

**FUENTE.** Autores.

### **6.2.2. Primera Fase: Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante**

En esta fase se analiza el comportamiento de la pulpa de café como agente dispersante en un lodo base agua. Para esto, se evalúa el comportamiento de varios lodos elaborados con diferentes concentraciones de pulpa de café y se comparan sus propiedades con las de un dispersante comercial, el cual de ahora en adelante denominaremos DC1.

Algunas de las propiedades registradas fueron la densidad y alcalinidad de los lodos, haciendo un énfasis en el comportamiento de las propiedades reológicas de los mismos, con las cuales se puede observar que tan eficiente es este producto como dispersante.

Además de esto, se van a realizar pruebas a lodos envejecidos por 20 horas, con el objetivo de analizar los posibles cambios de las propiedades de las muestras en dicho intervalo de tiempo.

Las características del Dispersante Comercial utilizado (DC1) se presentan a continuación.

- ❖ Es un copolímero de lignosulfonato de calcio y ácido acrílico, utilizado como adelgazante en fluidos de perforación base cal, que además ayuda a proveer un control del volumen de filtrado.
- ❖ Se caracteriza por ser un producto ácido ( $3,0 < \text{pH} < 4,0$ ) con una gravedad específica de 0,84. Su tratamiento recomendado es de 2 a 8 (lb/Bbl).

El diseño del Lodo Base manejado contiene los siguientes aditivos:

- ❖ Bentonita en una concentración de 20,0 Libras por Barril.
- ❖ Cal en una concentración de 4,0 Libras por Barril.

En las Tablas 14 y 15 se presenta el formato para llevar el registro de los datos obtenidos en esta fase.

**TABLA 14.** Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante.

		LODO BASE 1					COMPOSICIÓN				
		(LDB1)					20,0 PPB de Viscosificante				
							4,0 PPB de CAL				
LODO	600	300	Vp	Yp	Va	Fuerza de Gel		Densidad del	Filtrado API	Espesor	Análisis de Torta
Componentes	Rpm	Rpm	[cp]		[cp]	10 seg	10 min	Lodo [lb/Gal]	@ 30 min [ml]		
Base (LDB1)											Textura
											Consistencia
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb Pulpa de Café											
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb DC1											
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb Pulpa de Café											
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb DC1											
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb Pulpa de Café											
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb DC1											

**TABLA 14.** (Continuación)

		LODO BASE 1						COMPOSICIÓN				
		(LDB1)						20,0 PPB de Viscosificante				
								4,0 PPB de CAL				
LODO	600	300	Vp	Yp	Va	Fuerza de Gel		Densidad del	Filtrado API	Espesor 1/32 [in]	Análisis de Torta	
Componentes	Rpm	Rpm	[cp]		[cp]	10 seg	10 min	Lodo [lb/Gal]	@ 30 min [ml]			
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb Pulpa de Café												
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb DC1												
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb Pulpa de Café												
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb DC1												
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb Pulpa de Café												
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb DC1												
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb Pulpa de Café												
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* DC1												

\* Lodos Envejecidos por 20 horas

**FUENTE.** Autores.

**TABLA 15.** Formato para el Registro de las Propiedades Químicas para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante.

LODO	LODO BASE 1			COMPOSICIÓN			
	(LDB1)			20,0 PPB de Viscosificante			
				4,0 PPB de CAL			
Componentes	pH	Pf	Mf	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NaCl	ppm Ca <sup>+</sup>	ppm CaCO <sub>3</sub>
Base (LDB1)							
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb DC1							
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb Pulpa de Café							
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb DC1							
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb Pulpa de Café							
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb DC1							
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb Pulpa de Café							
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb DC1							
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb Pulpa de Café							

**TABLA 15.** (Continuación)

LODO Componentes	LODO BASE 1 (LDB1)			COMPOSICIÓN			ppm Ca <sup>+</sup> <sub>+</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>
	pH	Pf	Mf	20,0 PPB de Viscosificante				
				4,0 PPB de CAL				
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb DC1								
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb Pulpa de Café								
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb DC1								
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb Pulpa de Café								
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb DC1								
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb Pulpa de Café								

\* Lodos Envejecidos por 20 horas

**FUENTE.** Autores.

### **6.2.3. Segunda Fase: Pruebas para Evaluar la Efectividad de la Pulpa de Café en Lodos Contaminados**

La segunda fase consiste en la evaluación de la pulpa de café como agente dispersante para el tratamiento de lodos contaminados. Para este análisis se compararon sus resultados con las propiedades obtenidas al trabajar con el dispersante DC1 como aditivo de referencia.

Para el presente estudio se tomaron como agentes contaminantes a la Sal (NaCl) y al Cemento, ya que en el Laboratorio de Lodos y Cementos no se disponían de más contaminantes.

El diseño del Lodo Base (LDB2) en esta etapa fue el siguiente:

- ❖ Viscosificante: Bentonita en una concentración de 15 Libras por Barril.
- ❖ Controlador de pH: Soda Cáustica (NaOH) en una concentración de 0,5 Libras por Barril.

Luego de elaborar el Lodo Base se procede a contaminarlo con Sal y Cemento.

#### **6.2.3.1. Contaminación con Sal (NaCL)**

Para simular una contaminación con sal, se agregaron 30 gramos de Sal al lodo base (LDB2) y se realizó la mezcla.

Para el tratamiento de este lodo, se añadió la pulpa de café en diferentes concentraciones (0,5; 2,0 y 5,0 ppb). Posteriormente, se analizó el comportamiento de las propiedades del lodo y se compararon con respecto a las propiedades de los lodos tratados con el dispersante DC1.

A continuación se presentan las Tablas 16 y 17, en donde se muestran los formatos utilizados en esta fase del proyecto.

**TABLA 16.** Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Sal.

LODO		LODO BASE 2 (LDB2)				COMPOSICIÓN				Filtrado API		Espesor		Análisis de Torta	
						15,0 PPB de Viscosificante									
						0,5 PPB de Soda Cáustica									
ID	Componentes	600 Rpm	300 Rpm	Vp [cp]	Yp	Va [cp]	Fuerza de Gel		Densidad del	@ 30 min [ml]	1/32 [in]				
						10 seg	10 min	Lodo [lb/Gal]							
2.1	Base (LDB2)												Textura		
													Consistencia		
2.2	Base (LDB2) contaminado con 30 gramos de Sal														
2.3	1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café														
2.4	1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café														
2.5	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café														
2.6	1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1														
2.7	1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1														
2.8	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1														

FUENTE. Autores.

**TABLA 17.** Formato para el Registro de las Propiedades Químicas para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Sal

		LODO BASE 2 (LDB2)		COMPOSICIÓN					
				15,0 PPB de Viscosificante					
				0,5 PPB de Soda Cáustica					
LODO		pH	Pf	Mf	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NaCl	ppm Ca <sup>++</sup>	ppm CaCO <sub>3</sub>	
ID	Componentes								
2.1	Base (LDB2)								
2.2	Base (LDB2) contaminado con 30 gramos de Sal								
2.3	1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café								
2.4	1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café								
2.5	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café								
2.6	1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1								
2.7	1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1								
2.8	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1								

FUENTE. Autores.

### 6.2.3.2. Contaminación con Cemento

Para simular una contaminación con cemento, se agregaron 5 gramos de cemento al lodo base (LDB2) y se realizó la mezcla. El tratamiento que se le dio a este lodo fue el mismo que para el lodo contaminado con sal, añadiendo pulpa de café en diferentes concentraciones (0,5; 2,0 y 5,0 ppb). Posteriormente, se analiza el comportamiento de las propiedades del lodo y se comparan con respecto a las propiedades de los lodos tratados con el dispersante DC1. Los datos anteriores se registraron en la Tablas 18 y 19.

**TABLA 18.** Formato para el Registro de las Propiedades Químicas para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Cemento

LODO		LODO BASE 3 (LDB3)			COMPOSICIÓN			
					15,0 PPB de Viscosificante			
		0,5 PPB de Soda Cáustica						
ID	Componentes	pH	Pf	Mf	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm NaCl	ppm Ca <sup>++</sup>	ppm CaCO <sub>3</sub>
2.1	Base (LDB2)							
2.2	Base (LDB3) contaminado con 30 gramos de Sal							
2.9	1,5 Bbl LDB3 + 0,5 ppb Pulpa de Café							
2.10	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb Pulpa de Café							
2.11	1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb Pulpa de Café							
2.12	1,5 Bbl LDB3 + 0,5 ppb DC1							
2.13	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb DC1							
2.14	1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb DC1							

FUENTE. Autores.

**TABLA 19.** Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Dispersante en Lodos Contaminados con Cemento.

LODO		LODO BASE 2 (LDB2)				COMPOSICIÓN				Filtrado API Espesor Análisis de Torta		
						15,0 PPB de Viscosificante						
						0,5 PPB de Soda Cáustica						
ID	Componentes	600 Rpm	300 Rpm	Vp [cp]	Yp	Va [cp]	Fuerza de Gel 10 seg 10 min		Densidad del Lodo [lb/Gal]	@ 30 min [ml]	1/32 [in]	
2.1	Base (LDB2)											Textura
												Consistencia
2.2	Base (LDB2) contaminado con 5 gramos de Cemento											
2,9	1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café											
2.10	1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café											
2.11	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café											
2.12	1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1											
2.13	1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1											
2.14	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1											

FUENTE. Autores.

#### **6.2.4. Tercera Fase: Pruebas de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado**

Por medio de esta fase se busca conocer el comportamiento de la pulpa de café como controlador de filtrado. Para tal fin se elaboraron varios lodos con diferentes concentraciones de pulpa de café, comparando sus resultados con lodos preparados a las mismas concentraciones de dos aditivos comerciales que normalmente se utilizan en la industria para tal fin. Estos aditivos serán identificados en el presente estudio con los nombres de CF1 y CF2.

Las características de estos controladores de filtrado se presentan a continuación.

- ❖ El CF1 es un polisacárido preservado utilizado comúnmente para el control de filtrado, viscosidad y estabilización de lutitas en lodos base agua salada y agua dulce.
- ❖ El CF2 es una Celulosa polianiónica de viscosidad ultra-baja, usada para el control de filtrado con un aumento mínimo de viscosidad.

En esta fase se presta mayor atención al volumen del filtrado del lodo, al igual que al análisis de las tortas obtenidas y las respectivas pruebas químicas de los filtrados conseguidos.

El Lodo Base (LDB3) para esta fase estaba constituido por los siguientes componentes:

- Viscosificante en una concentración de 5,0 Libras por Barril.
- Extendedor de viscosidad en una concentración de 1,5 Libras por Barril.
- Soda Cáustica (NaOH) en una concentración de 0,5 Libras por Barril.
- Densificante ( $\text{CaCO}_3$ ) en una concentración de 60,0 Libras por Barril.

Para determinar si la pulpa de café es efectiva como controlador de filtrado, se busca que el volumen de filtrado registrado sea pequeño y que la torta obtenida luego de la prueba sea plástica y consistente.

Los Tablas 20 y 21 muestran los formatos elaborados para llevar el registro de los datos obtenidos en esta fase, tanto de las propiedades físicas como de las pruebas químicas de los lodos trabajados.

**TABLA 20.** Formato utilizado para el Análisis de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado.

LODO		LODO BASE 3  (LDB3)				COMPOSICIÓN				Filtrado API Espesor Análisis de Torta		
						5,0 PPB de Viscosificante						
						1,5 PPB del Extendedor						
						0,5 PPB de Soda Cáustica						
						60,0 PPB de CaCO3						
ID	Componentes	600 Rpm	300 Rpm	Vp [cp]	Yp	Va [cp]	Fuerza de Gel		Densidad del Lodo [lb/Gal]	@ 30 min [ml]	1/32 [in]	
							10 seg	10 min				Textura
3.1	Base (LDB3)											Consistencia
3.2	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF1											
3.3	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF2											
3.4	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb Pulpa de Café											
3.5	1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF1											
3.6	1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF2											
3.7	1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb Pulpa de Café											

**TABLA 20.** (Continuación)

		LODO BASE 3  (LDB3)				COMPOSICIÓN						
						5,0 PPB de Viscosificante						
						1,5 PPB del Extendedor						
						0,5 PPB de Soda Cáustica						
60,0 PPB de CaCO3												
LODO		600	300	Vp	Yp	Va	Fuerza de Gel		Densidad del	Filtrado API	Espesor	Análisis de Torta
ID	Componentes	Rpm	Rpm	[cp]		[cp]	10 seg	10 min	Lodo [lb/Gal]	@ 30 min [ml]	1/32 [in]	
3.8	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb CF1											Textura
												Consistencia
3.9	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb CF2											
3.10	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café											
3.11	1,5 Bbl LDB2 + 7,0 ppb CF1											
3.12	1,5 Bbl LDB2 + 7,0 ppb CF2											
3.13	1,5 Bbl LDB2 + 7,0 ppb Pulpa de Café											

**FUENTE.** Autores.

**TABLA 21.** Formato para el Registro de las Propiedades Químicas de los lodos para el Análisis de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado

		<b>LODO BASE 3  (LDB3)</b>			<b>COMPOSICIÓN</b>			
					5,0 PPB de Viscosificante			
					1,5 PPB del Extendedor			
					0,5 PPB de Soda Cáustica			
		60,0 PPB de CaCO <sub>3</sub>						
<b>LODO</b>		<b>pH</b>	<b>Pf</b>	<b>Mf</b>	<b>ppm Cl<sup>-</sup></b>	<b>ppm NaCl</b>	<b>ppm Ca<sup>++</sup></b>	<b>ppm CaCO<sub>3</sub></b>
<b>ID</b>	<b>Componentes</b>							
3.1	Base (LDB3)							
3.2	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF1							
3.3	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF2							
3.4	1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb Pulpa de Café							
3.5	1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF1							
3.6	1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF2							
3.7	1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb Pulpa de Café							

**TABLA 21.** (Continuación)

		<b>LODO BASE 2 (LDB2)</b>			<b>COMPOSICIÓN</b>			
					5,0 PPB de Viscosificante			
					1,5 PPB del Extendedor			
					0,5 PPB de Soda Cáustica			
		60,0 PPB de CaCO <sub>3</sub>						
<b>LODO</b>		<b>pH</b>	<b>Pf</b>	<b>Mf</b>	<b>ppm Cl<sup>-</sup></b>	<b>ppm NaCl</b>	<b>ppm Ca<sup>++</sup></b>	<b>ppm CaCO<sub>3</sub></b>
<b>ID</b>	<b>Componentes</b>							
3.8	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb CF1							
3.9	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb CF2							
3.10	1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café							
3.11	1,5 Bbl LDB2 + 7,0 ppb CF1							
3.12	1,5 Bbl LDB2 + 7,0 ppb CF2							
3.13	1,5 Bbl LDB2 + 7,0 ppb Pulpa de Café							

**FUENTE.** Autores

### 6.2.5. Cuarta Fase: Prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café

En esta fase se desarrollan las pruebas de rendimiento, cuyo objetivo es el de conocer el comportamiento de la viscosidad aparente del lodo de acuerdo a la cantidad de pulpa de café usada, evaluando este producto como aditivo en un sistema de agua dulce.

Adicionalmente, se compara su rendimiento con el de un viscosificante comúnmente utilizado en la industria (VC), el cual es una arcilla plástica coloidal, constituida en su mayoría por montmorillonita sódica, que sirve como viscosificante y ayuda al control del filtrado en un fluido de perforación base agua.

Para este caso, no fue necesario el diseño de un Lodo Base, ya que en esta prueba se va a trabajar con mezclas de agua-pulpa de café, y agua-VC en diferentes concentraciones. Del mismo modo, se requiere de la elaboración de un análisis estadístico de los datos involucrados, para lograr obtener un polinomio que represente el comportamiento de las viscosidades aparente. A continuación se presenta la Tabla 22, utilizada para el registro de los datos obtenidos en esta fase.

**TABLA 22.** Formato utilizado para el registro de los datos de la Prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café.

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ EN AGUA DULCE					
PROCEDIMIENTO		600 RPM	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)	pH
Producto	Concentración (Lb/Bbl)				
Pulpa de Café	10				
	20				
	30				
	50				
	100				
Viscosificante VC	10				
	20				
	30				
	50				
	100				

FUENTE. Autores.

## **7. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En este capítulo se desarrolla el estudio de la efectividad del uso de la pulpa de café en un lodo de perforación base agua. Para esto, se realizaron una serie de pruebas con las que se evaluara su comportamiento como agente dispersante, como un aditivo para el control del filtrado y como un material viscosificante. Estas pruebas serán distribuidas en cinco fases. Inicialmente se analiza el comportamiento de la pulpa al entrar en contacto con los distintos aditivos usados en las pruebas. Posteriormente se presenta un estudio individual de la efectividad de este producto como un aditivo que funcione como agente dispersante, controlador de filtrado y viscosificante respectivamente.

### **7.1. FASE PRELIMINAR: PRUEBA DE COMPATIBILIDAD**

Esta prueba fue realizada a 25 muestras totales en las cuales se mezclaron en 100 ml de agua con diferentes concentraciones de pulpa de café con una concentración determinada de cada uno de los componentes utilizados durante el desarrollo de las pruebas. Los Aditivos que se emplearon fueron: Viscosificante (20 libras por Barril), Soda Cáustica (0,5 libras por Barril), Cal (4 libras por Barril), Extendedor del VC (1,5 libras por Barril), Carbonato de Calcio (60 libras por Barril), Sal (45 libras por Barril) y Cemento (7,5 libras por Barril). A las muestras se les observó características físicas como el color (1.), la presencia de espuma o burbujas (2), presencia de precipitados de sólidos y otras características (4) como lo son una medida cualitativa de la viscosidad.

En la Tabla 23 se presenta un resumen de las observaciones que se tomaron de la última toma (10 días de prueba) al mezclar los diferentes productos químicos con la mayor concentración de pulpa de café utilizada con cada uno. Los resultados de la prueba de compatibilidad se pueden encontrar en el Anexo B del presente libro.

**TABLA 23.** Resumen de las Observaciones de la Prueba de Compatibilidad a diez días

<b>OBSERVACIONES DE LAS MUESTRAS A 10 DÍAS DE PRUEBA</b>			
<b>No.</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>pH</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>1</b>	5,71 gramos de Pulpa de Café + 100 de Agua Fresca	3,68	<b>1</b> Presenta un color café que con el tiempo fue adquiriendo una tonalidad rojiza.
			<b>2</b> No presentó burbujas.
			<b>3</b> Precipitado de fondo de tono oscuro y de 1,5 cm y la siguiente de tono claro y de 2 mm de espesor.
			<b>4</b> Es de apariencia acuosa debido a su baja viscosidad.
<b>5</b>	2,0 gramos de Pulpa de Café + 5,71 gramos de Viscosificante VC	5,53	<b>1</b> Presenta un color marrón grisáceo que se mantuvo en todo el periodo de evaluación.
			<b>2</b> No presenta burbujas, pero si una capa nítida de 5 mm
			<b>3</b> Presenta tres capas de precipitado: la de fondo de tono café oscuro de 4 mm de espesor, la siguiente de tono más claro de 3 mm y una última de tono blanquecino de 2 mm. Igualmente, se detallan algunas manchas cafés que se asemejan a grumos.
			<b>4</b> Es de apariencia acuosa (Baja viscosidad).
<b>9</b>	2,0 gramos de Pulpa de Café + 0,142 gramos de Soda Cáustica	4,06	<b>1</b> Presenta un color café rojizo.
			<b>2</b> No presenta burbujas.
			<b>3</b> Presenta un precipitado de dos capas identificables, la de fondo de tono café oscuro y de 6 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 1 mm de espesor.
			<b>4</b> Muy Acuosa (viscosidad similar a la del agua).
<b>13</b>	2,0 gramos de Pulpa de Café + 1,14 gramos de Cal	12,58	<b>1</b> Inició con un color café oscuro que finalmente adquirió una tonalidad amarilla oscura.
			<b>2</b> En los primeros días presentó burbujas pero luego se atenuaron.
			<b>3</b> Presenta un precipitado de partículas finas de 10 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 3 mm de espesor.
			<b>4</b> La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
<b>17</b>	2,0 gramos de Pulpa de Café + 0,42 gramos de Extendedor de VC	5,05	<b>1</b> Su color es de una tonalidad café oscura.
			<b>2</b> No hay presencia de burbujas.
			<b>3</b> No presentó ningún precipitado, pero existe una presencia de hongos de color blanco en forma de hilos con puntos negros.
			<b>4</b> La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.

**TABLA 23.** (Continuación)

<b>OBSERVACIONES DE LAS MUESTRAS A 10 DÍAS DE INICIO DE LA PRUEBA</b>			
<b>No.</b>	<b>MUESTRA</b>	<b>pH</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
<b>21</b>	2,0 gramos de Pulpa de Café + 17,14 gramos de CaCO <sub>3</sub>	5,83	<b>1</b> Presentó un color beige que con el tiempo fue tomando un tono ámbar.
			<b>2</b> No hubo presencia de burbujas.
			<b>3</b> Contiene un precipitado de dos capas: la de fondo de tono café oscuro y de 7 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 8 mm de espesor.
			<b>4</b> La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
<b>23</b>	0,85 gramos de Pulpa de Café + 8,57 gramos de Sal (NaCl)	3,87	<b>1</b> Presenta un color café que más adelante tomó una tonalidad de color ámbar.
			<b>2</b> No hay presencia de burbujas.
			<b>3</b> Presenta un precipitado de tono café oscuro de 6 mm con una interface definida.
			<b>4</b> La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
<b>25</b>	0,85 gramos de Pulpa de Café + 0,42 gramos de Cemento	11,35	<b>1</b> Presenta un color ámbar claro.
			<b>2</b> No hay presencia de burbujas.
			<b>3</b> Se caracterizó por tener un precipitado rápido (a solo 20 segundos de haber iniciado la prueba), presenta un precipitado de tono café oscuro de 9 mm con una interface definida.
			<b>4</b> La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.

**FUENTE.** Autores

De las observaciones periódicas realizadas a las muestras, se puede afirmar que en ningún caso se generó alguna especie de reacción química que afectara las propiedades de la pulpa o de los aditivos a ser utilizados durante el desarrollo de este capítulo, ya que se mantuvo el mismo comportamiento de sus propiedades físicas.

Solo en el caso del extendedor de VC, se observó que luego de una semana se comenzó a formar una especie de hongo que estaba constituido por una capa transparente que recubría la superficie de la muestra y se asemejaba a una nata, y el hongo como tal, el

cual estaba formado de pequeños y finos hilos blancos, de apariencia similar al algodón, junto con algunos pequeños granos negros ubicados entre los mismos.

En las Figuras de la 19 a la 26 se muestran algunas imágenes tomadas de las muestras al transcurrir 1 semana de haberlas depositado en los recipientes.

**FIGURA 19.** Muestras de Agua Fresca y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

**FIGURA 20.** Muestras de Viscosificante VC y Pulpa de Café transcurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

**FIGURA 21.** Muestras de Soda Cáustica y Pulpa de Café trascurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

**FIGURA 22.** Muestras de Cal y Pulpa de Café trascurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

**FIGURA 23.** Muestras de Extendedor de VC y Pulpa de Café trascurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

**FIGURA 24.** Muestras de Carbonato de Calcio y Pulpa de Café trascurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

**FIGURA 25.** Muestras de Sal y Pulpa de Café trascurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

**FIGURA 26.** Muestras de Cemento y Pulpa de Café trascurridos siete (7) días.



**FUENTE.** Fotografías Tomadas por los Autores

## **7.2. PRIMERA FASE: PRUEBA DE EVALUACIÓN DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE**

En esta fase, se presenta el efecto que provoca la pulpa de café a diferentes concentraciones sobre las propiedades reológicas de un lodo de perforación con alto contenido de sólidos. Simultáneamente, se compara el comportamiento de la pulpa frente a un aditivo dispersante comercial (DC1) utilizado en la industria de los fluidos de perforación.

Por último, se analiza como varían las propiedades químicas del fluido a diferentes concentraciones de los productos a evaluar, específicamente como cambia el contenido de cloruros y calcio del lodo base diseñado para este numeral.

### **7.2.1. Análisis de resultados obtenidos de la Pulpa de Café en comparación con un aditivo dispersante comercial (DC1) en Lodos Calados**

En este ítem, se presenta el análisis de datos referente a la efectividad de la pulpa de café como dispersante. Como se había comentado anteriormente se busca conocer el efecto que provoca la pulpa de café en comparación con un aditivo comercial (DC1) a diferentes concentraciones sobre las propiedades reológicas y las propiedades químicas de un lodo de perforación con alto contenido de sólidos.

A continuación se presenta un CÁLCULO TIPO, en donde se desarrolla la metodología de trabajo para el análisis de los resultados obtenidos en el laboratorio. Inicialmente, se muestran las Tablas 24 y 25, las cuales representan los datos originales y réplicas del comportamiento de las propiedades reológicas de un lodo calado, el cual es tratado con pulpa de café y DC1 a diferentes concentraciones.

**TABLA 24.** Resultados de los datos (Originales) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café y DC1

PRUEBAS FÍSICAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CALADOS (ORIGINAL)											
LODO	600	300	Vp	Yp	Va	Fuerza de Gel		Densidad del	Filtrado API	Espesor	Análisis de Torta
Componentes	Rpm	Rpm	[cp]	[lb/100 ft <sup>2</sup> ]	[cp]	10 seg	10 min	Lodo [lb/Gal]	@ 30 min [ml]	1/32 [in]	
Base (LDB1)	89,2	84	5,2	78,8	44,60	24	26	8,6	111,5	4 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb Pulpa de Café	53,7	49,6	4,1	45,5	26,85	17,5	17,6	8,7	136,5	5/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb DC1	9,6	6,2	3,4	2,8	4,8	1,3	1,4	8,7	125,5	5 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb Pulpa de Café	22,8	19,2	3,6	15,6	11,4	12,3	12,8	8,7	135,5	5/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb DC1	7,3	4,5	2,8	1,7	3,65	0	0,1	8,7	123,5	5 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb Pulpa de Café	19,6	16,6	3	13,6	9,8	6	6,1	8,7	133,5	5/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb DC1	6	3,6	2,4	1,2	3	0	0,1	8,7	118	4 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb Pulpa de Café	18,3	15,6	2,7	12,9	9,15	5,7	6,1	8,7	130	5/32	Quebradiza Inconsistente

**TABLA 24.** (Continuación)

<b>PRUEBAS FÍSICAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CALADOS (ORIGINAL)</b>											
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>		<b>Densidad del</b>	<b>Filtrado API</b>	<b>Espesor</b>	<b>Análisis de Torta</b>
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>	<b>[lb/100 ft<sup>2</sup>]</b>	<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>	<b>10 min</b>	<b>Lodo [lb/Gal]</b>	<b>@ 30 min [ml]</b>	<b>1/32 [in]</b>	
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb DC1	5,3	3	2,3	0,7	2,65	0	0	8,7	32	2 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb Pulpa de Café	15,6	12,8	2,8	10	7,8	3,1	5,4	8,7	107,5	5/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb DC1	4,3	2,3	2	0,3	2,15	0	0	8,7	24	2 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb Pulpa de Café	13,7	11,2	2,5	8,7	6,85	3,2	4,5	8,7	106	5/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb DC1	3,9	2	1,9	0,1	1,95	0	0	8,7	19,5	2 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb Pulpa de Café	24,5	17,2	7,5	10,2	12,25	7,9	7,9	8,7	114	5/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb DC1	5,1	3	2,1	0,9	2,55	0	0	8,7	20	2 / 32	Quebradiza Inconsistente

\* Lodos envejecidos a 20 horas.

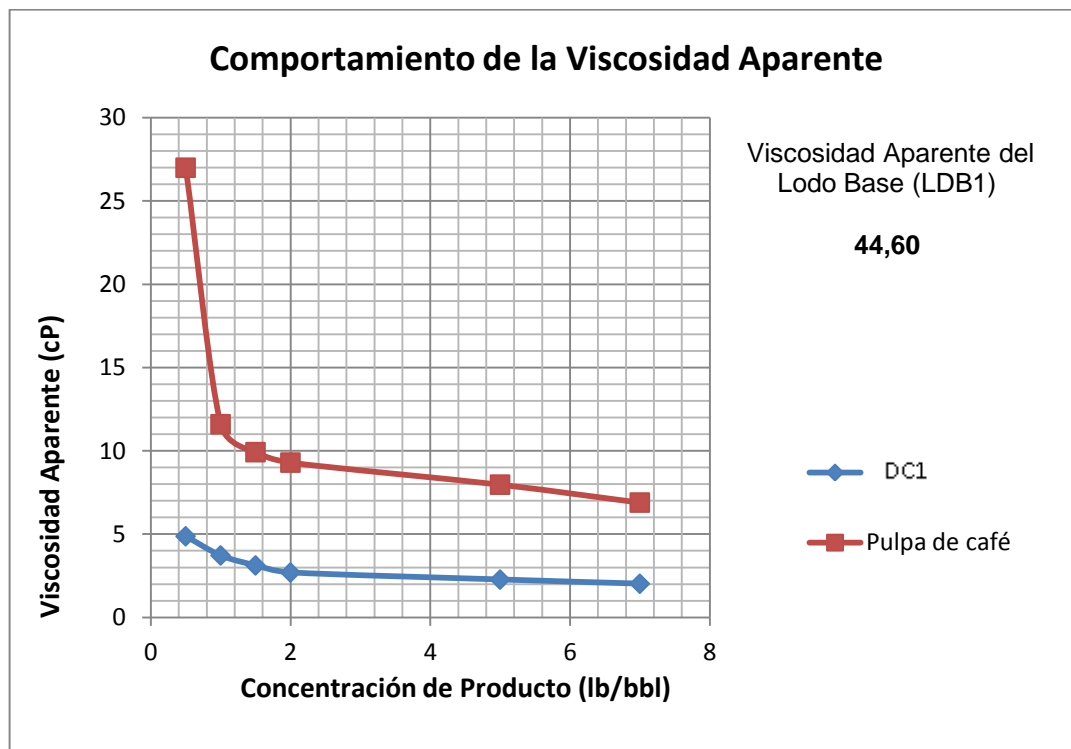
**TABLA 25.** Resultados de los datos (Réplica) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café y DC1

<b>PRUEBAS FÍSICAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CALADOS (RÉPLICA)</b>							
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>	<b>[lb/100 ft<sup>2</sup>]</b>	<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>	<b>10 min</b>
Base (LDB1)	89,2	84	5,2	78,8	44,6	24	26
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb Pulpa de Café	54,3	49,8	4,5	45,3	27,15	18,1	18,3
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1	9,9	6,4	3,5	2,9	4,95	1,5	1,6
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb Pulpa de Café	23,6	19,7	3,9	15,8	11,8	12,4	12,7
1,5 Bbl LDB2 + 1,0 ppb DC1	7,6	4,8	2,8	2	3,8	0,2	0,4
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb Pulpa de Café	20,1	16,8	3,3	13,5	10,05	7,3	7,7
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb DC1	6,5	3,9	2,6	1,3	3,25	0,1	0,2
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb Pulpa de Café	18,9	16,1	2,8	13,3	9,45	6,2	6,3
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb DC1	5,5	3,1	2,4	0,7	2,75	0	0,1
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb Pulpa de Café	16,3	13,8	2,5	11,3	8,15	3,7	4,2
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb DC1	4,8	2,6	2,2	0,4	2,4	0	0
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb Pulpa de Café	13,9	11,4	2,5	8,9	6,95	3,3	3,7
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb DC1	4,2	2,3	1,9	0,3	2,1	0	0
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb Pulpa de Café	21,8	15,7	6,1	9,6	10,9	6,2	7,3
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb DC1	5,3	3,1	2,2	0,9	2,65	0	0

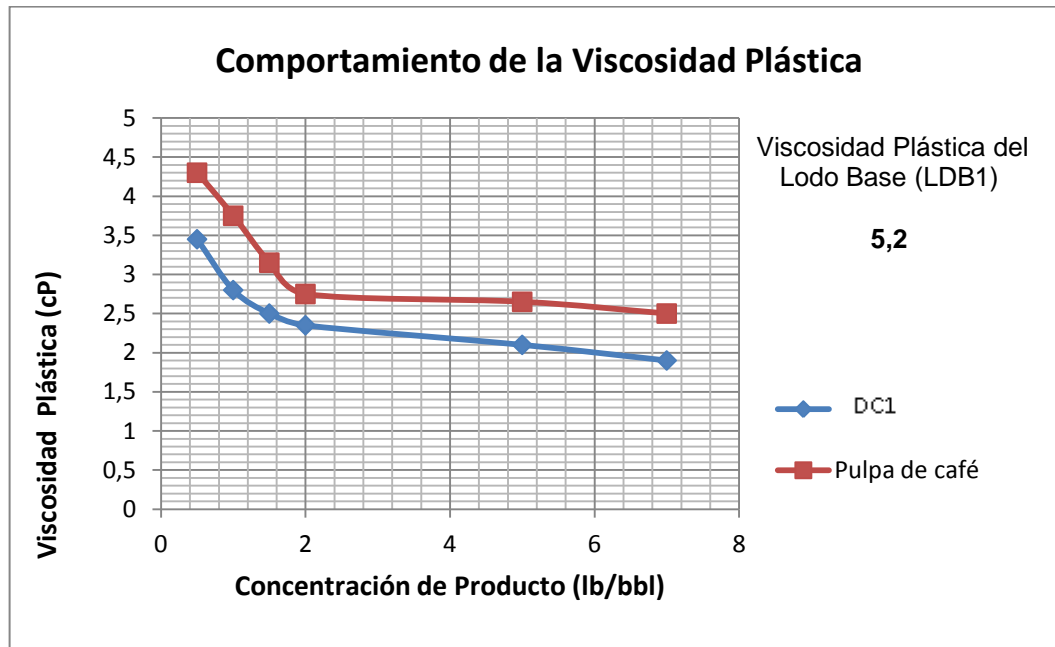
En la Tabla 25 se omitieron las pruebas de control de filtrado, debido a que la investigación se concentró principalmente en el comportamiento de las propiedades reológicas del lodo a diferentes concentraciones de pulpa de café y DC1.

A continuación se presentan las Figuras de la 27 a la 31, en donde se muestra el comportamiento de las propiedades reológicas del lodo base a medida que se incrementan las concentraciones de pulpa de café y DC1. Cabe resaltar que las siguientes Figuras se realizaron teniendo en cuenta la media entre los resultados originales y réplicas.

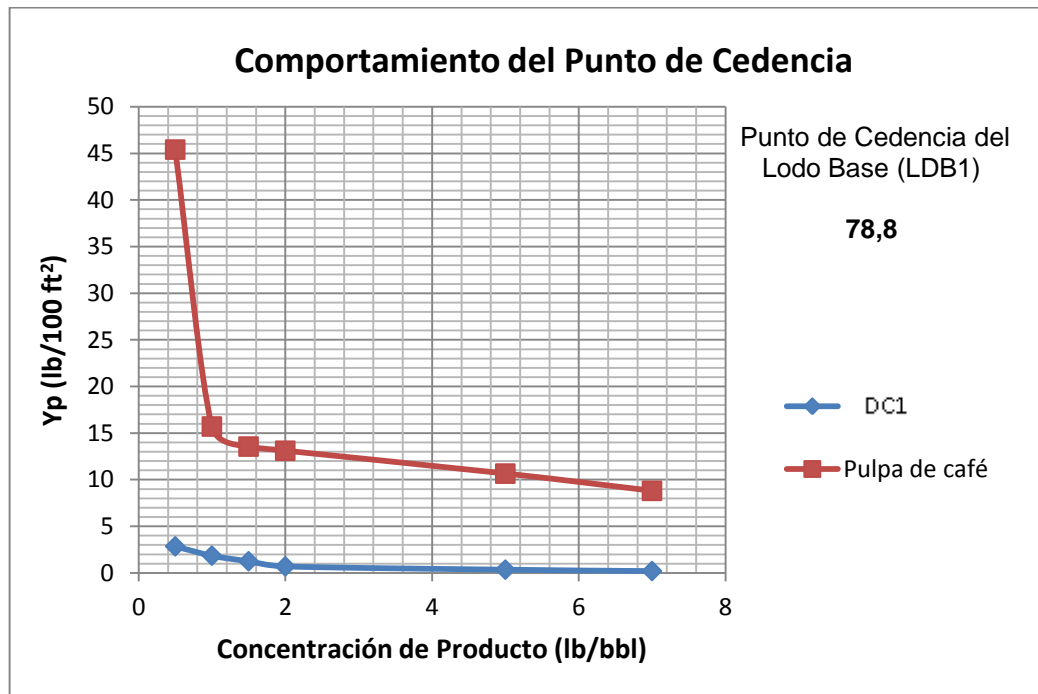
**FIGURA 27.** Comportamiento de la Viscosidad Aparente a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1



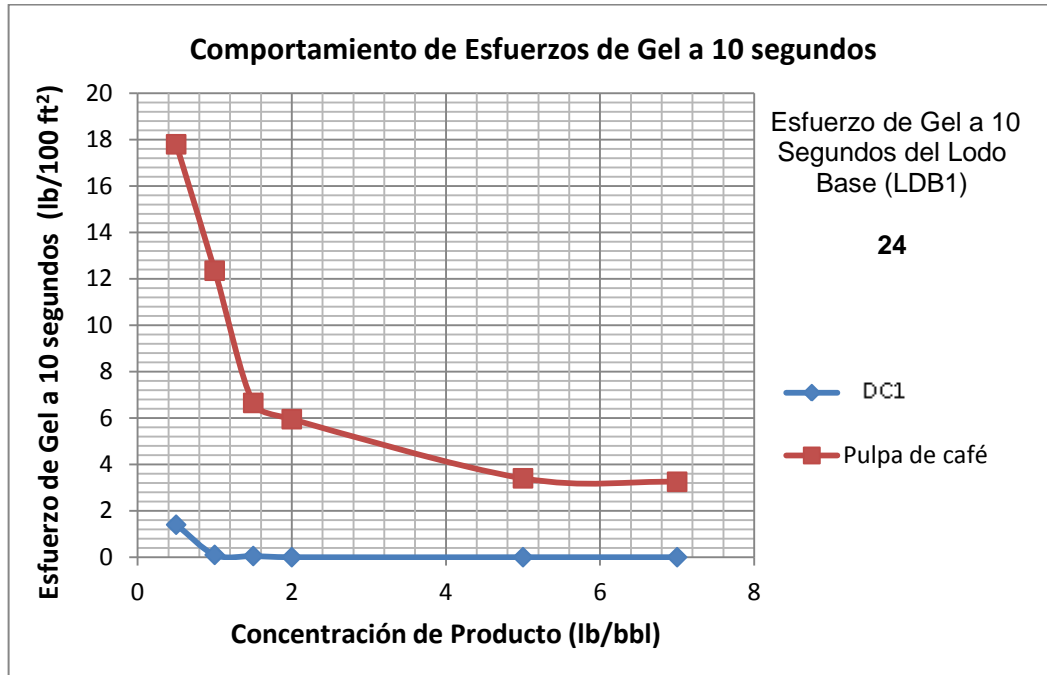
**FIGURA 28.** Comportamiento de la Viscosidad Plástica a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1



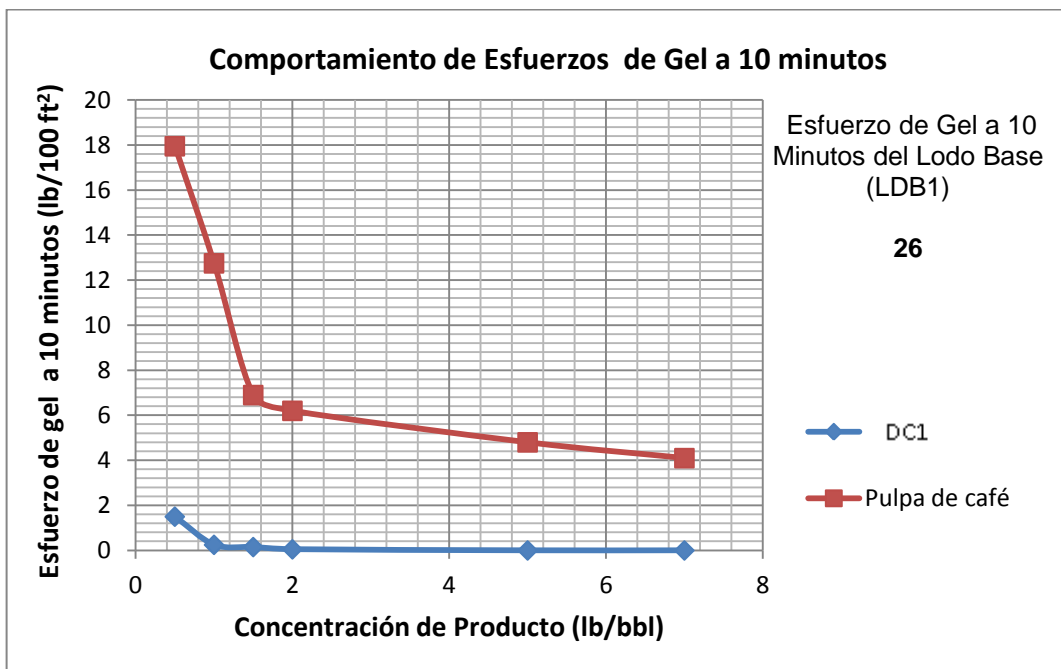
**FIGURA 29.** Comportamiento del Punto de Cedencia a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 30.** Comportamiento de los Esfuerzos de Gel a 10 segundos a diferentes concentraciones de Pulpa de Café Y DC1



**FIGURA 31.** Comportamiento de los Esfuerzos de Gel a 10 Minutos a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1



En la Tabla 26, se presenta un análisis de la reducción de las propiedades reológicas de un lodo calado a una concentración de 5 ppb de pulpa de café y DC1. Cabe resaltar que se trabajo con 5 ppb, debido a que a esta concentración se evidencia la mínima variación de las propiedades reológicas del lodo.

**TABLA 26.** Reducción de las propiedades reológicas de un lodo calado tratado con 5 ppb de Pulpa de Café y DC1

<b>REDUCCIÓN PORCENTUAL DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LDB1 TRATADO CON 5 PPB DE PULPA DE CAFÉ Y DC1</b>					
<b>Propiedad</b>	<b>LDB1</b>	<b>Pulpa de Café</b>	<b>Reducción Porcentual (%)</b>	<b>DC1</b>	<b>Reducción Porcentual (%)</b>
<b>Va (cP)</b>	44,6	7,975	82,12	2,275	94,90
<b>Vp (cP)</b>	5,2	2,65	49,04	2,1	59,62
<b>Yp (lb/100 ft)</b>	78,8	10,65	86,48	0,35	99,56
<b>Gel 10 seg (lb/100 ft<sup>2</sup>)</b>	24	3,4	85,83	0	100,00
<b>Gel 10 min (lb/100 ft<sup>2</sup>)</b>	26	4,8	81,54	0	100,00

**FUENTE.** Autores

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos anteriormente, junto con las figuras que representan el comportamiento de las diferentes propiedades reológicas características de un fluido de perforación calado, se infiere que la pulpa de café tiene un buen comportamiento como aditivo dispersante, ya que reduce las propiedades reológicas aproximadamente en un 80%. Esto se debe a que la pulpa de café genera fuerzas repulsivas, lo cual dispersa y evita la floculación de los sólidos que constituyen el lodo de perforación.

Por otro lado, se observa que aunque la pulpa de café tenga un buen comportamiento como aditivo dispersante, existe una brecha importante al compararlo con un aditivo dispersante comercial (DC1), ya que este último reduce las propiedades reológicas

aproximadamente de un 95%. Además, se observa que a una concentración de 0,5 de DC1, se reducen significativamente las propiedades reológicas del lodo aproximadamente en un 92%, mientras que en la pulpa de café a una concentración de 7 ppb se reducen a un porcentaje cercano al 85%.

Teniendo en cuenta los resultados de filtrado, los cuales se pueden observar en la Tabla 24, se infiere que la pulpa de café y el DC1 no funcionan como controladores de filtrado, a pesar de que este último (DC1) disminuye el filtrado en un 82,51%, este valor aún sigue siendo alto (19,5 ml). Lo anterior se debe principalmente a la mala calidad de la torta formada.

Por último se infiere que a medida que pasa el tiempo, en este caso 20 horas, el efecto de la pulpa de café sobre el lodo base disminuye, ya que el fluido tiende a recuperar las propiedades reológicas que tenía anteriormente, lo cual no ocurre con el DC1.

A continuación en las Tablas de la 27 a la 36, se muestran los análisis estadísticos de las propiedades reológicas para evaluar la efectividad de la pulpa de café y DC1 como dispersante.

**TABLA 27.** Análisis estadístico de la Viscosidad Aparente para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis estadístico de la Viscosidad Aparente en la Prueba efectividad de la Pulpa de Café como dispersante en lodos calados</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Va (original) (cP)</b>	<b>Va (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	26,85	27,15	2	27	0,0225	0,2121
1	11,4	11,8	2	11,6	0,04	0,2828
1,5	9,8	10,05	2	9,925	0,0156	0,1767
2	9,15	9,45	2	9,3	0,0225	0,2121
5	7,8	8,15	2	7,975	0,0306	0,2474
7	6,85	6,95	2	6,9	0,0025	0,0707
7*	12,25	10,9	2	11,575	0,4556	0,9545

**TABLA 28.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Aparente para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis Estadístico de la Viscosidad Aparente en la Prueba efectividad del DC1 como dispersante en lodos calados</b>						
<b>Concentración (lb/Bbl)</b>	<b>Va (original) (cP)</b>	<b>Va (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	4,8	4,95	2	4,875	0,0056	0,1061
1	3,65	3,8	2	3,725	0,0056	0,1061
1,5	3	3,25	2	3,125	0,0156	0,1768
2	2,65	2,75	2	2,7	0,0025	0,0707
5	2,15	2,4	2	2,275	0,0156	0,1768
7	1,95	2,1	2	2,025	0,0056	0,1061
7*	2,55	2,65	2	2,6	0,0025	0,0707

**FUENTE.** Autores

**TABLA 29.** Análisis estadístico de la Viscosidad Plástica para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis estadístico de la Viscosidad Plástica en la Prueba efectividad de la Pulpa de Café como dispersante en lodos calados</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Vp (original) (cP)</b>	<b>Vp (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	4,1	4,5	2	4,3	0,04	0,2828
1	3,6	3,9	2	3,75	0,0225	0,2121
1,5	3	3,3	2	3,15	0,0225	0,2121
2	2,7	2,8	2	2,75	0,0025	0,0707
5	2,8	2,5	2	2,65	0,0225	0,2121
7	2,5	2,5	2	2,5	0	0
7*	7,5	6,1	2	6,8	0,49	0,9899

**FUENTE.** Autores

**TABLA 30.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Plástica para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados

Análisis estadístico de los datos de Viscosidad Plástica en la Prueba efectividad del DC1 como dispersante en lodos calados						
Concentración (lb/Bbl)	Vp (original) (cP)	Vp (réplica) (cP)	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación Estándar
0,5	3,4	3,5	2	3,45	0,0025	0,0707
1	2,8	2,8	2	2,8	0	0
1,5	2,4	2,6	2	2,5	0,0100	0,1414
2	2,3	2,4	2	2,35	0,0025	0,0707
5	2	2,2	2	2,1	0,0100	0,1414
7	1,9	1,9	2	1,9	0	0
7*	2,1	2,2	2	2,15	0,0025	0,0707

FUENTE. Autores

**TABLA 31.** Análisis estadístico del Punto de Cedencia para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados

Análisis estadístico del Punto de Cedencia en la prueba efectividad de la Pulpa de Café como dispersante en lodos calados						
Concentración (lb/bbl)	Yp (original) (lb/100 ft <sup>2</sup> )	Yp (replica) (lb/100 ft <sup>2</sup> )	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación Estándar
0,5	45,5	45,3	2	45,4	0,01	0,1414
1	15,6	15,8	2	15,7	0,01	0,1414
1,5	13,6	13,5	2	13,55	0,0025	0,0707
2	12,9	13,3	2	13,1	0,04	0,2828
5	10	11,3	2	10,65	0,4225	0,9192
7	8,7	8,9	2	8,8	0,01	0,1414
7*	10,2	9,6	2	9,9	0,09	0,4242

FUENTE. Autores

**TABLA 32.** Análisis Estadístico del Punto de Cedencia para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis estadístico de los datos de Punto de Cedencia en la Prueba efectividad del DC1 como dispersante en lodos calados</b>						
<b>Concentración (lb/Bbl)</b>	<b>YP (original) (cP)</b>	<b>YP (réplica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	2,8	2,9	2	2,85	0,0025	0,0707
1	1,7	2	2	1,85	0,0225	0,2121
1,5	1,2	1,3	2	1,25	0,0025	0,0707
2	0,7	0,7	2	0,7	0	0
5	0,3	0,4	2	0,35	0,0025	0,0707
7	0,1	0,3	2	0,2	0,0100	0,1414
7*	0,9	0,9	2	0,9	0	0

**FUENTE.** Autores

**TABLA 33.** Análisis estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 seg para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos en la Prueba efectividad de la Pulpa de Café como dispersante en lodos calados</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 seg (original)</b>	<b>Gel 10 seg (replica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	17,5	18,1	2	17,8	0,09	0,4242
1	12,3	12,4	2	12,35	0,0025	0,0707
1,5	6	7,3	2	6,65	0,4225	0,9192
2	5,7	6,2	2	5,95	0,0625	0,3535
5	3,1	3,7	2	3,4	0,09	0,4242
7	3,2	3,3	2	3,25	0,0025	0,0707
7*	7,9	6,2	2	7,05	0,7225	1,2020

**FUENTE.** Autores

**TABLA 34.** Análisis Estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 segundos para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis estadístico de los datos de Esfuerzo de Gel a 10 segundos en la Prueba efectividad del DC1 como dispersante en lodos calados</b>						
<b>Concentración (lb/Bbl)</b>	<b>Gel 10 seg (original)</b>	<b>Gel 10 seg (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	1,3	1,5	2	1,4	0,0100	0,1414
1	0	0,2	2	0,1	0,0100	0,1414
1,5	0	0,1	2	0,05	0,0025	0,0707
2	0	0	2	0	0	0
5	0	0	2	0	0	0
7	0	0	2	0	0	0
7*	0	0	2	0	0	0

**FUENTE.** Autores

**TABLA 35.** Análisis estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 minutos para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 minutos en la Prueba efectividad de la Pulpa de Café como dispersante</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 min (original)</b>	<b>Gel 10 min (replica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	17,6	18,3	2	17,95	0,1225	0,4949
1	12,8	12,7	2	12,75	0,0025	0,0707
1,5	6,1	7,7	2	6,9	0,64	1,1313
2	6,1	6,3	2	6,2	0,01	0,1414
5	5,4	4,2	2	4,8	0,36	0,8485
7	4,5	3,7	2	4,1	0,16	0,5656
7*	7,9	7,3	2	7,6	0,09	0,42426

**FUENTE.** Autores

**TABLA 36.** Análisis Estadístico de los Esfuerzos de Gel a 10 minutos para evaluar la efectividad del DC1 como Dispersante en lodos calados

<b>Análisis estadístico de los datos de Esfuerzos de gel a 10 minutos en la Prueba efectividad del DC1 como dispersante en lodos calados</b>						
<b>Concentración (lb/Bbl)</b>	<b>Gel 10 min (original)</b>	<b>Gel 10 min (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	1,4	1,6	2	1,5	0,0100	0,1414
1	0,1	0,4	2	0,25	0,0225	0,2121
1,5	0,1	0,2	2	0,15	0,0025	0,0707
2	0	0,1	2	0,05	0,0025	0,0707
5	0	0	2	0	0	0
7	0	0	2	0	0	0
7*	0	0	2	0	0	0

**FUENTE.** Autores

Se observa que los resultados obtenidos de las propiedades reológicas tanto originales como replicas no varían en mayor proporción a diferentes concentraciones de pulpa de café y DC1, de acuerdo con esto se puede analizar que los datos son representativos y los resultados son confiables.

A continuación, se procede a analizar el efecto que genera la pulpa de café y el DC1 sobre las propiedades químicas del lodo de perforación. A estas pruebas químicas no se le realiza réplica, debido a que el principal objetivo de esta fase es conocer la variación de las propiedades reológicas del lodo de perforación a diferentes concentraciones de pulpa de café.

En la Tabla 37, se presenta los resultados obtenidos de las pruebas químicas para evaluar el comportamiento del lodo de perforación a diferentes concentraciones de pulpa de café y DC1.

Seguidamente en las Figuras 32 y 33, se presenta el comportamiento del contenido de iones cloruros ( $Cl^-$ ; prueba sales) y cálcicos ( $Ca^{++}$ ; prueba dureza) a diferentes concentraciones de pulpa de café y DC1, respectivamente.

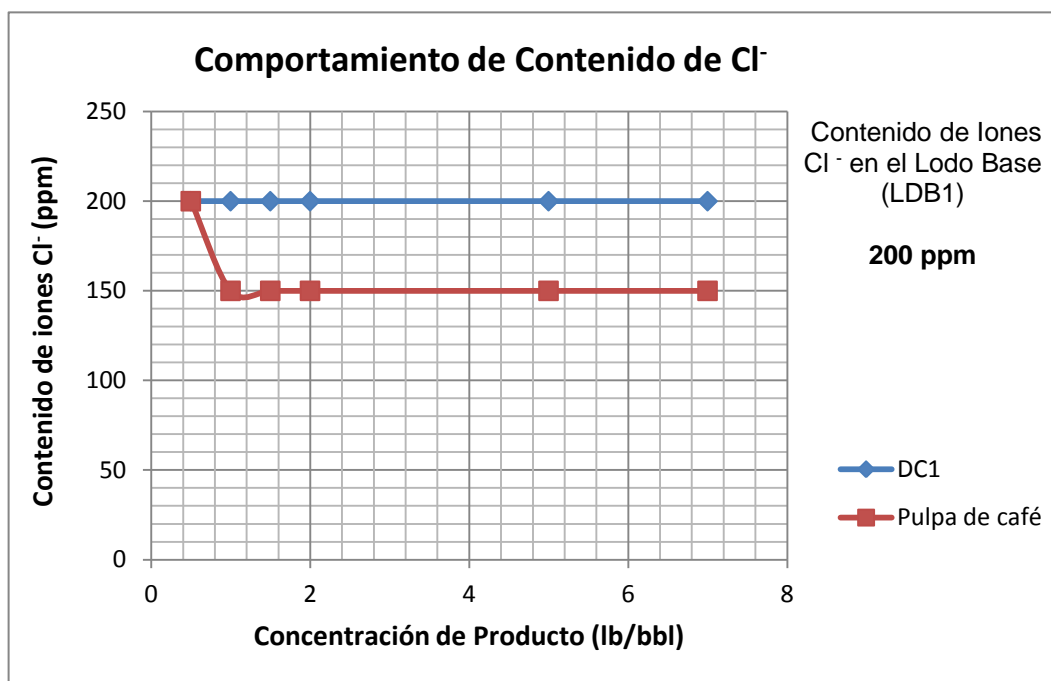
**TABLA 37.** Resultados pruebas químicas para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Dispersante en lodos calados

<b>PRUEBAS QUÍMICAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE Lodos CALADOS</b>							
<b>LODO</b>	<b>pH</b>	<b>Pf</b>	<b>Mf</b>	<b>ppm Cl<sup>-</sup></b>	<b>ppm NaCl</b>	<b>ppm Ca<sup>++</sup></b>	<b>ppm CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Componentes</b>							
Base (LDB1)	12,27	0,7	0,8	200	330	80	200
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb DC1	12,2	0,55	0,8	200	660	120	300
1,5 Bbl LDB1 + 0,5 ppb Pulpa de Café	12,18	1	1,3	200	330	360	900
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb DC1	12,08	0,5	0,65	200	660	160	400
1,5 Bbl LDB1 + 1,0 ppb Pulpa de Café	12,14	0,9	1,15	150	247,5	380	950
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb DC1	12,02	0,5	0,65	200	825	200	500
1,5 Bbl LDB1 + 1,5 ppb Pulpa de Café	12,11	0,8	1,25	150	247,5	440	1100
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb DC1	11,96	0,45	0,6	200	825	500	1250
1,5 Bbl LDB1 + 2,0 ppb Pulpa de Café	12,09	0,75	1,2	150	247,5	460	1150
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb DC1	11,84	0,45	0,55	200	990	560	1400
1,5 Bbl LDB1 + 5,0 ppb Pulpa de Café	11,87	0,6	0,95	150	247,5	460	1150
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb DC1	11,78	0,35	0,5	600	990	600	1500
1,5 Bbl LDB1 + 7,0 ppb Pulpa de Café	11,82	0,55	0,75	150	247,5	500	1250
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb DC1	12,08	0,5	0,6	500	825	620	1550
1,5 Bbl LDB1 + 7,0* ppb Pulpa de Café	12,2	0,7	1,2	200	412,5	540	1350

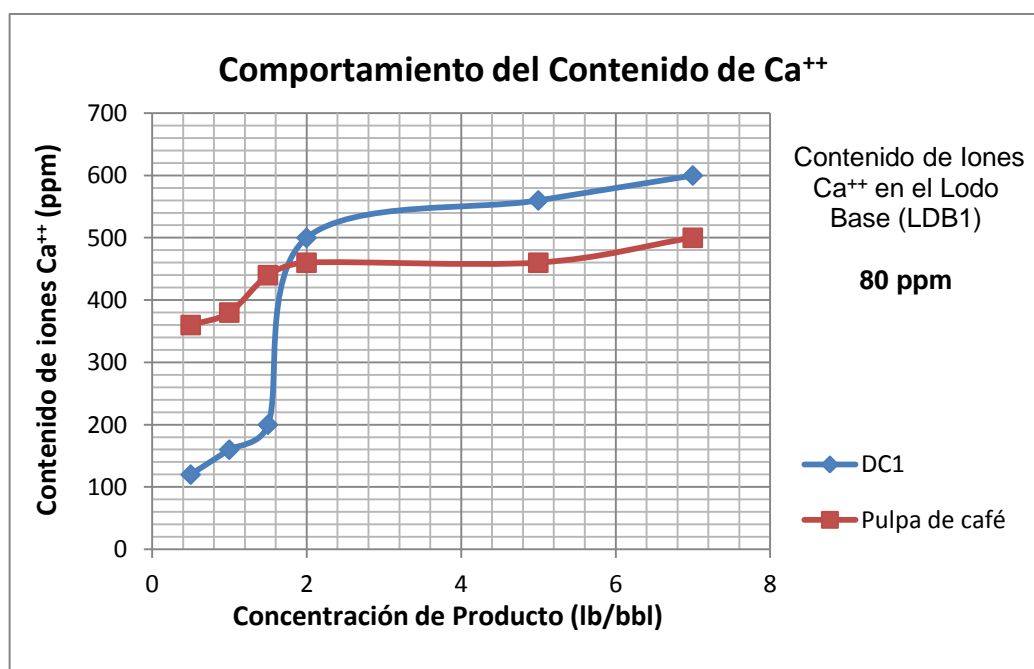
\* Lodos envejecidos 20 horas

**FUENTE.** Autores.

**FIGURA 32.** Comportamiento del contenido de Iones  $\text{Cl}^-$  a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 33.** Comportamiento del contenido de Iones  $\text{Ca}^{++}$  a diferentes concentraciones de Pulpa de Café y DC1



De acuerdo al comportamiento de las Figuras 32 y 33, se observa que el contenido de iones cloruros permanece constante a medida que la concentración de pulpa de café aumenta, esto es básicamente porque la pulpa de café no contiene cloruros en su composición química, y tampoco hay un medio contaminante que provoque la variación del contenido de estos iones. En el caso del DC1, se observa el mismo comportamiento, ya que este producto tampoco presenta cloruros en su composición.

Con respecto al contenido de calcio, se observa que a medida que aumenta la concentración de estos dos productos aumenta el contenido de calcio, lo cual se debe a la presencia de iones cálcicos en sus composiciones. Lo anterior puede ser corroborado en el Capítulo 3 donde se presenta la Tabla de “CONTENIDO DE CENIZAS Y MINERALES DE LA PULPA DE CAFÉ”, y además el DC1 es un lignosulfonato de calcio. Este contenido de calcio, el cual representa la dureza del lodo, debe ser controlado ya que estos iones causan abrasión a las tuberías de perforación.

### **7.3. SEGUNDA FASE: PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CONTAMINADOS**

Debido a que en una operación de perforación siempre se van a encontrar diferentes tipos de minerales durante el recorrido hacia la zona deseada, el fluido de perforación tiende a contaminarse y debe ser tratado para que sus propiedades no varíen y pueda cumplir con la función deseada.

En el presente trabajo se simuló una contaminación con sal y con cemento para evaluar la efectividad de la pulpa de café como agente dispersante. El comportamiento mostrado por los lodos en cada contaminación se comparó al igual que en la primera fase con el dispersante DC1.

### **7.3.1. Análisis de los resultados obtenidos de la Pulpa de Café comparados con DC1 en Lodos contaminados con Sal**

En esta etapa se busca evaluar el comportamiento de las propiedades físicas de un lodo contaminado con sal, debido a que este compuesto es comúnmente encontrado durante la fase perforación. En el trabajo se hará un énfasis en el análisis de las propiedades reológicas del mismo, a medida que se aumenta la concentración de los productos evaluados. Igualmente, se evaluará el comportamiento de algunas de sus propiedades químicas al realizar el tratamiento con ambos productos y realizando finalmente una comparación entre ellos.

En esta fase se realizaron dos tomas de datos a las propiedades reológicas del lodo, con el fin de realizarles un análisis estadístico y así analizar la representatividad de los mismos. Al igual que en la primera fase, estos datos de réplica no se les tomó a la prueba de control de filtrado, debido a que la acción de un agente dispersante se ve reflejada esencialmente en las propiedades reológicas del lodo. Tanto las pruebas de réplica como el análisis estadístico realizado se pueden detallar en el Anexo C del presente libro.

En la Tabla 38 se presenta el resultado de las pruebas físicas de los datos originales, para evaluar la efectividad de la pulpa de café como dispersante en lodos de perforación.

Adicionalmente, en las Figuras de la 34 a la 38, se exponen las gráficas correspondientes al comportamiento de las diferentes propiedades reológicas de lodo contaminado a diferentes concentraciones de pulpa de café y DC1.

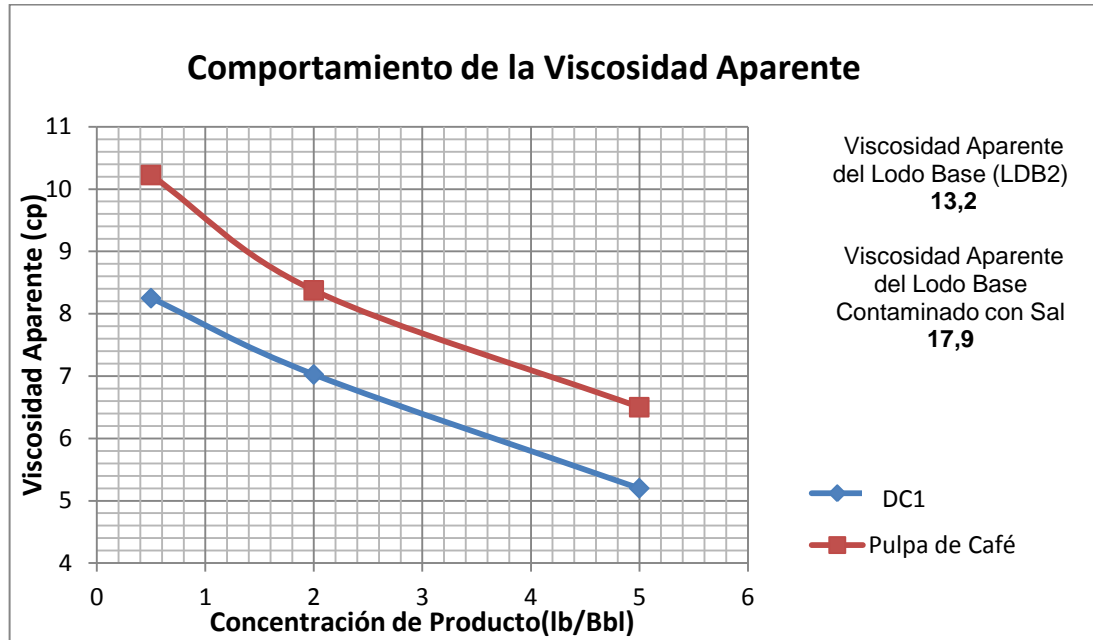
Seguidamente en la Tabla 39, se presenta un análisis de la reducción porcentual de las propiedades reológicas de un lodo contaminado con sal a una concentración de 5ppb de pulpa de café y DC1. Cabe resaltar que se tomó una concentración de 5 ppb, ya que a esta concentración se observa la máxima disminución de las propiedades reológicas del lodo contaminado.

**TABLA 38.** Resultados de los datos (Originales) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café en Lodos contaminados con Sal

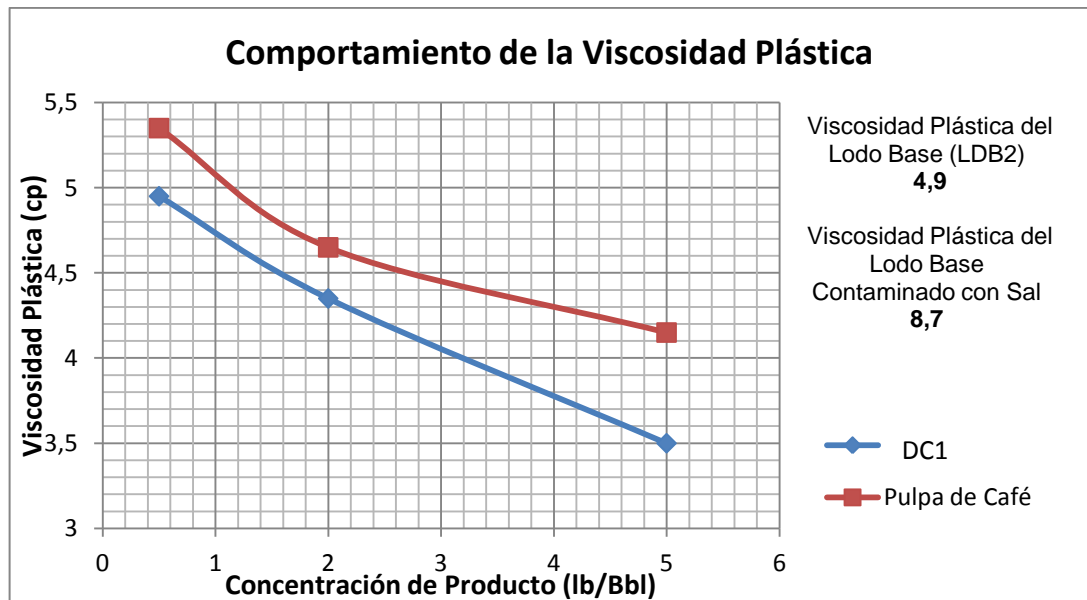
<b>PRUEBAS FÍSICAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CONTAMINADOS CON SAL (ORIGINAL)</b>											
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>		<b>Densidad del</b>	<b>Filtrado API</b>	<b>Espesor</b>	<b>Análisis de Torta</b>
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>	<b>[lb/100ft<sup>2</sup>]</b>	<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>	<b>10 min</b>	<b>Lodo [lb/Gal]</b>	<b>@ 30 min [ml]</b>	<b>1/32 [in]</b>	
Base (LDB2)	26,4	21,5	4,9	16,6	13,2	12,6	23,1	8,7	14,5	< 1 / 32	Plástica Consistente
Base (LDB2) contaminado con 30 gramos de Sal	35,8	27,1	8,7	18,4	17,9	15,3	20,5	9,1	82,5	2 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café	20,1	14,9	5,2	9,7	10,05	8,3	11,6	8	71,75	2 / 32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1	16,2	11,3	4,9	6,4	8,1	4,6	7,2	8,9	63,75	1 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café	16,4	11,8	4,6	7,2	8,2	6,7	9,1	8,5	68	2 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1	13,8	9,6	4,2	5,4	6,9	0,5	3,1	8,7	59,5	1 / 32	Quebradiza Consistente
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café	12,7	8,6	4,1	4,5	6,35	4,6	6,2	8,5	65,5	2 / 32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1	10,2	6,8	3,4	3,4	5,1	0,2	1,9	8,7	56,5	1 / 32	Quebradiza Consistente

FUENTE. Autores

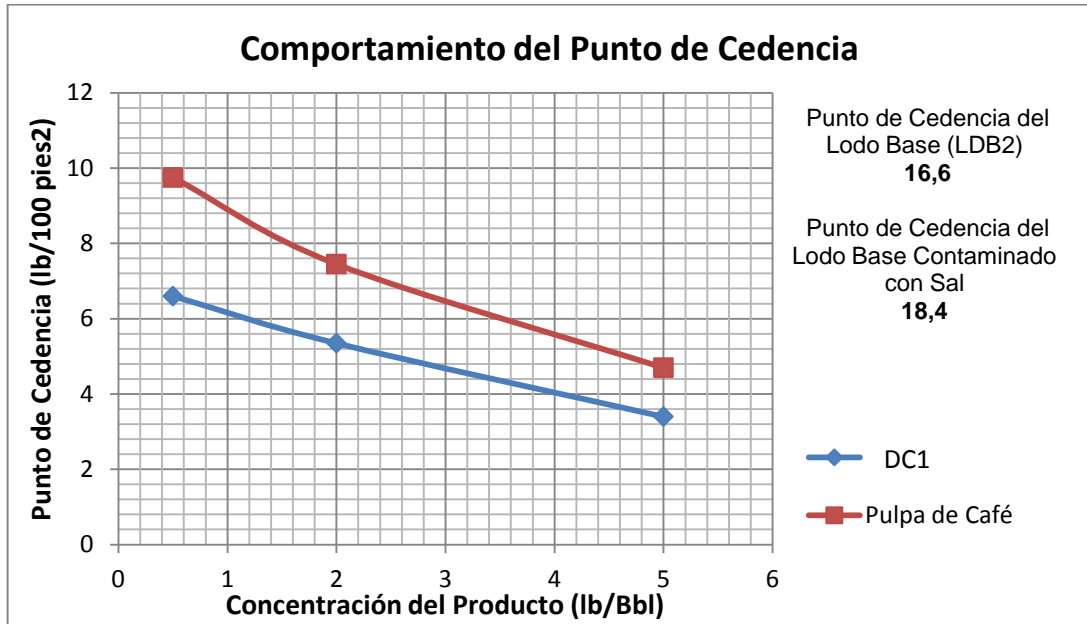
**FIGURA 34.** Comparación del comportamiento de la Viscosidad Aparente de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



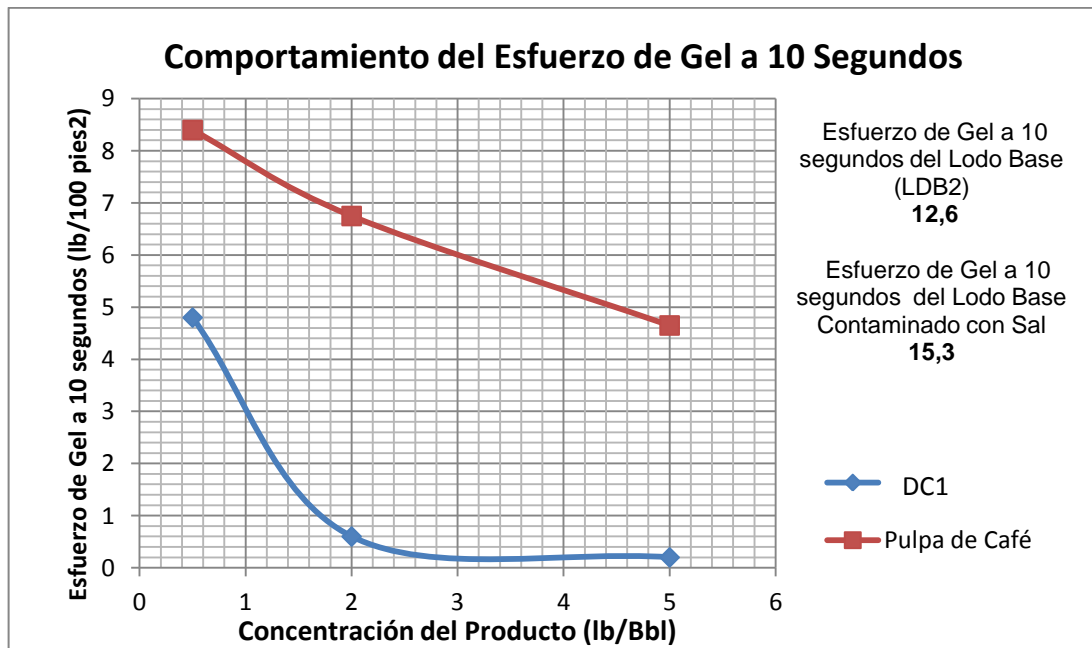
**FIGURA 35.** Comparación del comportamiento de la Viscosidad Plástica de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



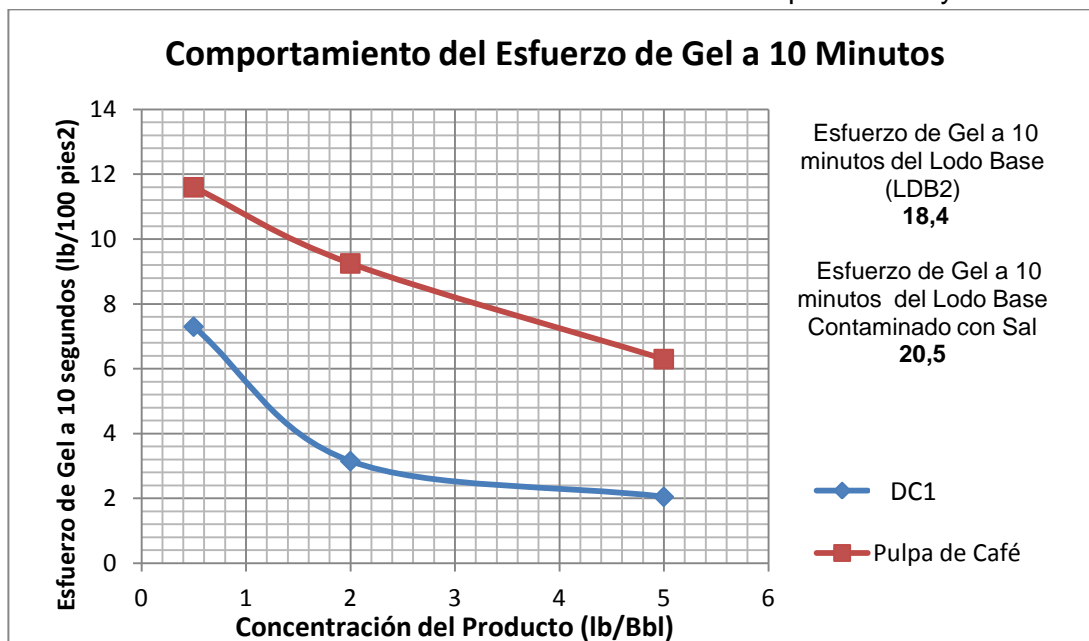
**FIGURA 36.** Comparación del comportamiento del Punto de Cedencia de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 37.** Comparación del comportamiento del Esfuerzo de Gel a 10 segundos de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 38.** Comparación del comportamiento del Esfuerzo de Gel a 10 minutos de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



**TABLA 39.** Reducción de las propiedades reológicas de un lodo contaminado con sal tratado con 5 ppb de Pulpa de Café y DC1

REDUCCIÓN PORCENTUAL DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LDB2 CONTAMINADO CON SAL TRATADO CON 5 PPB DE PULPA DE CAFÉ Y DC1					
Propiedad	LDB2 Contaminado con Sal	Pulpa de Café	Reducción Porcentual (%)	DC1	Reducción Porcentual (%)
Va (cP)	17,9	6,5	63,69	5,2	70,95
Vp (cP)	8,7	4,15	52,30	4,95	43,10
Yp (lb/100 ft)	18,4	4,7	74,46	4,15	77,45
Gel 10 seg (lb/100 ft)	15,3	4,65	69,61	0,2	98,69
Gel 10 min (lb/100 ft)	20,5	6,3	69,27	2,05	90,00

FUENTE. Autores

Por medio de los resultados y figuras anteriores se puede afirmar que la pulpa de café presenta un buen comportamiento en lodos contaminados con sal, ya que a medida que se aumentaba su concentración, las propiedades reológicas del lodo muestran una reducción en sus valores, en este caso a una concentración de 5ppb se disminuyeron las propiedades reológicas en aproximadamente 69%. Esto se debe a que inicialmente la sal cambió la distribución de las cargas eléctricas en la superficie de la arcilla, lo que generó que el lodo base se floculara. Al adicionarle la pulpa de café al lodo, sus cargas se estabilizaron produciendo que la fuerza de atracción propia de los sólidos contenidos en el lodo se redujera.

Al comparar el comportamiento de las propiedades reológicas de la pulpa de café, con los resultados de las mismas obtenidos al trabajar con el dispersante DC1, se observa que aún existe diferencia considerable en la disminución de las propiedades reológicas, aunque en este caso se aprecia que el comportamiento de la pulpa de café se acerca al DC1, ya que este último disminuye las propiedades reológicas en aproximadamente 80%. En base a lo anterior se puede decir que la respuesta de la pulpa de café es más efectiva en lodos contaminados con sal, en comparación con los resultados logrados en la contaminación con cal presentada con anterioridad.

Por otro lado, al observar los resultados obtenidos luego de realizar el análisis estadístico presentado en el Anexo C, es posible decir que los resultados obtenidos son representativos y confiables, debido a la ligera variación que existe entre los datos originales y los de la réplica, que se ve reflejado en el valor tan pequeño de la desviación estándar de los mismos.

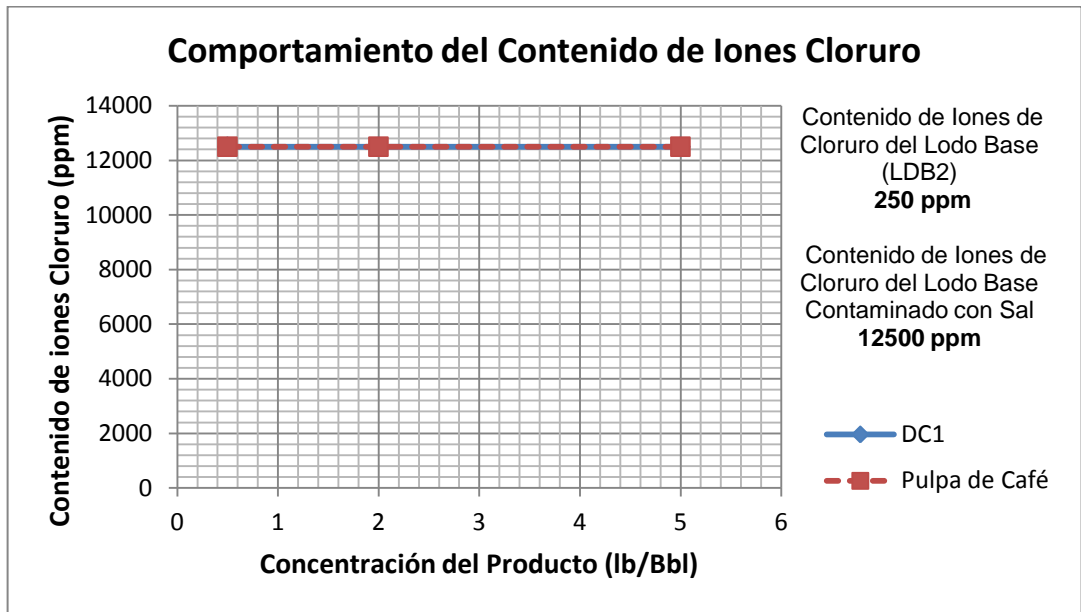
Para analizar las propiedades químicas de los lodos contaminados con sal, se espera que éstos presenten un alto contenido de sales, correspondientes a la contaminación. A continuación se evalúa el comportamiento del contenido de iones cloruro y cálcicos a medida que se varía la concentración tanto de pulpa como de DC1. En la Tabla 40 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas químicas y en las Figuras 39 y 40, se muestra el comportamiento de estas propiedades.

**TABLA 40.** Resultados de las Propiedades Químicas de la Pulpa de Café y el dispersante DC1 en Lodos contaminados con Sal

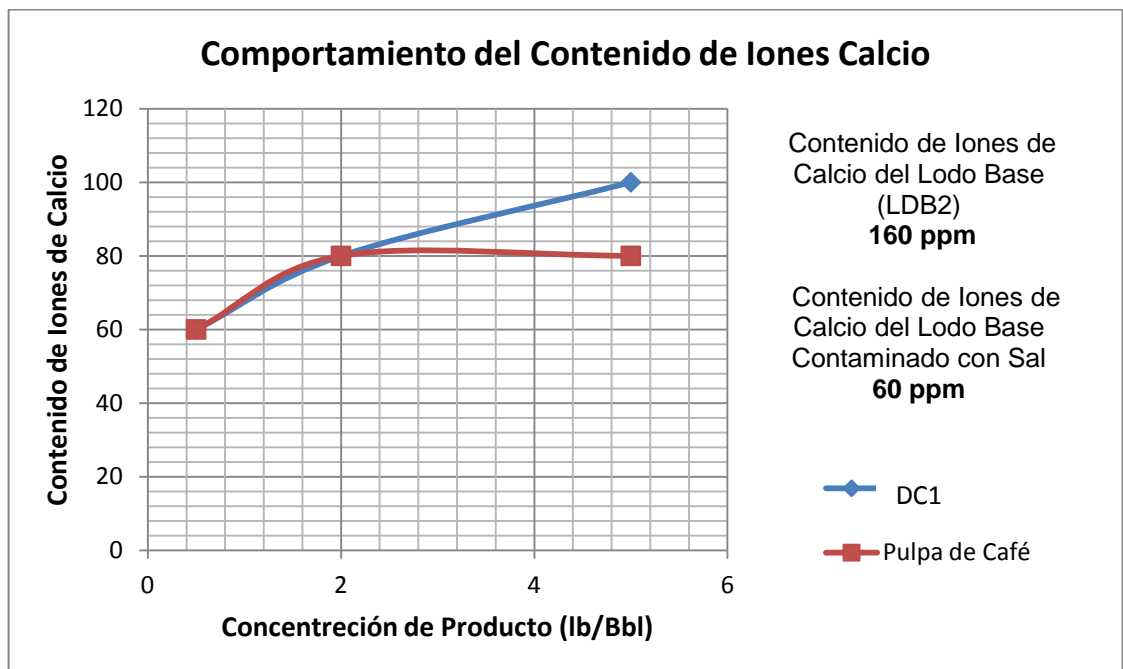
<b>PRUEBAS QUÍMICAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LA PULPA DE CAFÉ EN LODOS CONTAMINADOS CON SAL</b>							
<b>LODO</b>	<b>pH</b>	<b>Pf</b>	<b>Mf</b>	<b>ppm Cl<sup>-</sup></b>	<b>ppm NaCl</b>	<b>ppm Ca<sup>++</sup></b>	<b>ppm CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Componentes</b>							
Base (LDB2)	11,6	0,25	0,3	250	412,5	160	15
Base (LDB2) contaminado con 30 gramos de Sal	11,05	0	0,15	12500	20625	60	150
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1	10,09	0	0,1	12500	20625	60	150
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café	10,77	0,05	0,1	12500	20625	60	150
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1	7,35	0	0,1	12500	20625	80	200
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café	9,35	0	0,15	12500	20625	80	200
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1	4,63	0	0,1	12500	21450	10	250
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café	6,45	0	0,2	12500	21450	80	200

**FUENTE.** Autores.

**FIGURA 39.** Comparación del comportamiento del Contenido de Iones de Cloruro de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 40.** Comparación del comportamiento del Contenido de Iones de Calcio de un lodo contaminado con Sal al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



Finalmente, si se analizan los resultados obtenidos en las pruebas químicas, se observa que el lodo tratado con pulpa de café presentó un comportamiento muy similar al obtenido por el lodo con DC1, siendo el contenido de cloruros de ambos productos de 12500 ppm a una concentración de 5 ppb. Es importante recalcar que el alto contenido de iones  $\text{Cl}^-$  presente en el lodo se debe fundamentalmente a la gran cantidad de sal utilizada como contaminante. Estos valores de sales pueden generar graves problemas de corrosión durante la operación de perforación, y debido a que no es posible precipitar la sal de un lodo con medios químicos, para lograr un buen tratamiento es necesario diluir con agua dulce para reducir la concentración de sales del lodo.

### **7.3.2. Análisis de los resultados obtenidos de la Pulpa de Café comparados con DC1 en Lodos contaminados con Cemento**

En esta sección, se evalúa el comportamiento de las propiedades reológicas del lodo contaminado con cemento a medida que se varía la concentración de la pulpa de café y DC1, con el fin de realizar una comparación de los comportamientos de las propiedades del lodo al tratarlo con estos dos productos.

El análisis estadístico para determinar el grado de representatividad de los datos obtenidos en el laboratorio puede ser detallado en el Anexo C.

En la Tabla 41, se presentan los resultados de las pruebas físicas originales para evaluar la efectividad de la pulpa de café como dispersante en lodos de perforación. Adicionalmente, en las Figuras de la 41 a la 45, se exponen las gráficas correspondientes al comportamiento de las diferentes propiedades reológicas de lodo contaminado a diferentes concentraciones de pulpa de café y DC1.

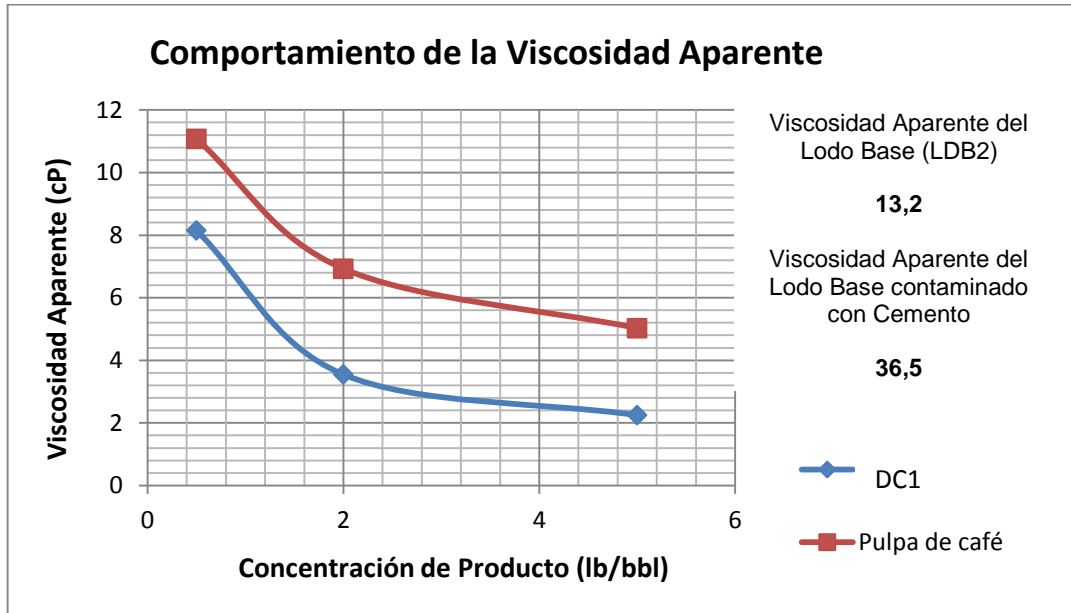
Seguidamente se presenta la Tabla 42, en donde se muestra el análisis de la reducción porcentual de las propiedades reológicas en un lodo contaminado con cemento a una concentración de 5 ppb de pulpa de café y DC1. Cabe resaltar que se toma 5 ppb, ya que se observa la mayor disminución de las propiedades reológicas a esa concentración.

**TABLA 41.** Resultados de los datos (Originales) de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café y DC1 en Lodos contaminados con Cemento

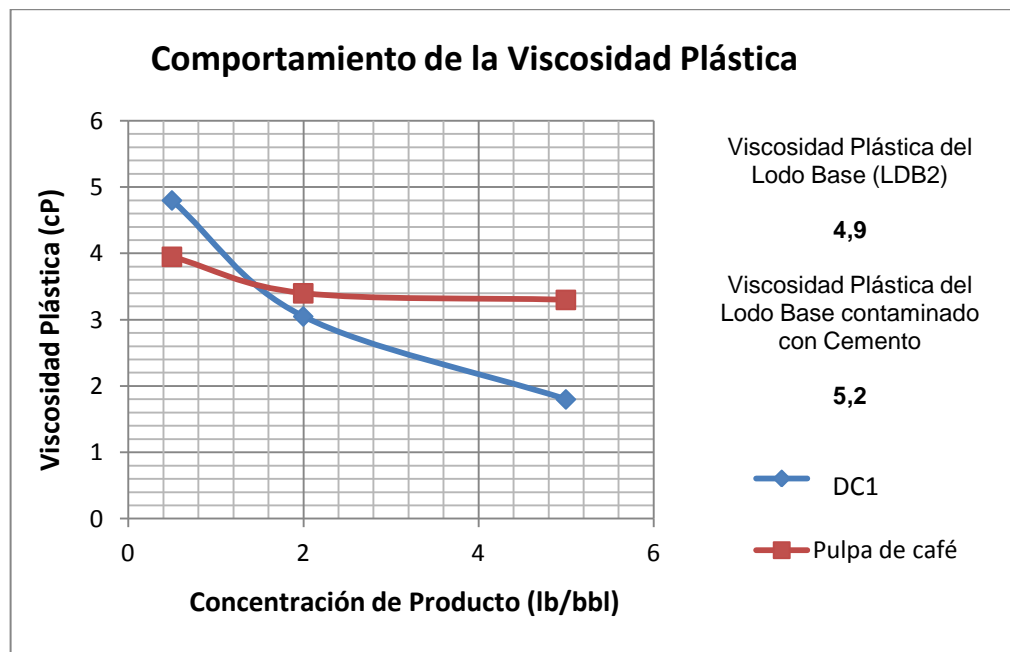
<b>PRUEBAS FÍSICAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CONTAMINADOS CON CEMENTO (ORIGINAL)</b>											
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>		<b>Densidad del</b>	<b>Filtrado API</b>	<b>Espesor</b>	<b>Análisis de Torta</b>
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>	<b>[lb/100 ft<sup>2</sup>]</b>	<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>	<b>10 min</b>	<b>Lodo [lb/Gal]</b>	<b>@ 30 min [ml]</b>	<b>1/32 [in]</b>	
Base (LDB2)	26,4	21,5	4,9	16,6	13,2	12,6	23,1	8,7	14,5	< 1/32	Plástica Consistente
Base (LDB2) contaminado con 5 gramos de Cemento	72,3	67,1	5,2	61,9	36,15	18,2	23,4	8,9	107	4/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1	16,4	11,4	5	6,4	8,2	10,3	10,6	8,8	43	1/32	Quebradiza Consistente
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café	21,6	17,6	4	13,6	10,8	14,3	15,1	8,6	40,5	2/32	Quebradiza Inconsistente
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1	6,9	3,9	3	0,9	3,45	2,3	2,4	8,7	27,5	1/32	Quebradiza Consistente
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café	13,5	10,2	3,3	6,9	6,75	6,2	7,5	8,6	37,5	2/32	Quebradiza Consistente
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1	4,2	2,5	1,7	0,8	2,1	1,5	1,8	8,7	18	1/32	Quebradiza Consistente
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café	9,8	6,3	3,5	2,8	4,9	3,8	4,2	8,5	36	2/32	Quebradiza Consistente

**FUENTE.** Autores.

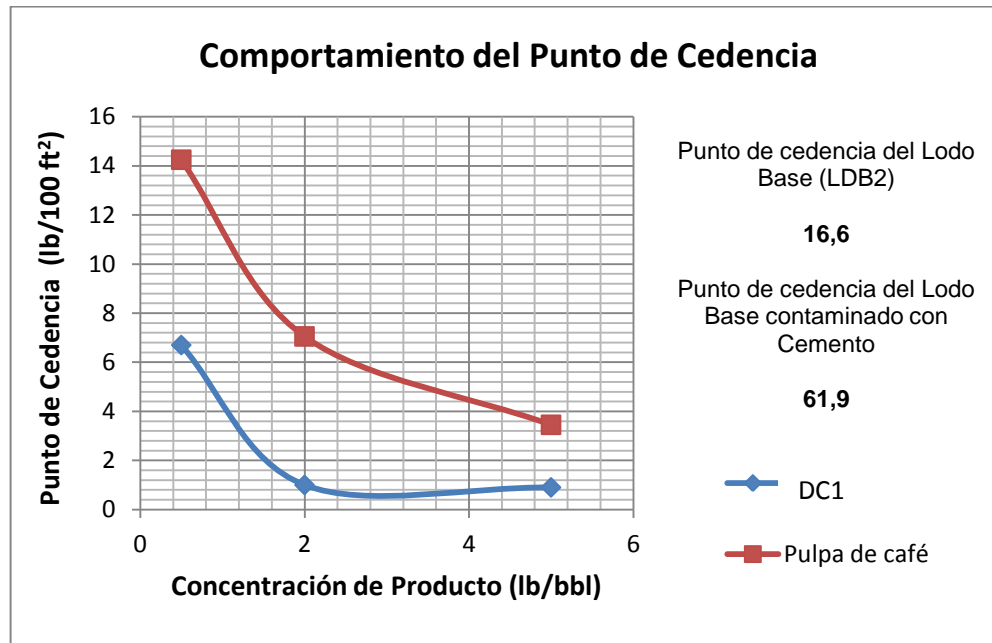
**FIGURA 41.** Comparación del comportamiento de la Viscosidad Aparente de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1



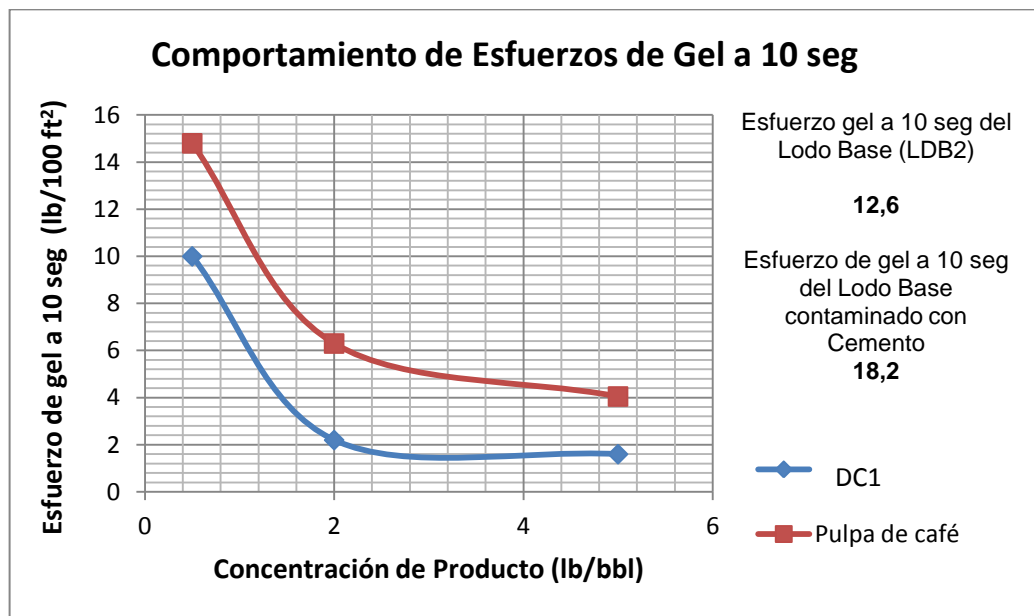
**FIGURA 42.** Comparación del comportamiento de la Viscosidad Plástica de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1



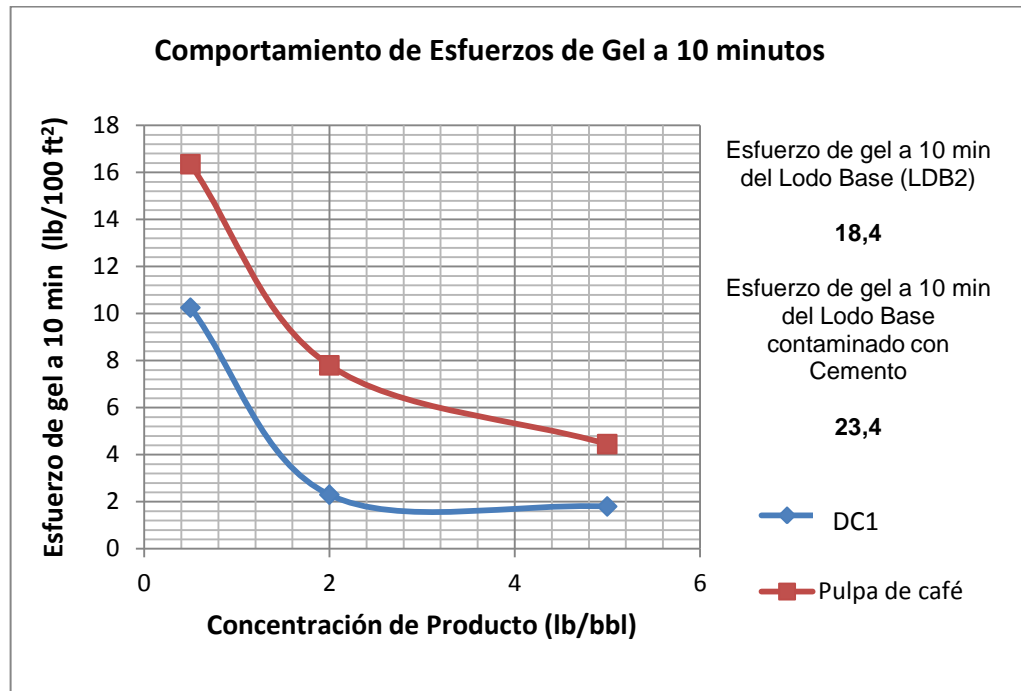
**FIGURA 43.** Comparación del comportamiento del Punto de Cedencia de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 44.** Comparación del comportamiento de los Esfuerzos de gel a 10 segundos de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 45.** Comparación del comportamiento del Esfuerzo de gel a 10 minutos de un Lodo contaminado con Cemento tratado con Pulpa de Café y DC1



**TABLA 42.** Reducción de las propiedades reológicas de un lodo contaminado con cemento tratado con 5 ppb de Pulpa de Café y DC1

REDUCCIÓN PORCENTUAL DE LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DEL LDB2 CONTAMINADO CON CEMENTO TRATADO CON 5 PPB DE PULPA DE CAFÉ Y DC1					
Propiedad	LDB2 Contaminado con Cemento	Pulpa de Café	Reducción Porcentual (%)	DC1	Reducción Porcentual (%)
Va (cP)	36,15	5,25	85,48	2,25	93,78
Vp (cP)	5,2	3,3	36,54	1,8	65,38
Yp (lb/100 ft)	61,9	3,45	94,43	0,9	98,55
Gel 10 seg (lb/100 ft)	18,2	4,05	77,75	1,6	91,21
Gel 10 min (lb/100 ft)	23,4	4,45	80,98	1,8	92,31

FUENTE. Autores

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, es posible decir que la pulpa de café tiene un buen rendimiento como dispersante frente a un contaminante como el cemento, el cual es comúnmente encontrado en una operación de perforación. Lo anterior se puede inferir debido a que a medida que se aumenta la concentración de pulpa de café, las diferentes propiedades reológicas características del lodo contaminado disminuyen aproximadamente un 82%, lo cual es debido a las fuerzas de repulsión que provoca la pulpa de café a los sólidos constituyentes del lodo contaminado y a la disminución de la interacción química de los mismos.

Del análisis estadístico realizado (el cual se encuentra en el Anexo C), se observa que los resultados de las propiedades reológicas son representativos, lo cual genera resultados confiables.

Para el análisis de las propiedades químicas del lodo contaminado, se cuenta con la Tabla 43, en donde se presentan los resultados obtenidos tanto para la pulpa de café como para el DC1. Del mismo modo, en las Figuras 46 y 47 se presentan las gráficas de los comportamientos de algunas de las propiedades químicas del lodo al tratarlo con cada producto.

**TABLA 43.** Resultados de las Propiedades Químicas de la Pulpa de Café y el Dispersante DC1 en Lodos contaminados con Cemento

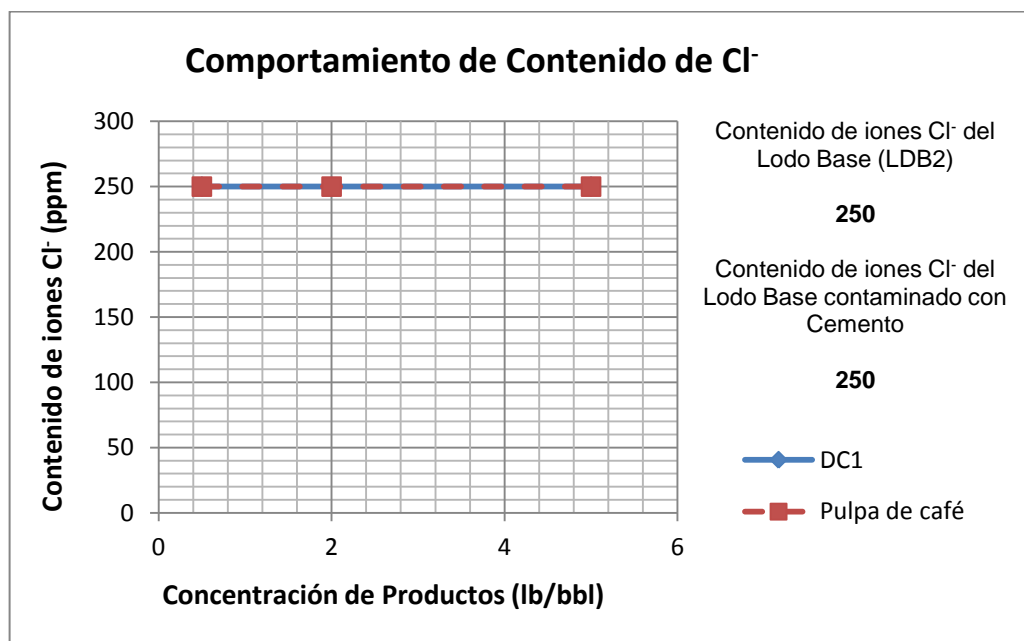
<b>PRUEBAS QUÍMICAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LA PULPA DE CAFÉ EN LODOS CONTAMINADOS CON CEMENTO</b>							
<b>LODO</b>	<b>pH</b>	<b>Pf</b>	<b>Mf</b>	<b>ppm Cl<sup>-</sup></b>	<b>ppm NaCl</b>	<b>ppm Ca<sup>++</sup></b>	<b>ppm CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Componentes</b>							
Base (LDB2)	11,5	0,25	0,3	250	412,5	160	400
Base (LDB2) contaminado con 5 gramos de Cemento	11,7	0,2	0,3	250	412,5	380	950
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1	11,62	0,15	0,2	250	412,5	420	1050
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café	11,56	0,25	0,35	250	412,5	400	1000

**TABLA 43.** (Continuación)

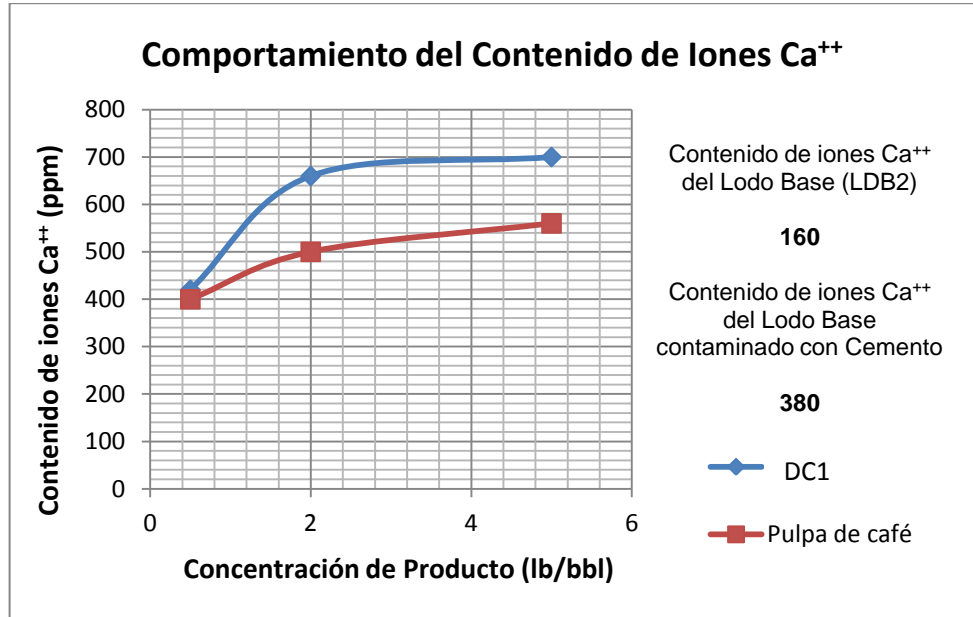
<b>PRUEBAS QUÍMICAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LA PULPA DE CAFÉ EN LODOS CONTAMINADOS CON CEMENTO</b>							
<b>LODO</b>	<b>pH</b>	<b>Pf</b>	<b>Mf</b>	<b>ppm Cl<sup>-</sup></b>	<b>ppm NaCl</b>	<b>ppm Ca<sup>++</sup></b>	<b>ppm CaCO<sub>3</sub></b>
<b>Componentes</b>							
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1	11,48	0,2	0,4	250	412,5	660	1650
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café	11,5	0,2	0,4	250	412,5	500	1250
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1	10,65	0,1	0,35	250	412,5	700	1750
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café	11,07	0,2	0,4	250	412,5	560	1400

**FUENTE.** Autores.

**FIGURA 46.** Comparación del comportamiento de Contenido de iones Cl<sup>-</sup> de un Lodo contaminado con Cemento al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



**FIGURA 47.** Comparación del comportamiento del Contenido de iones  $\text{Ca}^{++}$  de un Lodo contaminado con Cemento al ser tratado con Pulpa de Café y DC1



De acuerdo al comportamiento de las Figuras 46 y 47, se observa que a medida que aumenta la concentración de la pulpa de café y del DC1, el contenido de cloruros permanece igual. Pero a medida que aumenta la concentración de estos dos productos incrementa a su vez el contenido de calcio, lo cual se debe básicamente al alto contenido de calcio que estos componentes, y adicionalmente, el contenido de cemento debido a la contaminación favorece a que la concentración de calcio sea aún mayor.

#### **7.4. TERCERA FASE: PRUEBA PARA EVALUAR LA PULPA DE CAFÉ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO**

Este numeral tiene como objetivo determinar la efectividad de la pulpa de café como controlador de filtrado en lodos de perforación. Sin embargo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos al determinar la efectividad de la pulpa de café en un lodo base con

contenido de cal y en lodos contaminados con cemento y sal, se puede prever que la pulpa de café no funciona como agente controlador de filtrado. Aún así se realizan las pruebas de controlador de filtrado con el fin de comparar su efectividad frente a otros aditivos usados con tal propósito.

En las Tablas 44 y 45 se presentan los resultados para evaluar la efectividad de la pulpa de café como controlador de filtrado. De igual manera se presentan las Figuras 48 y 49, donde se muestra la variación del filtrado API utilizando pulpa de café y los productos comerciales CF1 y CF2 a diferentes concentraciones y finalmente el análisis de las tortas.

**TABLA 44.** Resultados pruebas del filtrado para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado (réplica)

PRUEBAS DE FILTRADO API PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LA PULPA DE CAFÉ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO (RÉPLICA)							
LODO	Filtrado API	Espesor	Análisis de Torta	LODO	Filtrado API	Espesor	Análisis de Torta
Componentes	@ 30 min [ml]	1/32 [in]		Componentes	@ 30 min [ml]	1/32 [in]	
Base (LDB3)	12,3	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb CF2	7,3	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF1	8,5	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb Pulpa de Café	9,85	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF2	9,05	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF1	5,65	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb Pulpa de Café	11,75	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF2	6,35	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF1	7,2	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb Pulpa de Café	9,8	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF2	8,35	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF1*	5,4	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb Pulpa de Café	10,45	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF2*	6,5	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb CF1	6,8	< 1/32	Plástica Consistente	1,5 Bbl LD3 + 7,0 ppb Pulpa de Café*	12	< 1/32	Plástica Consistente

\* Lodos envejecidos a 20 horas

FUENTE. Autores.

**TABLA 45.** Resultados pruebas físicas para evaluar la efectividad de la Pulpa de Café como Controlador de Filtrado

<b>PRUEBAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LA PULPA DE CAFÉ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO</b>											
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>		<b>Densidad del</b>	<b>Filtrado API</b>	<b>Espesor</b>	<b>Análisis de Torta</b>
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>	<b>[lb/100 ft<sup>2</sup>]</b>	<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>	<b>10 min</b>	<b>Lodo [lb/Gal]</b>	<b>@ 30 min [ml]</b>	<b>1/32 [in]</b>	
Base (LDB3)	35,1	27,3	7,8	19,5	17,55	9,2	11,2	9,05	12,5	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF1	39,5	30	9,5	20,5	19,75	9,9	12,2	9,05	8,75	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb CF2	72,8	53,4	19,4	34	36,4	11,2	16,7	9,05	8,75	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 2,0 ppb Pulpa de Café	40,1	29,5	10,6	18,2	20,05	8,4	10,2	9,05	10,5	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF1	56,3	43,6	12,7	30,9	28,15	10	15	9,05	7,5	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb CF2	108	77,1	30,9	46,2	54	11,1	19,8	9,05	8	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 3,0 ppb Pulpa de Café	44,3	32,7	11,6	21,1	22,15	8,2	10,6	9,05	9,8	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb CF1	68,5	52,3	16,2	36,1	34,25	10,2	13,9	9,05	6,5	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb CF2	154,6	109,2	45,4	63,8	77,3	11,6	22	9,05	7,25	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 5,0 ppb Pulpa de Café	47	34,4	12,6	21,8	23,5	8,7	11,2	9,05	9,75	< 1/32	Plástica Consistente

**TABLA 45.** (Continuación)

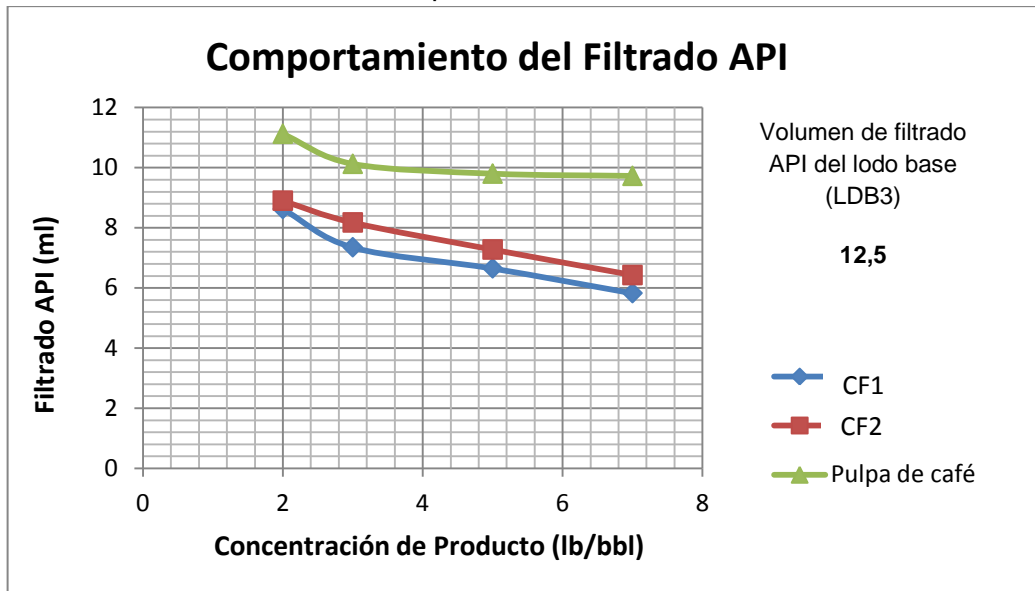
<b>PRUEBAS PARA EVALUAR LA EFECTIVIDAD DE LA PULPA DE CAFÉ COMO CONTROLADOR DE FILTRADO</b>											
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>		<b>Densidad del</b>	<b>Filtrado API</b>	<b>Espesor</b>	<b>Análisis de Torta</b>
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>	<b>[lb/100 ft<sup>2</sup>]</b>	<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>	<b>10 min</b>	<b>Lodo [lb/Gal]</b>	<b>@ 30 min [ml]</b>	<b>1/32 [in]</b>	
1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF1	77,8	58,5	19,3	39,2	38,9	8,3	11,4	9,05	6	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF2	243,5	170	73,5	96,5	121,75	11,2	20,4	9,05	6,5	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb Pulpa de Café	51,8	37,1	14,7	22,4	25,9	9,7	11,8	9,05	9,65	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF1*	79,3	58	21,3	36,7	39,65	7	9,1	9,05	5,4	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb CF2*	269,2	182,8	86,4	96,4	134,6	9,4	16,3	9,05	6,5	< 1/32	Plástica Consistente
1,5 Bbl LDB3 + 7,0 ppb Pulpa de Café*	54	37,8	16,2	21,6	27	9,1	12,2	9,05	12	< 1/32	Plástica Consistente

\* Lodos envejecidos a 20 horas.

**FUENTE.** Autores.

En este numeral se omitieron las pruebas replicas a las propiedades reológicas, debido a que el principal objetivo de este numeral es el análisis del filtrado y la calidad de la torta obtenida. De la misma manera tampoco se le realizaron réplicas a los lodos envejecidos.

**FIGURA 48.** Comparación de los resultados de filtrado API a diferentes concentraciones de los productos evaluados



**FIGURA 49.** Comparación de los resultados del Filtrado API a diferentes concentraciones de los productos evaluados



FUENTE. Autores.

De acuerdo con la Figura 48, se observa que a medida que se aumenta la concentración de pulpa de café, el volumen de filtrado tiende a disminuir en comparación con el filtrado obtenido por el lodo base en un 27,6%, de esta manera se puede analizar que la pulpa de café no genera un efecto importante en la disminución del filtrado API.

En comparación con los resultados obtenidos por aditivos controladores de filtrado utilizados en la industria; el CF1 y CF2, los cuales disminuyen el volumen de filtrado en un 52% y 48%, respectivamente. Se puede inferir que la pulpa de café no tiene un buen rendimiento como controlador de filtrado en comparación con controladores de filtrados utilizados en una operación de perforación.

Con respecto al análisis de tortas, tanto la pulpa de café como los controladores comerciales CF1 y CF2 generan películas de tortas en todas las concentraciones de productos a las que se trabajo, lo cual quiere decir que el revoque tiene una buena calidad.

Teniendo en cuenta el resultado de los lodos envejecido, se observa que a medida que pasa el tiempo la pulpa de café pierde efectividad, y esto se nota en el aumento de la cantidad de filtrado, lo cual no ocurre cuando se trata el lodo con CF1 y CF2 ya que se observa que el volumen de filtrado tiende a mantenerse constante.

A continuación se muestran las Tablas de la 46 a la 48, en la cual se presenta el análisis estadístico del volumen de filtrado API para demostrar que los datos y resultados son confiables.

**TABLA 46.** Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones del Controlador comercial CF1

<b>Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones de CF1</b>						
<b>Concentración (lb/Bbl)</b>	<b>Filtrado (original) (ml)</b>	<b>Filtrado (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
2	8,75	8,5	2	8,625	0,0156	0,1767
3	7,5	7,2	2	7,35	0,0225	0,2121
5	6,5	6,8	2	6,65	0,0225	0,2121
7	6	5,65	2	5,825	0,0306	0,2474

**TABLA 47.** Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones del Controlados comercial CF2

<b>Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones de CF2</b>						
<b>Concentración (lb/Bbl)</b>	<b>Filtrado (original) (cP)</b>	<b>Filtrado (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
2	8,75	9,05	2	8,9	0,0225	0,2121
3	8	8,35	2	8,175	0,0306	0,2474
5	7,25	7,3	2	7,275	0,0006	0,0353
7	6,5	6,35	2	6,425	0,0056	0,1060

**TABLA 48.** Análisis estadístico del Filtrado API de un lodo a diferentes concentraciones de Pulpa de Café

<b>Análisis estadístico del Filtrado API a diferentes concentraciones de Pulpa de Café</b>						
<b>Concentración (lb/Bbl)</b>	<b>Filtrado (original) (ml)</b>	<b>Filtrado (replica) (ml)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
2	10,5	11,75	2	11,125	0,3906	0,8838
3	9,8	10,45	2	10,125	0,1056	0,4596
5	9,75	9,85	2	9,8	0,0025	0,0707
7	9,65	9,8	2	9,725	0,0056	0,1060

Teniendo en cuenta los resultados de análisis estadístico, se deduce que los resultados obtenidos en el laboratorio son representativos, y por ende el análisis de resultados es confiable.

#### **7.5. CUARTA FASE: PRUEBA DE RENDIMIENTO EVALUADO A LA PULPA DE CAFE**

En esta sección, se realiza una comparación entre el comportamiento de la pulpa de café como viscosificante, frente a un aditivo comercial diseñado para aumentar las propiedades reológicas de un fluido de perforación.

### 7.5.1. Prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café

En esta prueba se busca determinar si efectivamente la pulpa de café funciona como viscosificante. En este orden de ideas se presentan en las Tablas 49 y 50 los resultados obtenidos en la prueba de rendimiento para la pulpa de café a diferentes concentraciones, con el fin de observar el cambio de viscosidad al adicionar cantidades superiores del producto evaluado.

En la Figura 50, se presenta la curva de rendimiento característica de la pulpa de café a diferentes concentraciones, la línea de color azul representa el valor medio o valor promedio de las pruebas realizadas (original y réplica).

De la curva de rendimiento se puede obtener la ecuación polinómica característica, la cual representa el modelo matemático que describe el porcentaje de variabilidad de viscosidad aparente ( $V_a$ ) a diferentes concentraciones.

**TABLA 49.** Resultados de la prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café en agua dulce (Original)

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ EN AGUA DULCE (ORIGINAL)					
PROCEDIMIENTO		600 RPM	Va (Cp)	Densidad del lodo (lb/gal)	pH
Producto	Concentración				
Pulpa de Café (lb/bbl)	5	1,2	0,6	8,40	4,21
	10	1,5	0,75	8,40	4,17
	20	2,3	1,15	8,41	4,13
	30	3,5	1,75	8,41	4,11
	50	4,7	2,35	8,41	4,09
	75	5,4	2,7	8,41	4,08
	100	6	3	8,42	4,08

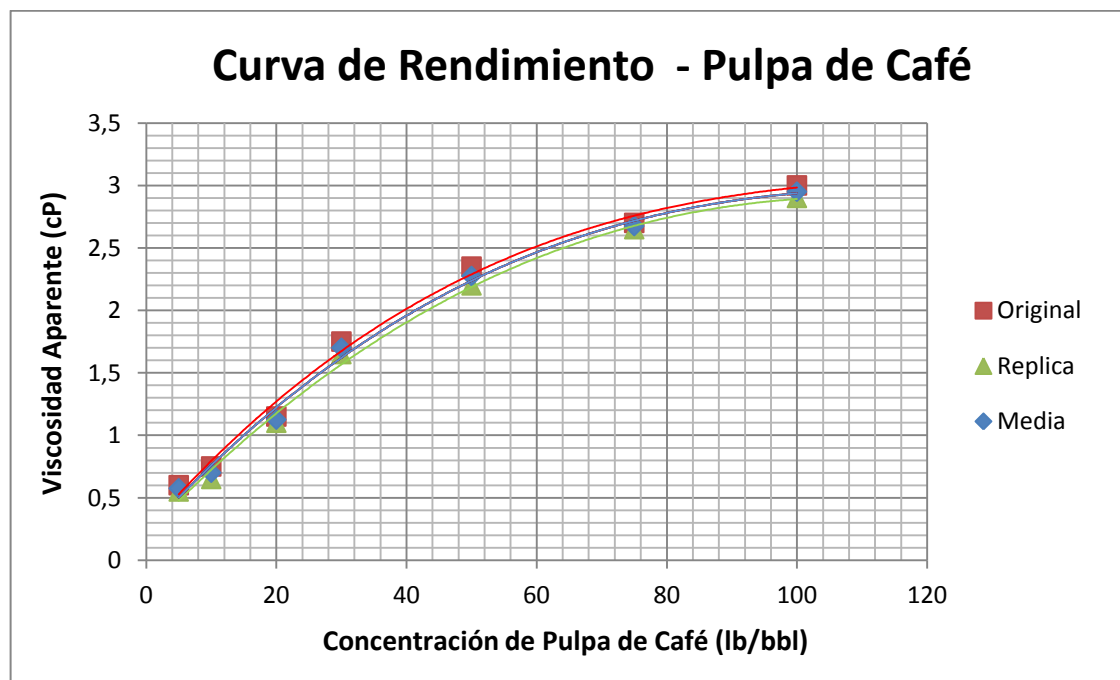
**FUENTE.** Autores.

**TABLA 50.** Resultados de la prueba de Rendimiento de la Pulpa de Café en agua dulce (Réplica)

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ EN AGUA DULCE (RÉPLICA)					
PROCEDIMIENTO		600 RPM	Va (Cp)	Densidad del lodo (lb/gal)	pH
Producto	Concentración				
Pulpa de Café (lb/bbl)	5	1,1	0,55	8,40	4,18
	10	1,3	0,65	8,40	4,16
	20	2,2	1,1	8,41	4,15
	30	3,3	1,65	8,41	4,13
	50	4,4	2,2	8,41	4,11
	75	5,3	2,65	8,41	4,11
	100	5,8	2,9	8,42	4,09

FUENTE. Autores.

**FIGURA 50.** Curva de Rendimiento de la Pulpa de Café



$$Va = 7x10^{-7}C^3 - 0,0004C^2 + 0,00571C + 0,2254$$

$$R^2 = 0,9944$$

Donde,

Va = Viscosidad aparente (Cp)

C = Concentración de pulpa de café (lb/bbl)

Teniendo en cuenta el polinomio característico de la curva de rendimiento de la pulpa de café, se busca determinar la concentración correspondiente a una viscosidad de 15 Cp.

$$7x10^{-7}C^3 - 0,0004C^2 + 0,00571C - 14,7746 = 0$$

$$C = 492,81 [lb/bbl]$$

Podemos corroborar que efectivamente la pulpa de café no funciona como viscosificante, debido a que se necesita una concentración de 492,81 lb/bbl para que la viscosidad aparente del fluido sea 15 Cp. Esta alta concentración provoca una sobresaturación del sistema generándose unos grumos, los cuales son el principal factor del aumento de la viscosidad.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la prueba de la efectividad de la pulpa de café como dispersante, la cual resultó satisfactoria. Se decidió omitir las pruebas de rendimiento de la pulpa de café bajo el efecto de la sal y el pH sobre la viscosidad del lodo de perforación; al igual que las pruebas de extensión de las propiedades de la bentonita por las razones comentadas anteriormente.

En la Tabla 51, se presenta el análisis estadístico del rendimiento de la pulpa de café en agua dulce.

**TABLA 51.** Análisis estadístico del Rendimiento de la Pulpa de Café en agua dulce

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL RENDIMIENTO DE LA PULPA DE PULPA DE CAFÉ EN AGUA DULCE</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Va (original) (cP)</b>	<b>Va (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
5	0,6	0,55	2	0,575	0,0006	0,0353
10	0,75	0,65	2	0,7	0,0025	0,0707
20	1,15	1,1	2	1,125	0,0006	0,0353
30	1,75	1,65	2	1,7	0,0025	0,0707
50	2,35	2,2	2	2,275	0,0056	0,106
75	2,7	2,65	2	2,675	0,0006	0,0353
100	3	2,9	2	2,95	0,0025	0,0707

**FUENTE.** Autores.

Se observa que los resultados obtenidos de viscosidad aparente tanto original como replica no varían en mayor proporción, de acuerdo con esto se puede analizar que los datos son representativos y los resultados son confiables.

### **7.5.2. Prueba de Rendimiento de un Viscosificante Comercial (VC)**

En esta prueba se busca comparar el rendimiento de la pulpa de café como viscosificante con un viscosificante comercial (VC). Aunque se puede deducir con anterioridad que no existe ningún punto de comparación entre estos dos productos, debido a que la pulpa de café no funciona como viscosificante, y el producto que será evaluado a continuación se utiliza en la industria como aditivo para el aumento de la viscosidad en lodos de perforación.

Los resultados de la prueba de rendimiento del VC como viscosificante se muestran en las Tablas 52 y 53.

Seguidamente se presenta la Figura 51, la cual es una curva de rendimiento del viscosificante VC a diferentes concentraciones, la línea de color azul representa el valor medio o valor promedio de las pruebas realizadas (original y réplica).

Como se mencionó anteriormente de la curva de rendimiento se puede obtener la ecuación polinómica característica, la cual representa el modelo matemático que describe el porcentaje de variabilidad de viscosidad aparente ( $V_a$ ) a diferentes concentraciones.

**TABLA 52.** Resultados de la prueba de Rendimiento del Viscosificante VC en agua dulce (Original)

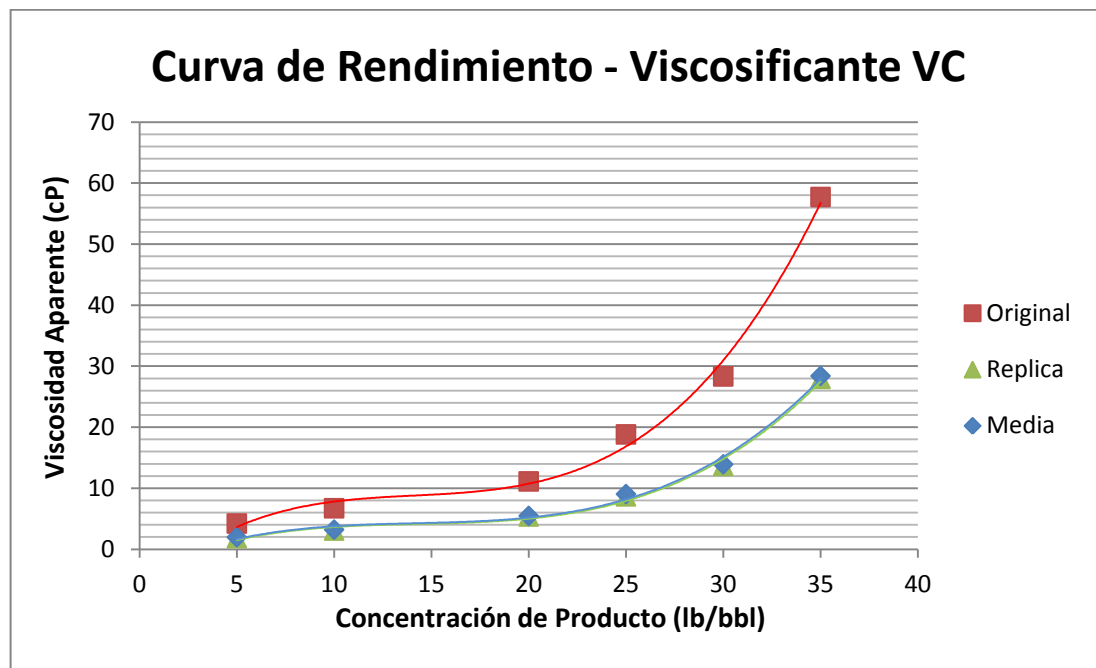
PRUEBA DE RENDIMIENTO DEL VISCOSIFICANTE VC EN AGUA DULCE (ORIGINAL)					
PROCEDIMIENTO		600 RPM	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)	pH
Producto	Concentración				
Viscosificante VC (lb/bbl)	5	4,2	2,1	8,45	7,92
	10	6,7	3,35	8,45	8,5
	20	11,1	5,55	8,46	10,43
	25	18,8	9,4	8,46	11,32
	30	28,3	14,15	8,46	11,57
	35	57,7	28,85	8,46	11,68

FUENTE. Autores

**TABLA 53.** Resultados de la prueba de Rendimiento del Viscosificante VC en agua dulce (Réplica)

PRUEBA DE RENDIMIENTO DEL VISCOSIFICANTE VC EN AGUA DULCE (RÉPLICA)					
PROCEDIMIENTO		600 RPM	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)	pH
Producto	Concentración				
Viscosificante VC (lb/bbl)	5	3,6	1,8	8,45	8,23
	10	6,1	3,05	8,45	9,31
	20	10,7	5,35	8,46	10,29
	25	17,3	8,65	8,46	11,36
	30	27,3	13,65	8,46	11,65
	35	55,8	27,9	8,46	11,71

**FIGURA 51.** Curva Rendimiento - Viscosificante VC



**FUENTE.** Autores.

$$Va = 0,0025C^3 - 0,1043C^2 + 1,5557C - 3,8003$$

$$R^2 = 0,9939$$

Donde,

Va = Viscosidad aparente (Cp)

C = Concentración de pulpa de café (lb/bbl)

Teniendo en cuenta el polinomio característico de la curva de rendimiento de la pulpa de café, se busca determinar la concentración correspondiente a una viscosidad de 15 Cp.

$$0,0025C^3 - 0,1043C^2 + 1,5557C - 18,8003 = 0$$

$$C = 29,23 \text{ [lb/bbl]}$$

Como se menciona anteriormente no existe un punto de comparación entre el resultado de la prueba de rendimiento de la pulpa de café y el resultado de la prueba de rendimiento del viscosificante VC (evaluado actualmente), debido a que la pulpa de café funcionó como dispersante.

Según el análisis estadístico que se presenta en la Tabla 52, se observa que los resultados obtenidos de viscosidad aparente tanto original como replica no varían en mayor proporción a diferentes concentraciones, de acuerdo con esto se puede analizar que los datos son representativos y los resultados son confiables.

## 7.6. ANÁLISIS DE COSTOS

Esta sección tiene como objetivo desarrollar un análisis en donde se determinen los costos correspondientes a la compra y la adecuación de la pulpa de café en un producto apropiado para su uso en fluidos de perforación.

Para la comparación entre el costo de la pulpa de café y los costos manejados por algunos de los productos utilizados en campo es necesario determinar los costos de un saco (50 Libras) de pulpa de café en dólares. Para lo cual se tomó el valor un valor de dólar de 1800 pesos colombianos (precio actual).

Partiendo de lo mencionado en el Capítulo 5, en donde se describe el proceso de transformación de la pulpa en polvo, por cada 3 kg de pulpa de café fresca se obtienen 100 gramos de producto final a 200 µm. Con este dato se determina la cantidad de pulpa fresca que se requiere para obtener un producto de 50 libras y seguido a esto se realizan los cálculos correspondientes a los costos por cada etapa.

$$\text{Cantidad de Producto Final} = 50 \text{ Libras} * \frac{453,6 \text{ gramos}}{1 \text{ Libra}} = 22.680 \text{ gramos}$$

$$\text{Cantidad de Pulpa Fresca} = 3 \frac{\text{Kilogramos}}{100 \text{ gramos}} * 22.680 \text{ gramos} = 680,4 \text{ Kilogramos}$$

### ❖ Costos de Obtención de la Pulpa de Café

La compra de la pulpa de café tiene un costo de 200 pesos colombianos por Kilogramo de producto incluyendo transporte, cuando se trata de compras mayores a 100 kg. El costo de la adquisición de los 680,4 kg de pulpa de café utilizados como materia prima se determina a continuación.

$$\text{Costos de Obtención de la Pulpa} = 680,4 \text{ Kg} * \frac{200 \$ \text{ Colombianos}}{1 \text{ Kg}}$$

$$\text{Costos de Obtención de la Pulpa} = 136.080 \text{ Pesos Colombianos}$$

### ❖ Costos manejados en el Proceso de Liofilización

Los costos del servicio del liofilizador para procesar 3 kg de pulpa fresca son de 80.000 pesos colombianos. En estos costos están incluidos los costos respectivos al mantenimiento, consumo de energía y de personal correspondientes.

Para determinar los costos necesarios para secar los 680,4 kg de pulpa de café, se estiman inicialmente el número de etapas del proceso de liofilización. Teniendo como base que la capacidad máxima de una etapa es de 3 kg de pulpa de café fresca.

$$\text{Número de Etapas} = 680,4 * \frac{1 \text{ Etapa}}{3 \text{ Kilogramos}} = 226,8 \cong 227 \text{ Etapas}$$

$$\text{Costos de Liofilización} = 227 \text{ Etapas} * \frac{\$80.000 \text{ Colombianos}}{1 \text{ Etapa}}$$

$$\text{Costos de Liofilización} = 18.160.000 \text{ Pesos Colombianos}$$

Para este caso, también fue necesario determinar la cantidad de pulpa obtenida luego de este proceso.

$$\text{Cantidad de Pulpa Liofilizada} = 680,4 \text{ Kg de P. Fresca} * \frac{700 \text{ gramos de P. Liofilizada}}{3 \text{ Kg de P. Fresca}}$$

$$\text{Cantidad de Pulpa Liofilizada} = 158.760 \text{ gramos} * \frac{1 \text{ Kilogramo}}{1000 \text{ gramos}}$$

$$\text{Cantidad de Pulpa Liofilizada} = 158,76 \text{ Kilogramos}$$

#### ❖ Costos manejados en el Proceso de Molienda

Los costos en esta etapa fueron relacionados con la mano de obra utilizada. Para esto, se parte de un salario mínimo mensual legal vigente para el año 2012, el cual corresponde a 566.700 pesos colombianos. Adicionalmente, se incluyen los valores correspondientes al pago de las prestaciones legales (salud y pensión) cuyo porcentaje es el de 20,5% del S.M.M.L.V.

$$\text{Costos de Mano de Obra} = \text{S.M.M.L.V} + \text{Salud (12,5\%)} + \text{Pensión (8\%)}$$

$$\text{Costos de Mano de Obra} = 566.700 + 70.837,5 + 45.336 = 682.873,5 \text{ \$/Mes}$$

$$\text{Costos de Mano de Obra} = 682.873,5 \left( \frac{\$ \text{ Colombianos}}{\text{Mes}} \right) * \frac{1 \text{ Mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}}$$

$$\text{Costos de Mano de Obra} = 948,43 \left( \frac{\$ \text{ Colombianos}}{\text{hora}} \right)$$

Se estimó que el tiempo del proceso de molienda para un (1) kilogramo de pulpa de café es de media (1/2) hora. Vale la pena aclarar que estos tiempos son de larga duración debido a que el proceso se realizó con un molino manual. Ahora procedemos a calcular el tiempo para procesar la cantidad de pulpa liofilizada.

$$\text{Tiempo de Molienda} = 158,76 \text{ Kg} * \frac{0,5 \text{ horas}}{1 \text{ Kg}} = 79,38 \text{ horas}$$

$$\text{Costos del proceso de Molienda} = 79,38 * \frac{\$ 948,43 \text{ Colombianos}}{\text{hora}}$$

$$\text{Costos del proceso de Molienda} = 75.286,37 \text{ Pesos Colombianos}$$

Los costos de Mano de obra al trabajar con un molino manual son de 75.286 pesos colombianos. Estos costos se pueden reducir al utilizar un molino eléctrico, en donde la duración del proceso se reduce a alrededor de 10 minutos, pero en este caso es necesario cuantificar el costo por el consumo de energía del equipo.

Para este trabajo se manejaron los costos del personal ya que el proceso se realizó con el molino manual.

### ❖ Costos manejados en la Etapa de Tamizado

En este caso, los costos a considerar corresponden al consumo de energía del equipo por el tiempo de duración del proceso. Partiendo de que el tiempo que se requirió para el tamizado es de 15 minutos por cada 1 Kg de producto tamizado, y con base en los requerimientos eléctricos del tamizador mecánico utilizado (220 Voltios y 5 Amperes), se determina la potencia manejada por el equipo. Posteriormente se calculan los costos de este proceso, en base a que el costo por consumo de 1 KWatt/hora es de 355,34 pesos colombianos (costo referente a la ciudad de Bucaramanga).

$$\text{Tiempo de Tamizado} = 158,76 \text{ Kg} * \frac{15 \text{ minutos}}{1 \text{ Kg}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = 39,69 \text{ horas}$$

$$\text{Potencia del Equipo} = \text{Voltios} * \text{Amperaje del Equipo}$$

$$\text{Potencia del Equipo} = 220 * 5 = 1.100 \frac{\text{Watts}}{\text{hora}}$$

$$\text{Consumo de Energía} = 1.100 \frac{\text{Watts}}{\text{hora}} * 39,69 \text{ horas} * \frac{1 \text{ Kwatt}}{1000 \text{ watts}}$$

$$\text{Consumo de Energía} = 43,66 \text{ Kwatts}$$

$$\text{Costos Por consumo de Energía} = 43,66 \text{ Kwatts} * \frac{355,34 \text{ Pesos Colombianos}}{\text{Kwatt}}$$

$$\text{Costos Por consumo de Energía} = 15.513,79 \text{ Pesos Colombianos}$$

$$\text{Cantidad de Producto de Residuo} = 158706 \text{ gr de P. Liof.} * \frac{600 \text{ gr de Residuo}}{700 \text{ gr de P. Liof.}}$$

$$\text{Cantidad de Producto de Residuo} = 136080 \text{ gramos} * \frac{1 \text{ Kilogramo}}{1000 \text{ gramos}}$$

$$\text{Cantidad de Producto de Residuo} = 136,08 \text{ Kilogramos}$$

En la Tabla 54, se presentan los costos requeridos para obtener las 50 libras de pulpa de café acondicionada para su posterior uso.

**TABLA 54.** Costos requeridos para la obtención de 50 Libras de Pulpa de Café procesada

<b>PROCESO</b>	<b>Costo (Pesos Colombianos)</b>
Compra de Materia Prima	136.080
Secado por Liofilización	18.160.000
Proceso de Molienda	75.286
Proceso de Tamizado	15.514
<b>PROCESO TOTAL</b>	<b>18.386.880</b>

**FUENTE.** Autores.

Para la comparación entre el costo de la pulpa de café y los costos manejados por algunos de los productos utilizados en campo es necesario determinar los costos de un saco (50 Libras) de pulpa de café en dólares. Para lo cual se tomó el valor un valor de dólar de 1800 pesos colombianos.

$$\text{Costos Totales} = 18.284.820 \text{ Pesos Colombianos} * \frac{USD}{1800 \text{ Pesos Colombianos}}$$

$$\text{Costos Totales} = 10.214,93 \text{ USD}$$

En la Tabla 55 se presenta una comparación entre los costos correspondientes a la obtención de un saco (50 lb) de la Pulpa de Café procesada y los costos de adquisición de un saco de dispersante DC1. Dicha comparación solo se realizó con este aditivo comercial, ya que anteriormente se observó que la pulpa de café no presenta un comportamiento eficiente como controlador de filtrado ni como viscosificante.

**TABLA 55.** Comparación de los Costos para la adquisición de un saco (50 lb) de Pulpa de Café y de Dispersante DC1

Producto	Cantidad (Lbs)	Costo (USD)
Pulpa de Café	50	10.214,93
Dispersante DC1	50	90

**FUENTE.** Autores.

Al analizar el valor que cuesta la adquisición de 50 Libras de cada producto, se puede observar que los costos que requiere la pulpa de café para su adecuación como aditivo son exageradamente altos, ya que este valor es más de cien (100) veces mayor a los costos manejados por el dispersante DC1.

Si se observa la Tabla 54 es posible afirmar que la principal causa del alto costo presentado se debe a los costos necesarios para la deshidratación de la pulpa de café mediante el proceso de liofilización, ya que tanto el costo de obtención de la materia prima como el de las etapas de molienda y tamizado son relativamente bajos.

Es importante destacar varios de los factores que pueden dar una explicación a este resultado.

- ❖ Inicialmente, hay que destacar que el proceso al que fue sometido la pulpa de café fue realizado con algunos equipos con baja eficiencia como lo es el molino manual, con el que se obtuvieron pérdidas de producto cercanas al 86% de la cantidad inicial (136,08 Kg del total de la pulpa de café liofilizada). Esta unidad fue implementada en el proceso debido a su disponibilidad y fácil acceso en el mercado y, a pesar que se intentó reducir las pérdidas haciendo pasar el producto por el molino en varias ocasiones y trabajando a su máxima capacidad, se observó que el tamaño de las partículas obtenidas del mismo aún seguían siendo considerablemente grandes.
- ❖ El proceso de secado implementado fue muy eficiente, ya que este proceso logra reducir el alto contenido de humedad propio de la pulpa a un valor de 7,7 % sin alterar las propiedades ni la estructura de la misma; sin embargo, el problema

fundamental que presenta este proceso es la limitante de la capacidad máxima de carga, junto con los largos tiempos de operación por etapa de la misma.

Al haber analizado las posibles razones que pudieron haber influido en los altos costos de procesamiento presentados, y observar que el principal factor correspondía al alto costo del alquiler del equipo para la liofilización, se decidió desarrollar un análisis de costos, en donde se considera la compra del equipo para el secado de la pulpa.

Para esto se requiere de cierta información relacionada con algunas especificaciones y características del equipo, la cual se presenta en la Tabla 56.

**TABLA 56.** Especificaciones Técnicas y Operacionales del Equipo para la Liofilización de la Pulpa de Café <sup>4</sup>

<b>COSTOS DE PRODUCTOS</b>	
Costo del Equipo con sus Accesorios	7.000 USD
Costo del Combustible para la Bomba (TELLUS 37)	40.000 \$ Colombianos/Gal
<b>ESPECIFICACIONES OPERACIONALES</b>	
Máxima carga por Proceso	3 kg
Tiempo de duración del Proceso	30 horas
Gasto de Combustible para la Bomba por Proceso	500 ml
Vida Útil del equipo	15 años
<b>REQUERIMIENTO ELÉCTRICO</b>	
Alimentación de Energía	220 V - 50 Hz
Corriente Eléctrica	10 A
Costo de Energía (Bucaramanga)	355,34

**FUENTE.** Autores.

<sup>4</sup> Datos obtenidos del Laboratorio de Cromatografía del CENIVAM ubicado en las instalaciones de la Universidad Industrial de Santander.

### ❖ Costos Totales de la propuesta de la compra del Liofilizador

Para este análisis, lo primero que se tiene en cuenta es el costo de la compra del equipo, que asumiendo que se trata del mismo liofilizador con el que se trabajó en este proyecto corresponde a un valor de USD 7.000. Este valor incluye el costo de adquisición de la máquina (USD 6.500) y el mantenimiento de 1 año de trabajo (USD 500).

Adicionalmente es necesario determinar tanto el consumo de combustible que requiere la bomba del equipo, como el costo por el consumo de energía del mismo para obtener las 50 libras de producto liofilizado.

Los costos del consumo de combustible (Tellus 37) se pueden determinar partiendo de que para realizar una etapa de proceso (obteniendo 100 gramos de pulpa liofilizada) se requieren 500 ml de combustible para la bomba. Este combustible tiene un costo de 40.000 pesos colombianos por galón.

Teniendo en cuenta el número de etapas necesarias para obtener las 50 libras de producto final, cuyo valor se calculó anteriormente (227 etapas), se procede a estimar el volumen de combustible requerido por la bomba

$$\text{Combustible requerido} = 227 \text{ Etapas} * \frac{500 \text{ ml}}{1 \text{ Etapa}}$$

$$\text{Combustible requerido} = 113.500 \text{ [ ml ]}$$

$$\text{Combustible requerido} = 113.500 \text{ ml} * \frac{1 \text{ litro}}{1000 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ galón}}{3,78 \text{ litros}}$$

$$\text{Combustible requerido} = 30,03 \text{ [ galones ]}$$

Para determinar el costo del consumo de combustible se tiene que:

$$\text{Costo del Combustible} = 30,03 \text{ galones} * \frac{40.000 \text{ pesos Colombianos}}{1 \text{ galón}}$$

$$\text{Costo del Combustible} = 1.201.200 \text{ Pesos Colombianos}$$

Para la determinación de los costos correspondientes al consumo de energía es necesario partir igualmente del número de etapas de proceso requeridas. Del mismo modo, se utilizará el mismo costo por consumo manejado para los costos del tamizador, cuyo valor era de 355,34 (Pesos colombianos/hora).

$$Potencia\ del\ Equipo = Voltios * Amperaje\ del\ Equipo$$

$$Potencia\ del\ Equipo = 220 * 10 = 2.200 \frac{Watts}{hora}$$

Si tenemos en cuenta que una etapa de proceso de liofilización tiene una duración de 30 horas, procedemos a estimar el consumo de energía del equipo.

$$Consumo\ de\ Energía = 2.200 \frac{Watts}{hora} * \frac{1\ Kwatt}{1000\ watts} * \frac{30\ horas}{1\ Etapa} * 227\ Etapas$$

$$Consumo\ de\ Energía = 14.982 [ Kwatts ]$$

$$Costos\ Por\ consumo\ de\ Energía = 14.982\ Kwatts * \frac{355,34\ Pesos\ Colombianos}{Kwatt}$$

$$Costos\ Por\ consumo\ de\ Energía = 5.323.703,88\ Pesos\ Colombianos$$

Igualmente es posible estimar el tiempo requerido para la producción de un saco (50 lb) de pulpa de café procesada y adecuada para la venta como polvo.

$$Tiempo\ del\ Proceso = (T.\ Liofilización + T.\ Molienda + T.\ Tamizado)$$

$$Tiempo\ de\ Liofilización = Número\ de\ Etapas * \frac{30\ horas}{1\ Etapa}$$

$$Tiempo\ de\ Liofilización = 227 * \frac{30\ horas}{1\ Etapa} = 6.810\ horas$$

$$\textit{Tiempo del Proceso} = 6.810 + 79,38 + 39,69 = 6929,07 \textit{ horas}$$

$$\textit{Tiempo del Proceso} = 6929,07 \textit{ hrs} * \frac{1 \textit{ día}}{24 \textit{ hrs}} = 288,711 \textit{ días}$$

Al ver que para lograr producir un saco (50 lb) de pulpa de café se requiere de aproximadamente 9 meses y medio considerando un trabajo continuo del equipo, al considerar los tiempos de descanso y de mantenimiento del equipo se estima un periodo de 1 año por cada saco de pulpa de café producida.

Considerando que todos los costos exceptuando al valor de la compra del equipo, sufren de una inflación del 3,0%, se determina el costo de los sacos producidos durante la vida útil del equipo (15 años).

De la misma manera, es necesario determinar el precio del equipo por cada saco producido.

$$\textit{Costo del Equipo por saco} = \frac{\textit{Costo del Equipo}}{\textit{Número de sacos Producidos en su vida útil}}$$

$$\textit{Costo del Equipo por saco} = \frac{6.500 \textit{ USD} * 1.800 \textit{ \$ Colombianos/USD}}{15 \textit{ sacos}}$$

$$\textit{Costo del Equipo por saco} = 780.000 \textit{ Pesos Colombianos}$$

Con base a que la duración de la producción de un saco de 50 lb de pulpa de café procesada es de un (1) año, se procede a determinar los costos de producción de cada saco, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 57.

Si se observan los resultados obtenidos en las Tablas 55 y 57, se puede afirmar que al comprar el equipo de liofilización, el costo de producción de un saco de pulpa de café se reduce un 54%. Sin embargo, este valor (4684,32 USD) aún continua siendo muy alto en comparación al costo que maneja el dispersante DC1 (90 USD), razón por la cual, se considera que el proyecto sigue siendo inviable económicamente.

**TABLA 57.** Costos requeridos para la obtención de 50 Libras de Pulpa de Café procesada al Comprar el Liofilizador

Año de Trabajo del Equipo	COSTOS							COSTO TOTAL POR AÑO (COP)	COSTO TOTAL POR AÑO (USD)
	Costo del Equipo	Costo de Materia Prima	Costos de Mantenimiento	Costo por Combustible	Costo por Consumo de Energía	Costo por Molienda	Costo por Tamizado		
1	780000,00	136080,00	900000,00	1201200,00	5323704,00	75286,00	15514,00	8431784,00	4684,32
2	780000,00	140162,40	927000,00	1237236,00	5483415,12	77544,58	15979,42	8661337,52	4811,85
3	780000,00	144367,27	954810,00	1274353,08	5647917,57	79870,92	16458,80	8897777,65	4943,21
4	780000,00	148698,29	983454,30	1312583,67	5817355,10	82267,04	16952,57	9141310,97	5078,51
5	780000,00	153159,24	1012957,93	1351961,18	5991875,75	84735,06	17461,14	9392150,30	5217,86
6	780000,00	157754,02	1043346,67	1392520,02	6171632,03	87277,11	17984,98	9650514,81	5361,40
7	780000,00	162486,64	1074647,07	1434295,62	6356780,99	89895,42	18524,53	9916630,26	5509,24
8	780000,00	167361,24	1106886,48	1477324,49	6547484,42	92592,28	19080,26	10190729,17	5661,52
9	780000,00	172382,07	1140093,07	1521644,22	6743908,95	95370,05	19652,67	10473051,04	5818,36
10	780000,00	177553,53	1174295,87	1567293,55	6946226,22	98231,15	20242,25	10763842,57	5979,91
11	780000,00	182880,14	1209524,74	1614312,35	7154613,00	101178,09	20849,52	11063357,85	6146,31
12	780000,00	188366,55	1245810,48	1662741,73	7369251,39	104213,43	21475,00	11371858,58	6317,70
13	780000,00	194017,54	1283184,80	1712623,98	7590328,94	107339,83	22119,25	11689614,34	6494,23
14	780000,00	199838,07	1321680,34	1764002,70	7818038,80	110560,03	22782,83	12016902,77	6676,06
15	780000,00	205833,21	1361330,75	1816922,78	8052579,97	113876,83	23466,32	12354009,86	6863,34

COP: Pesos Colombianos; USD: Dólares Americanos

FUENTE. Autores.

## 8. CONCLUSIONES

- ❖ De acuerdo con los resultados obtenidos se afirma que la pulpa de café tiene una mayor eficiencia en lodos contaminados con cemento, debido a la reducción del punto de cedencia en un 94,43% a una concentración de 5 lb/bbl. Sin embargo, al compararlo con un aditivo dispersante comercial como el DC1, se evidencia que la efectividad del DC1 es mayor, debido a que esta disminuye el punto de cedencia en un 98,5% a la misma concentración. Por esta razón y debido a una menor eficiencia de la pulpa de café en la disminución de las propiedades reológicas en lodos calados y contaminados con sal, se afirma que no es factible el uso de pulpa de café como dispersante en fluidos de perforación.
  
- ❖ No es factible el uso de la pulpa de café como controlador de filtrado, debido a que dicho producto solo logra reducir el volumen de filtrado a un 27,6% en comparación del lodo base (LDB2); mientras que el porcentaje de reducción correspondiente a los aditivos comerciales CF1 y CF2 son de 52% y 48 % respectivamente.
  
- ❖ Al observar que a 100 lb/Bbl de pulpa de café se obtiene una viscosidad aparente de 3,0 cP y teniendo en cuenta el comportamiento favorable de este producto como dispersante, se afirma que no es factible el uso de pulpa de café como aditivo viscosificante en lodos de perforación.
  
- ❖ La transformación de la pulpa de café en polvo mediante el método de liofilización fue un éxito, debido a que por medio de este proceso se generó un producto con la capacidad de recuperar todas sus propiedades al entrar en contacto con el agua, lo cual aunque no presentó un comportamiento favorable como aditivo en fluidos de

perforación puede ser la base para la implementación de este producto en una aplicación diferente.

- ❖ No hay un punto de comparación entre los costos de los aditivos que actualmente se utilizan en la industria y los obtenidos al tratar la pulpa de café, ya que estos productos comerciales han pasado por un periodo de investigación, durante el cual han sido sometidos a adecuaciones que buscan ampliar su eficiencia, utilizando los equipos necesarios para manejar una producción industrial a los menores costos, con el fin de hacer de ellos un producto atractivo para el consumidor.
  
- ❖ Al ser el presente proyecto el primer paso de la investigación de la pulpa de café como aditivo de un lodo de perforación, y consecuentemente al no disponer de los equipos que puedan producir este producto a nivel industrial, se generó que la producción de un saco de pulpa de café (50 lb) tuviera un costo de 10.214 USD en el caso del alquiler del equipo para la liofilización y de 4.684 USD considerando la propuesta de comprar dicho equipo, valores que presentan una amplia diferencia al compararlos con los 90 USD que cuesta el saco del dispersante comercial DC1 utilizado como referencia.

## 9. RECOMENDACIONES

- ❖ Evaluar otro método para la obtención de la pulpa de café como un producto adecuado para su uso como aditivo en lodos de perforación, debido a que la liofilización es el causante principal del excesivo costo correspondiente a la producción de un saco de producto.
  
- ❖ Utilizar un método de pulverización eficiente para evitar las pérdidas excesivas de pulpa de café y disminuir los costos referentes a la obtención de un saco de este producto.
  
- ❖ Estudiar el comportamiento de la pulpa de café como dispersante en lodos base aceite.
  
- ❖ Continuar con las investigaciones para implementación de productos naturales como aditivos en lodos de perforación, con el fin de reemplazar los productos químicos poco amigables al medio ambiente.
  
- ❖ Seguir con la búsqueda de nuevas aplicaciones para el uso de la pulpa de café a nivel industrial.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ BAROID. Manual de fluidos. Houston, Texas. 2000.
- ❖ BAUTISTA CUADROS, Andrés y FLOREZ BARRETO, Elkin. Factibilidad del uso de almidón de yuca como aditivo en lodos de perforación. Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2011.
- ❖ BRAHAM, Edgar. Pulpa de café; Composición, tecnología y utilización. Bogotá D.C. CIID. 1978
- ❖ CÁRDENAS PARDO, Jhins y CHAUSTRE GALLO, Greis. Estudio de la factibilidad del uso de mucílago de fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación. Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2009.
- ❖ CASTRO, Yasmin y PÁEZ, Natalia. Estudio de factibilidad del uso del mucílago de café como controlador de filtrado en lodos base agua. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander. 1997.
- ❖ CORONEL FEIJÓ, Manuel. Estudio del café especial ecuatoriano. Proyecto final de máster. Quito, Ecuador. Fundación Universitaria Iberoamericana. 2010.
- ❖ FAJARDO MOLINA, Adrian y RODRIGUEZ RODRIGUEZ, Carlos. Factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. Tesis de grado. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2010.
- ❖ MI & SWACO. Drilling Fluids Engineering Manual. Version 2,0. Houston, Texas. 2001.

- ❖ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL CAFÉ. Informe mensual sobre el mercado del café. Febrero, 2012.
- ❖ ORREGO, Carlos Eduardo. Congelación y liofilización de alimentos. Bogotá D.C. Universidad Nacional de Colombia. 2006.
- ❖ PABÓN BARAJAS, Hernán. Fundamentos de costos. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. 2005.
- ❖ PDVSA. Manual de fluidos de perforación. Centro Internacional de Educación y Desarrollo. Venezuela. 2002.
- ❖ PRIETO DUARTE, Yenni. Caracterización Física del café semitostado. Tesis de grado. Bogotá D.C. Fundación Universidad de América. 2002.

## ANEXOS

### ANEXO A. Tablas de Algunos Aditivos utilizados en la industria como dispersantes, viscosificantes y controladores de filtrado

**TABLA 1.** Dispersantes usados en Lodos de Perforación

DESCRIPCIÓN	M-I SWACO	BAROID	BH INTEQ	FUNCIÓN
Lignito	TANNATHIN <sup>®</sup>	Carbonox	Ligco	Diluyente, emulsificante y control de filtrado
Lignito Caustizado	CAUSTILIG <sup>®</sup>	CC-16	Ligcon	Diluyente, emulsificante y control de filtrado para lodos de temperaturas elevadas
Lignosulfonato de cromo	SPERSENE <sup>™</sup>	-	Uni-Cal	Diluyente, inhibidor, control de filtrado y estabilizador térmico
Lignosulfonato de ferrocromo	SPERSENE <sup>™</sup>	Q-Broxin	-	
Lignosulfonato sin cromo	SPERSENE CF <sup>®</sup>	Enviro-Thin	Teq-Thin CF	Diluyente aceptable para el medio ambiente, inhibidor y control de filtrado
Mezcla de extractos de tanino	Quebracho	Tannex	Quebracho	Diluyente y control de filtrado para sistemas de bajo contenido de sólidos y pH alto, y lodos calados

**TABLA 1.** (Continuación)

DESCRIPCIÓN	M-I SWACO	BAROID	BH INTEQ	FUNCIÓN
Poliacrilato de Bajo peso molecular	TANKLE®	Therma-Thin	Mil-Thin +G87	Diluyente de polímero líquido a temperaturas altas
Tanino de Cromo Modificado	Desco	-	New-Thin	Diluyente y coloide protectivo
Tanino Modificado sin Cromo	Desco CF	-	-	Diluyente sin cromo y coloide protectivo
Lignito de Potasio Caustizado	K-17®	K-lig	XKB-Lig	Diluyente, emulsificante y control de filtrado para lodos base potasio
Cromo lignito	XP-20K™	-	-	Diluyente a temperaturas elevadas, emulsificante y control de filtrado.

**FUENTE.** MI & SWACO, 2001. Drilling Fluids Engineering Manual. Versión 2,0. Houston, Texas.

**TABLA 2.** Agentes viscosificantes usados en los fluidos de Perforación

DESCRIPCIÓN	MI - SWACO	BAROID	BH INTEQ	FUNCIÓN
Bentonita de Wyoming API	M_I Gel	Aquagel	Milgel	Viscosidad y control de filtrado
Bentonita de Wyoming no tratada	M_I Gel SUPREME	Aquagel Cold Seal	Milgel NT	Viscosidad y control de filtrado
Bentonita mezclada de alto rendimiento	KWIK-THIK	Quick-Cel	Super-Col	Viscosidad rápida para lodos base agua dulce en la parte superior el pozo
Atapulguita API	SALT GEL	Zeogel	Salt Water Gel	Viscosidad en lodos base agua salada
Sepiolita API	DUROGEL	Sea-Mud	-	Viscosidad para lodos geotérmicos a base de agua dulce, agua salada y alta temperatura.
Floculante total orgánico	FLOXIT	Barafloc	-	Floculante para sedimentar los sólidos durante la perforación en aguas claras.

**TABLA 2.** (Continuación)

DESCRIPCIÓN	MI - SWACO	BAROID	BH INTEQ	FUNCIÓN
Extendedor de bentonita/ Floculante selectivo	GELEX	X-Tend II	Benex	Para extender rendimiento de la bentonita en lodos de bajo contenido de sólidos.
Biopolímero de goma xanthan clarificada de primera calidad	FLO-VIS PLUS	-	-	Goma xanthan producida por bacterias para viscosidad y suspensión en los sistemas de fluido de perforación de yacimiento.
Biopolímero de goma xanthan de alto peso molecular	DUO-VIS	Barazan	Xanplex	Goma xanthan producida por bacterias para viscosidad y suspensión de sólidos en lodos base agua.
Biopolímero de goma welan	Biozan	Biozan	Biozan	Goma welan producida por bacterias para viscosidad en lodos base agua de alto contenido de calcio o baja salinidad.

**FUENTE.** Manual de Fluidos de Perforación. Procedimiento Estándar para las Pruebas de Fluidos de Perforación. Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas.

**TABLA 3.** Controladores de Filtrado en Lodos de Perforación

DESCRIPCIÓN	MI - SWACO	BAROID	BH INTEQ	FUNCIÓN
Mezcla de resina líquida	THERMEX	-	-	Reducir el filtrado en sistemas de alta temperatura.
Lignito resinado	RESINEX	Baranex	Filtrex	Control de filtrado a temperaturas elevadas y estabilizador de reología para lodos base agua.
Almidón de maíz pre-gelatinizado	MY-LO-JEL	Impermex	Milstarch	Control de filtrado y estabilizador de reología para lodos saturados de agua salada, cal y agua dulce.
Polisacárido preservado	POLY-SAL	Dextrix	Perma-Lose HT	Almidón no fermentante para control de filtrado, viscosidad y estabilización de lutitas en lodos base agua salada y agua dulce.
Polisacárido modificado	THERMPAC	-	Perma-Lose HT	Control de filtrado con aumento mínimo de la viscosidad.

**TABLA 3. (Continuación)**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>MI - SWACO</b>	<b>BAROID</b>	<b>BH INTEQ</b>	<b>FUNCIÓN</b>
Celulosa polianiónica (PAC)	POLYPAC R	PAC R	Mil-Pac	Control de filtrado y viscosificante.
Celulosa polianiónica (PAC) de viscosidad ultra-baja	POLYPAC UL	PAC L	-	Control de filtrado con un aumento mínimo de viscosidad.
PAC de primera calidad	POLYPAC SUPREME R	-	-	Control de filtrado y viscosificante.
PAC de primera calidad de viscosidad ultra-baja	POLYPAC SUPREME UL	-	-	Control de filtrado con aumento mínimo de la viscosidad.
Almidón derivado	FLO-TROL	-	-	Control de filtrado y viscosificante para sistemas de fluido de perforación de yacimientos.

**FUENTE.** Manual de Fluidos de Perforación. Procedimientos Estándar para Pruebas de Fluidos de Perforación. Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas.

**ANEXO B.** Tablas de resultados de la prueba de compatibilidad

**TABLA 1.** Compatibilidad entre el Agua y una concentración de 20 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
1	Solo Pulpa de Café en 100 ml de Agua			20 [Libras por Barril] 5,71 [gramos]	0
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	3,92	1	Café Oscuro
Toma Inicial				2	Presenta una capa de espuma de alrededor de 0,5 cm
				3	No presenta precipitado
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	3,95	1	Café Oscuro igual que la anterior
Toma a 2 Horas				2	Presenta una capa de burbujas pequeñas de 2 mm de diámetro.
				3	Precipitado de partículas finas de 2,5 cm de espesor.
09	08	2012	3,90	1	Se mantuvo el color Café Oscuro
Toma a 1 Día				2	No presenta Burbujas
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 1,5 cm de espesor y la siguiente de tono claro y de 2 mm de espesor.
				4	No se observaron cambios en su apariencia.
10	08	2012	4,00	1	Café Oscuro con un tono más rojizo que antes.
Toma a 2 Días				2	No presenta Burbujas
				3	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				4	Es de apariencia acuosa por su baja viscosidad.
15	08	2012	3,89	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 7 Días				2	No presenta Burbujas
				3	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				4	Se mantiene igual que la muestra anterior.
18	08	2012	3,68	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta Burbujas.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia acuosa.

**TABLA 2.** Compatibilidad entre el Viscosificante (VC) y una concentración de 1 Libra por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
2	Pulpa de Café + Viscosificante (VC)			1 [Libra por Barril] 0,28 [gramos]	20 [Libras por Barril] 5,71 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	8,66	1	Color Grisáceo
Toma Inicial				2	No Presenta Espuma
				3	No presenta precipitado
08	08	2012	8,49	1	Color Grisáceo
Toma a 2 Horas				2	No Presenta Espuma.
				3	Precipitado de partículas finas de 3 mm de espesor y de tonalidad opaca.
09	08	2012	6,78	1	Se mantuvo el color Grisáceo
Toma a 1 Día				2	No presenta Burbujas, pero si presenta una fina capa en la superficie de alrededor de 5 mm de espesor.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 6 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 1 mm de espesor.
10	08	2012	6,23	1	Se mantuvo el color Grisáceo
Toma a 2 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Tres capas de precipitado: la de fondo de tono oscuro de 3 mm de espesor, la siguiente de tono claro y de 1,5 mm de espesor y una última aún más clara de 1 mm de espesor.
15	08	2012	6,14	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 7 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
18	08	2012	3,68	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.

**TABLA 3.** Compatibilidad entre el Viscosificante (VC) y una concentración de 3 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
3	Pulpa de Café + Viscosificante (VC)			3 [Libra por Barril] 0,85 [gramos]	20 [Libras por Barril] 5,71 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	6,90	1	Presenta un color Marrón Grisáceo
Toma Inicial				2	Presenta una ligera capa de Espuma de 1 mm.
				3	Precipitado de partículas finas de 1 mm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	7,07	1	Mantiene un tono marrón grisáceo
Toma a 2 Horas				2	No Presenta Espuma
				3	Precipitado de partículas finas de 8 mm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	5,54	1	Se mantuvo el mismo color.
Toma a 1 Día				2	Presenta una ligera capa de burbujas de 1 mm.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 5 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 5 mm de espesor.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	5,90	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Tres capas de precipitado: la de fondo de tono oscuro de 6 mm de espesor, la siguiente de tono claro y de 3 mm de espesor y una última de tono blanquecino de 1 mm de espesor.
4	Se mantiene igual que la muestra anterior.				
15	08	2012	6,10	1	Se mantuvo el color Grisáceo
Toma a 7 Días				2	Además de la capa de burbujas presenta una interface nítida de 3 mm de espesor.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
18	08	2012	5,53	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Se mantuvo su apariencia acuosa.				

**TABLA 4.** Compatibilidad entre el Viscosificante (VC) y una concentración de 5 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
4	Pulpa de Café + Viscosificante (VC)			5 [Libra por Barril] 1,42 [gramos]	20 [Libras por Barril] 5,71 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	6,13	1	Presenta un color Marrón Grisáceo
Toma Inicial				2	Presenta una ligera capa de Espuma de 1 mm.
				3	Precipitado de partículas finas de 5 mm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	6,41	1	Mantiene un tono marrón grisáceo
Toma a 2 Horas				2	No Presenta Espuma
				3	Precipitado de partículas finas de 8 mm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	5,60	1	Se mantuvo el mismo color.
Toma a 1 Día				2	Presenta una capa de pequeñas burbujas de 1 mm, al igual que una interface nítida de 3 mm de espesor.
				3	Tres capas de precipitado: la de fondo de tono oscuro de 4 mm de espesor, la siguiente de tono más oscuro de 1,5 mm de espesor y una última de tono blanquecino de 2 mm de espesor.
10	08	2012	5,58	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	Presenta una capa de pequeñas burbujas de 2 mm.
				3	Tres capas de precipitado: la de fondo de tono oscuro de 5 mm de espesor, la siguiente de tono más oscuro de 1 mm de espesor y una última de tono blanquecino de 3 mm de espesor.
				4	Se mantiene igual que la muestra anterior.
15	08	2012	5,60	1	Se mantuvo el color Grisáceo
Toma a 7 Días				2	Además de la capa de burbujas presenta una interface nítida de 3 mm de espesor.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
18	08	2012	5,53	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia acuosa.

**TABLA 5.** Compatibilidad entre el Viscosificante (VC) y una concentración de 7 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
5	Pulpa de Café + Viscosificante (VC)			7 [Libra por Barril] 2,0 [gramos]	20 [Libras por Barril] 5,71 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	5,50	1	Presenta un color Marrón Grisáceo
Toma Inicial				2	Presenta una ligera capa de Espuma de 1 mm.
				3	Precipitado de partículas finas de 1 mm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	5,61	1	Su color marrón grisáceo es más oscuro
Toma a 2 Horas				2	No Presenta Espuma
				3	Precipitado de partículas finas de 1 cm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	5,86	1	Se mantuvo el mismo color.
Toma a 1 Día				2	Presenta una capa de tono amarillo claro en la superficie de alrededor de 3 mm de espesor.
			5,21	3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 5 mm de espesor y la siguiente de tono más claro de 4 mm de espesor.
10	08	2012		1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	Presenta una ligera capa de burbujas de 3 mm.
			5,24	3	Tres capas de precipitado: la de fondo de tono café oscuro de 4 mm de espesor, la siguiente de tono más claro de 3 mm y una última de tono blanquecino de 2 mm.
15	08	2012		1	Se mantuvo el color Grisáceo
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas, pero si existe una capa nítida de 5 mm de espesor.
				3	El precipitado se mantuvo igual y se detallan algunas manchas cafés que se asemejan a grumos.
			5,53	4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)
18	08	2012		1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
			4	Se mantuvo su apariencia acuosa.	

**TABLA 6.** Compatibilidad entre la Soda Cáustica y una concentración de 2 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
6	Pulpa de Café + NaOH			2 [Libra por Barril] 0,57 [gramos]	0,5 [Libras por Barril] 0,142 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	8,70	1	Presenta un color Café Oscuro
Toma Inicial				2	No existe presencia de Espuma.
				3	Precipitado de partículas finas de 2 mm de espesor y de tonalidad opaca.
				4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)
08	08	2012	7,85	1	Mantiene su tono café
Toma a 2 Horas				2	No presenta Espuma
				3	Precipitado de partículas finas de 5 mm de espesor y de tonalidad similar a la de la muestra.
				4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)
09	08	2012	5,61	1	El color tiende a ser más rojizo.
Toma a 1 Día				2	Presenta una ligera capa de burbujas de 1 mm.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 3 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 1 mm de espesor.
				4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)
10	08	2012	6,15	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Tres capas de precipitado: la de fondo de tono café oscuro de 3 mm de espesor, la siguiente de tono blanquecino y de 1 mm y una última de tono café y apariencia extraña de 1 mm.
				4	Se mantiene igual que la muestra anterior.
15	08	2012	5,92	1	Se mantuvo el color café rojizo
Toma a 7 Días				2	Se mantuvo similar que la toma anterior.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
				4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)
18	08	2012	5,65	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia acuosa.

**TABLA 7.** Compatibilidad entre la Soda Cáustica y una concentración de 3 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
7	Pulpa de Café + NaOH			3 [Libra por Barril] 0,85 [gramos]	0,5 [Libras por Barril] 0,142 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	6,92	1	Presenta un color Café Oscuro
Toma Inicial				2	No existe presencia de Espuma.
				3	Precipitado de partículas finas de 1 mm de espesor y de tonalidad similar a la de la muestra.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	7,85	1	Mantiene su tono café
Toma a 2 Horas				2	No presenta Espuma
				3	Precipitado de partículas finas de 6 mm de espesor y de tonalidad similar a la de la muestra.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	5,54	1	El color tiende a ser más rojizo.
Toma a 1 Día				2	Presenta una ligera capa de burbujas de 2 mm.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 4 mm de espesor y la siguiente de tono café oscuro de 2 mm de espesor.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	5,77	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Tres capas de precipitado: la de fondo de tono café oscuro de 4 mm, seguida de una capa de tono café y apariencia extraña de 3 mm.
4	Se mantiene igual que la muestra anterior.				
15	08	2012	5,60	1	Se mantuvo el color café rojizo
Toma a 7 Días				2	Se mantuvo similar que la toma anterior.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
18	08	2012	5,59	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Se mantuvo su apariencia acuosa.				

**TABLA 8.** Compatibilidad entre la Soda Cáustica y una concentración de 5 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
8	Pulpa de Café + NaOH			5 [Libra por Barril] 1,42 [gramos]	0,5 [Libras por Barril] 0,142 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	4,83	1	Presenta un color Café Oscuro
Toma Inicial				2	Presenta una capa de burbujas de 3 mm.
				3	Precipitado de partículas finas de 2 mm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	4,93	1	El color tiende a ser más rojizo.
Toma a 2 Horas				2	No presenta Espuma
				3	Precipitado de partículas finas de 8 mm de espesor y de tonalidad similar a la de la muestra.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	4,82	1	El color mantiene la tonalidad rojiza.
Toma a 1 Día				2	No hay presencia de burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 5 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 1 mm de espesor.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	4,79	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono café oscuro de 4 mm de espesor y la siguiente de tono blanquecino de 1 mm de espesor.
4	Se mantiene igual que la muestra anterior.				
15	08	2012	5,09	1	Se mantuvo el color café rojizo
Toma a 7 Días				2	Presenta una capa de burbujas de 2mm.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
18	08	2012	4,77	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Se mantuvo su apariencia acuosa.				

**TABLA 9.** Compatibilidad entre la Soda Cáustica y una concentración de 7 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
9	Pulpa de Café + NaOH			7 [Libra por Barril] 2,0 [gramos]	0,5 [Libras por Barril] 0,142 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	4,63	1	Presenta un color Café Oscuro
Toma Inicial				2	Presenta una capa de burbujas de 3 mm.
				3	Precipitado de partículas finas de 2 mm de espesor y de tonalidad opaca.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	4,62	1	El color tiende a ser más rojizo.
Toma a 2 Horas				2	No presenta Espuma
				3	Precipitado de partículas finas de 10 mm de espesor y de tonalidad similar a la de la muestra.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	4,59	1	El color mantiene su tonalidad rojiza.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 8 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 2 mm de espesor.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	4,63	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono café oscuro y de 6 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 1 mm de espesor.
4	Se mantiene igual que la muestra anterior.				
15	08	2012	4,52	1	Se mantuvo el color café rojizo
Toma a 7 Días				2	Se mantuvo similar que la toma anterior.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
18	08	2012	4,06	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantiene igual que la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Se mantuvo su apariencia acuosa.				

**TABLA 10.** Compatibilidad entre la Cal y una concentración de 1 Libra por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
10	Pulpa de Café + Cal			1 [Libra por Barril] 0,28 [gramos]	4,0 [Libras por Barril] 1,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	12,64	1	Color Beige amarillento
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado rápido de sólidos de 2 mm de espesor.
4	Presenta un ligero aumento en la viscosidad comparado con las muestras anteriores.				
08	08	2012	12,65	1	El color tiende a ser más amarillo.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de partículas finas de 5 mm de espesor y de tonalidad café claro.
				4	Su apariencia permanece constante.
09	08	2012	12,63	1	Su color es amarillo claro.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Precipitado de tono claro de 6 mm.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
10	08	2012	12,75	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado similar al de la muestra anterior.
				4	Se mantiene igual que la muestra anterior.
15	08	2012	12,80	1	Se mantuvo el color amarillo claro.
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
				4	Su apariencia sigue siendo muy nítida.
18	08	2012	12,81	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia acuosa.

**TABLA 11.** Compatibilidad entre la Cal y una concentración de 3 Libras por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
11	Pulpa de Café + Cal			3 [Libra por Barril] 0,85 [gramos]	4,0 [Libras por Barril] 1,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	12,64	1	Presenta un color marrón claro.
Toma Inicial				2	Presenta una capa de burbujas de 2 mm.
				3	Presenta un precipitado rápido de sólidos de 2 mm de espesor.
4	Presenta un ligero aumento en la viscosidad comparado con las muestras anteriores.				
08	08	2012	12,64	1	El color tiende a ser amarillo oscuro.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de partículas finas de 7 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 1 mm de espesor.
				4	Su apariencia permanece constante.
09	08	2012	12,60	1	Su color sigue siendo amarillo oscuro.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Precipitado de 8 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 2 mm de espesor.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
10	08	2012	12,43	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de 6 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 1,5 mm.
				4	Se mantiene igual que la muestra anterior.
15	08	2012	12,71	1	Se mantuvo el color amarillo oscuro.
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
				4	Su apariencia sigue siendo muy nítida.
18	08	2012	12,77	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia acuosa.

**TABLA 12.** Compatibilidad entre la Cal y una concentración de 5 Libras por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
12	Pulpa de Café + Cal			5 [Libra por Barril] 1,42 [gramos]	4,0 [Libras por Barril] 1,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	12,64	1	Presenta un color marrón claro.
Toma Inicial				2	Presenta una capa de burbujas de 2 mm.
				3	Presenta un precipitado rápido de sólidos de 4 mm.
				4	Presenta un ligero aumento en la viscosidad comparado con las muestras anteriores.
08	08	2012	12,65	1	El color tiende a ser amarillo oscuro.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de partículas finas de 9 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 1 mm de espesor.
09	08	2012	12,58	1	Su color sigue siendo amarillo oscuro.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Precipitado de partículas finas de 8 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 2 mm de espesor.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
10	08	2012	12,57	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de partículas finas de 6 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 1,5 mm de espesor.
15	08	2012	12,55	1	Se mantuvo el color amarillo oscuro.
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
				4	Su apariencia sigue siendo muy nítida.
18	08	2012	12,58	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia acuosa.

**TABLA 13.** Compatibilidad entre la Cal y una concentración de 7 Libras por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
13	Pulpa de Café + Cal			7 [Libra por Barril] 2,0 [gramos]	4,0 [Libras por Barril] 1,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	12,62	1	Presenta un color café oscuro.
Toma Inicial				2	Presenta una capa de burbujas de 3 mm.
				3	Presenta un precipitado rápido de sólidos de 2 mm.
4	Presenta un ligero aumento en la viscosidad comparado con las muestras anteriores.				
08	08	2012	12,63	1	El color tiende a ser café amarillento.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de partículas finas de 15 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 1 mm de espesor.
09	08	2012	12,49	1	Su color sigue siendo café amarillento.
Toma a 1 Día				2	Presenta una capa de burbujas de 2 mm.
				3	Precipitado de partículas finas de 10 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 2 mm de espesor.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
10	08	2012	12,61	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	Presenta una capa de burbujas de 2 mm.
				3	Precipitado de partículas finas de 10 mm de espesor de tono oscuro seguida de una capa clara de 3 mm de espesor.
15	08	2012	12,52	1	Se mantuvo el color amarillo oscuro.
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
				4	Su apariencia sigue siendo muy nítida.
18	08	2012	12,58	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia acuosa.

**TABLA 14.** Compatibilidad entre el Extendedor de VC y una concentración de 2 Libras por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
14	Pulpa de Café + Extendedor de VC			2 [Libra por Barril] 0,57 [gramos]	1,5 [Libras por Barril] 0,42 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	4,69	1	Presenta un color café.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
08	08	2012	5,11	1	Presenta un tono café.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
09	08	2012	4,48	1	Su color no presenta variación.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
10	08	2012	4,96	1	Presenta una tonalidad más oscura.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	Se mantiene igual que la muestra anterior.
15	08	2012	5,84	1	Se mantuvo el color café oscuro.
Toma a 7 Días				2	Presenta un borde de burbujas finas de 2 mm.
				3	Presenta grumos en la superficie que se asemejan a hongos o moho.
				4	La muestra sigue siendo algo viscosa.
18	08	2012	6,40	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	La presencia del hongo aumento levemente.
				4	Se mantuvo su apariencia viscosa.

**TABLA 15.** Compatibilidad entre el Extendedor de VC y una concentración de 5 Libras por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
15	Pulpa de Café + Extendedor de VC			3 [Libra por Barril] 0,85 [gramos]	1,5 [Libras por Barril] 0,42 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	4,28	1	Presenta un color café.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
08	08	2012	4,38	1	Presenta un tono café.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
09	08	2012	4,22	1	Su color no presenta variación.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
10	08	2012	4,30	1	Presenta una tonalidad más oscura.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	Se mantiene igual que la muestra anterior.
15	08	2012	5,77	1	Se mantuvo el color café oscuro.
Toma a 7 Días				2	Presenta un borde de burbujas finas de 2 mm.
				3	Presenta grumos en la superficie que se asemejan a hongos de color blanco.
				4	La muestra sigue siendo algo viscosa.
18	08	2012	5,32	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	La presencia del hongo se mantuvo igual.
				4	Se mantuvo su apariencia viscosa.

**TABLA 16.** Compatibilidad entre el Extendedor de VC y una concentración de 5 Libras por Barril de Pulpa de Café

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
16	Pulpa de Café + Extendedor de VC			5 [Libra por Barril] 1,42 [gramos]	1,5 [Libras por Barril] 0,42 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	4,13	1	Presenta un color café.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
08	08	2012	4,05	1	Presenta una tonalidad más oscura.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
09	08	2012	4,15	1	Su color no presenta variación.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.
10	08	2012	4,11	1	Presenta una tonalidad más oscura.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
				4	Su viscosidad aumenta levemente.
15	08	2012	4,57	1	Se mantuvo el color café oscuro.
Toma a 7 Días				2	No hay presencia de burbujas.
				3	Existe una presencia de hongos de color blanco en forma de hilos y con puntos negros.
				4	La muestra sigue siendo algo viscosa.
18	08	2012	4,76	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	La presencia del hongo aumento.
				4	Se mantuvo su apariencia viscosa.

**TABLA 17.** Compatibilidad entre el Extendedor de VC y una concentración de 7 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
17	Pulpa de Café + Extendedor de VC			7 [Libra por Barril] 2,0 [gramos]	1,5 [Libras por Barril] 0,42 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	4,10	1	Presenta un color café.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.				
08	08	2012	4,10	1	Presenta una tonalidad más oscura.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.				
09	08	2012	4,07	1	Su color no presenta variación.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
4	La muestra es algo viscosa comparada con las muestras anteriores.				
10	08	2012	4,14	1	Presenta una tonalidad más oscura.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta ningún tipo de precipitado.
4	Su viscosidad aumenta levemente.				
15	08	2012	4,67	1	Se mantuvo el color café oscuro.
Toma a 7 Días				2	No hay presencia de burbujas.
				3	Existe una presencia de hongos de color blanco en forma de hilos y con puntos negros.
4	La muestra sigue siendo algo viscosa.				
18	08	2012	5,05	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presenta burbujas.
				3	La presencia del hongo permaneció igual.
4	Se mantuvo su apariencia viscosa.				

**TABLA 18.** Compatibilidad entre el Carbonato de Calcio y una concentración de 2 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
18	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>			2 [Libra por Barril] 0,57 [gramos]	60 [Libras por Barril] 17,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	6,78	1	Presenta un color Beige claro.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado rápido (20 seg) de 5 mm de finos claros y 2 mm de finos más oscuros.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	6,82	1	El color tiende a ser más amarillo.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de finos de tono claro de 9 mm y de finos más oscuros 3 mm.
				4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)
09	08	2012	6,61	1	El color adquiere un color amarillo oscuro
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono oscuro y de 8 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 2 mm de espesor.
				4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)
10	08	2012	6,20	1	Presenta el mismo color que la muestra anterior.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono café oscuro y de 7 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 2 mm de espesor.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
15	08	2012	6,14	1	Se mantuvo el mismo color.
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
				4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)
18	08	2012	6,12	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presentó espuma.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Se mantuvo su apariencia.

**TABLA 19.** Compatibilidad entre el Carbonato de Calcio y una concentración de 3 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
19	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>			3 [Libra por Barril] 0,85 [gramos]	60 [Libras por Barril] 17,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	6,82	1	Presenta un color Beige.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado rápido (20 seg) de 5 mm de finos claros y 7 mm de finos más oscuros.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	6,86	1	El color tiende hacia un amarillo oscuro.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de finos de tono claro de 6 mm y de finos más oscuros 5 mm.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	6,58	1	El color adquiere un color amarillo oscuro
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Presenta el mismo precipitado de la muestra anterior.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	6,15	1	Presenta una tonalidad más oscura.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono café oscuro y de 5 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 5 mm de espesor.
4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.				
15	08	2012	6,08	1	Se mantuvo el mismo color.
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)				
18	08	2012	6,02	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presentó espuma.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Se mantuvo su apariencia.				

**TABLA 20.** Compatibilidad entre el Carbonato de Calcio y una concentración de 5 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
20	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>			5 [Libra por Barril] 1,42 [gramos]	60 [Libras por Barril] 17,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	6,88	1	Presenta un color Beige opaco.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado rápido (20 seg) de 4 mm de finos claros y 8 mm de finos más oscuros.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	6,82	1	El color tiende a hacia un tono café rojizo.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de finos de tono claro de 6 mm y de finos más oscuros 6 mm.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	6,59	1	El color adquiere un color ámbar oscuro
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Presenta el mismo precipitado que antes.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	6,09	1	Su color se asemeja a un tono ámbar claro.
Toma a 2 Días				2	No presenta burbujas.
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono café oscuro y de 8 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 5 mm de espesor.
4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.				
15	08	2012	6,02	1	Su color es el mismo que la muestra anterior.
Toma a 7 Días				2	No presenta burbujas.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)				
18	08	2012	5,89	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No presentó espuma.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Su viscosidad se aumento levemente.				

**TABLA 21.** Compatibilidad entre el Carbonato de Calcio y una concentración de 7 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
21	Pulpa de Café + CaCO <sub>3</sub>			7 [Libra por Barril] 2,0 [gramos]	60 [Libras por Barril] 17,14 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	6,78	1	Presenta un color Beige opaco.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado rápido (20 seg) de 4 mm de finos claros y 12 mm de finos más oscuros.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	6,81	1	El color tiende a hacia un tono café rojizo.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de finos de tono claro de 6 mm y de finos más oscuros 8 mm.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
09	08	2012	5,90	1	El color adquiere un color ámbar
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Presenta el mismo precipitado que antes.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	5,84	1	Su color se mantiene en un tono ámbar.
Toma a 2 Días				2	Presenta muy pocas burbujas (capa de 1 mm).
				3	Precipitado de dos capas: la de fondo de tono café oscuro y de 7 mm de espesor y la siguiente de tono claro y de 8 mm de espesor.
4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.				
15	08	2012	5,84	1	Su color es el mismo que la muestra anterior.
Toma a 7 Días				2	La presencia de burbujas se mantuvo igual.
				3	El precipitado se mantuvo igual.
4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)				
18	08	2012	5,83	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	Se mantuvo igual que en la muestra anterior.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Su viscosidad se aumento levemente.				

**TABLA 22.** Compatibilidad entre la Sal y una concentración de 2 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
22	Pulpa de Café + NaCl			2 [Libra por Barril] 0,57 [gramos]	30 [Libras por Barril] 8,57 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	4,02	1	Presenta un color café.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	No presenta precipitado.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	4,00	1	El color adquiere un tono de ámbar claro.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 5 mm con una interface definida.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
09	08	2012	3,94	1	El color se mantiene igual.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Presenta el mismo precipitado que antes.
				4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)
10	08	2012	3,93	1	Su color se mantiene en un tono ámbar claro.
Toma a 2 Días				2	No hay presencia burbujas.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 5 mm con una interface definida.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
15	08	2012	3,83	1	Su color es el mismo que la muestra anterior.
Toma a 7 Días				2	No se presentan burbujas.
				3	Se observa la presencia de un punto blanco en el centro del recipiente, lo que puede ser un inicio de formación de hongos.
				4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)
18	08	2012	3,76	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No se presenta espuma.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado y aumento un poco la presencia del hongo.
				4	Su viscosidad se aumento levemente.

**TABLA 23.** Compatibilidad entre la Sal y una concentración de 3 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
23	Pulpa de Café + NaCl			3 [Libra por Barril] 0,85 [gramos]	30 [Libras por Barril] 8,57 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	3,80	1	Presenta un color café.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de finos de 2 mm.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	3,82	1	El color adquiere un tono de ámbar.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 6 mm con una interface definida.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
09	08	2012	3,76	1	El color se mantiene igual.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Presenta el mismo precipitado que antes.
				4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)
10	08	2012	3,80	1	Su color se mantiene en un tono ámbar claro.
Toma a 2 Días				2	No hay presencia burbujas.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 6 mm con una interface definida.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
15	08	2012	3,83	1	Su color es el mismo que la muestra anterior.
Toma a 7 Días				2	No se presentan burbujas.
				3	No se observan cambios en el precipitado.
				4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)
18	08	2012	3,87	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No se presenta espuma.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Su viscosidad se aumento levemente.

**TABLA 24.** Compatibilidad entre el Cemento y una concentración de 2 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
24	Pulpa de Café + Cemento			2 [Libra por Barril] 0,57 [gramos]	5 [Libras por Barril] 1,42 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	11,59	1	Presenta un color café amarillento.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado rápido (20 seg) de 4 mm de finos claros y 12 mm de finos más oscuros.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	11,57	1	El color adquiere un tono de ámbar amarillento.
Toma a 2 Horas				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 6 mm, seguido de uno más claro de 3 mm.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
09	08	2012	11,54	1	El color se mantiene igual.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Presenta el mismo precipitado que antes.
				4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)
10	08	2012	11,55	1	Su color se mantiene en un tono ámbar claro.
Toma a 2 Días				2	No hay presencia burbujas.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 7 mm con una interface definida.
				4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.
15	08	2012	11,56	1	Su color es el mismo que la muestra anterior.
Toma a 7 Días				2	No se presentan burbujas.
				3	No se observan cambios en el precipitado.
				4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)
18	08	2012	11,60	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No se presenta espuma.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
				4	Su viscosidad se aumento levemente.

**TABLA 25.** Compatibilidad entre el Cemento y una concentración de 3 Libras por Barril de Pulpa de Café.

No.	MUESTRA			Concentración de Pulpa de Café	Concentración de Otros Aditivos
25	Pulpa de Café + Cemento			3 [Libra por Barril] 0,85 [gramos]	5 [Libras por Barril] 1,42 [gramos]
FECHA			pH	OBSERVACIONES	
D	M	A			
08	08	2012	11,62	1	Presenta un color café amarillento.
Toma Inicial				2	No presenta burbujas.
				3	Presenta un precipitado rápido (30 seg) de 7 mm de finos más oscuros.
4	Es de apariencia acuosa (baja viscosidad)				
08	08	2012	11,37	1	El color adquiere un tono de ámbar claro.
Toma a 2 Horas				2	Presenta una capa de burbujas de 2 mm.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 9 mm.
4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.				
09	08	2012	11,34	1	El color se mantiene igual.
Toma a 1 Día				2	No Presenta burbujas.
				3	Presenta el mismo precipitado que antes.
4	Muy Acuosa (Baja viscosidad)				
10	08	2012	11,31	1	Su color se mantiene en un tono ámbar claro.
Toma a 2 Días				2	No hay presencia burbujas.
				3	Presenta un precipitado de tono café oscuro de 9 mm con una interface definida.
4	La muestra no contiene sólidos en suspensión, por lo que su apariencia es muy nítida.				
15	08	2012	11,32	1	Su color es el mismo que la muestra anterior.
Toma a 7 Días				2	No se presentan burbujas.
				3	No se observan cambios en el precipitado.
4	Su apariencia sigue siendo nítida (sin sólidos)				
18	08	2012	11,35	1	El color se mantuvo igual que el anterior.
Toma a 10 Días				2	No se presenta espuma.
				3	Se mantuvo el mismo precipitado.
4	Su viscosidad se aumento levemente.				

**ANEXO C.** Resultados de las Pruebas de Réplica y su respectivo análisis estadístico para lodos Contaminados con Sal y Cemento

**TABLA 1.** Resultados de los datos de Réplica de la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café y el DC1 en Lodos contaminados con Sal

<b>RÉPLICA DE LAS PRUEBAS FÍSICAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CONTAMINADOS CON SAL</b>							
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>		<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>	<b>10 min</b>
Base (LDB2)	26,4	21,5	4,9	16,6	13,2	12,6	23,1
Base (LDB2) contaminado con 30 gramos de Sal	36,2	27,3	8,9	18,4	18,1	15,5	20,2
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café	20,8	15,3	5,5	9,8	10,4	8,5	11,6
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1	16,8	11,8	5	6,8	8,4	5	7,4
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café	17,1	12,4	4,7	7,7	8,55	6,8	9,4
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1	14,3	9,8	4,5	5,3	7,15	0,7	3,2
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café	13,3	9,1	4,2	4,9	6,65	4,7	6,4
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1	10,6	7	3,6	3,4	5,3	0,2	2,2

**FUENTE.** Elaboración propia.

**TABLA 2.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Aparente en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Viscosidad Aparente de un Lodo Contaminado con Sal y tratado con Pulpa de café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Va (original) (cP)</b>	<b>Va (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	10,05	10,4	2	10,225	0,0306	0,2475
2	8,2	8,55	2	8,375	0,0306	0,2475
5	6,35	6,65	2	6,5	0,0225	0,2121

**TABLA 3.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Aparente en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Viscosidad Aparente en la Prueba de dispersante para DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Va (original) (cP)</b>	<b>Va (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	8,1	8,4	2	8,25	0,0225	0,2121
2	6,9	7,15	2	7,025	0,0156	0,1768
5	5,1	5,3	2	5,2	0,0100	0,1414

**TABLA 4.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Plástica en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Viscosidad Plástica de un Lodo Contaminado con Sal y tratado con Pulpa de café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Vp (original) (cP)</b>	<b>Vp (réplica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	5,2	5,5	2	5,35	0,0225	0,2121
2	4,6	4,7	2	4,65	0,0025	0,0707
5	4,1	4,2	2	4,15	0,0025	0,0707

**TABLA 5.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Plástica en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Viscosidad Plástica en la Prueba de dispersante para DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Vp (original) (cP)</b>	<b>Vp (réplica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	4,9	5	2	4,95	0,0025	0,0707
2	4,2	4,5	2	4,35	0,0225	0,2121
5	3,4	3,6	2	3,5	0,0100	0,1414

**TABLA 6.** Análisis Estadístico del Punto de Cedencia en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Punto de Cedencia de un Lodo Contaminado con Sal y tratado con Pulpa de café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>YP (original) (cP)</b>	<b>YP (réplica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	9,7	9,8	2	9,75	0,0025	0,0707
2	7,2	7,7	2	7,45	0,0625	0,3536
5	4,5	4,9	2	4,7	0,04	0,2828

**TABLA 7.** Análisis Estadístico del Punto de Cedencia en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Punto de Cedencia en la Prueba de dispersante para DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>YP (original) (cP)</b>	<b>YP (réplica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	6,4	9,8	2	8,1	2,89	2,4042
2	5,4	7,7	2	6,55	1,3225	1,6263
5	3,4	4,9	2	4,15	0,5625	1,0607

**TABLA 8.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Esfuerzo de Gel a 10 segundos de un Lodo Contaminado con Sal y tratado con Pulpa de café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 seg (original)</b>	<b>Gel 10 seg (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	8,3	8,5	2	8,4	0,0100	0,1414
2	6,7	6,8	2	6,75	0,0025	0,0707
5	4,6	4,7	2	4,65	0,0025	0,0707

**TABLA 9.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Esfuerzo de Gel a 10 segundos en la Prueba de dispersante para DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 seg (original)</b>	<b>Gel 10 seg (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	4,6	5	2	4,8	0,0400	0,2828
2	0,5	0,7	2	0,6	0,0100	0,1414
5	0,2	0,2	2	0,2	0,0000	0,0000

**TABLA 10.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Esfuerzos de gel a 10 minutos de un Lodo Contaminado con Sal y tratado con Pulpa de café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 min (original)</b>	<b>Gel 10 min (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	11,6	11,6	2	11,6	0	0
2	9,1	9,4	2	9,25	0,0225	0,2121
5	6,2	6,4	2	6,3	0,0100	0,1414

**TABLA 11.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Sal

<b>Análisis estadístico de los datos de Esfuerzos de gel a 10 minutos en la Prueba de dispersante para DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 min (original)</b>	<b>Gel 10 min (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	7,2	7,4	2	7,3	0,0100	0,1414
2	3,1	3,2	2	3,15	0,0025	0,0707
5	1,9	2,2	2	2,05	0,0225	0,2121

**TABLA 12.** Resultados de los datos de Réplica para la Prueba de Dispersante para la Pulpa de Café en Lodos contaminados con Cemento

<b>PRUEBAS FÍSICAS PARA EVALUAR EL COMPORTAMIENTO DE LA PULPA DE CAFÉ COMO DISPERSANTE EN LODOS CONTAMINADOS CON CEMENTO (RÉPLICA)</b>							
<b>LODO</b>	<b>600</b>	<b>300</b>	<b>Vp</b>	<b>Yp</b>	<b>Va</b>	<b>Fuerza de Gel</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Rpm</b>	<b>Rpm</b>	<b>[cp]</b>			<b>[cp]</b>	<b>10 seg</b>
Base (LDB2)	26,4	21,5	4,9	16,6	13,2	12,6	23,1
Base (LDB2) contaminado con 5 gramos de Cemento	72,3	67,1	5,2	61,9	36,15	18,2	23,4
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb DC1	16,2	11,6	4,6	7	8,1	9,7	9,9
1,5 Bbl LDB2 + 0,5 ppb Pulpa de Café	22,7	18,8	3,9	14,9	11,35	15,3	17,6
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb DC1	7,3	4,2	3,1	1,1	3,65	2,1	2,2
1,5 Bbl LDB2 + 2,0 ppb Pulpa de Café	14,2	10,7	3,5	7,2	7,1	6,4	8,1
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb DC1	4,8	2,9	1,9	1	2,4	1,7	1,8
1,5 Bbl LDB2 + 5,0 ppb Pulpa de Café	10,3	7,2	3,1	4,1	5,15	4,3	4,7

**TABLA 13.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Aparente en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico de la Viscosidad Aparente de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con Pulpa de Café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Va (original) (cP)</b>	<b>Va (réplica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	10,8	11,35	2	11,075	0,0756	0,3889
2	6,75	7,1	2	6,925	0,0306	0,2474
5	4,9	5,15	2	5,025	0,0156	0,1767

**TABLA 14.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Aparente en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico de la Viscosidad Aparente de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Va (original) (cP)</b>	<b>Va (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	8,2	8,1	2	8,15	0,0025	0,0707
2	3,45	3,65	2	3,55	0,01	0,1414
5	2,1	2,4	2	2,25	0,0225	0,2121

**TABLA 15.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Plástico en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico de la Viscosidad Plástica de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con Pulpa de Café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Vp (original) (cP)</b>	<b>Vp (réplica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	4	3,9	2	3,95	0,0025	0,0707
2	3,3	3,5	2	3,4	0,01	0,1414
5	3,5	3,1	2	3,3	0,04	0,2828

**TABLA 16.** Análisis Estadístico de la Viscosidad Plástica en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico de la Viscosidad Plástica de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Vp (original) (cP)</b>	<b>Vp (replica) (cP)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	5	4,6	2	4,8	0,04	0,2828
2	3	3,1	2	3,05	0,0025	0,0707
5	1,7	1,9	2	1,8	0,01	0,1414

**TABLA 17.** Análisis Estadístico del Punto de Cedencia en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico del Punto de Cedencia de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con Pulpa de Café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Yp (original) (lb/100 ft)</b>	<b>Yp (réplica) (lb/100 ft)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	13,6	14,9	2	14,25	0,4225	0,9192
2	6,9	7,2	2	7,05	0,0225	0,2121
5	2,8	4,1	2	3,45	0,4225	0,9192

**TABLA 18.** Análisis Estadístico del Punto de Cedencia en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico del Punto de Cedencia de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Yp (original) (lb/100 ft<sup>2</sup>)</b>	<b>Yp (replica) (lb/100 ft<sup>2</sup>)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	6,4	7	2	6,7	0,09	0,4242
2	0,9	1,1	2	1	0,01	0,1414
5	0,8	1	2	0,9	0,01	0,1414

**TABLA 19.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con Pulpa de Café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 seg (original)</b>	<b>Gel 10 seg (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	14,3	15,3	2	14,8	0,25	0,7071
2	6,2	6,4	2	6,3	0,01	0,1414
5	3,8	4,3	2	4,05	0,0625	0,3535

**TABLA 20.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 segundos en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico Esfuerzo de Gel a 10 segundos de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 seg (original)</b>	<b>Gel 10 seg (replica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	10,3	9,7	2	10	0,09	0,4242
2	2,3	2,1	2	2,2	0,01	0,1414
5	1,5	1,7	2	1,6	0,01	0,1414

**TABLA 21.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 minutos en las Pruebas de la Pulpa de Café como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 minutos de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con Pulpa de Café</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 min (original)</b>	<b>Gel 10 min (réplica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	15,1	17,6	2	16,35	1,5625	1,7677
2	7,5	8,1	2	7,8	0,09	0,4242
5	4,2	4,7	2	4,45	0,0625	0,3535

**TABLA 22.** Análisis Estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 minutos en las Pruebas del DC1 como Dispersante en un Lodo contaminado con Cemento

<b>Análisis estadístico del Esfuerzo de Gel a 10 minutos de un Lodo Contaminado con Cemento y tratado con DC1</b>						
<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Gel 10 min (original)</b>	<b>Gel 10 min (replica)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación Estándar</b>
0,5	10,6	9,9	2	10,25	0,1225	0,4949
2	2,4	2,2	2	2,3	0,010	0,1414
5	1,8	1,8	2	1,8	0	0