

**EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL FLOCULANTE A Y B EN EL CONTROL DE
PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DURANTE EL PROCESO DE DEWATERING
DEL CAMPO X PARA LA FORMULACIÓN DE UN NUEVO LODO DE INICIO BASE
AGUA A NIVEL DE LABORATORIO**

**MIGUEL FELIPE GONZÁLEZ CULMA
NATALIA SILVA BOLAÑOS**

Proyecto integral de grado para optar al título:
INGENIERO DE PETRÓLEOS

Director
JUAN EVANGELISTA SÁNCHEZ
Ingeniero de petróleos

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
BOGOTÁ
2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre

Firma del director

Nombre

Firma del presidente jurado

Nombre

Firma de jurado

Nombre

Firma de jurado

Bogotá, D.C., febrero de 2021

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa de Petróleos

Ing. Juan Carlos Rodríguez Esparza

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

En un proyecto de vida de esta magnitud, siempre estarán personas que de alguna u otra manera brindaron lo mejor de sí para que este día tan importante llegara.

Quiero dedicar este logro a mi familia. Mis padres, Antonio González y Milena Culma por su apoyo incondicional durante esta etapa, por sus consejos y sus enseñanzas que son las bases en donde se edificó este logro.

A mi hermana, quien durante estos años me ha ofrecido su apoyo y amor incondicional. Una persona a la que le debo mi gratitud y mi amor.

Finalmente, también quiero dedicar este logro a aquellos familiares que partieron en el transcurso de este proyecto, pues su partida fue un impulso más para seguir adelante y no desfallecer.

Miguel Felipe González Culma

Quiero dedicar estas palabras de agradecimiento, primero a Dios quien me ha permitido realizar este proyecto, guiándome para ser cada día mejor.

A mis padres y hermanos quienes fueron artífices importantes que me motivaron y respaldaron para llevar a cabo mi trabajo de grado que hoy doy por culminado, al cual le dedique mi mayor esfuerzo. También a aquellas personas allegadas que estuvieron siempre pendientes incondicionalmente y me brindaron todo su apoyo para cada día lograr mi objetivo.

Agradecer a mis profesores quienes me guiaron y me aconsejaron de la mejor manera como debía de realizar este proyecto para sacarlo adelante.

A mi compañero Miguel Felipe González Culma el cual me brindó todo su apoyo. Culminamos esta etapa juntos con gran dedicación.

Natalia Silva Bolaño

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. MARCO TEÓRICO	20
1.1 Test de jarras	20
1.1.2 Proceso	20
1.2 Clarificación de agua	23
1.2.1 Lodo descartado	23
1.2.2 Floculación	25
1.2.3 Pruebas para la caracterización de aguas	26
1.3 Resolución 0631 de 2015	27
1.3.1 Artículo 11	27
1.4 Fluidos de perforación	31
1.4.1 Funciones del fluido de perforación	31
1.4.2 Tipos de fluido de perforación	32
2. METODOLOGÍA Y DATOS	33
2.1 Procesamiento de pruebas de laboratorio	33
2.1.1 Pruebas tipo test de jarras	33
2.1.2 Pruebas de caracterización de aguas	35
2.1.3 Formulación de lodo de inicio	39
3. RESULTADOS	43
3.1 Tablas de resultados para la floculación	43
3.1.1 Floculación de Polímero Ecoquímicos 811	43
3.1.2 Floculación de Polímero Lipesa 1641	48
3.1.3 Floculación de Polímero Kemira 1143	52
3.1.4 Análisis de datos del test de jarras	54
3.2 Tablas de resultados para la caracterización del agua	57
3.2.1 Cloruros	57
3.2.2 Sulfatos	65
3.2.3 Sólidos Suspendidos Totales	73
3.3 Tablas de resultados para la formulación del lodo	81
3.3.1 Polímero Ecoquímicos 811	81
3.3.2 Polímero Lipesa 1641	85
3.3.3 Polímero Kemira 1143	89
3.3.4 Polímero Kemira 1143 (Aguas del test de jarras que no cumplieron con los parámetros estipulados)	93
4. CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de procesos preparación de soluciones.	21
Figura 2. Prueba de test de jarras.	23
Figura 3. Clasificación de los tamaños de partículas.	24
Figura 4. Tipos de floculantes.	25
Figura 5. Clasificación de los fluidos de perforación.	32
Figura 6. Diagrama prueba test de jarras.	34
Figura 7. Diagrama de determinación de cloruros.	36
Figura 8. Diagrama de determinación de sulfatos.	37
Figura 9. Diagrama de determinación de solidos suspendidos totales.	38
Figura 10. Diagrama de formulación de lodo de inicio.	40
Figura 11. Prueba de test de jarras polímero Ecoquímicos 811 con 40 RPM y 20 minutos.	46
Figura 12. Prueba de test de jarras polímero Ecoquímicos 811 con 100 RPM y a 20 minutos.	47
Figura 13. Prueba de test de jarras polímero Lipesa 1641 a 60 RPM y a 60 minutos.	50
Figura 14. Prueba de test de jarras polímero Lipesa 1641 a 60 RPM y a 20 minutos.	51
Figura 15. Prueba de test de jarras polímero Kemira 1143 a 60 RPM y a 20 minutos.	54
Figura 16. Resultados del test de jarras según las concentraciones.	55
Figura 17. Resultados del test de jarras según las RPM.	56
Figura 18. Resultados del test de jarras según los tiempos de agitación.	56
Figura 19. Cantidad de cloruros en aguas resultantes del test de jarras.	64
Figura 20. Cantidad de sulfatos en aguas resultantes del test de jarras.	72
Figura 21. Cantidad de solidos suspendidos totales en aguas resultantes del test de jarras.	80

Figura 22. Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering del Polímero Ecoquímicos 811.	83
Figura 23. Cantidad de arcilla presente en el lodo con aguas resultantes del proceso con Polímero Ecoquímicos 811.	84
Figura 24. Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering del Polímero Lipesa 1641.	87
Figura 25. Cantidad de arcilla presente en el lodo con aguas resultantes del proceso con Polímero Lipesa 1641.	88
Figura 26. Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering del Polímero Kemira 1143.	92
Figura 27. Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering que no cumplen los parámetros.	96

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tiempos de agitación en el test de jarras.	22
Tabla 2. Clasificación de los sólidos.	24
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos Permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y derivados).	28
Tabla 4. Propiedades Típicas del lodo de inicio.	39
Tabla 5. Resultados para la floculación del polímero Ecoquímicos 811.	44
Tabla 6. Tabla de resultados para la floculación del polímero Lipesa 1641.	49
Tabla 7. Tabla de resultados para la floculación del polímero Kemira 1143.	52
Tabla 8. Tabla de resultados para los cloruros con Polímero Ecoquímicos 811.	58
Tabla 9. Tabla de resultados para los cloruros con Polímero Lipesa 1641.	60
Tabla 10. Tabla de resultados para los cloruros con Polímero Kemira 1143.	62
Tabla 11. Tabla de resultados para los sulfatos con Polímero Ecoquímicos 811.	66
Tabla 12. Tabla de resultados para los sulfatos con Polímero Lipesa 1641.	68
Tabla 13. Tabla de resultados para los sulfatos con Polímero Kemira 1143.	70
Tabla 14. Tabla de resultados para los sólidos suspendidos totales con Polímero Ecoquímicos 811.	74
Tabla 15. Tabla de resultados para los sólidos suspendidos totales	76

con Polímero Lipesa 1641.

Tabla 16. Tabla de resultados para los sólidos suspendidos totales con Polímero Kemira 1143. 78

Tabla 17. Agrupación de aguas de dewatering con Polímero Ecoquímicos 811. 81

Tabla 18. Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando el Polímero Ecoquímicos 811. 82

Tabla 19. Agrupación de aguas de dewatering con Polímero Lipesa 1641. 85

Tabla 20. Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando el Polímero Lipesa 1641. 86

Tabla 21. Agrupación de aguas de dewatering con el Polímero Kemira 1143. 89

Tabla 22. Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando el Polímero Kemira 1143. 90

Tabla 23. Agrupación de aguas de dewatering que no cumplen con los parámetros de la resolución (Polímero Kemira 1143) 93

Tabla 24. Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando las aguas que no cumplen con los parámetros establecidos (Polímero Kemira 1143). 94

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Figura 28. Diagrama de procesos prueba de densidad.	105
Figura 29. Diagrama de procesos prueba de reología.	106
Figura 30. Diagrama de procesos prueba de geles.	107
Figura 31. Diagrama de procesos prueba de retorta.	108
Figura 32. Diagrama para el proceso MBT.	109
Figura 33. Diagrama para el proceso de filtrado.	110
Figura 34. Diagrama para el proceso de Pm.	111
Figura 35. Diagrama para el proceso de Pf.	112
Figura 36. Diagrama para el proceso de Mf.	113
Figura 37. Diagrama de procesos prueba de cloruros.	114
Figura 38. Diagrama de procesos prueba de dureza.	115
Figura 39. Prueba de test de jarras Polímero Ecoquímicos 811 con 80 RPM a 20 minutos.	116
Figura 40. Prueba de test de jarras Polímero Ecoquímicos 811 con 80 RPM a 60 minutos.	117
Figura 41. Prueba de test de jarras Polímero Lipesa 1641 a 80 RPM y a 60 minutos.	117
Figura 42. Prueba de test de jarras Polímero Lipesa 1641 a 100 RPM y a 40 minutos.	118
Figura 43. Prueba de test de jarras Polímero Kemira 1143 a 40 RPM y a 60 minutos.	118
Figura 44. Prueba de Densidad.	119
Figura 45. Prueba de Filtrado.	120
Figura 46. Resultado prueba de pH para el lodo de inicio empleando el polímero Kemira 1143.	121

ABREVIATURAS

RMP	Revoluciones por Minuto
EDTA	Versenato Estándar
TVD	True Vertical Depth
ROP	Velocidad de Penetración
Pm	Alcalinidad de fenolftaleína de lodo
Pf	Alcalinidad de fenolftaleína de filtrado
Mf	Alcalinidad de metil naranja de filtrado

GLOSARIO

Dewatering: El proceso de dewatering busca el tratamiento y la eliminación de los diferentes sólidos en suspensión que se encuentran presentes en los diversos fluidos no reutilizables, como en los lodos contaminados o el lodo de la última campaña. También realiza el proceso de separar la fase sólida de la continua, lo cual se hace por medio de diferentes procesos químicos y mecánicos. [1]

Fase continúa: Es la fase que rodea totalmente la fase dispersa que puede constar de coloides, aceite, etc. [2]

Polímero: “Una sustancia formada por la unión de dos o más moléculas del mismo tipo, ligadas de extremo a extremo dentro de un compuesto que tiene los mismos elementos en la misma proporción, pero un peso molecular más alto y diferentes propiedades físicas”. [2]

Pozo: Perforación profunda que permite la comunicación entre el yacimiento y la superficie.

Sólidos coloidales: “Partículas sólidas de menos de 2 micrones de diámetro esférico equivalente. Debido a su tamaño extremadamente pequeño, estos sólidos en gran parte desafían la remoción directa por medio de dispositivos mecánicos que se basan en el tamizado o las fuerzas gravitacionales. Su remoción es asistida por aglomeración química previa a la separación por gravedad o la filtración”. [3]

Floculante aniónico sólido: “Se compone de polímeros sólidos con un elevado peso molecular, base poliacrilamida y diferentes densidades de carga. Los denominados polielectrolitos aniónicos actúan como aceleradores de sedimentación después de haber realizado un tratamiento previo de coagulación”. [4]

Floculante aniónico líquido: “Es un tipo de floculante compuesto de polímeros líquidos los cuales poseen un fuerte peso molecular, base poliacrilamida y distintas densidades de carga. El polielectrolito aniónico tienen la función de acelerar la sedimentación tras un tratamiento previo de coagulación, también actúan como elementos clarificantes en un proceso de decantación estática”. [4]

Floculante catiónico sólido: “Son floculantes basados en polímeros catiónicos sólidos con un alto peso molecular, base poliacrilamida y diferentes densidades de carga. Estos floculantes actúan como aceleradores en la formación de flóculos en sistemas de flotación y como agentes de

separación de agua en lodos, mejorando los procesos de deshidratación de fangos como centrifugas y filtros banda entre otros”. [4]

Floculante catiónico líquido lineal: «Es una serie de floculantes cuya base principal son polímeros lineales líquidos, emulsionado con un gran peso molecular, fundamento de poliacrilamida y distintas concentraciones de carga. Actúan como agilizadores en la formación de flóculos en procesos de flotación y como elementos de separación de agua en lodos. Además, mejora los sistemas de deshidratación de fangos como centrifugas y filtros banda». [4]

Floculante catiónico líquido reticulado: “Está centrada en polímeros líquidos reticulados con un alto peso molecular, cuerpo de poliacrilamida y muchas densidades de carga. Estos productos tienen la función de acelerar la formación de flóculos cuando estamos ante sistemas de flotación y como agentes de separación para lodos”. [4]

RESUMEN

El proceso de dewatering es de suma importancia para la parte de perforación por el hecho de que separa la fase sólida de la fase continua del lodo descartado, asegurando así una óptima disposición. Por este motivo, se lleva a cabo la investigación en donde se compara el desempeño de tres polímeros, A, B y Lipesa 1641, este último utilizado por la empresa HOLSAN S.A.S para el proceso de dewatering en el campo X. La evaluación de los polímeros se realiza mediante test de jarras en donde se busca simular el proceso de dewatering, por ende, se realizan variaciones de concentraciones al 5%, 10% 15% y 20%, RPM de 40, 60, 80 y 100 y tiempos de agitación de 40 minutos, 60 minutos y 80 minutos. Luego de finalizado el proceso de test de jarras se procede a evaluar el agua resultante con las pruebas de sólidos suspendidos, contenido de sulfatos y finalmente contenido de cloruros para determinar si cumple con los parámetros establecidos por la resolución 0631 de 2015 (artículo 11) para el vertimiento de aguas. Luego de finalizada la etapa de la evaluación de los polímeros, se da comienzo a la formulación de un lodo de inicio, ideal para la sección 17 ½” con el agua resultante del dewatering. A este lodo se le agrega 17 gr de bentonita por cada 350 mL de agua y 0,1 gr de soda cáustica por cada 350 mL de agua. Finalizado el proceso de formulación de lodo, se procede a realizarle pruebas físicas y químicas para determinar si se clasifica como lodo de inicio según sus propiedades y los parámetros establecidos para un spud mud.

PALABRAS CLAVE: Dewatering, Lodo Descartado, Floculación, Test Jarras, Aguas Residuales.

INTRODUCCIÓN

Al momento de llevar a cabo un plan de perforación se debe asegurar que este se realice con herramientas en óptimas condiciones, materiales de gran calidad y un personal certificado que acredite un buen trabajo. En la parte del lodo de perforación se debe garantizar un correcto uso del lodo y finalmente una buena disposición con el fin de generar el menor impacto ambiental posible.

Durante la fase de exploración en el campo Guando, anteriormente mencionado en el anteproyecto como Campo X, operado por la empresa Perenco, se realizaron perforaciones con una TVD promedio de 6800 ft, perforando formaciones como la formación guayabo quien se caracteriza por su alto aporte de sólidos al lodo de perforación. La empresa encargada del lodo de perforación es la empresa Baker Hughes quien a su vez le provee el lodo descartado a la empresa HOLSAN S.A.S. empresa encargada del proceso de tratamiento de los lodos para el vertimiento de aguas, teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la resolución 0631 de 2015.

La empresa HOLSAN S.A.S realiza actualmente el proceso de dewatering con el polímero Lipesa 1641. Para la toma de esta decisión no se hizo una previa comparación con otros polímeros del mercado, donde se evaluará su desempeño en el proceso de dewatering. Dicho esto, durante el proceso de perforación, es de suma importancia la disposición del lodo de perforación que se puede ver afectada por diversos factores, uno de ellos, el lodo de perforación descartado. Se debe tener en cuenta las propiedades físico-químicas del lodo con el objetivo de no afectar el desempeño del polímero. Otro parámetro a tener en cuenta es el escenario en el que se lleva a cabo el proceso de dewatering, debido a que, la eficiencia del polímero se verá afectada por criterios como la concentración del polímero, las RPM y los tiempos de agitación. Si los anteriores parámetros no se tienen en cuenta se puede obtener del proceso final, agua con propiedades no aceptables, que no cumplen con los criterios establecidos en la resolución 0631 de 2015. Finalmente, esto provocaría una recirculación en el dewatering del producto final con el fin de asegurar que el agua del proceso cumpla con las normas establecidas.

Por otra parte, la formulación del lodo de inicio es fundamental en la operación de perforación en donde se debe tener en cuenta factores como, la formación del yacimiento y profundidad a la que se está perforando, esto en términos de campo y a nivel de laboratorio, se debe asegurar que cumpla

con los parámetros recomendados por los textos científicos (Manual de fluidos de perforación). Por estas razones se debe realizar un proceso adecuado para la formulación del lodo de inicio donde se tenga una precisa cuantificación de la dosificación, tiempos y velocidad de agitación. Finalmente se debe asegurar que las pruebas se lleven a cabo bajo las normas APHA vigentes, con la finalidad de minimizar riesgos.

La importancia de ejecutar este proyecto se debe a la necesidad actual que tiene la empresa Holsan S.A.S para optimizar procesos de dewatering y ver el uso que tiene el agua del proceso para la formulación de otro fluido de perforación en el campo Guando. Con esto se busca aumentar la eficiencia de la operación; por lo tanto, cuando se habla del lodo de perforación, se sabe que este debe cumplir ciertos parámetros fisicoquímicas para poder ingresar al pozo, estas propiedades son conservadas gracias a aditivos químicos evitando así problemas en la operación. En el momento en el que el lodo no cumple con las propiedades permitidas se procede a realizar un proceso de dewatering donde se incluye el floculante, con el objetivo de reducir dichos parámetros, tales como: pH, sulfatos, cloruros y sólidos suspendidos, buscando cumplir la norma, evitando que se encuentren cercanos al límite permitido y disminuir los riesgos de la misma; sin embargo, el floculante no permite que se cumpla con los parámetros fisicoquímicos estipulados en la resolución 0631 del 2015 (Artículo 11). Por tal motivo se ve la necesidad de evaluar dos floculantes, Ecoquimicos 811 y Kemira 1143, anteriormente llamados polímero A y B respectivamente en el anteproyecto, con el fin de reducir dichos parámetros en el agua resultante.

El proceso de dewatering en la industria petrolera se ha ido estudiando con el fin de mejorar el proceso y reducir costos de operación, generando así un impacto ambiental reducido. Se puede evidenciar en la investigación “Manejo ambiental de la disposición final de los fluidos base utilizados en la perforación de algunos pozos petroleros en Colombia” desarrollada por Ortiz Valbuena Marcela, estudiante de la Universidad de América, una búsqueda del mejoramiento del proceso, en la cual se utilizó lodo descartado de 5 pozos para la operación de dewatering. En la investigación se logró reducir las propiedades fisicoquímicas del agua de dewatering cumpliendo con la resolución 0631 de 2015 (Artículo 11). En el Campo Chipó A1 los sulfatos pasaron de 345 mg/L a 42,18mg/L y los cloruros de 105 mg/L a 37,73mg/L.

Por otra parte, para la formulación del lodo se encontró con un trabajo de grado realizado por Ulloa Ana María, Hernández Pedreros Mónica Marcela y Manrique Osorio Alejandro que lleva como título “Formulación de un fluido de perforación de alto rendimiento polimérico en base agua para el bloque CPO-05 de la cuenca de los Llanos Orientales”. Lo que se busca en este proyecto de grado es formular un lodo base agua teniendo en cuenta las especificaciones de las formaciones del campo. Una de esas especificaciones es la perforación de una formación con alto contenido de arcillas (Formación Guayabo).

Teniendo en cuenta que en los últimos procesos de dewatering realizados por la empresa Holsan S.A.S en el campo Guando se han obtenido resultados en donde los parámetros se encuentran al límite permitido, se decide realizar en el presente proyecto académico un estudio del rendimiento de tres polímeros (Ecoquimicos 811, Kemira 1143 y Lipesa 1641) siendo este último el utilizado por la empresa. Con la evaluación de los tres floculantes se busca la selección de aquel que sea más óptimo en la operación, con el fin de reducir la cantidad de sólidos suspendidos, cloruros y sulfatos que se encuentran presentes en el agua tratada del proceso, cumpliendo así los parámetros establecidos en la resolución 0631 del 2015. Finalmente, con el agua tratada se formulará un lodo de inicio base agua que sea adecuado para la sección 17 ½”.

El objetivo general de la investigación es evaluar la capacidad de los floculantes Ecoquimicos 811 y Kemira 1143 en el control de parámetros fisicoquímicos durante el proceso de dewatering del campo Guando para la formulación de un nuevo lodo de inicio base agua a nivel de laboratorio y los objetivos específicos son los siguientes:

- Establecer los parámetros técnicos en la adición del floculante Lipesa 1641 en el lodo descartado.
- Definir los escenarios mediante la realización del test de jarras con el floculante Lipesa 1641 y los floculantes Ecoquimicos 811 y Kemira 1143.
- Comparar el desempeño del floculante Ecoquimicos 811 y Kemira 1143 en el control de los parámetros fisicoquímicos respecto al Lipesa 1641 estipulados en la resolución 0631 del 2015 (Artículo 11) para el tratamiento de aguas.
- Diseñar un lodo de inicio con el agua tratada que cumpla con las propiedades físicas y químicas del lodo empleado en la sección 17 ½” del Campo Guando a nivel de laboratorio.

La investigación se basó en evaluar tres diferentes polímeros a condiciones iniciales preestablecidas, utilizados en el test de jarras para la separación de la fase sólida de la fase continua. Esto se desarrolló mediante la medición de propiedades fisicoquímicas establecidas en la norma 0631 de 2015 a las aguas resultantes del proceso, con el fin de realizar una clasificación que permitiera determinar si se encontraban en el rango permitido o por el contrario estaban fuera del límite. Luego de analizadas y clasificadas las aguas resultantes del proceso, se procedió a formular el lodo de inicio base agua con las muestras que cumplían con la norma y adicional se formuló un lodo con las muestras que no cumplían con la norma.

Finalmente se midieron las propiedades fisicoquímicas a los lodos y se analizaron con la finalidad de determinar que fueran óptimos para la sección 17 ½”.

1. MARCO TEÓRICO

Por medio del proceso de dewatering se busca la aglomeración de sedimentos con el fin de obtener una separación entre los sólidos y la fase dispersa del lodo. Esto se logra con una buena selección de floculante el cual es el que realiza el trabajo de separación. El proceso a nivel de laboratorio se puede observar mediante el test de jarras, donde este se usa para la determinación de la concentración a utilizar según el lodo.

1.1 Test de jarras

“El objetivo de la prueba de jarras es determinar las dosificaciones óptimas de coagulante y floculante en un proceso de clarificación, simulando a nivel laboratorio, las condiciones de operación de los equipos”. [5]

Equipos

- Probador de jarras de 6 agitadores o similar.
- 6 vasos de precipitado de 1 litro.
- Cronómetro.
- Pipetas o jeringas de 1, 5, 10 y 50 mililitros.
- Vasos de precipitado de 100 y 200 mililitros.
- Turbidímetro

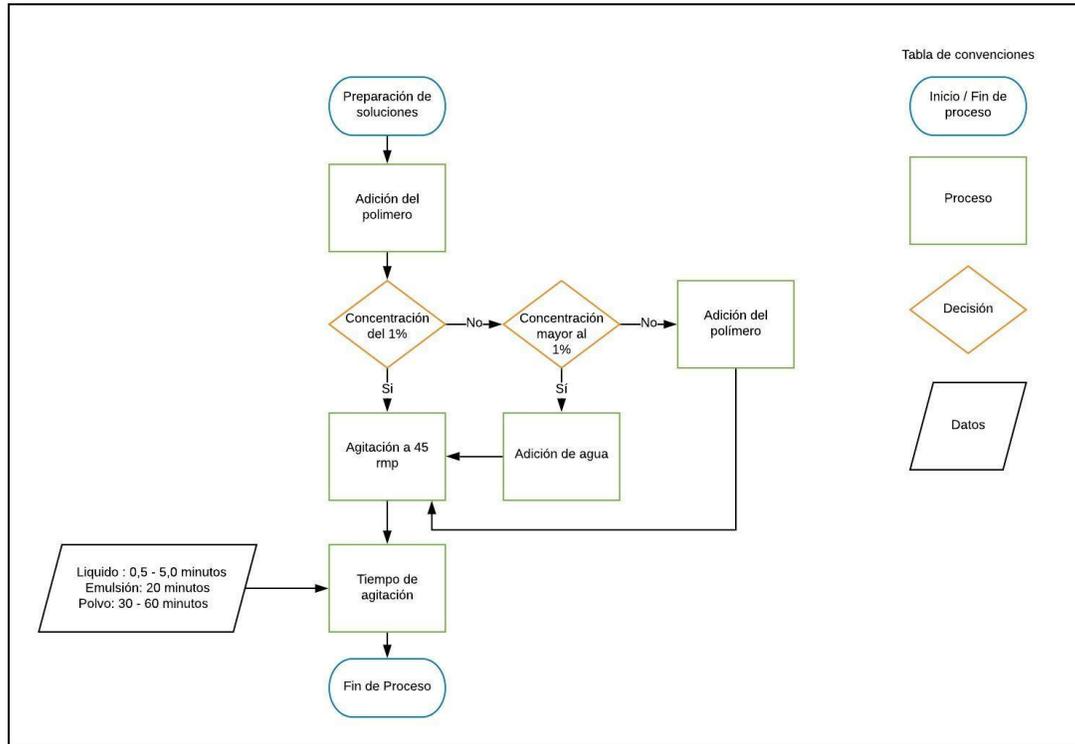
1.1.2 *Proceso*

A continuación, se muestra todo el proceso del test de jarras de una manera detallada, desde un inicio con la preparación de las soluciones y seguido con el proceso final.

1.1.2.a. Preparación de las soluciones. Para la preparación de las soluciones es recomendable seguir los pasos como se muestra en la **Figura 1**.

Figura 1.

Diagrama de procesos preparación de soluciones.



Nota: Esta figura indica el proceso para formular un polímero teniendo en cuenta la concentración requerida. Tomado de: L. S. Ortiz D, “Prueba de Jarras”, Rev. Investig., pp. 3, sep. 2019. [En línea].

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/335826360_Prueba_de_jarras_jar_test

1.1.2.b. Desarrollo de la prueba. A continuación, se muestra el desarrollo de la prueba de una manera minuciosa.

→ Los datos obtenidos durante las pruebas se registran en un reporte de jarras.

→ Es de suma importancia indagar la manera como se opera en cada planta, esto con el fin de llevar a nivel de laboratorio por medio del test de jarras las condiciones de los equipos, normalmente los tiempos de agitación son los que se muestran en la **Tabla 1**.

Tabla 1.

Tiempos de agitación en el test de jarras.

RANGOS	TIEMPO (min)
Rápida (100 RPM)	1 – 3
Lenta (50 RPM)	2 – 5
Sedimentación (0 RPM)	10 – 30

Nota: La tabla muestra el tiempo de agitación requerido en las tres partes del test de jarras. Tomado de: L. S. Ortiz D, “Prueba de Jarras”, Rev. Investig., pp. 4, sep. 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335826360_Prueba_de_jarras_jar_test

→ En una serie de pruebas de test de jarras se utiliza la primera jarra como indicador para reconocer aquellas diferencias que pueden presentar los diferentes productos químicos que se irán adicionando a las demás jarras.

→ “Es conveniente que durante la dosificación de los productos el equipo este trabajando a 20 rpm, posteriormente se aplican las velocidades y los tiempos de agitación seleccionados”. [6]

→ Se establecen parámetros como, el pH del lodo y la concentración a utilizar del floculante.

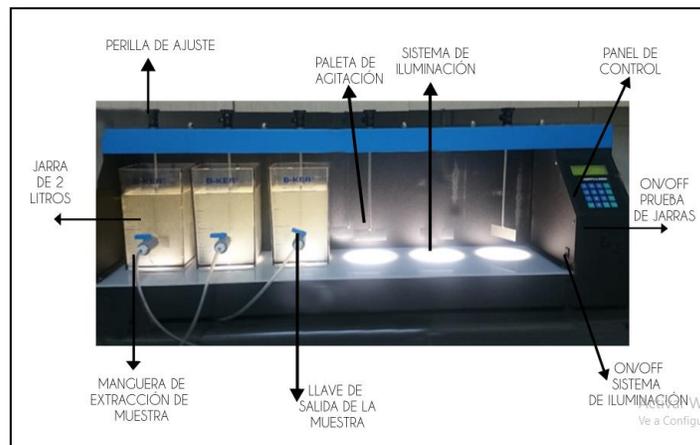
→ Luego de establecidos los parámetros se procede a formular el polímero el cual se hace a una determinada concentración y se agrega lentamente con el fin de no generar aglomeración del polímero, evitando así, que la mezcla se comporte como una mezcla heterogénea.

→ Se deja madurar durante un tiempo aproximado de 1 hora en donde se notará un aumento considerable en la viscosidad.

→ La prueba de test de jarras sirve para obtener la dosis apropiada del polímero. Luego, en las jarras 2, 3, 4, 5 y 6, se añade el polímero con una dosis superior a 1 ppm, esto con el fin de encontrar cual es la dosis óptima a utilizar. [6]

Figura 2.

Prueba de test de jarras.



Nota: La imagen expone el equipo de test de jarras, necesario para la operación de floculación. Tomado de ingeniería y servicios ambientales (ISA). <https://isa.ec/prueba-de-jarras/>

1.2 Clarificación de agua

El proceso de separación de la fase sólida y la fase continua en un lodo es importante para el vertimiento de aguas, debido a que de esta operación depende el mínimo impacto ambiental que puedan generar las aguas de dewatering.

1.2.1 Lodo descartado

Se denomina lodo descartado a los fluidos de perforación que después de pasar por el pozo no cumplen con las propiedades adecuadas para realizar un óptimo trabajo en la perforación, debido a esto el lodo tendrá que pasar por el proceso de dewatering. Una de las impurezas son los sólidos de perforación, estos aumentan el peso del lodo y generan diversos problemas.

1.2.1.a. Sólidos de perforación. El lodo de perforación es contaminado por sólidos al momento de ingresar al yacimiento y se ven afectadas sus funciones como la elevación de la viscosidad plástica, la resistencia de gel y revoques de filtración. Estos sólidos pueden generar daños en las bombas y en los equipos de perforación.

Los sólidos de perforación están clasificados según el tamaño de la partícula tal como se ve reflejado en la **Tabla 2**.

Tabla 2.

Clasificación de los sólidos.

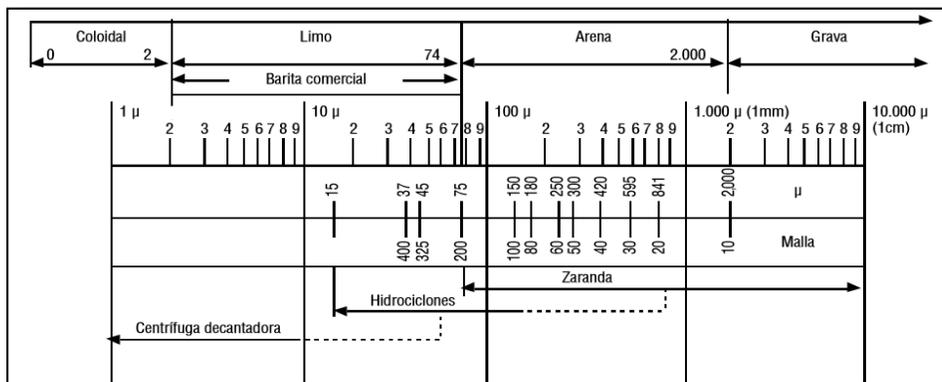
Categoría	Tamaño	Ejemplo
Coloidal	2 μ o menos	Bentonita, arcillas y solidos perforados ultrafinos
Limo	2 - 74 μ (< malla 200)	Barita, limo y solidos perforados finos
Arena	74 - 2000 μ (malla 200 - 10)	Arena y sólidos perforados
Grava	Más de 2000 μ (> malla 10)	Sólidos perforados, grava y cantos rodados

Nota: La tabla expone las categorías de solidos según su tamaño y sus ejemplos más significativos. Tomado de: Instituto Americano del Petróleo. manual de fluidos de perforación: procedimientos estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Dallas. Energy API. 2001. Pág 249.

Según el tamaño de las partículas, estos pueden ser retirados con diferentes equipos, como se muestra en la **Figura 3**.

Figura 3.

Clasificación de los tamaños de partículas.



Nota: La imagen muestra de manera detallada los tamaños de las partículas y los equipos necesarios para su remoción en un lodo. Tomado de: Instituto Americano del Petróleo. manual de fluidos de perforación: procedimientos estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Dallas. Energy API. 2001. Pág. 249.

Como se muestra en la imagen, la malla puede retirar la mayoría de las partículas (grava, arena y limo) que oscilan entre 10.000 micras y 15 micras, dependiendo el tipo de malla. La zaranda tiene la capacidad de retirar partículas de arena con un tamaño de 75 micras hasta 10.000 micras, los

hidrociclones retiran partículas tanto de arena como de limo los cuales tienen un tamaño entre 841 micras y 15 micras y finalmente con la centrífuga decantadora se logra retirar partículas de limo y coloidales que varían entre 1 micra y 60 micras. Debido a que las partículas coloidales tienen un tamaño entre cero y dos micras una parte de ellas no logran ser retiradas por la centrífuga por ende deben pasar por el proceso de dewatering

1.2.2 Floculación.

“Asociación incoherente de partículas en grupos ligeramente enlazados, asociación no paralela de laminillas de arcilla. En suspensiones concentradas, como los fluidos de perforación, la floculación produce gelificación. En algunos fluidos de perforación, después de la floculación puede producirse una precipitación irreversible de coloides y otras sustancias del fluido, por ej., capas de arcilla roja”. [2]

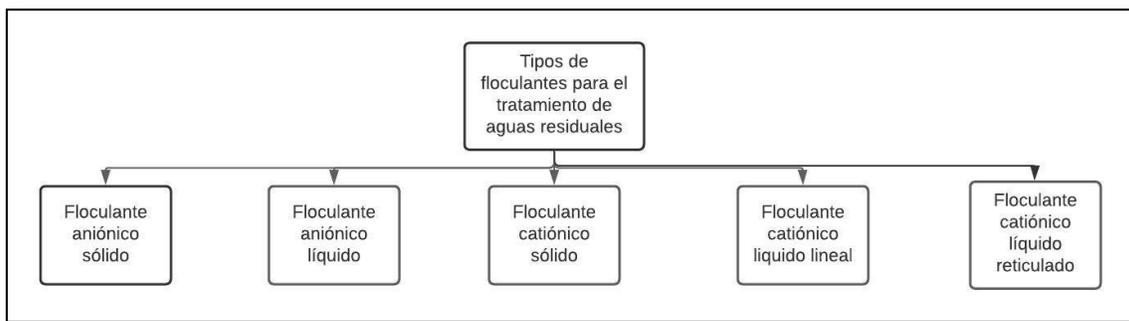
Algunos factores que afectan la floculación son: [7]

- Gradiente de velocidad: Si la velocidad supera el rango recomendado, este puede romper el floc.
- Tiempo de agitación.
- Composición química del floc.

1.2.2.a Tipos de floculantes para el tratamiento de aguas residuales. En la **Figura 4** se exponen los tipos de floculantes que pueden ser utilizados para el proceso de dewatering.

Figura 4.

Tipos de floculantes.



Nota: La imagen muestra la clasificación de los floculantes según su carga de electrones.

1.2.2.b Polímeros en estudio. Los polímeros que se evaluaron en la operación de test de jarras fueron los siguientes:

- Polímero Ecoquimicos 811. Es un polímero de carga no iónica utilizado con la finalidad de deshidratar el lodo. Este es un aditivo con una densidad aparente entre 600 Kg/m^3 y 900 Kg/m^3 . Se recomienda utilizar en lodos con un pH entre 5 a 8. [9]
- Polímero Kemira 1143. Posee una carga no iónica compuesta por poliacrilamida. Su función principal es la separación de los sólidos y líquidos en el lodo en la operación de perforación. Este polímero tiene propiedades de densidad aparente entre 650 Kg/m^3 y 850 Kg/m^3 y una temperatura de descomposición mayor a 200°C . la ficha técnica recomienda un uso para lodos con pH entre 5 a 8. [10]
- Polímero Lipesa 1641. Es un polímero con carga no iónica utilizado para la deshidratación mecánica de los lodos descartados. Lipesa 1641 tiene una densidad aproximada de 750 Kg/m^3 y según su ficha técnica, recomienda un uso en lodos con pH entre 5 y 9. [11]

1.2.3 pruebas para la caracterización de aguas

Para la aprobación de las aguas resultantes del test de jarras se requiere conocer los valores de los parámetros de cloruros, sulfatos y solidos suspendidos totales.

1.2.3.a prueba para la determinación de cloruros. Esta prueba se realiza mediante el método de Mohr con la finalidad de determinar la cantidad del ion cloruro presente en el agua tratada, buscando conocer si es óptima para su vertimiento según la resolución 0631 de 2015.

- reactivos utilizados. para la prueba se utiliza el cromato de potasio como agente titulador y el nitrato de plata como titulante

1.2.3.b prueba para la determinación de sulfatos. La prueba se lleva a cabo con el uso del espectrofotómetro Hach dr 2010 y el reactivo sulfaver.

- Sulfaver. Es un reactivo que se adiciona a las aguas para que el espectrofotómetro logre identificar los sulfatos presentes en la muestra.

1.2.3.c prueba para la determinación de solidos suspendidos totales. Para el reconocimiento de los sólidos totales presentes en una muestra se utiliza el equipo de Espectrofotómetro Hach dr 2010.

1.3 Resolución 0631 de 2015

La resolución 0631 de 2015 va encaminada al vertimiento de aguas superficiales, sistemas de alcantarillados públicos y otras disposiciones, teniendo en cuenta un límite máximo en los patrones buscando proteger la diversidad y la integridad del ambiente. [8]

El sector de los hidrocarburos está mencionado en la resolución 0631 de 2015 justamente en el artículo 11 para el control de parámetros en el vertimiento de aguas.

1.3.1 Artículo 11

En este apartado se describen todos los parámetros a tener en cuenta en el vertimiento de aguas en el sector de los hidrocarburos, desde la parte de upstream, downstream y finalmente midstream, como se observa en la **Tabla 3**.

Tabla 3.

Parámetros fisicoquímicos a monitorear y sus valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales de aguas residuales no domésticas - ARnD a cuerpos de aguas superficiales de actividades asociadas con hidrocarburos (petróleo crudo, gas natural y derivados).

PARÁMETRO	UNIDADES	EXPLORACIÓN (UPSTREAM)	PRODUCCIÓN (UPSTREAM)	REFINO	VENTA Y DISTRIBUCIÓN (DOWNSTREAM)	TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO (MIDSTREAM)
Generales						
pH	Unidades de pH	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00	5,00 a 9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L O ₂	400,00	180,00	400,00	180,00	180,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	200,00	60,00	200,00	60,00	60,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Grasas y Aceites	mg/L	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Fenoles	mg/L	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Hidrocarburos						
Hidrocarburos totales (HTP)	mg/L	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	

Tabla 3. Continuación

BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	
Compuestos Orgánicos Halogenados Adsorbibles (AOX)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Compuestos de Fósforo						
Fósforo total (P)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte
Ortofosfatos (PO_4^{3-})	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Compuestos de Nitrógeno						
Nitratos (N- NO_3^-)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Amoniacal ($N - NH_2$)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Nitrógeno Total (N)	mg/L	10,00	10,00	10,00 O 40,00 si en el proceso de refino se incluyen actividades de hidrogenación	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte

Tabla 3. Continuación

Iones						
Cianuro total (CN)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	1,200,00	1,200,00	500,00	250,00	250,00
Fluoruros (F ⁻)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	mg/L	300,00	300,00	500,00	250,00	250,00
Sulfuros (S ²⁻)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Metales y Metaloides						
Arsénico (As)	mg/L	0,10	1,10	2,10		
Bario (Ba)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,10	0,10	0,10		
Cinc (Zn)	mg/L	3,00	3,00	3,00		
Cobre (Cu)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Cromo (Cr)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Hierro (Fe)	mg/L	3,00	3,00	3,00		
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01	0,01	0,01		
Niquel (Ni)	mg/L	0,50	0,50	0,50		
Plata (Ag)	mg/L	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte	Análisis y Reporte		
Plomo (Pb)	mg/L	0,20	0,20	0,10		
Selenio (Se)	mg/L	0,20	0,20	0,20		
Vanadio (V)	mg/L	1,00	1,00	1,00		
Otros Parámetros para Análisis y Reporte						
Acidez Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte				

Tabla 3. Continuación

Alcalinidad Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte				
Dureza Cálcica	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte				
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	Análisis y Reporte				
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda; 436 nm, 525 nm y 620 nm)	m ⁻¹	Análisis y Reporte				

Nota: En la tabla se ve representado las propiedades fisicoquímicas de las aguas y sus rangos permitidos, según la operación de origen. Tomado de: Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible resolución No. 0631. 2015. [En línea]. Disponible en: ["https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf"](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1-res_631_marz_2015.pdf)

1.4 Fluidos de perforación.

El fluido de perforación o también nombrado lodo de perforación es denominado una mezcla homogénea entre sólidos y líquidos utilizado en la perforación para mantener estable el pozo.

1.4.1 Funciones del fluido de perforación

Las funciones del fluido de perforación desempeñan sus tareas en el pozo con la finalidad de reducir riesgos de operación. No todas las funciones se logran desempeñar al mismo tiempo, pero poseen la misma relevancia.

Las funciones del fluido de perforación las describe el manual de fluidos de perforación de la siguiente manera (para mayor información, ver anexo B): [2]

- Retirar los recortes del pozo
- Controlar las presiones de formación
- Suspender y descargar los cortes
- Obturar las formaciones permeables
- Mantener la estabilidad del pozo
- Minimizar los daños al yacimiento
- Enfriamiento, lubricación de la broca y el conjunto de perforación

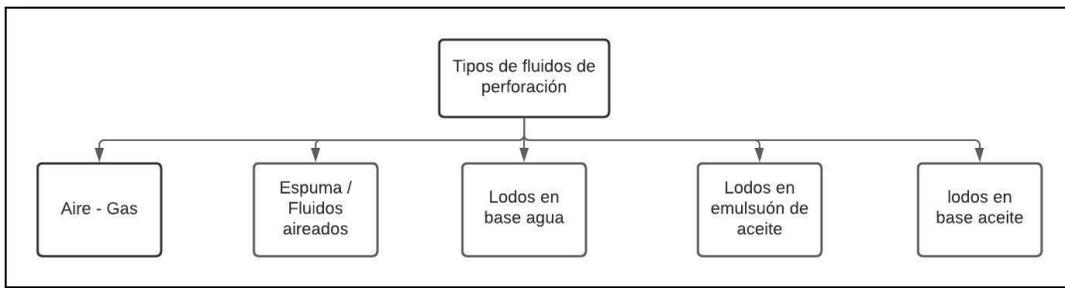
- Transmitir la energía hidráulica a las herramientas
- Asegurar una evaluación adecuada de la formación
- Evitar la corrosión
- Facilitar la cementación del revestimiento
- Minimizar el impacto ambiental

1.4.2 Tipo de fluidos de perforación

A continuación, se presentarán los diferentes tipos de fluidos utilizados en la perforación.

Figura 5.

Clasificación de los fluidos de perforación.



Nota: En la imagen se expone los tipos de fluidos de perforación (lodo de perforación) que se utilizan en la operación de perforación según sus requerimientos.

1.4.2.a Fluido de perforación base agua. Este tipo de lodo está conformado principalmente por bentonita con el objetivo de aumentar la densidad. Este fluido de perforación es comúnmente utilizado en la parte más somera del pozo en donde la arcilla conserva su consistencia y su estabilidad.

La principal función de este fluido es perforar las primeras secciones del pozo a una alta ROP; cuando las propiedades de este lodo se ven afectadas por la circulación en el pozo, se transforma a otro tipo de lodo debido a su baja complejidad.

2. METODOLOGÍA Y DATOS

2.1 Procedimiento de pruebas de laboratorio

Las pruebas de laboratorio realizadas en la investigación se llevaron a cabo en dos partes. La primera parte se hizo de la mano de la empresa HOLSAN S.A.S en donde se evaluó el rendimiento de los polímeros y se caracterizó el agua del proceso de dewatering y la otra parte en la Universidad de América donde se formuló el lodo y se realizaron las pruebas fisicoquímicas. A continuación, se describe de manera detallada el procedimiento que se realizó:

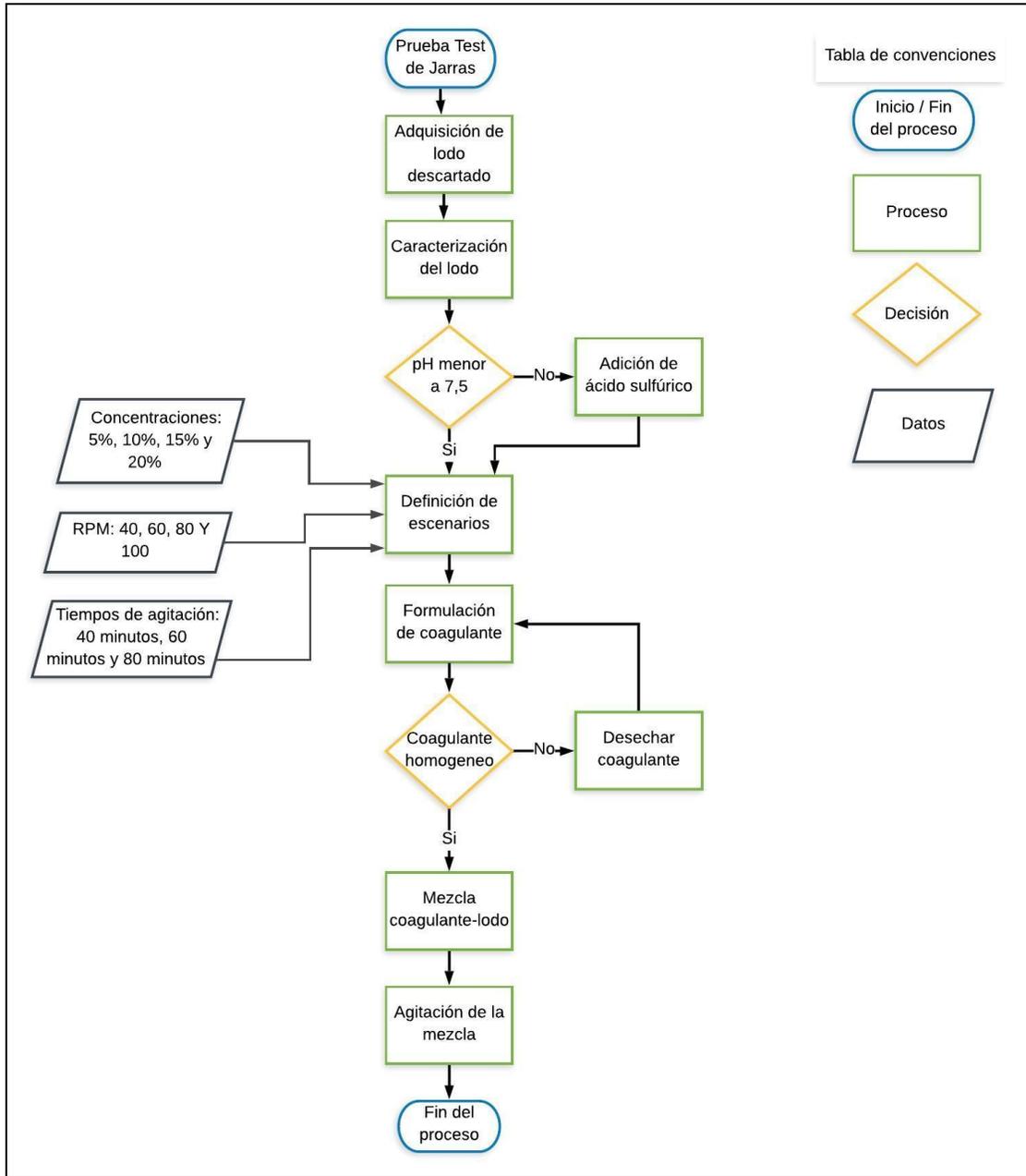
2.1.1 Pruebas tipo test de jarras

Las pruebas que se llevaron a cabo con los tres polímeros se realizaron con el mismo lodo descartado para evitar que el desempeño de los polímeros se viera afectado. Se inició con la medición del pH del lodo descartado con el objetivo de verificar que se encontrara en el rango ideal y no afectara la eficiencia de los polímeros. El pH que debe tener el lodo al inicio del proceso de dewatering está entre 6 y 9, como lo aconseja la ficha técnica.

El acondicionamiento del polímero es un proceso importante debido a su complejidad al momento de generar una mezcla homogénea. Se debe tener precisión al proporcionar la dosificación, para esto se utilizaron las equivalencias normalmente utilizadas en laboratorio en donde 1 barril equivale a 350 mL y 1 gr a 1 Lb. Luego de conocer la cantidad del polímero que se debía proporcionar, se adiciono de manera lenta, con el fin de no generar sólidos en la mezcla. Otro parámetro a tener en cuenta son las revoluciones por minuto (RPM) utilizadas, debido a que, al adicionar el polímero con una agitación lenta, no se disolverá en su totalidad y por el contrario se pueden generar grumos. El tiempo de agitación fue de 45 minutos en donde el polímero se disolvió en su totalidad. Seguido a esto se disminuyeron las RPM durante 15 minutos con la finalidad de que se desarrollara, ganará espacio y como resultado se obtuvo una mezcla viscosa y lo más importante una mezcla homogénea.

Figura 6.

Diagrama prueba test de jarras.



Nota: En la imagen se expone el proceso para la floculación en un test de jarras.

Por medio de las siguientes ecuaciones se determinan las ppm del polímero en la solución:

Ecuación 1.

Concentración del polímero (ppm).

$$ppm \text{ en solución} = \frac{\text{masa de polímero (mg)}}{\text{volumen de solución (Lt)}}$$

Ecuación 2.

Concentración del polímero en el lodo (ppm).

$$ppm = \frac{ppm \text{ en solución} \times \text{adición del polímero (Lt)}}{\text{volumen de agua (Lt)}}$$

Las pruebas fueron realizadas con cada uno de los polímeros en estudio, alternando variables como RPM, concentración y tiempos de agitación. En el momento de tener el polímero se dio inicio a la mezcla con lodo, donde esta etapa es una de las más importantes del proceso para la investigación, debido a que en esta fase es en donde se realizaron las variaciones en los escenarios. La mezcla se dio de manera lenta y pausada adicionando 2,5 ml cada 2 minutos, esto con el objetivo de que el polímero se disolviera de manera efectiva y lograra una mejor aglomeración de los sólidos coloidales. En este proceso la velocidad de agitación se llevó a cabo según los parámetros de la investigación al igual que el tiempo de agitación, este último se realizó en tres fases. En la primera fase se llevó a cabo una agitación rápida con el fin de lograr una buena mezcla del producto, la segunda fue una agitación lenta para obtener la floculación y por último se dejó en reposo para que el floc se sedimentará y se realizará la separación de fases.

Finalizado el proceso de test de jarras se determinó si el floculante utilizado realizó una buena separación entre los sólidos coloidales y el agua o si por el contrario persistió la mezcla entre estos.

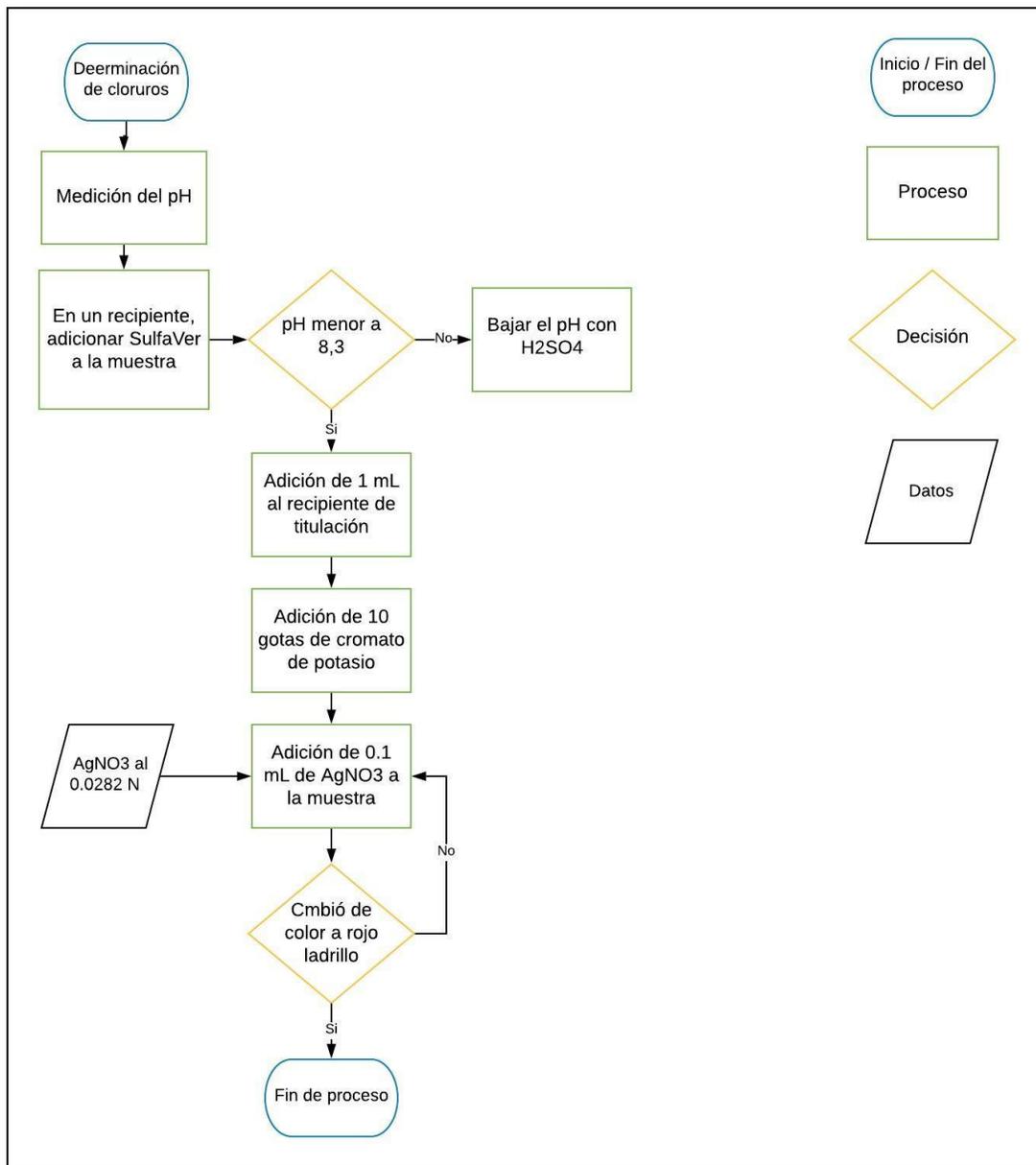
2.1.2 Pruebas de caracterización de aguas

Para la aprobación de las aguas de dewatering, es necesario medir los parámetros evaluados en la resolución 0631 de 2015 en donde están establecidos los valores máximos que pueden contener las aguas de dewatering para su posterior vertimiento.

2.1.2.a. Determinación de cloruros. A continuación, se observa en la **Figura 7** el diagrama de procesos para la determinación de cloruros.

Figura 7.

Diagrama de determinación de cloruros.

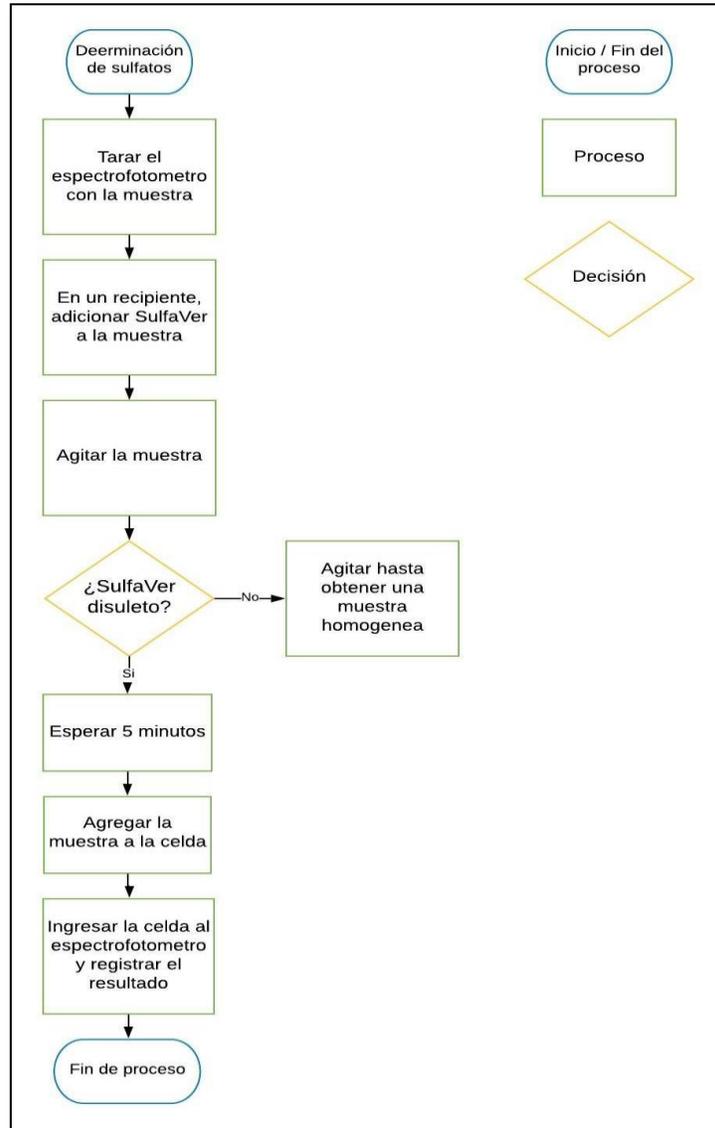


Nota: La imagen muestra el procedimiento necesario para la determinación de los cloruros en una muestra.

2.1.2.b. Determinación de sulfatos. A continuación, se observa en la **Figura 8** en diagrama de procesos para la determinación de sulfatos.

Figura 8.

Diagrama de determinación de sulfatos.

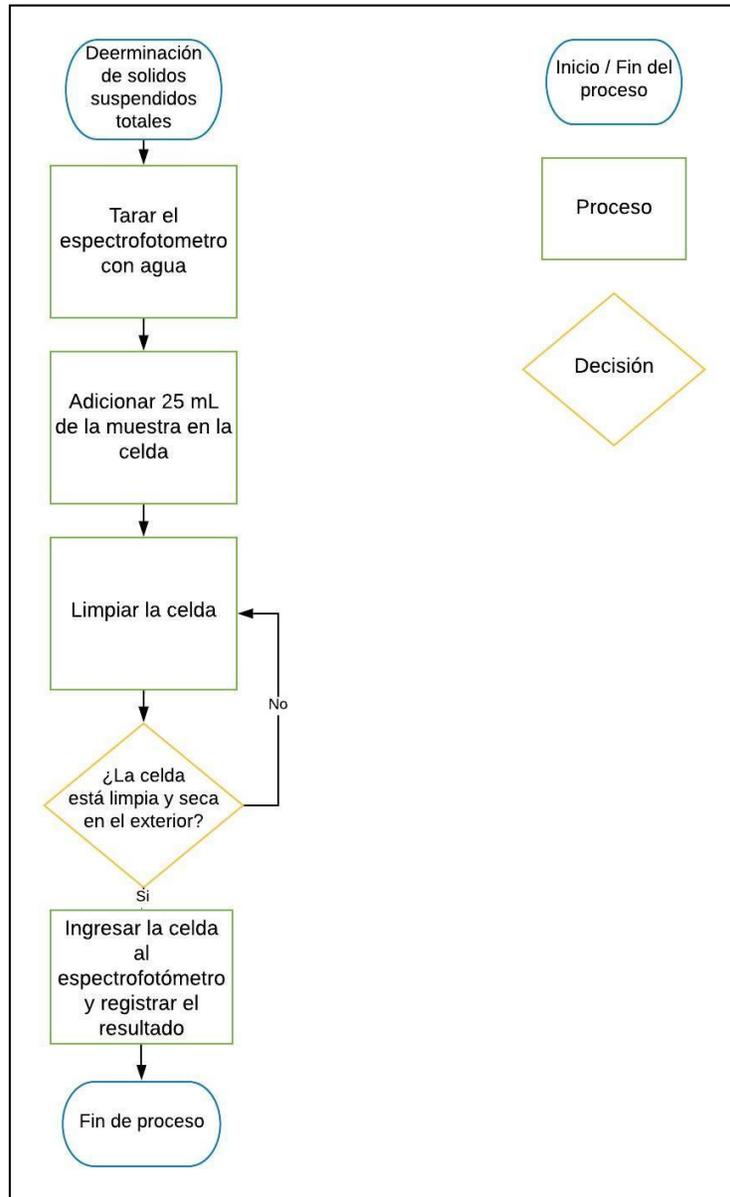


Nota: La imagen muestra el procedimiento necesario para la determinación de los sulfatos en una muestra. Para dicha determinación fue necesario el uso del espectrofotómetro.

2.1.2.c. Cantidad de solidos suspendidos totales. A continuación, se observa en la **Figura 9** en diagrama de procesos para la determinación de solidos suspendidos totales.

Figura 9.

Diagrama de determinación de sólidos suspendidos totales.



Nota: La imagen muestra el procedimiento necesario para la determinación de los sólidos suspendidos totales en una muestra. Para dicha determinación fue necesario el uso del espectrofotómetro.

2.1.2.d. Depuración de datos según la resolución. Luego de obtenidos los resultados de las propiedades fisicoquímicas se separaron las muestras de las aguas resultantes del proceso, aquellas

que cumplieran con los parámetros, cloruros menores a 1200 mg/L, sulfatos menores a 300 mg/L y sólidos suspendidos totales menores a 50 mg/L y las que no cumplieran.

2.1.3 Formulación de lodo de inicio

Se realizó la formulación del lodo de inicio base agua utilizando el agua resultante del proceso de dewatering.

2.1.3.a. Propiedades típicas del lodo de inicio. Para la sección 17 ½” se requiere de un lodo de inicio que cumpla con las especificaciones mostradas en la **Tabla 4**.

Tabla 4.

Propiedades Típicas del lodo de inicio.

Propiedades Típicas		
	Unidades	
Densidad	(lb/gal)	8,5 - 10
Viscosidad embudo	(seg/qt)	36 - 55
Viscosidad plástica	(cP)	5 - 9
Punto cedente	(lb/100 pies ²)	12 - 25
Esfuerzo de gel inicial	(lb/100 pies ²)	5 - 10
Esfuerzo de gel a 10 min	(lb/100 pies ²)	10 - 20
pH		8,5 - 10,5
Pm	(cm ³ 0,02N H ₂ SO ₄)	0,1 - 1,5
Pf	(cm ³ 0,02N H ₂ SO ₄)	0,1 - 1,0
Calcio	(mg/l)	40 - 240
Cloruros	(mg/l) (agua dulce)	0 - 5000
Filtrado	(cm/30 min)	Según se requiera
Sólidos de baja gravedad específica	(%)	3 - 10
MBT	(lb/bbl)	Según el peso del lodo (8,5 - 10) entre 20 y 30

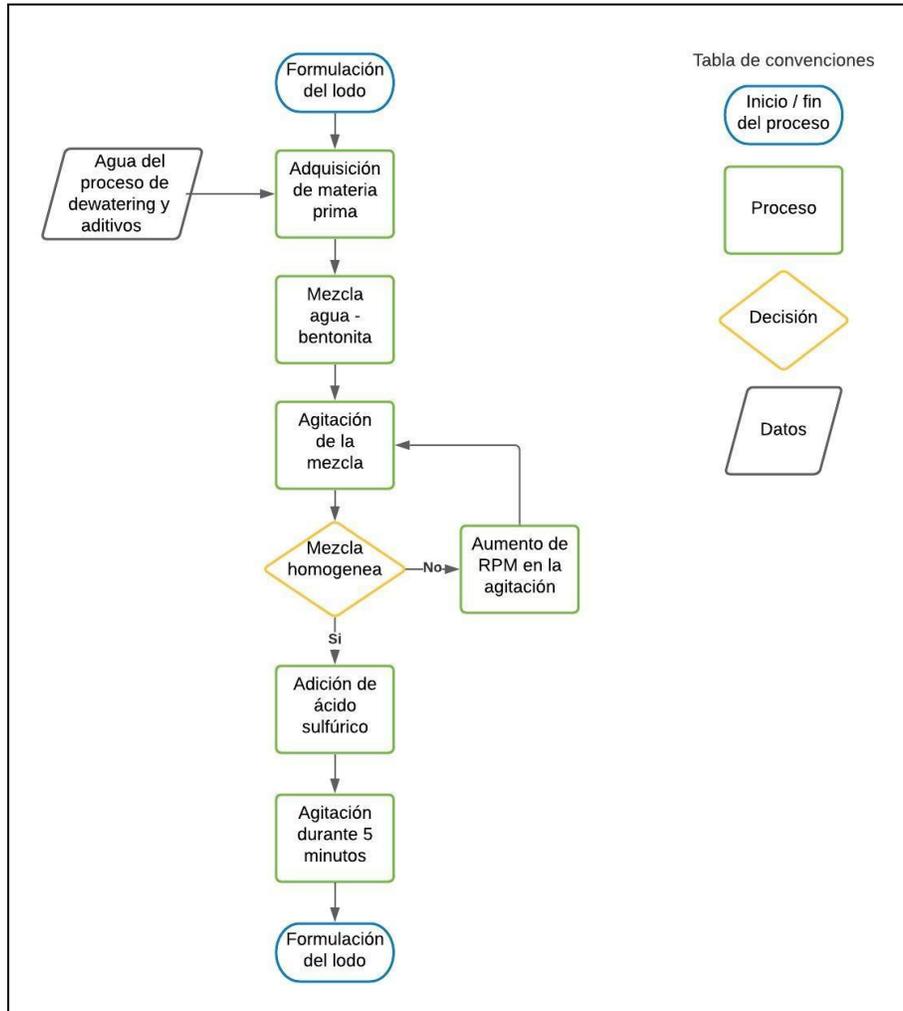
Nota: Rangos de propiedades físico-químicas aceptadas para un lodo de inicio (spud mud). Tomado de: Instituto Americano del Petróleo. Manual de fluidos de perforación. Pág. 317.

2.1.3.b. Formulación del lodo. Se agregó 17 gr de bentonita por cada 350 ml de agua del proceso de dewatering y se agitó lentamente hasta observar una mezcla homogénea. Luego se añadió 0,1

gr de soda cáustica por cada 350 ml de agua y se agitó durante 5 minutos con el fin de que se disolviera.

Figura 10.

Diagrama de formulación de lodo de inicio.



Nota: La imagen da a conocer el proceso, de una manera consecutiva, para la formulación de un lodo de inicio.

2.1.3.c. Pruebas físicas y químicas. Se realizaron las siguientes pruebas con el fin de caracterizar el lodo y verificar que fuera un lodo de inicio. Debido a la limitada cantidad de agua resultante del proceso de dewatering no fue posible realizar todas las pruebas físicas.

2.1.3.d. Pruebas físicas.

→ Densidad. Ver Anexo B para más información sobre el procedimiento.

→ Reología. Para aumentar el valor de los Geles, tanto inicial como a 10 minutos se hizo uso del químico Quik-trol. Ver Anexo C en donde se logra apreciar el diagrama de procesos.

A partir de las siguientes ecuaciones y de los datos obtenidos por la prueba de reología se puede determinar:

- Viscosidad plástica

Ecuación 5.

Viscosidad Plástica.

$$PV = R600 - R300$$

- Punto cedente

Ecuación 6.

Punto cedente.

$$PC = R300 - PV$$

- Viscosidad aparente

Ecuación 7.

Viscosidad aparente.

$$VA = \frac{R600}{2}$$

→ Retorta. El Anexo D muestra el proceso que se realizó para la prueba de Retorta.

→ MBT. En el Anexo E se presenta el procedimiento para llevar a cabo la prueba y los reactivos que se utilizaron.

Ecuación 8.

MBT.

$$MBT = \frac{mL \text{ de azul de metileno} \times 5}{2}$$

→ Filtrado. En el Anexo F se da a conocer el procedimiento para la prueba de filtrado.

2.1.3.e. Pruebas químicas.

→ pH

Se sumergió la cinta indicadora de pH en cada una de las muestras de lodo y se esperó a que se generara un cambio de color. Finalmente se procedió a tomar el dato.

El Anexo G muestra el procedimiento necesario para llevar a cabo las pruebas de Pm, Pf y Mf respectivamente y los reactivos que se utilizaron para cada prueba.

→ Cloruros. Ver Anexo H para más información sobre el procedimiento.

Ecuación 9.

Cloruros (Cl⁻).

$$\text{Cloruros} = \frac{\text{mL de } AgNO_3 \times 1,128 \text{ N} \times 35,45 \times 1000}{\text{ml de muestra}}$$

→ Dureza. Ver Anexo I en donde se logra apreciar el diagrama de procesos.

Ecuación 10.

Dureza (Ca⁺⁺).

$$Ca^{++} = \text{mL de Versenato estándar} \times 400 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3. RESULTADOS

3.1 Tablas de resultados para la floculación.

Se registraron los datos de floculación obtenidos en la evaluación de los polímeros con los respectivos cambios de concentración, RPM y tiempos de agitación. En las tablas se puede evidenciar, las aguas que floclaron y las que no.

En el Anexo J se puede observar algunos de los resultados de la prueba de test de jarras.

3.1.1 *Floculación del polímero Ecoquimicos 811*

Tabla 5.*Resultados para la floculación del polímero Ecoquímicos 811.*

POLIMERO Ecoquímicos 811									
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	pH	Conductividad	Color	Cantidad de polímero adicionado (mL)	Concentración del polímero (ppm)	Floculación (Si, Parcial y No)
1	40	0,5	20	7,0	7230	sin color	5	50	SI
2	40	1	20	6,8	7090	sin color	5	100	SI
3	40	2	20	7,2	7800	café	15	600	Parcial
4	40	3	20	6,4	6890	café	15	900	Parcial
5	40	0,5	40	6,5	7010	café	5	50	SI
6	40	1	40	6,8	7220	café	5	100	SI
7	40	2	40	6,4	7120	sin color	5	200	SI
8	40	3	40	6,7	7340	marrón	5	300	SI
9	40	0,5	60	6,6	6800	sin color	5	50	Si
10	40	1	60	6,3	6300	café	5	100	Parcial
11	40	2	60	7,0	7210	café	5	200	Parcial
12	40	3	60	7,2	7580	sin color	5	300	Si
13	60	0,5	20	6,8	7390	café	2,5	25	Parcial
14	60	1	20	6,8	7320	café	2,5	50	Parcial
15	60	2	20	5,9	6300	café	2,5	100	SI
16	60	3	20	6,5	7320	sin color	20	1200	No
17	60	0,5	40	6,7	7230	sin color	7,5	75	SI
18	60	1	40	6,7	7340	café	7,5	150	Parcial
19	60	2	40	6,5	7010	sin color	7,5	300	Si
20	60	3	40	7,0	7680	marrón	20	1200	No
21	60	0,5	60	6,9	7890	marrón	20	40	No
22	60	1	60	6,6	7340	café	7,5	150	Parcial
23	60	2	60	7,0	7530	marrón	20	800	No
24	60	3	60	7,0	7530	marrón	20	1200	No

Tabla 5. Continuación

POLIMERO Ecoquímicos 811									
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	pH	Conductividad	Color	Cantidad de polimero adicionado (mL)	Concentración del polimero (ppm)	Floculación (Si,Parcial y No)
25	80	0,5	20	5,8	5970	café	5	50	Si
26	80	1	20	6,7	6740	sin color	5	100	Si
27	80	2	20	6,7	6400	café	5	200	Parcial
28	80	3	20	6,5	7430	marrón	5	300	Parcial
29	80	0,5	40	6,5	7400	café	5	50	SI
30	80	1	40	6,4	7690	sin color	5	100	Si
31	80	2	40	6,2	6840	sin color	5	800	Si
32	80	3	40	5,9	7900	marrón	20	1200	No
33	80	0,5	60	6,8	5990	café	15	150	Parcial
34	80	1	60	6,6	6840	café	12,5	250	Si
35	80	2	60	6,6	6230	café	15	600	Parcial
36	80	3	60	6,8	7580	marrón	20	1200	No
37	100	0,5	20	7,2	7680	marrón	20	200	No
38	100	1	20	7,2	7890	marrón	20	400	No
39	100	2	20	6,8	7570	marrón	20	800	No
40	100	3	20	6,7	7230	marrón	20	1200	No
41	100	0,5	40	6,9	7420	marrón	20	200	No
42	100	1	40	6,9	7230	marrón	20	400	No
43	100	2	40	6,6	7260	marrón	20	800	No
44	100	3	40	6,4	7650	marrón	20	1200	No
45	100	0,5	60	7,0	7120	marrón	20	200	No
46	100	1	60	6,8	7530	marrón	20	400	No
47	100	2	60	6,6	7890	marrón	20	800	No
48	100	3	60	6,6	7320	marrón	20	1200	No

Nota: Esta tabla muestra las pruebas de test realizadas con los diferentes escenarios y los resultados obtenidos para el polímero Ecoquímicos 811.

El floc generado por polímero Ecoquímicos 811 conserva su estabilidad hasta un tiempo alrededor de 40 minutos y luego de haber superado este tiempo, se rompen los flocs y pierde su eficiencia. En el caso de 60 minutos hay variación donde las muestras que si floclaron están caracterizadas por unas RPM bajas y las que no floclaron tienen la característica de trabajar bajo altas RPM.

En la **Figura 11** se puede evidenciar tres diferentes floclaciones con diferente turbiedad, adicional a esto cada muestra presenta distintas cantidades de sólidos aglomerados.

Figura 11.

*Prueba de test de jarras polímero
Ecoquímicos 811 con 40 RPM y 20 minutos.*



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos de las pruebas con concentraciones de 0.5, 1 y 2 (de izquierda a derecha).

En la **Figura 12** se aprecia como en las cuatro jarras no se presenta la floclación y la muestra se sigue tornando homogénea.

Figura 12.

*Prueba de test de jarras polímero Ecoquímicos
811 con 100 RPM y a 20 minutos.*



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos de las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

3.1.2 Floculación del polímero Lipesa 1641

Tabla 6.

Tabla de resultados para la floculación del polímero Lipesa 1641.

POLIMERO Lipesa 1641									
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	pH	Conductividad	Color	Cantidad de polimero adicionado (mL)	Concentración del polimero (ppm)	Floculación (Si,Parcial y No)
1	40	0,5	20	6,4	6800	café	2,5	25	Si
2	40	1	20	6,3	7420	sin color	2,5	50	Si
3	40	2	20	6,3	7120	sin color	2,5	100	Si
4	40	3	20	6,0	5900	marrón	2,5	150	Si
5	40	0,5	40	6,6	6700	marrón	20	200	No
6	40	1	40	6,4	7340	marrón	20	400	No
7	40	2	40	6,4	7210	marrón	20	800	No
8	40	3	40	5,9	6890	café	5	300	Si
9	40	0,5	60	6,7	7650	marrón	20	200	No
10	40	1	60	6,4	7830	marrón	20	400	No
11	40	2	60	6,2	7250	marrón	20	800	No
12	40	3	60	7,2	7560	marrón	20	1200	No
13	60	0,5	20	6,6	6890	café	2,5	25	Si
14	60	1	20	6,5	7560	marrón	20	400	No
15	60	2	20	6,8	7210	sin color	5	200	Si
16	60	3	20	7,0	6710	café	5	300	Si
17	60	0,5	40	6,5	7680	marrón	20	200	No
18	60	1	40	6,4	7500	marrón	20	400	No
19	60	2	40	6,3	7560	marrón	20	800	No
20	60	3	40	6,3	8010	marrón	20	1200	No
21	60	0,5	60	6,2	7230	café	2,5	25	Si
22	60	1	60	5,8	6700	café	5	100	Si
23	60	2	60	5,7	6460	café	2,5	100	Si
24	60	3	60	5,7	6870	sin color	5	300	Si

Tabla 6. Continuación

POLIMERO Lipesa 1641									
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	pH	Conductividad	Color	Cantidad de polimero adicionado (mL)	Concentración del polimero (ppm)	Floculación (Si,Parcial y No)
25	80	0,5	20	6,6	6780	marrón	2,5	25	Si
26	80	1	20	6,2	6560	café	2,5	50	Si
27	80	2	20	5,9	6790	café	2,5	100	Si
28	80	3	20	5,8	7010	sin color	2,5	150	Si
29	80	0,5	40	5,9	6440	café	5	50	Si
30	80	1	40	5,9	7060	café	5	100	Parcial
31	80	2	40	5,9	6740	sin color	2,5	100	Si
32	80	3	40	6,2	7450	marrón	20	1200	No
33	80	0,5	60	6,0	7560	marrón	20	200	No
34	80	1	60	5,8	7010	sin color	5	100	Parcial
35	80	2	60	6,0	6800	café	2,5	100	Si
36	80	3	60	6,1	6410	café	2,5	150	Si
37	100	0,5	20	6,3	6740	marrón	5	50	Si
38	100	1	20	6,5	6790	café	2,5	50	Si
39	100	2	20	6,4	6930	sin color	5	200	Si
40	100	3	20	6,4	6240	sin color	5	300	Si
41	100	0,5	40	7,0	7430	sin color	20	200	No
42	100	1	40	6,3	6540	sin color	2,5	50	Si
43	100	2	40	6,5	6700	café	2,5	100	Si
44	100	3	40	6,5	6580	sin color	2,5	150	Si
45	100	0,5	60	6,7	6450	café	10	100	Parcial
46	100	1	60	6,6	6740	café	2,5	50	Si
47	100	2	60	6,6	6590	sin color	2,5	100	Si
48	100	3	60	6,3	6900	café	5	300	Si

Nota: Esta tabla muestra las pruebas de test realizadas con los diferentes escenarios y los resultados obtenidos para el polímero Lipesa 1641.

El polímero Lipesa 1641 tuvo un desempeño promedio donde no hubo una tendencia con respecto a las concentraciones, sin embargo, se pudo observar que las aguas resultantes que fueron sometidas con floclulantes a altas concentraciones presentaban un exceso de polímero. La efectividad de las pruebas en el polímero Lipesa 1641 se ven afectadas de manera parcial por las concentraciones y los demás parámetros toman mayor relevancia.

En la **Figura 13** se logra evidenciar una buena floclulación en las cuatro jarras, presentando una buena separación de fases, sin embargo, el agua no se torna incolora.

Figura 13.

Prueba de test de jarras polímero Lipesa 1641 a 60 RPM y a 60 minutos.

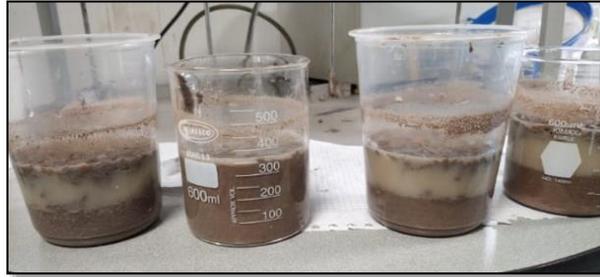


Nota: La imagen expone los resultados obtenidos de las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

La **Figura 14** expone la prueba de test de jarras a 60 RPM y 20 minutos, donde la las jarras 1,3 y 4 presentan una buena floclulación con una excelente separación entre la fase sólida y la fase continua a pesar de poseer agua muy turbia. La jarra 2 no muestra ninguna separación y por ende una floclulación.

Figura 14.

*Prueba de test de jarras polímero Lipesa 1641
a 60 RPM a y 20 minutos.*



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos en las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

3.1.3 Floculación del polímero Kemira 1143.

Tabla 7.

Tabla de resultados para la floculación del polímero Kemira 1143.

POLIMERO Kemira 1143									
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	pH	Conductividad	Color	Cantidad de polimero adicionado (mL)	Concentración del polimero (ppm)	Floculación (Si,Parcial y No)
1	40	0,5	20	6,5	7450	marron	20	200	No
2	40	1	20	6,2	7090	café	2,5	50	Si
3	40	2	20	6,2	7010	café	2,5	100	Si
4	40	3	20	6,1	6500	sin color	2,5	150	Si
5	40	0,5	40	6,1	6780	sin color	7,5	75	Si
6	40	1	40	6,0	6890	café	2,5	50	Si
7	40	2	40	6,0	6900	café	2,5	100	Si
8	40	3	40	5,9	6710	marron	2,5	150	Si
9	40	0,5	60	6,2	6580	sin color	10	100	Si
10	40	1	60	6,0	7090	café	10	200	Si
11	40	2	60	6,0	6720	café	10	400	Si
12	40	3	60	6,0	6120	café	10	600	Si
13	60	0,5	20	6,3	7340	sin color	7,5	75	Si
14	60	1	20	6,2	7090	café	7,5	150	Parcial
15	60	2	20	6,1	7800	café	7,5	300	Parcial
16	60	3	20	6,0	7560	café	7,5	450	Parcial
17	60	0,5	40	6,6	7560	sin color	10	100	Si
18	60	1	40	6,5	7590	sin color	10	200	Si
19	60	2	40	6,4	6590	café	20	800	No
20	60	3	40	6,4	7780	marron	20	1200	No
21	60	0,5	60	6,3	6740	sin color	10	100	Si
22	60	1	60	6,3	7090	sin color	10	200	Parcial
23	60	2	60	6,3	6790	café	10	400	Parcial
24	60	3	60	6,2	7040	café	7,5	450	Si

Tabla 7. Continuación

POLIMERO Kemira 1143									
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	pH	Conductividad	Color	Cantidad de polimero adicionado (mL)	Concentración del polimero (ppm)	Floculación (Si,Parcial y No)
25	80	0,5	20	6,5	7770	marrón	20	40	No
26	80	1	20	6,4	6750	café	10	200	Si
27	80	2	20	6,4	6780	sin color	5	200	Si
28	80	3	20	5,9	6530	café	7,5	450	Si
29	80	0,5	40	6,5	6780	marrón	20	200	No
30	80	1	40	6,5	7360	sin color	10	200	Si
31	80	2	40	6,4	7040	sin color	7,5	300	Si
32	80	3	40	6,3	6750	café	10	600	Si
33	80	0,5	60	6,4	7440	marrón	20	200	No
34	80	1	60	6,2	7230	marrón	10	200	Si
35	80	2	60	6,2	7450	marrón	5	200	Si
36	80	3	60	6,1	7370	marrón	5	300	Si
37	100	0,5	20	6,6	7420	marrón	20	200	No
38	100	1	20	6,4	7590	marrón	10	200	Si
39	100	2	20	6,2	7480	marrón	5	200	Si
40	100	3	20	6,0	7430	marrón	5	300	Si
41	100	0,5	40	6,5	7520	marrón	20	200	No
42	100	1	40	6,5	7450	marrón	20	400	No
43	100	2	40	6,3	7140	marrón	20	800	No
44	100	3	40	6,2	7480	marrón	20	1200	No
45	100	0,5	60	6,4	7950	marrón	20	200	No
46	100	1	60	6,3	7330	marrón	20	400	No
47	100	2	60	6,3	7520	marrón	20	800	No
48	100	3	60	6,2	7420	marrón	20	1200	No

Nota: Esta tabla muestra las pruebas de test realizadas con los diferentes escenarios y los resultados obtenidos para el polímero Kemira 1143.

Por parte del polímero Kemira 1143 se notó un buen comportamiento a las diferentes concentraciones debido a que no hubo tanta variación en la viscosidad, esto generó que la mayoría del polímero reaccionara con el lodo. Sin embargo, su mejor desempeño fue con las concentraciones de 1%, 2% y 3%.

En la **Figura 15** se logra evidenciar una floculación en las cuatro jarras, sin embargo, en la jarra del lado izquierdo presenta un agua resultante con menor turbiedad.

Figura 15.

Prueba de test de jarras polímero Kemira 1143 a 60 RPM y a 20 minutos.



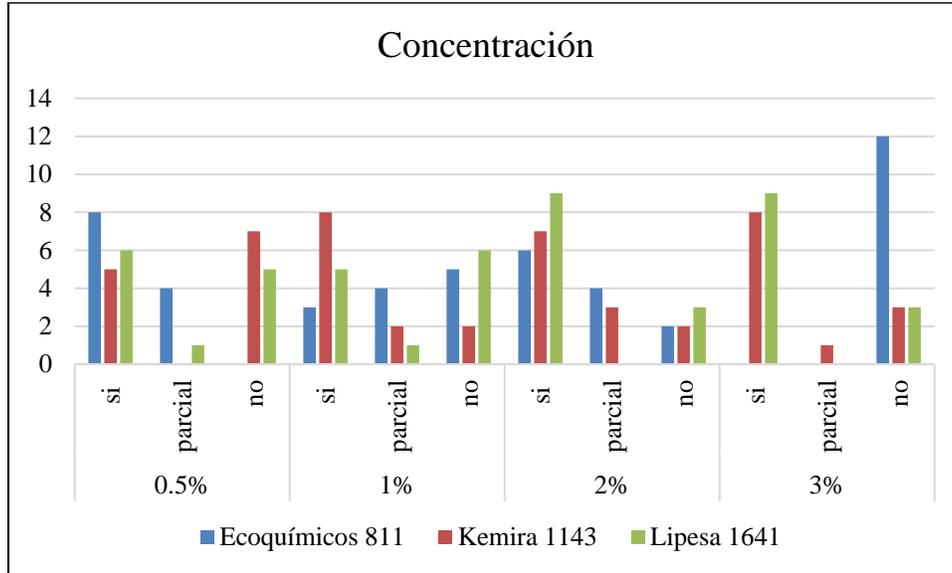
Nota: La imagen expone los resultados obtenidos de en las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

3.1.4 Análisis de datos del test de jarras.

Basados en la **Figura 16** se puede observar como el polímero Ecoquimicos 811 tiende a tener un mejor desempeño a concentraciones bajas (0.5%), esto debido a que el polímero reacciona inmediatamente entrando en contacto con el lodo descartado, por el contrario el lodo al que se le adicionó el polímero Ecoquimicos 811 con una concentración de 3% no presentó una floculación, esto se debe a que el floculante por su alta viscosidad no reaccionará de manera óptima con el lodo y quedara adherido a las aspás del equipo de test de jarras y a las paredes del recipiente.

Figura 16.

Resultados del test de Jarras según las concentraciones.



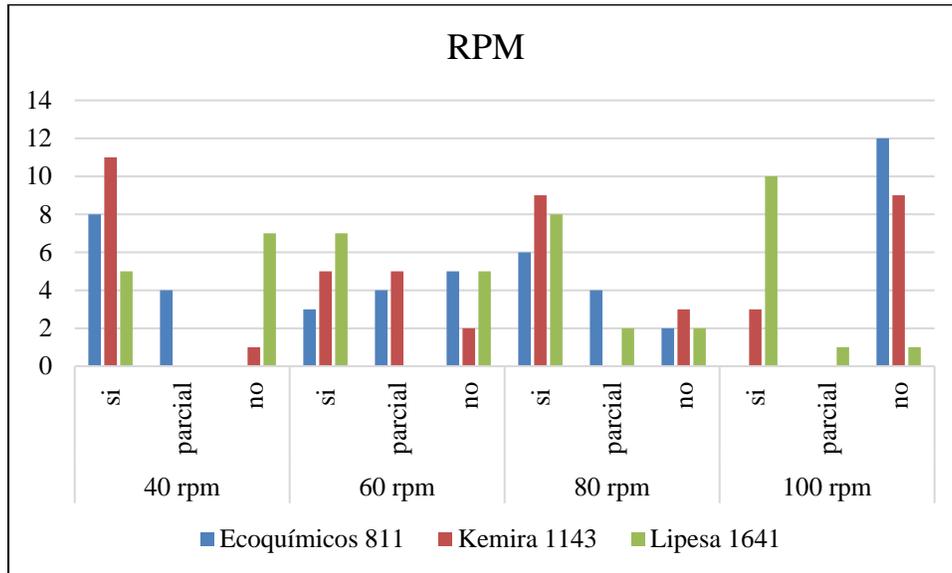
Nota: La grafica representa la cantidad de muestras floculadas en cada cambio de concentración.

Teniendo en cuenta la **Figura 17** se analiza que en el polímero Ecoquímicos 811 y Kemira 1143 no se formó un floc con buena estabilidad, viéndose afectado su tamaño al ser sometido a altas RPM y la separación de fases no fue posible. Mientras en el polímero Lipesa 1641 se evidenció que tiene un mejor desempeño al trabajar con altas RPM, esto debido a que se aglomeran más los sólidos y no se logran romper los flocs.

Debido a que el polímero Ecoquímicos 811 y Kemira 1143 no forman un floc estable, requiere unas RPM bajas que sean capaces de aglomerar los sólidos, pero que no tengan la facultad de romper el floc.

Figura 17.

Resultados del test de Jarras según las RPM.

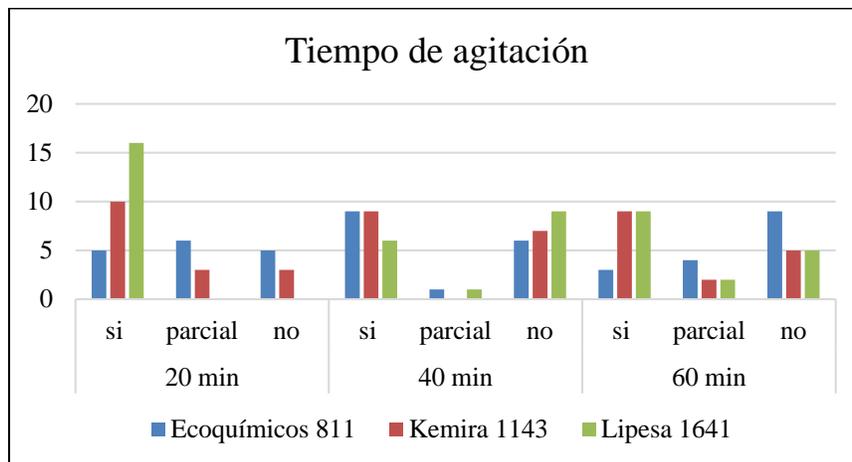


Nota: La grafica representa la cantidad de muestras floculadas en cada cambio de RPM.

En la **Figura 18** se puede inferir que entre menor sea el tiempo de agitación se presentará una mejor floculación con respecto a los tres polímeros, esto es debido a que a un alto tiempo de agitación el floc se ve afectado por un exceso de agitación.

Figura 18.

Resultados del test de Jarras según los tiempos de agitación.



Nota: La grafica representa la cantidad de muestras floculadas en cada cambio del tiempo de agitación.

3.2 Tablas de resultados para la caracterización del agua

Se registraron los resultados de las pruebas de cloruros, sulfatos y solidos suspendidos totales que se les realizaron a las aguas resultantes.

3.2.1 Cloruros

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la prueba de Cloruros la cual se le realizó a cada una de las aguas resultantes del proceso de dewatering. Finalmente, para hallar la cantidad de CL- se empleó la **Ecuación 9**.

3.2. 1.a. Cloruros para Polímero Ecoquímicos 811.

Tabla 8.

Tabla de resultados para los cloruros con Polímero Ecoquímicos 811.

Prueba de Cloruros (Polimero Ecoquímicos 811)							
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de Filtrado (mL)	Cantidad de Cromato de Potasio (gotas)	Cantidad de Nitrato de Plata al 1.128N (mL)	Cantidad de CL- (mg/L)
1	40	0,5	20	1	1	0,008	320
2	40	1	20	1	1	0,022	880
3	40	2	20	1	1	0,03	1200
4	40	3	20	1	1	0,021	840
5	40	0,5	40	1	1	0,13	5200
6	40	1	40	1	1	0,015	600
7	40	2	40	1	1	0,012	480
8	40	3	40	1	1	0,023	920
9	40	0,5	60	1	1	0,014	560
10	40	1	60	1	1	0,014	560
11	40	2	60	1	1	0,019	760
12	40	3	60	1	1	0,018	720
13	60	0,5	20	1	1	0,015	600
14	60	1	20	1	1	0,019	760
15	60	2	20	1	1	0,02	800
16	60	3	20	N/A	N/A	N/A	N/A
17	60	0,5	40	1	1	0,012	480
18	60	1	40	1	1	0,018	720
19	60	2	40	1	1	0,002	80
20	60	3	40	N/A	N/A	N/A	N/A
21	60	0,5	60	N/A	N/A	N/A	N/A
22	60	1	60	1	1	0,023	920
23	60	2	60	N/A	N/A	N/A	N/A
24	60	3	60	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 8. Continuación

Prueba de Cloruros (Polimero Ecoquímicos 811)							
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de Filtrado (mL)	Cantidad de Cromato de Potasio (gotas)	Cantidad de Nitrato de Plata al 1.128N (mL)	Cantidad de CL- (mg/L)
25	80	0,5	20	1	1	0,003	120
26	80	1	20	1	1	0,015	600
27	80	2	20	1	1	0,022	880
28	80	3	20	1	1	0,02	800
29	80	0,5	40	1	1	0,01	400
30	80	1	40	1	1	0,016	640
31	80	2	40	1	1	0,017	680
32	80	3	40	N/A	N/A	N/A	N/A
33	80	0,5	60	1	1	0,002	80
34	80	1	60	1	1	0,018	720
35	80	2	60	1	1	0,017	680
36	80	3	60	N/A	N/A	N/A	N/A
37	100	0,5	20	N/A	N/A	N/A	N/A
38	100	1	20	N/A	N/A	N/A	N/A
39	100	2	20	N/A	N/A	N/A	N/A
40	100	3	20	N/A	N/A	N/A	N/A
41	100	0,5	40	N/A	N/A	N/A	N/A
42	100	1	40	N/A	N/A	N/A	N/A
43	100	2	40	N/A	N/A	N/A	N/A
44	100	3	40	N/A	N/A	N/A	N/A
45	100	0,5	60	N/A	N/A	N/A	N/A
46	100	1	60	N/A	N/A	N/A	N/A
47	100	2	60	N/A	N/A	N/A	N/A
48	100	3	60	N/A	N/A	N/A	N/A

Nota: Esta tabla expone los resultados de la prueba de cloruros siendo la última columna la cantidad de cloruros presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de cloruros (N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras

3.2.1.b. Cloruros para Polímero Lipesa 1641

Tabla 9.

Tabla de resultados para los cloruros con Polímero Lipesa 1641.

Prueba de Cloruros (Polimero Lipesa 1641)							
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de Filtrado (mL)	Cantidad de Cromato de Potasio (gotas)	Cantidad de Nitrato de Plata al 1.128N (mL)	Cantidad de CL- (mg/L)
1	40	0,5	20	1	1	0,02	800
2	40	1	20	1	1	0,023	920
3	40	2	20	1	1	0,022	880
4	40	3	20	1	1	0,02	800
5	40	0,5	40	N/A	N/A	N/A	N/A
6	40	1	40	N/A	N/A	N/A	N/A
7	40	2	40	N/A	N/A	N/A	N/A
8	40	3	40	1	1	0,03	1200
9	40	0,5	60	N/A	N/A	N/A	N/A
10	40	1	60	N/A	N/A	N/A	N/A
11	40	2	60	N/A	N/A	N/A	N/A
12	40	3	60	N/A	N/A	N/A	N/A
13	60	0,5	20	1	1	0,019	760
14	60	1	20	N/A	N/A	N/A	N/A
15	60	2	20	1	1	0,021	840
16	60	3	20	1	1	0,019	760
17	60	0,5	40	N/A	N/A	N/A	N/A
18	60	1	40	N/A	N/A	N/A	N/A
19	60	2	40	N/A	N/A	N/A	N/A
20	60	3	40	N/A	N/A	N/A	N/A
21	60	0,5	60	1	1	0,016	640
22	60	1	60	1	1	0,02	800
23	60	2	60	1	1	0,02	800
24	60	3	60	1	1	0,018	720

Tabla 9. Continuación

Prueba de Cloruros (Polimero Lipesa 1641)							
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de Filtrado (mL)	Cantidad de Cromato de Potasio (gotas)	Cantidad de Nitrato de Plata al 1.128N (mL)	Cantidad de CL- (mg/L)
25	80	0,5	20	1	1	0,025	1000
26	80	1	20	1	1	0,017	680
27	80	2	20	1	1	0,017	680
28	80	3	20	1	1	0,021	840
29	80	0,5	40	1	1	0,021	840
30	80	1	40	1	1	0,02	800
31	80	2	40	1	1	0,02	800
32	80	3	40	N/A	N/A	N/A	N/A
33	80	0,5	60	N/A	N/A	N/A	N/A
34	80	1	60	1	1	0,017	680
35	80	2	60	1	1	0,017	680
36	80	3	60	1	1	0,017	680
37	100	0,5	20	1	1	0,02	800
38	100	1	20	1	1	0,018	720
39	100	2	20	1	1	0,031	1240
40	100	3	20	1	1	0,026	1040
41	100	0,5	40	N/A	N/A	N/A	N/A
42	100	1	40	1	1	0,01	400
43	100	2	40	1	1	0,017	680
44	100	3	40	1	1	0,019	760
45	100	0,5	60	1	1	0,011	440
46	100	1	60	1	1	0,017	680
47	100	2	60	1	1	0,08	3200
48	100	3	60	1	1	0,016	640

Nota: Esta tabla expone los resultados de la prueba de cloruros siendo la última columna la cantidad de cloruros presentes en la muestra.

Las filas que no poseen registros de cantidad de cloruros (N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras

3.2.1.c Cloruros para Polímero Kemira 1143

Tabla 10.

Tabla de resultados para los cloruros con Polímero Kemira 1143.

Prueba de Cloruros (Polimero Kemira 1143)							
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de Filtrado (mL)	Cantidad de Cromato de Potasio (gotas)	Cantidad de Nitrato de Plata al 1.128N (mL)	Cantidad de CL ⁻ (mg/L)
1	40	0,5	20	N/A	N/A	N/A	N/A
2	40	1	20	1	1	0,009	360
3	40	2	20	1	1	0,019	760
4	40	3	20	1	1	0,009	360
5	40	0,5	40	1	1	0,018	720
6	40	1	40	1	1	0,025	1000
7	40	2	40	1	1	0,018	720
8	40	3	40	1	1	0,013	520
9	40	0,5	60	1	1	0,014	560
10	40	1	60	1	1	0,017	680
11	40	2	60	1	1	0,024	960
12	40	3	60	1	1	0,024	960
13	60	0,5	20	1	1	0,016	640
14	60	1	20	1	1	0,021	840
15	60	2	20	1	1	0,019	760
16	60	3	20	1	1	0,017	680
17	60	0,5	40	1	1	0,015	600
18	60	1	40	1	1	0,021	840
19	60	2	40	N/A	N/A	N/A	N/A
20	60	3	40	N/A	N/A	N/A	N/A
21	60	0,5	60	1	1	0,016	640
22	60	1	60	1	1	0,023	920
23	60	2	60	1	1	0,014	560
24	60	3	60	1	1	0,004	160

Tabla 10. Continuación

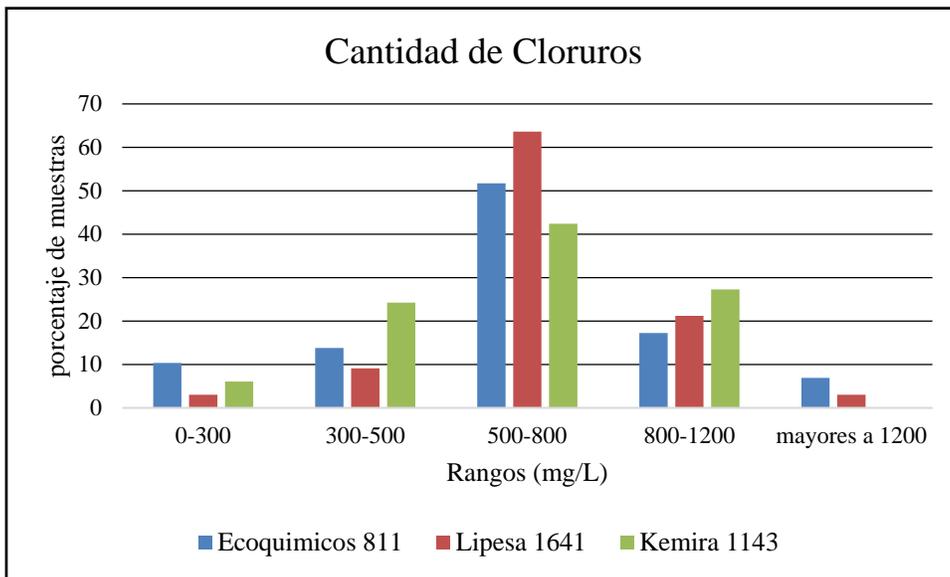
Prueba de Cloruros (Polimero Kemira 1143)							
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de Filtrado (mL)	Cantidad de Cromato de Potasio (gotas)	Cantidad de Nitrato de Plata al 1.128N (mL)	Cantidad de CL- (mg/L)
25	80	0,5	20	N/A	N/A	N/A	N/A
26	80	1	20	1	1	0,01	400
27	80	2	20	1	1	0,009	360
28	80	3	20	1	1	0,011	440
29	80	0,5	40	N/A	N/A	N/A	N/A
30	80	1	40	1	1	0,007	280
31	80	2	40	1	1	0,013	520
32	80	3	40	1	1	0,012	480
33	80	0,5	60	N/A	N/A	N/A	N/A
34	80	1	60	1	1	0,017	680
35	80	2	60	1	1	0,022	880
36	80	3	60	1	1	0,026	1040
37	100	0,5	20	N/A	N/A	N/A	N/A
38	100	1	20	1	1	0,01	400
39	100	2	20	1	1	0,012	480
40	100	3	20	1	1	0,027	1080
41	100	0,5	40	N/A	N/A	N/A	N/A
42	100	1	40	N/A	N/A	N/A	N/A
43	100	2	40	N/A	N/A	N/A	N/A
44	100	3	40	N/A	N/A	N/A	N/A
45	100	0,5	60	N/A	N/A	N/A	N/A
46	100	1	60	N/A	N/A	N/A	N/A
47	100	2	60	N/A	N/A	N/A	N/A
48	100	3	60	N/A	N/A	N/A	N/A

Nota: Esta tabla expone los resultados de la prueba de cloruros siendo la última columna la cantidad de cloruros presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de cloruros (N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras.

3.2.2.d Análisis de cantidad de cloruros. En la **Figura 19** se puede observar como la mayoría de aguas procedentes del test de jarras poseen una cantidad de cloruros menores a 1200 mg/L como lo exige la resolución 0631. Se puede evidenciar una tendencia en la cantidad de cloruros entre 500 a 800 mg/L esto indica que los polímeros aportan una cantidad similar de cloruros a las aguas. Por otra, podemos resaltar como todas las aguas que floccularon con el polímero Kemira 811 cumplen con la resolución. Finalmente, menos del 10% en las aguas tratadas con el polímero Lipesa 1641 y el polímero Ecoquimicos 811 están por encima de la norma, requiriendo un tratamiento que logre bajar su cantidad de cloruros.

Figura 19.

Cantidad de cloruros en aguas resultantes del test de jarras.



Nota: La grafica representa una comparación de los cloruros presentes en cada una de las muestras de agua del test de jarras.

3.2.2 Sulfatos

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la prueba de Sulfatos la cual se le realizó a cada una de las aguas resultantes del proceso de dewatering. La cantidad de Sulfatos se hallaron con el equipo Espectrofotómetro.

Tan solo 11 muestras que presentaron un valor mayor a 80 mg/L se diluyeron con el fin de determinar el valor exacto, estas muestras fueron:

- Para el polímero Ecoquímicos 811, las pruebas 3,4 y 26.
- Para el polímero Lipesa 1641, las pruebas 22, 23, 36 y 37.
- Para el polímero Kemira 1143 las pruebas 5, 11, 13 y 16.

Las muestras que presentan un valor de (> 80), no fueron posibles someterlas a una segunda prueba para obtener el valor exacto debido a una limitación en los reactivos.

3.2.2.a Sulfatos para Polímero Ecoquímicos 811

Tabla 11.

Tabla de resultados para los sulfatos con Polímero Ecoquímicos 811.

Prueba de Sulfatos (Polimero Ecoquímicos 811)					
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de SO ₄ ²⁻ (mg/L)
1	40	0,5	20	25	45
2	40	1	20	25	> 80
3	40	2	20	25	2338
4	40	3	20	25	2430
5	40	0,5	40	25	57
6	40	1	40	25	60
7	40	2	40	25	62
8	40	3	40	25	59
9	40	0,5	60	25	56
10	40	1	60	25	57
11	40	2	60	25	58
12	40	3	60	25	54
13	60	0,5	20	25	55
14	60	1	20	25	59
15	60	2	20	25	60
16	60	3	20	N/A	N/A
17	60	0,5	40	25	61
18	60	1	40	25	61
19	60	2	40	25	65
20	60	3	40	N/A	N/A
21	60	0,5	60	N/A	N/A
22	60	1	60	25	58
23	60	2	60	N/A	N/A
24	60	3	60	N/A	N/A

Tabla 11. Continuación

Prueba de Sulfatos (Polimero Ecoquímicos 811)					
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de SO ₄ ²⁻ (mg/L)
25	80	0,5	20	25	55
26	80	1	20	25	2495
27	80	2	20	25	56
28	80	3	20	25	58
29	80	0,5	40	25	46
30	80	1	40	25	52
31	80	2	40	25	62
32	80	3	40	N/A	N/A
33	80	0,5	60	25	57
34	80	1	60	25	63
35	80	2	60	25	59
36	80	3	60	N/A	N/A
37	100	0,5	20	N/A	N/A
38	100	1	20	N/A	N/A
39	100	2	20	N/A	N/A
40	100	3	20	N/A	N/A
41	100	0,5	40	N/A	N/A
42	100	1	40	N/A	N/A
43	100	2	40	N/A	N/A
44	100	3	40	N/A	N/A
45	100	0,5	60	N/A	N/A
46	100	1	60	N/A	N/A
47	100	2	60	N/A	N/A
48	100	3	60	N/A	N/A

Nota: Esta tabla expone los resultados de la prueba de sulfatos siendo la última columna la cantidad de sulfatos presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de sulfatos(N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras.

3.2.2.b Sulfatos para Polímero Lipesa 1641

Tabla 12.

Tabla de resultados para los sulfatos con Polímero Lipesa 1641.

Prueba de Sulfatos (Polimero Lipesa 1641)					
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de SO ₄ ²⁻ (mg/L)
1	40	0,5	20	25	> 80
2	40	1	20	25	74
3	40	2	20	25	52
4	40	3	20	25	75
5	40	0,5	40	N/A	N/A
6	40	1	40	N/A	N/A
7	40	2	40	N/A	N/A
8	40	3	40	25	74
9	40	0,5	60	N/A	N/A
10	40	1	60	N/A	N/A
11	40	2	60	N/A	N/A
12	40	3	60	N/A	N/A
13	60	0,5	20	25	75
14	60	1	20	N/A	N/A
15	60	2	20	25	52
16	60	3	20	25	72
17	60	0,5	40	N/A	N/A
18	60	1	40	N/A	N/A
19	60	2	40	N/A	N/A
20	60	3	40	N/A	N/A
21	60	0,5	60	25	66
22	60	1	60	25	1835
23	60	2	60	25	248
24	60	3	60	25	43

Tabla 12. Continuación

Prueba de Sulfatos (Polimero Lipesa 1641)					
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de SO ₄ ²⁻ (mg/L)
25	80	0,5	20	25	75
26	80	1	20	25	> 80
27	80	2	20	25	> 80
28	80	3	20	25	74
29	80	0,5	40	25	> 80
30	80	1	40	25	46
31	80	2	40	25	> 80
32	80	3	40	N/A	N/A
33	80	0,5	60	N/A	N/A
34	80	1	60	25	> 80
35	80	2	60	25	33
36	80	3	60	25	2763
37	100	0,5	20	25	2396
38	100	1	20	25	> 80
39	100	2	20	25	> 80
40	100	3	20	25	62
41	100	0,5	40	N/A	N/A
42	100	1	40	25	> 80
43	100	2	40	25	> 80
44	100	3	40	25	> 80
45	100	0,5	60	25	64
46	100	1	60	25	> 80
47	100	2	60	25	> 80
48	100	3	60	25	43

Nota: Esta tabla expone los resultados de la prueba de sulfatos siendo la última columna la cantidad de sulfatos presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de sulfatos(N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras.

3.2.2.c Sulfatos para Polímero Kemira 1143

Tabla 13.

Tabla de resultados para los sulfatos con Polímero Kemira 1143.

Prueba de Sulfatos (Polímero Kemira 1143)					
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de SO ₄ ²⁻ (mg/L)
1	40	0,5	20	N/A	N/A
2	40	1	20	25	55
3	40	2	20	25	> 80
4	40	3	20	25	74
5	40	0,5	40	25	1473
6	40	1	40	25	> 80
7	40	2	40	25	40
8	40	3	40	25	35
9	40	0,5	60	25	> 80
10	40	1	60	25	67
11	40	2	60	25	2381
12	40	3	60	25	73
13	60	0,5	20	25	3769
14	60	1	20	25	> 80
15	60	2	20	25	73
16	60	3	20	25	2588
17	60	0,5	40	25	> 80
18	60	1	40	25	67
19	60	2	40	N/A	N/A
20	60	3	40	N/A	N/A
21	60	0,5	60	25	> 80
22	60	1	60	25	71
23	60	2	60	25	29
24	60	3	60	25	22

Tabla 13. Continuación

Prueba de Sulfatos (Polimero Kemira 1143)					
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de SO ₄ ²⁻ (mg/L)
25	80	0,5	20	N/A	N/A
26	80	1	20	25	26
27	80	2	20	25	21
28	80	3	20	25	22
29	80	0,5	40	N/A	N/A
30	80	1	40	25	32
31	80	2	40	25	24
32	80	3	40	25	28
33	80	0,5	60	N/A	N/A
34	80	1	60	25	44
35	80	2	60	25	28
36	80	3	60	25	29
37	100	0,5	20	N/A	N/A
38	100	1	20	25	28
39	100	2	20	25	15
40	100	3	20	25	22
41	100	0,5	40	N/A	N/A
42	100	1	40	N/A	N/A
43	100	2	40	N/A	N/A
44	100	3	40	N/A	N/A
45	100	0,5	60	N/A	N/A
46	100	1	60	N/A	N/A
47	100	2	60	N/A	N/A
48	100	3	60	N/A	N/A

Nota: Esta tabla expone los resultados de la prueba de sulfatos siendo la última columna la cantidad de sulfatos presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de sulfatos (N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras

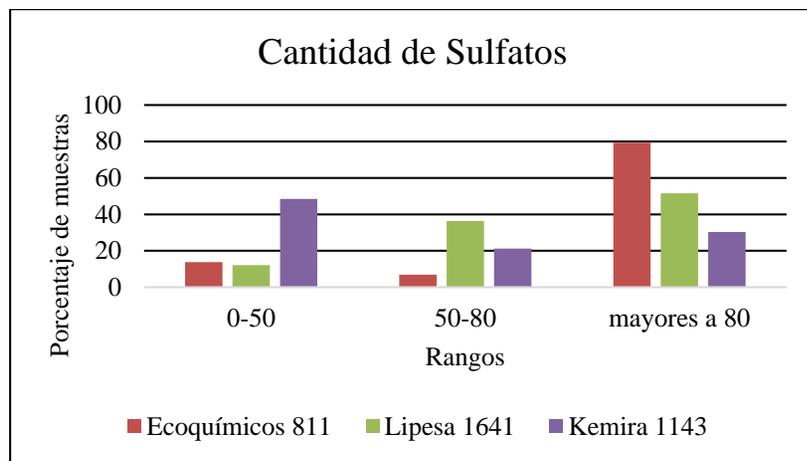
3.2.2.d Sulfatos. Según la **Figura 20** para la prueba de sulfatos, se obtuvo en el polímero Kemira 1143 70% de muestras que estuvieron por debajo de 80 mg/L, mientras para el polímero Lipesa 1641 las muestras con cantidades de sulfatos menores a 80 mg/L no superan el 50% y por último el polímero Ecoquímicos 811, posee un 20% de muestras con sulfatos menores a 80 mg/L.

El 80% de las muestras con polímero Ecoquímicos 811 superan los 80 mg/L, más específicamente, tres de ellas están por encima de los 2000 mg/L sobre pasando el valor permitido de la resolución 0631, el cual es 300 mg/L. Para los polímeros Lipesa 1641 y Kemira 1143 los sulfatos que superaron los 80 mg/L y se sometieron a una segunda dilución, estuvieron por encima de los 1000 mg/L.

No es posible determinar que todas las muestras mayores a 80 mg/L estén fuera de la resolución debido a que no se pudo realizar una segunda dilución por motivos de limitación de reactivos.

Figura 20.

Cantidad de sulfatos en aguas resultantes del test de jarras.



Nota: La grafica representa una comparación de la cantidad de sulfatos en cada una de las muestras de agua del test de jarras.

3.2.3 Sólidos suspendidos totales

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la prueba de Cloruros la cual se le realizó a cada una de las aguas resultantes del proceso de dewatering. Finalmente, para hallar la cantidad Sólidos Suspendidos Totales se empleó el equipo Espectrofotómetro.

3.2. 3.a. Sólidos Suspendidos Totales para Polímero Ecoquímicos 811

Tabla 14.

Tabla de resultados para los sólidos suspendidos totales con Polímero Ecoquímicos 811.

Prueba de Sólidos Suspendidos Totales (Polímero Ecoquímicos 811)						
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de agua para dilución (mL)	Cantidad de Sólidos suspendidos totales (mg/L)
1	40	0,5	20	70	30	15
2	40	1	20	70	30	15
3	40	2	20	70	30	61
4	40	3	20	70	30	74
5	40	0,5	40	70	30	64
6	40	1	40	70	30	66
7	40	2	40	70	30	50
8	40	3	40	70	30	72
9	40	0,5	60	70	30	101
10	40	1	60	70	30	48
11	40	2	60	70	30	71
12	40	3	60	70	30	120
13	60	0,5	20	70	30	69
14	60	1	20	70	30	87
15	60	2	20	70	30	69
16	60	3	20	N/A	N/A	N/A
17	60	0,5	40	70	30	79
18	60	1	40	70	30	72
19	60	2	40	70	30	75
20	60	3	40	N/A	N/A	N/A
21	60	0,5	60	N/A	N/A	N/A
22	60	1	60	70	30	65
23	60	2	60	N/A	N/A	N/A
24	60	3	60	N/A	N/A	N/A

Tabla 14. Continuación

Prueba de Sólidos Suspendedos Totales (Polimero Ecoquímicos 811)						
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de agua para dilución (mL)	Cantidad de Sólidos suspendidos totales (mg/L)
25	80	0,5	20	70	30	43
26	80	1	20	70	30	48
27	80	2	20	70	30	63
28	80	3	20	70	30	71
29	80	0,5	40	70	30	23
30	80	1	40	70	30	42
31	80	2	40	70	30	56
32	80	3	40	N/A	N/A	N/A
33	80	0,5	60	70	30	56
34	80	1	60	70	30	92
35	80	2	60	70	30	61
36	80	3	60	N/A	N/A	N/A
37	100	0,5	20	N/A	N/A	N/A
38	100	1	20	N/A	N/A	N/A
39	100	2	20	N/A	N/A	N/A
40	100	3	20	N/A	N/A	N/A
41	100	0,5	40	N/A	N/A	N/A
42	100	1	40	N/A	N/A	N/A
43	100	2	40	N/A	N/A	N/A
44	100	3	40	N/A	N/A	N/A
45	100	0,5	60	N/A	N/A	N/A
46	100	1	60	N/A	N/A	N/A
47	100	2	60	N/A	N/A	N/A
48	100	3	60	N/A	N/A	N/A

Nota: Esta tabla muestra los resultados de la prueba de sólidos suspendidos siendo la última columna la cantidad de sulfatos presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de sulfatos(N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras.

3.2.3.b. Solidos Suspendidos Totales para Polímero Lipesa 1641.

Tabla 15.

Tabla de resultados para los sólidos suspendidos totales con Polímero Lipesa 1641.

Prueba de Solidos Suspendidos Totales (Polimero Lipesa 1641)						
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de agua para dilución (mL)	Cantidad de Solidos suspendidos totales (mg/L)
1	40	0,5	20	70	30	41
2	40	1	20	70	30	116
3	40	2	20	70	30	40
4	40	3	20	70	30	61
5	40	0,5	40	N/A	N/A	N/A
6	40	1	40	N/A	N/A	N/A
7	40	2	40	N/A	N/A	N/A
8	40	3	40	70	30	21
9	40	0,5	60	N/A	N/A	N/A
10	40	1	60	N/A	N/A	N/A
11	40	2	60	N/A	N/A	N/A
12	40	3	60	N/A	N/A	N/A
13	60	0,5	20	70	30	66
14	60	1	20	N/A	N/A	N/A
15	60	2	20	70	30	40
16	60	3	20	70	30	54
17	60	0,5	40	N/A	N/A	N/A
18	60	1	40	N/A	N/A	N/A
19	60	2	40	N/A	N/A	N/A
20	60	3	40	N/A	N/A	N/A
21	60	0,5	60	70	30	55
22	60	1	60	70	30	64
23	60	2	60	70	30	73
24	60	3	60	70	30	44

Tabla 15. Continuación

Prueba de Sólidos Suspendidos Totales (Polimero Lipesa 1641)						
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de agua para dilución (mL)	Cantidad de Sólidos suspendidos totales (mg/L)
25	80	0,5	20	70	30	34
26	80	1	20	70	30	29
27	80	2	20	70	30	44
28	80	3	20	70	30	102
29	80	0,5	40	70	30	89
30	80	1	40	70	30	49
31	80	2	40	70	30	47
32	80	3	40	N/A	N/A	N/A
33	80	0,5	60	N/A	N/A	N/A
34	80	1	60	70	30	66
35	80	2	60	70	30	35
36	80	3	60	70	30	36
37	100	0,5	20	70	30	136
38	100	1	20	70	30	45
39	100	2	20	70	30	20
40	100	3	20	70	30	23
41	100	0,5	40	N/A	N/A	N/A
42	100	1	40	70	30	53
43	100	2	40	70	30	59
44	100	3	40	70	30	39
45	100	0,5	60	70	30	29
46	100	1	60	70	30	36
47	100	2	60	70	30	28
48	100	3	60	70	30	30

Nota: Esta tabla muestra los resultados de la prueba de sólidos suspendidos siendo la última columna la cantidad de sulfatos presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de sulfatos(N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras.

3.2.3.c. Sólidos Suspendidos Totales para Polímero Kemira 1143.

Tabla 16.

Tabla de resultados para los sólidos suspendidos totales con Polímero Kemira 1143.

Prueba de Sólidos Suspendidos Totales (Polímero Kemira 1143)						
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de agua para dilución (mL)	Cantidad de Sólidos suspendidos totales (mg/L)
1	40	0,5	20	N/A	N/A	N/A
2	40	1	20	70	30	65
3	40	2	20	70	30	45
4	40	3	20	70	30	151
5	40	0,5	40	70	30	54
6	40	1	40	70	30	62
7	40	2	40	70	30	44
8	40	3	40	70	30	55
9	40	0,5	60	70	30	34
10	40	1	60	70	30	136
11	40	2	60	70	30	43
12	40	3	60	70	30	169
13	60	0,5	20	70	30	96
14	60	1	20	70	30	48
15	60	2	20	70	30	72
16	60	3	20	70	30	93
17	60	0,5	40	70	30	21
18	60	1	40	70	30	62
19	60	2	40	N/A	N/A	N/A
20	60	3	40	N/A	N/A	N/A
21	60	0,5	60	70	30	53
22	60	1	60	70	30	57
23	60	2	60	70	30	117
24	60	3	60	70	30	56

Tabla 16. Continuación

Prueba de Sólidos Suspendedos Totales (Polimero Kemira 1143)						
Nº de prueba	RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)	Cantidad de muestra (mL)	Cantidad de agua para dilución (mL)	Cantidad de Sólidos suspendidos totales (mg/L)
25	80	0,5	20	N/A	N/A	N/A
26	80	1	20	70	30	29
27	80	2	20	70	30	55
28	80	3	20	70	30	43
29	80	0,5	40	N/A	N/A	N/A
30	80	1	40	70	30	83
31	80	2	40	70	30	50
32	80	3	40	70	30	109
33	80	0,5	60	N/A	N/A	N/A
34	80	1	60	70	30	95
35	80	2	60	70	30	54
36	80	3	60	70	30	94
37	100	0,5	20	N/A	N/A	N/A
38	100	1	20	70	30	73
39	100	2	20	70	30	36
40	100	3	20	70	30	42
41	100	0,5	40	N/A	N/A	N/A
42	100	1	40	N/A	N/A	N/A
43	100	2	40	N/A	N/A	N/A
44	100	3	40	N/A	N/A	N/A
45	100	0,5	60	N/A	N/A	N/A
46	100	1	60	N/A	N/A	N/A
47	100	2	60	N/A	N/A	N/A
48	100	3	60	N/A	N/A	N/A

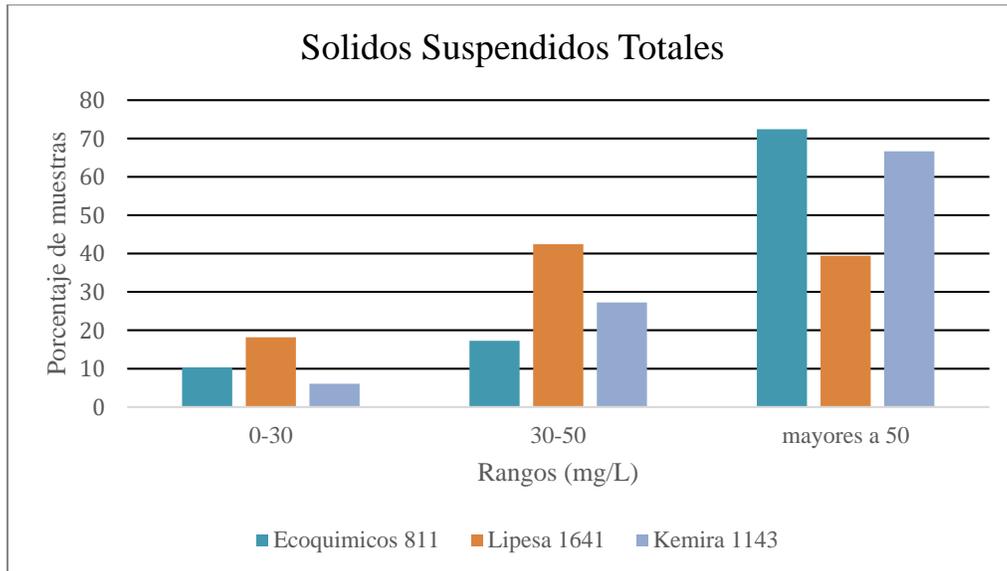
Nota: Esta tabla muestra los resultados de la prueba de sólidos suspendidos siendo la última columna la cantidad de sulfatos presentes en la muestra. Las filas que no poseen registros de cantidad de sulfatos(N/A) son debido a que no hubo floculación en el test de jarras

3.2.3.d Análisis de sólidos suspendidos totales presentes en las aguas. La **Figura 21** evidencia como la mayoría de las muestras tienen una cantidad de sólidos suspendidos superiores a 50 mg/L, esto quiere decir que están fuera de lo permitido en la resolución 0631. Por otra parte, se puede observar como el polímero Lipesa 1641 obtiene el mayor porcentaje de muestras permitidas con un valor del 60% con respecto al polímero Ecoquimicos 811 y el polímero Kemira 1143.

Por otra parte, el polímero Ecoquimicos 811 representa el mayor número de muestras con sólidos suspendidos que exceden el límite permitido. Los resultados poco favorables por parte de este polímero, pueden estar relacionados con su capacidad para separar la fase sólida de la fase continua

Figura 21.

Cantidad de sólidos suspendidos totales en aguas resultantes del test de jarras.



Nota: La grafica representa compara los sólidos suspendidos totales de cada una de las muestras de agua del test de jarras.

3.3 Tablas de resultados para la formulación del lodo

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al momento de formular cada lodo de inicio con las aguas resultantes provenientes de la floculación con los polímeros en estudio.

3.3.1 Polímero Ecoquímicos 811

3.3.1.a. Agrupación de aguas del test de jarras

Tabla 17.

Agrupación de aguas de dewatering con Polímero Ecoquímicos 811.

Formulación de lodo (Polímero Ecoquímicos 811)		
Agrupación de aguas de dewatering		
RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)
40	1	40
40	2	40
40	3	40
60	1	20
60	2	20
60	0.5	40
60	1	40
60	2	40
80	2	40
80	1	60

Nota: La tabla indica las aguas de dewatering escogidas con los parámetros más óptimos según la resolución 0631 para la formulación del lodo.

En la **Tabla 18** se presentan los resultados obtenidos de las pruebas fisicoquímicas realizadas al lodo de inicio, que se realizó con las aguas resultantes del proceso de dewatering en el que se empleó el polímero Ecoquímicos 811.

Tabla 18.

Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando el polímero Ecoquímicos 811.

Parámetros		Valor
Densidad		8.6
Reología	600 rpm	30
	300 rpm	21
	200 rpm	16
	100 rpm	10
	6 rpm	5
	3 rpm	3
PV (cP)		9
YP (lb/100 ft ²)		12
AV (cP)		15
Gel inst (lb/100 f ²)		7
Gel 10 min /lb/100 ft ²)		11
MBT (lb/bbl)		10
Filtrado (cc/30min)		22
Revoque (in)		0.1377
% de agua		97
% de solidos		3
Pm (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		0.75
Pf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		0.25
Mf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		1.15
Cloruros (mg/L)		1200
Dureza Cálrica (mg/L)		1020
pH		8

Nota: La tabla presenta las propiedades fisicoquímicas del lodo de inicio.

3.3.1.b. Viscosidad Plástica (PV). A partir de la ecuación 5 se realiza el cálculo de la viscosidad plástica.

$$PV = 30 - 21$$

$$PV = 9 \text{ cP}$$

3.3.1.c. Punto Cedente (YP). Por medio de la ecuación 6 se logra determinar el valor del punto cedente.

$$PC = 21 - 9$$

$$PC = 12 \frac{lb}{100 ft^2}$$

3.3.1.d. Viscosidad Aparente (AV). Finalmente, con la ecuación 7 se halla el valor de la viscosidad aparente.

$$VA = \frac{30}{2}$$

$$VA = 15 cP$$

Figura 22.

Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering del Polímero Ecoquímicos 811.



Nota: En la imagen se puede apreciar la cantidad de agua captada en la retorta.

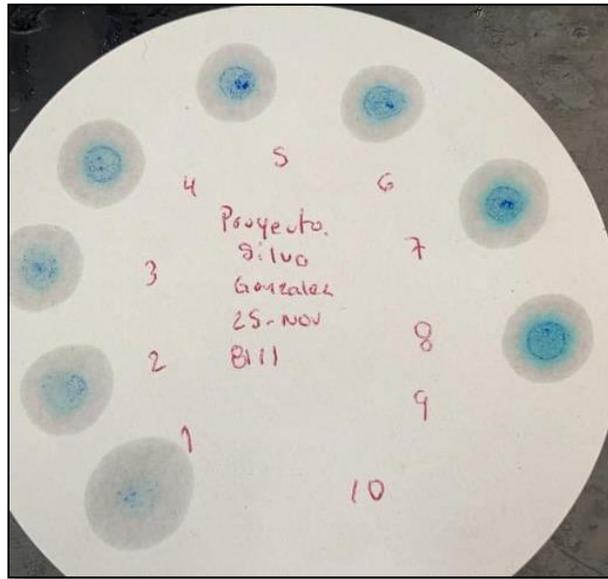
3.3.1.e. MBT. Según la ecuación 8 se logra determinar la cantidad de arcilla presente en el lodo.

$$MBT = \frac{4 \text{ mL} \times 5}{2}$$

$$MBT = 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Figura 23.

Cantidad de arcilla presente en el lodo con aguas resultantes del proceso con Polímero Ecoquímicos 811.



Nota: La imagen muestra los resultados obtenidos al agregar 0.5 mL de azul de metileno hasta generar la corona necesaria para determinar la cantidad de arcilla.

3.3.1.f. Cloruros (Cl⁻). Por medio de la ecuación 9 se calcula la cantidad de cloruros presentes en el lodo.

$$\text{Cloruros} = \frac{1.2 \text{ mL} \times 0.0282\text{N} \times 35.45 \times 1000}{1 \text{ mL}}$$

$$\text{Cloruros} = 1200 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.1.g. Dureza (Ca⁺⁺). A partir de la ecuación 10 se halla el valor de dureza que se encuentra presente en el lodo.

$$Ca^{++} = 2.55 \text{ mL} \times 400 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$Ca^{++} = 1020 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.1.h. Análisis. El lodo de inicio formulado cumplió con la mayoría de los parámetros, sin embargo, el contenido de dureza cálcica supero el límite establecido con un valor de 1020 mg/L. Por otro lado, los parámetros de MBT y pH estuvieron por debajo del límite con valores de 10 lb/bbl y 8 respectivamente.

3.3.2 Polímero Lipesa 1641

3.3. 2.a. Agrupación de aguas del test de jarras

Tabla 19.

Agrupación de aguas de dewatering con Polímero Lipesa 1641.

Formulación de lodo (Polímero Lipesa 1641)		
Agrupación de aguas de dewatering		
RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)
40	0.5	20
60	2	20
60	3	60
80	2	20
80	1	40
80	2	40
100	1	20
100	1	40
100	2	40
100	3	40

Nota: La tabla indica las aguas de dewatering escogidas con los parámetros más óptimos según la resolución 0631 para la formulación del lodo.

La **Tabla 20** expone los resultados que se obtuvieron de las pruebas fisicoquímicas que se le realizaron al lodo con agua resultante del proceso en donde el polímero utilizado fue Lipesa 1641.

Tabla 20.

Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando el polímero Lipesa 1641.

Parámetros	Valor	
Densidad	8.52	
Reologia	600 rpm	25
	300 rpm	19
	200 rpm	12
	100 rpm	8
	6 rpm	4
	3 rpm	2
PV (cP)	6	
YP (lb/100 ft ²)	13	
AV (cP)	12.5	
Gel inst (lb/100 f ²)	5	
Gel 10 min /lb/100 ft ²)	10	
MBT (lb/bbl)	10	
Filtrado (cc/30min)	17	
Revoque (in)	0.09842	
% de agua	98	
% de solidos	2	
Pm (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)	1.3	
Pf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)	0.35	
Mf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)	0.65	
Cloruros (mg/L)	850	
Dureza Cálctica (mg/L)	1020	
pH	9	

Nota: La tabla presenta las propiedades fisicoquímicas del lodo de inicio.

3.3.2.b. Viscosidad Plástica. A partir de la ecuación 5 se realiza el cálculo de la viscosidad plástica.

$$PV = 25 - 19$$

$$PV = 6 \text{ cP}$$

3.3.2.c. Punto Cedente. Por medio de la ecuación 6 se logra determinar el valor del punto cedente.

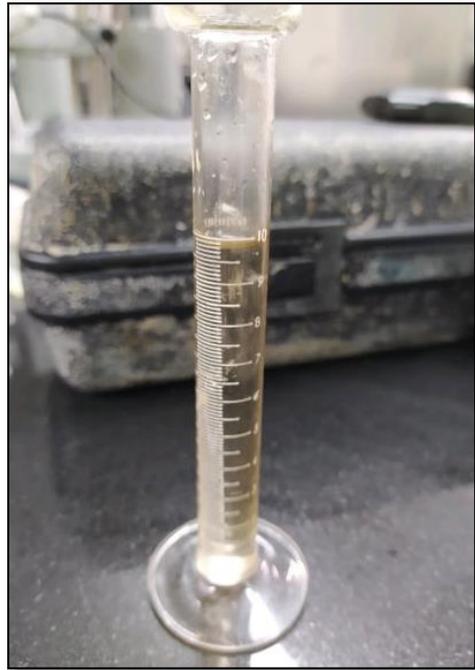
$$PC = 19 - 6$$
$$PC = 13 \frac{lb}{100 ft^2}$$

3.3.2.d. Viscosidad Aparente. Finalmente, con la ecuación 7 se halla el valor de la viscosidad aparente.

$$VA = \frac{25}{2}$$
$$VA = 12.5 cP$$

Figura 24.

Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering del polímero Lipesa 1641.



Nota: En la imagen se puede apreciar la cantidad de agua captada en la retorta.

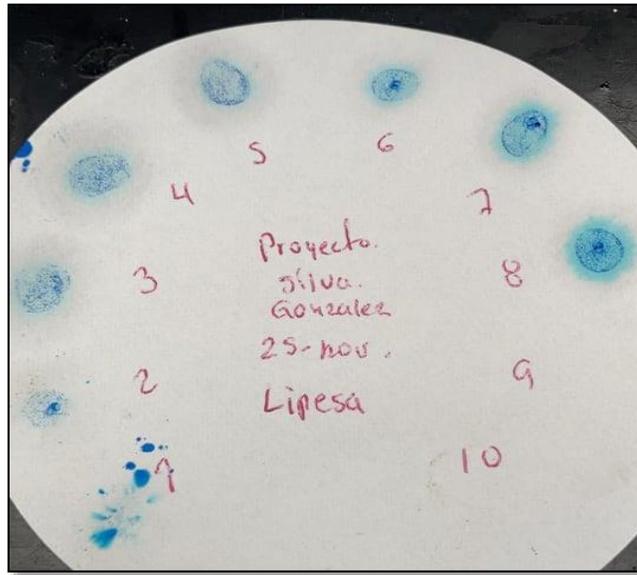
3.3.2.e. MBT. Según la ecuación 8 se logra determinar la cantidad de arcilla presente en el lodo.

$$MBT = \frac{4 \text{ mL} \times 5}{2}$$

$$MBT = 10 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Figura 25.

Cantidad de arcilla presente en el lodo con aguas resultantes del proceso con Polímero Lipesa 1641.



Nota: La imagen muestra los resultados obtenidos al agregar 0.5 mL de azul de metileno hasta generar la corona necesaria para determinar la cantidad de arcilla.

3.3.2.f. Cloruros (Cl⁻). Por medio de la ecuación 9 se calcula la cantidad de cloruros presentes en el lodo.

$$\text{Cloruros} = \frac{0.85 \text{ mL} \times 0.0282\text{N} \times 35.45 \times 1000}{1 \text{ mL}}$$

$$\text{Cloruros} = 850 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.2.g. Dureza (Ca⁺⁺). A partir de la ecuación 10 se halla el valor de dureza que se encuentra presente en el lodo.

$$Ca^{++} = 2.55 \text{ mL} \times 400 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$Ca^{++} = 1020 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.1.h. Análisis. A partir de los parámetros medidos se puede evidenciar un exceso en la dureza cálcica para este lodo de inicio, teniendo un valor de 1020 mg/l. Por el contrario, la cantidad de arcilla contenida en el lodo es inferior al valor requerido con un MBT de 10 lb/bbl.

3.3.3 Polímero Kemira 1143

3.3.3.a. Agrupación de aguas del test de jarras

Tabla 21.

Agrupación de aguas de dewatering con el Polímero Kemira 1143.

Formulación de lodo (Polímero Kemira 1143)		
Agrupación de aguas de dewatering		
RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)
40	1	20
40	3	20
40	1	60
40	3	60
60	2	20
60	1	40
60	1	60
40	2	40
40	3	40
80	1	60

Nota: La tabla indica las aguas de dewatering escogidas con los parámetros más óptimos según la resolución 0631 para la formulación del lodo.

Obtenido el Lodo de inicio en donde se empleó el agua resultante del proceso utilizando el polímero Kemira 1143, la **Tabla 22** muestra los resultados finales de las pruebas fisicoquímicas.

Tabla 22.

Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando el polímero Kemira 1143.

Parámetros		Valor
Densidad		8.5
Reologia	600 rpm	28
	300 rpm	20
	200 rpm	14
	100 rpm	10
	6 rpm	3
	3 rpm	2
PV (cP)		8
YP (lb/100 ft ²)		12
AV (cP)		10
Gel inst (lb/100 f ²)		6
Gel 10 min /lb/100 ft ²)		11
MBT (lb/bbl)		10
Filtrado (cc/30min)		10.8
Revoque (in)		0.07874
% de agua		96
% de solidos		4
Pm (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		1.15
Pf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		0.4
Mf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		0.65
Cloruros (mg/L)		750
Dureza Cálcica (mg/L)		740
pH		9

Nota: La tabla presenta los resultados de las propiedades fisicoquímicas del lodo de inicio.

3.3.3.b. Viscosidad Plástica. A partir de la ecuación 5 se realiza el cálculo de la viscosidad plástica.

$$PV = 28 - 20$$

$$PV = 8 \text{ cP}$$

3.3.3.c. Punto Cedente. Por medio de la ecuación 6 se logra determinar el valor del punto cedente.

$$PC = 20 - 8cP$$

$$PC = 12 \frac{lb}{100 ft^2}$$

3.3.3.d. Viscosidad Aparente. Finalmente, con la ecuación 7 se halla el valor de la viscosidad aparente.

$$VA = \frac{28}{2}$$

$$VA = 14 cP$$

3.3.3.e. MBT. Según la ecuación 8 se logra determinar la cantidad de arcilla presente en el lodo.

$$MBT = \frac{4 mL \times 5}{2}$$

$$MBT = 10 \frac{mg}{L}$$

Figura 26.

Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering del Polímero Kemira 1143.



Nota: En la imagen se puede apreciar la cantidad de agua captada en la retorta.

3.3.3.f. Cloruros (Cl⁻). Por medio de la ecuación 9 se calcula la cantidad de cloruros presentes en el lodo.

$$\text{Cloruros} = \frac{0.75 \text{ mL} \times 0.0282 \text{ N} \times 35.45 \times 1000}{1 \text{ mL}}$$
$$\text{Cloruros} = 750 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.3.g. Dureza (Ca⁺⁺). A partir de la ecuación 10 se halla el valor de dureza que se encuentra presente en el lodo.

$$\text{Ca}^{++} = 1.85 \text{ mL} \times 400 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$
$$\text{Ca}^{++} = 740 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.3.h. Análisis. Luego de evaluar los parámetros para el lodo de inicio se identificó que, al igual que los anteriores lodos, la cantidad de dureza cálcica sobrepaso el valor máximo de 240 mg/L establecido para un lodo de inicio. La cantidad fue 740 mg/L. En el parámetro de MBT se identificó una cantidad de arcillas de 10 lb/bbl ubicándose por debajo del rango.

3.3.4 Polímero Kemira 1143 (Aguas del test de jarras que no cumplen con los parámetros estipulados)

3.3.4.a. Agrupación de aguas del test de jarras

Tabla 23.

Agrupación de aguas de dewatering que no cumplen con los parámetros de la resolución (Polímero Kemira 1143).

Formulación de lodo (Aguas que no cumplen con los parámetros)		
Agrupación de aguas de dewatering		
RPM	Concentración (%p/v)	Tiempos de agitación (min)
40	2	20
40	0.5	40
40	1	40
40	0.5	60
40	2	60
60	0.5	20
60	1	20
60	3	20
60	0.5	40
60	0.5	60

Nota. La tabla indica las aguas de dewatering escogidas con valores que exceden parámetros establecidos de la norma 0631.

En la **Tabla 24** se registran los datos finales de los resultados de las pruebas fisicoquímicas, las cuales se le realizaron al lodo de inicio con agua resultante del proceso donde se empleó el polímero el cual no cumplía con los parámetros establecidos en la norma.

Tabla 24.

Resultados pruebas fisicoquímicas para el lodo de inicio, empleando las aguas que no cumplen con los parámetros estipulados (Polímero Kemira 1143).

Parámetros		Valor
Densidad		8.6
Reologia	600 rpm	18
	300 rpm	11
	200 rpm	8
	100 rpm	5
	6 rpm	2
	3 rpm	1
PV (cP)		4
YP (lb/100 ft ²)		9
AV (cP)		10
Gel inst (lb/100 f ²)		1
Gel 10 min /lb/100 ft ²)		4
MBT (lb(bbl))		10
Filtrado (cm/30min)		10.9
Revoque (in)		0.3
% de agua		98
% de solidos		2
Pm (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		1.45
Pf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		0.4
Mf (cm ³ 0.02N H ₂ SO ₄)		1
Cloruros (mg/L)		1450
Dureza Cálctica (mg/L)		860
pH		10

Nota: La tabla presenta los resultados de las propiedades fisicoquímicas del lodo de inicio.

3.3.4.b. Viscosidad Plástica. A partir de la ecuación 5 se realiza el cálculo de la viscosidad plástica.

$$PV = 18rpm - 11rpm$$

$$PV = 7 cP$$

3.3.4.c. Punto Cedente. Por medio de la ecuación 6 se logra determinar el valor del punto cedente.

$$PC = 11rpm - 7cP$$

$$PC = 4 \frac{lb}{100 ft^2}$$

3.3.4.d. Viscosidad Aparente. Finalmente, con la ecuación 7 se halla el valor de la viscosidad aparente.

$$VA = \frac{18rpm}{2}$$

$$VA = 9 cP$$

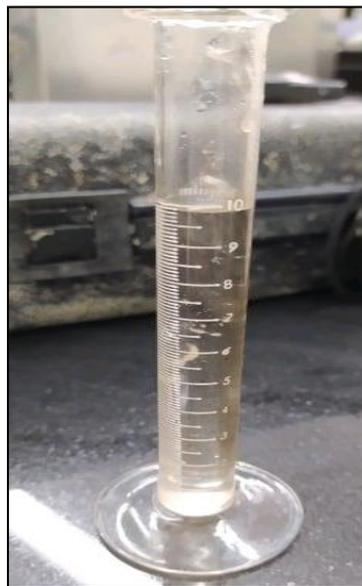
3.3.4.e. MBT. Según la ecuación 8 se logra determinar la cantidad de arcilla presente en el lodo.

$$MBT = \frac{4 mL \times 5}{2}$$

$$MBT = 10 \frac{mg}{L}$$

Figura 27.

Porcentaje de agua presente en el lodo resultante con aguas de dewatering que no cumplen los parámetros.



Nota: En la imagen se puede apreciar la cantidad de agua captada en la retorta.

3.3.4.f. Cloruros (Cl⁻). Por medio de la ecuación 9 se calcula la cantidad de cloruros presentes en el lodo.

$$\text{Cloruros} = \frac{1.45 \text{ mL} \times 0.0282 \times 35.45 \times 1000}{1 \text{ mL}}$$

$$\text{Cloruros} = 1450 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.4.g. Dureza (Ca⁺⁺). A partir de la ecuación 10 se halla el valor de dureza que se encuentra presente en el lodo.

$$\text{Ca}^{++} = 2.15 \text{ mL} \times 400 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$\text{Ca}^{++} = 860 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

3.3.4.h. Análisis. Este lodo de inicio se caracterizó por un incumplimiento de varios parámetros. Las propiedades de viscosidad plástica, punto cedente, esfuerzo de gel inicial, esfuerzo de gel a 10 minutos y MBT se encuentran por debajo del rango establecido para un lodo de inicio con unos valores de 4 cp, 9 lb/100ft², 1 lb/100ft², 4 lb/100ft² y 10 lb/bbl respectivamente. A diferencia de las anteriores mediciones, la dureza cálcica supero el límite con 860 mg/L.

4. CONCLUSIONES

Según la gráfica presentada en la figura N 21 el polímero ecoquimicos 811 presenta su mejor desempeño a la concentración más baja que se sometió, 0.5%, con un 47% de las muestras que si obtuvieron una floculación. Por parte del polímero lipesa 1641 tuvo el mejor resultado a una concentración alta del 3% con un 31% de las muestras que si floclaron. Finalmente, el mejor resultado obtenido por parte del polímero Kemira 1143 fue a una concentración de 1% con un 31%.

El polímero Kemira 1143 y Ecoquimicos 811 están caracterizados por obtener buenos resultados a RPM que oscilan entre 40 y 80 y esto se debe la capacidad que poseen los polímeros para formar el floc.

El tiempo en el cual se presentó una buena floculación por parte del polímero ecoquimicos 811 es de 40 minutos. En el caso del polímero lipesa 1641 el tiempo optimo es de 20 minutos y finalmente para el polímero Kemira 1143 el tiempo en donde se presentó el mayor número de muestras flocladas es de 20 minutos. Luego de superado estos tiempos el floc pierde estabilidad y se fracciona.

Los polímeros presentan dificultad al retirar los sólidos suspendidos totales presentes en el lodo. Tan solo el 60%, 33% y 27% de las muestras de lipesa 1641, Kemira 1143 y Ecoquimicos 811 respectivamente, presentan una cantidad se solidos aceptables para la resolución 0631 de 2015

El 6.8% y el 3% de las muestras obtenidas con los polímeros Ecoquimicos 811 y Lipesa 1641 respectivamente poseen una cantidad de cloruros mayor a 1200 mg/l como lo establece la resolución 0631.

Todas las muestras obtenidas con el polímero Kemira 1143 poseen una cantidad de cloruros permitidas para el vertimiento de aguas residuales.

Las muestras tratadas con el polímero Ecoquimicos 811 y que poseen una cantidad de sulfatos entre 0- 80mg/l representan el 20%. Para el polímero Kemira 1143 y el polímero lipesa 1641 tienen una cantidad de sulfatos presenten en las aguas alrededor de 70% y 50% respectivamente, indicando un valor menor a 80 mg/l. A diferencia de estas muestras se presentaron unas aguas con resultados mayores a 80 mg/l lo cual era el valor máximo del rango del espectrofotómetro. Se

puede concluir que para conocer si una muestra tiene un valor fuera de lo permitido por la resolución 0631, trabajando con el equipo espectrofotómetro, es necesario realizar o someter el agua resultante a una segunda dilución.

A partir de los resultados en las pruebas de test de jarras y la caracterización de las aguas, se puede concluir que el polímero Kemira 1143 se desempeña mejor que los otros polímeros, esto evidenciado en las anteriores conclusiones.

Por otro lado, para la formulación del lodo con los lodos tratados con los tres polímeros en estudio, las aguas resultantes del test de jarras que estuvieron dentro de los rangos permitidos por la resolución tuvieron una tendencia en las propiedades de MBT y dureza cálcica a estar fuera de los valores estipulados para las propiedades típicas del lodo de inicio generaron un lodo con propiedades parecidas al lodo de inicio. Con resultados finales de 10 Lb/bbl y de 1020 mg/l a 740 mg/l por parte de la dureza cálcica. Finalmente, el lodo formulado con las aguas resultantes que no cumplían con los parámetros de la resolución presento diversos problemas con la reología dureza cálcica y cantidad de arcillas presentes en el lodo. Con valores de 4 cp en viscosidad plástica, 9 lb/100ft² en punto cedente, 1 lb/100ft², en esfuerzo de gel inicial, 4 lb/100ft² en esfuerzo de gel a 10 minutos, 10 lb/bbl en MBT y 860 mg/l en dureza cálcica.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Fandiño, A. (2010). Deshidratación del lodo (Dewatering). [En línea]. Villavicencio, Colombia. Coinspetrol. Disponible en: https://issuu.com/jonathanbarrios/docs/deshidratacion_de_lodos__dewatering/11
- Moncada, L, P. (2015). Dewatering. Bogotá, Colombia. Holsan S.A.S.
- [2] Instituto Americano del Petróleo. manual de fluidos de perforación: procedimientos estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Dallas. Energy API. 2001.
- [3] SCHLUMBERGER. Glossary oilfield
- [4] Servyeco. “Floculantes”. [En línea]. <https://www.servyeco.com/floculantes.html>. [Acceso: diciembre 2 de 20]
- [5] L. S. Ortiz D, “Prueba de Jarras”, Rev. Investig., pp.1 , sep. 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335826360_Prueba_de_jarras_jar_test. [Acceso: diciembre 2 de 20]
- [6] L. S. Ortiz D, “Prueba de Jarras”, Rev. Investig., pp.5, sep. 2019. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335826360_Prueba_de_jarras_jar_test. [Acceso: diciembre 2 de 20]
- [7] Clarificación de aguas, 1^a ed., Akraw Química, Chía, Colombia.
- [8] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (Marzo 11, 2015). “Resolución No. 0631”.
- [9] EQS-811-Ni, 1^aedición, Ecoquimicos, Bogota, 2017.
- [11] Kemsep 1143, 1^aedición, Kemira, finlandia, 2015.
- [11]FR-0.52, ficha técnica lipesa 1146, 1^aedición, Lipesa, Bogota, 2007.

ANEXOS

ANEXO A

→ RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el polímero Kemira 1143 para el proceso de dewatering en el Campo Guando debido a los buenos resultados obtenidos en la investigación. Sin embargo, es aconsejable realizar un previo estudio financiero evaluando el polímero actual (Lipesa 1641) y el polímero Kemira 1143. De igual manera se recomienda seguir evaluando el polímero Kemira 1143 debido a que este no se desempeña de la misma manera con todos los lodos, en los distintos campos en los que opera la empresa. Se recomienda este polímero para llevarlo a cabo en la siguiente campaña del Campo Guando.

Para un buen uso del polímero Kemira 1143 se recomienda trabajar a 40 RPM y con una concentración entre 1% y 3%. No es aconsejable trabajarlo a concentraciones menores al 1% debido a que presenta dificultades a la hora de la floculación como se presentaron en los resultados a lo largo de la investigación.

Sin embargo, se recomienda el uso de sólidos reactivos que puedan generar un aumento en el MBT sin exceder el límite de densidad del lodo y otros aditivos químicos que mejoren la reología y el revoque.

Se recomienda realizar la prueba de DSC con la finalidad de determinar las propiedades termoquímicas al polímero y de conocer cuál será la degradación térmica que pueden presentar dichos polímeros.

Se recomienda realizar la prueba FTIR para conocer los grupos activos del almidón, identificar su diferencia de cargas y analizar como esto afecta el desempeño de los polímeros.

ANEXO B

- **Remoción de los recortes del pozo:** «Los recortes de perforación deben ser retirados del pozo a medida que son generados por la barrena. A este fin, se hace circular un fluido de perforación dentro de la columna de perforación y a través de la barrena, el cual arrastra y transporta los recortes hasta la superficie, subiendo por el espacio anular. La remoción de los recortes (limpieza del agujero) depende del tamaño, forma y densidad de los recortes, unidos a la Velocidad de Penetración (ROP); de la rotación de la columna de perforación; y de la viscosidad, densidad y velocidad anular del fluido de perforación».
- **Control de las presiones de la formación:** “Típicamente, a medida que la presión de la formación aumenta, se aumenta la densidad del fluido de perforación agregando barita para equilibrar las presiones y mantener la estabilidad del agujero. Esto impide que los fluidos de formación fluyan hacia el pozo y que los fluidos de formación presurizados causen un reventón”.
- **Suspensión y descarga de recortes:** «Los lodos de perforación deben suspender los recortes de perforación, los materiales densificantes y los aditivos bajo una amplia variedad de condiciones, sin embargo, deben permitir la remoción de los recortes por el equipo de control de sólidos. Los recortes de perforación que se sedimentan durante condiciones estáticas pueden causar puentes y rellenos, los cuales, por su parte, pueden producir el atascamiento de la tubería o la pérdida de circulación»
- **Obturación de las formaciones permeables:** Es importante que el fluido de perforación pueda generar un revoque fino con baja permeabilidad, el cual tenga la capacidad de limitar la invasión de filtrado sobre la formación para evitar problemas en la perforación.
- **Mantenimiento de la estabilidad del agujero:** Para preservar de manera óptima el pozo, es necesario tener en cuenta factores mecánicos, químicos y adicional a esto el peso del lodo, ya que este último ayuda a mantener una estabilidad en las presiones hidrostáticas y de formación.
- **Minimización de los daños a la formación:** “El daño a la formación es generalmente indicado por un valor de daño superficial o por la caída de presión que ocurre mientras el pozo está produciendo (diferencial de presión del yacimiento al pozo)”.
- **Enfriamiento, lubricación y sostenimiento de la barrena y del conjunto de perforación:** Con ayuda de los efectos refrigerantes y lubricantes del fluido de perforación, las

barrenas y el conjunto de perforación tienen un buen desempeño y evitan fallas en su operación. Al enfriar y lubricar las columnas de perforación se reduce el calor generado por fricción. “Por ejemplo, los lodos base agua proporcionan una mayor lubricidad y capacidad refrigerante que el aire o el gas”.

→ **Transmisión de la energía hidráulica a las herramientas y a la barrena:** El fluido de perforación transmite energía de manera hidráulica a los equipos para que estos la conviertan en energía mecánica, con la finalidad de generar rotación. Esto puede generar una mejor remoción de recortes y logra mantener el pozo limpio.

→ **Asegurar la evaluación adecuada de la formación:** Existen varios parámetros que pueden afectar la evaluación de formación como, las propiedades físicas y químicas tanto del lodo como del agujero. Es importante mantener unas propiedades físicas y químicas óptimas después de la perforación que eviten un daño en la formación.

→ **Control de la corrosión:** El fluido de perforación transporta los gases provenientes de la formación, evitando que interactúen con la sarta de perforación con el fin de disminuir problemas de corrosión. También, debe asegurarse un nivel de corrosión aceptable mediante el pH, debido a que los equipos están en constante contacto con un ambiente corrosivo.

→ **Facilitar la cementación y completación:** “El fluido de perforación debe producir un pozo dentro del cual la tubería de revestimiento puede ser introducida y cementada eficazmente, y que no dificulte las operaciones de completación”.

→ **Minimizar el impacto sobre el medio ambiente:** Es importante remover los desechos del fluido de perforación, teniendo en cuenta los reglamentos ambientales que rigen. Los lodos más deseables son los que tienen un impacto ambiental reducido, ya que estos pueden ser desechados en los alrededores del pozo.

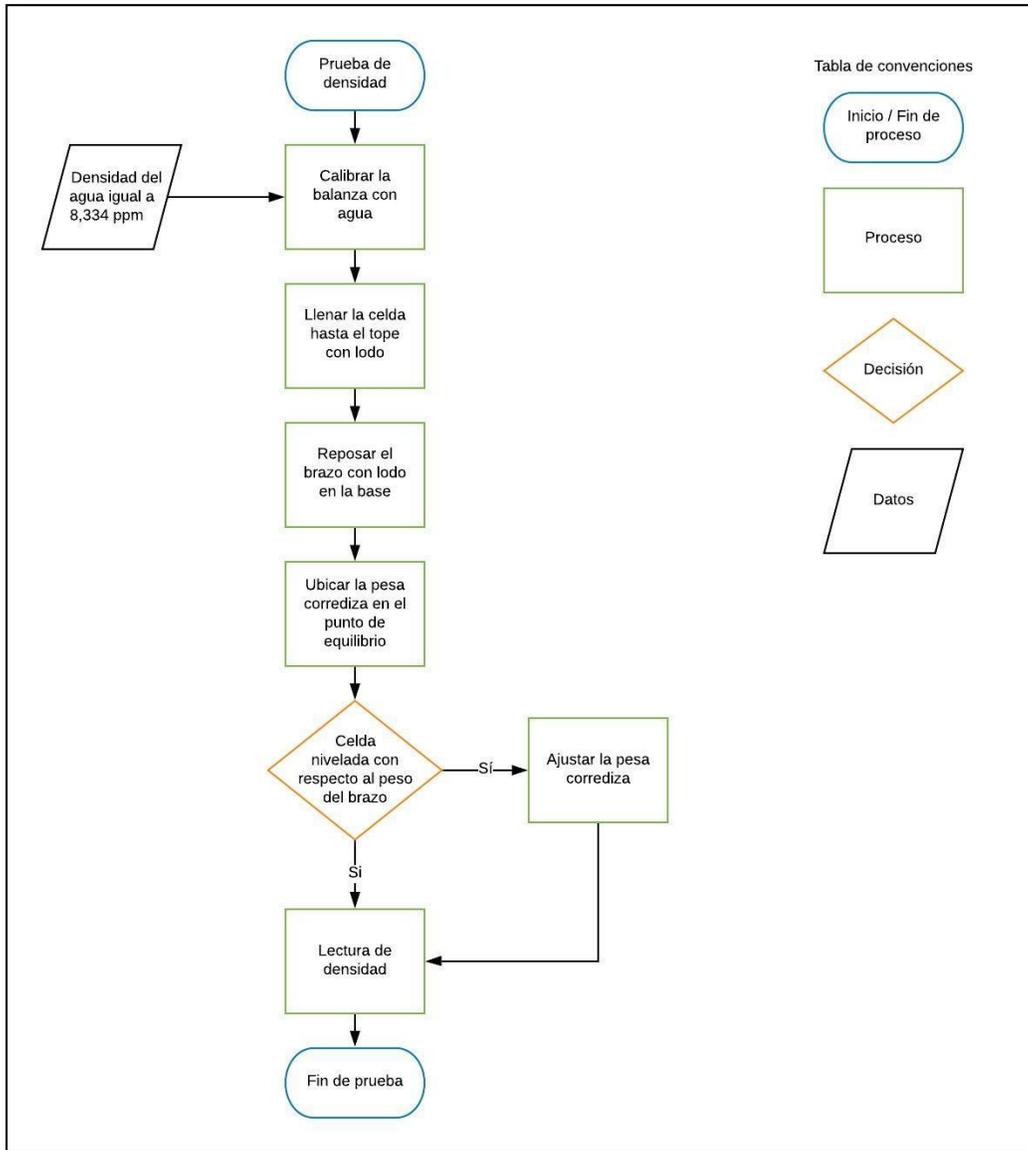
Pruebas físicas

ANEXO C

→ **Densidad**

Figura 28.

Diagrama de procesos prueba de densidad.



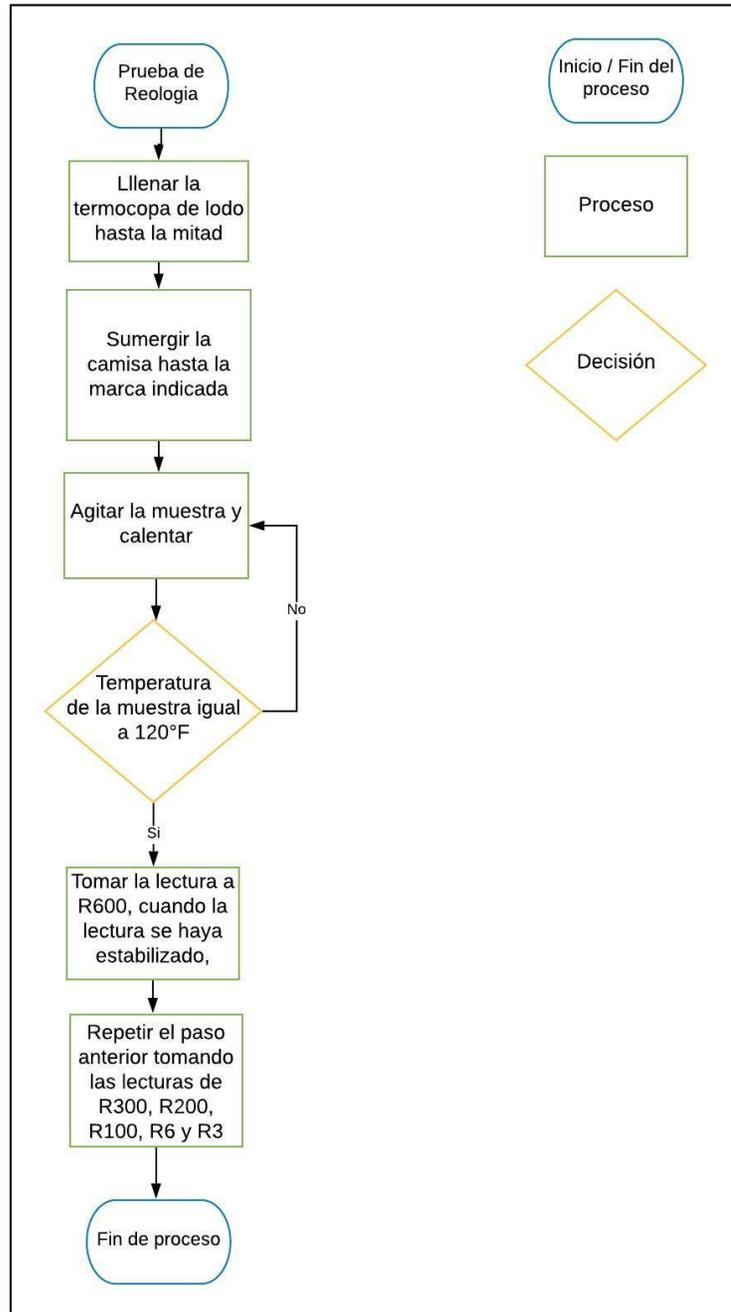
Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de densidad, una vez obtenido el lodo de inicio.

ANEXO D

→ Reología (Parte 1)

Figura 29.

Diagrama de procesos prueba de reología.

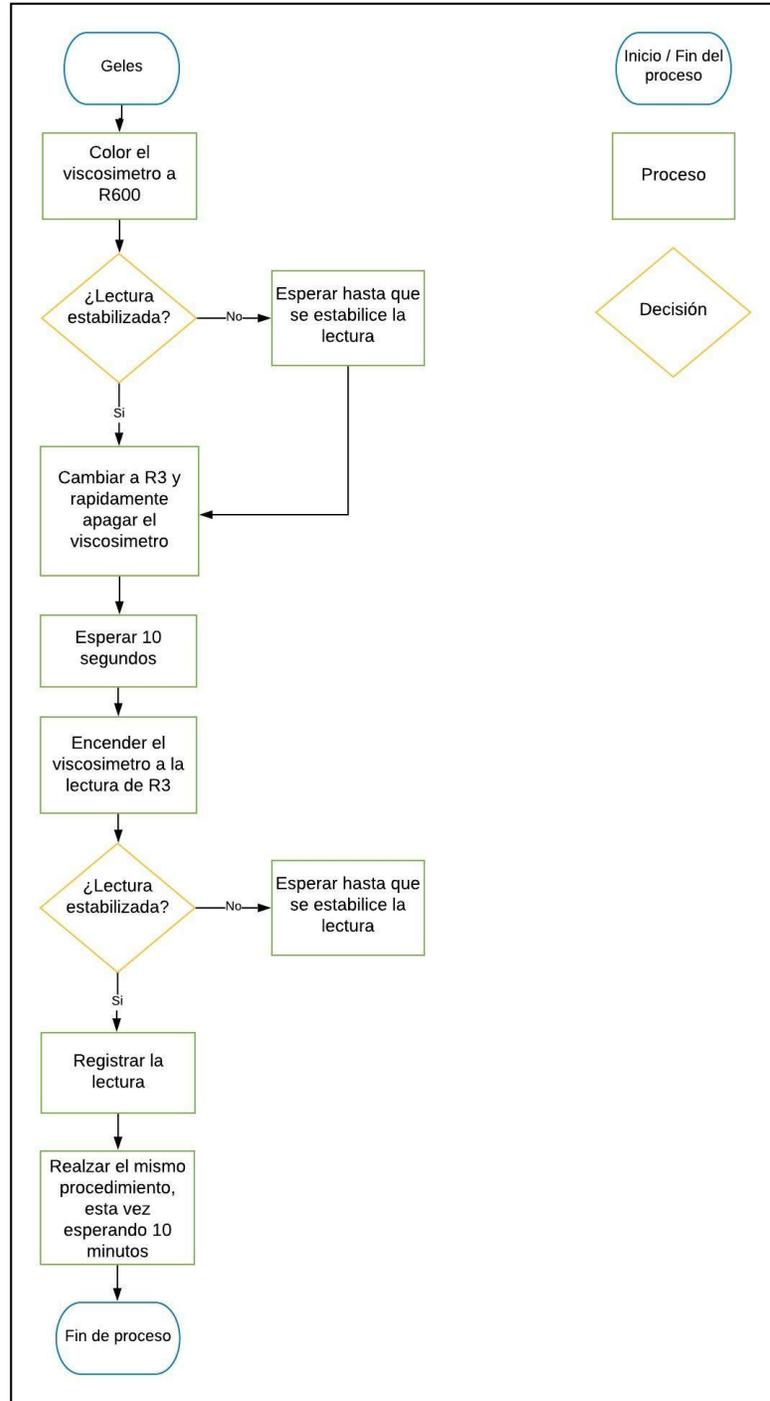


Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de reología, una vez obtenido el lodo de inicio.

→ Reología (Parte 2)

Figura 30.

Diagrama de procesos prueba de geles.



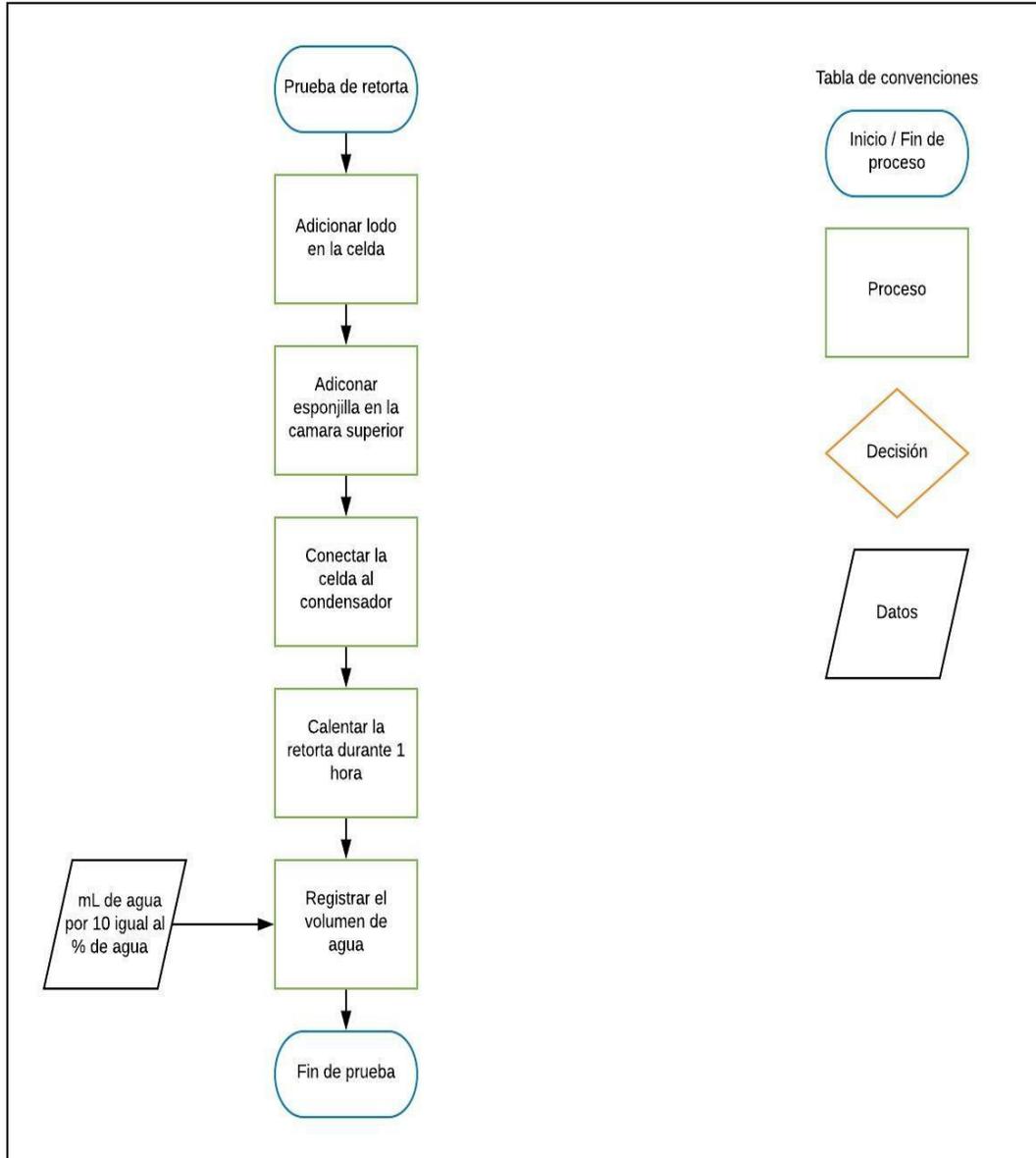
Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de geles, una vez obtenido el lodo de inicio.

ANEXO E

→ Contenido de sólidos y líquidos

Figura 31.

Diagrama de procesos prueba de retorta.



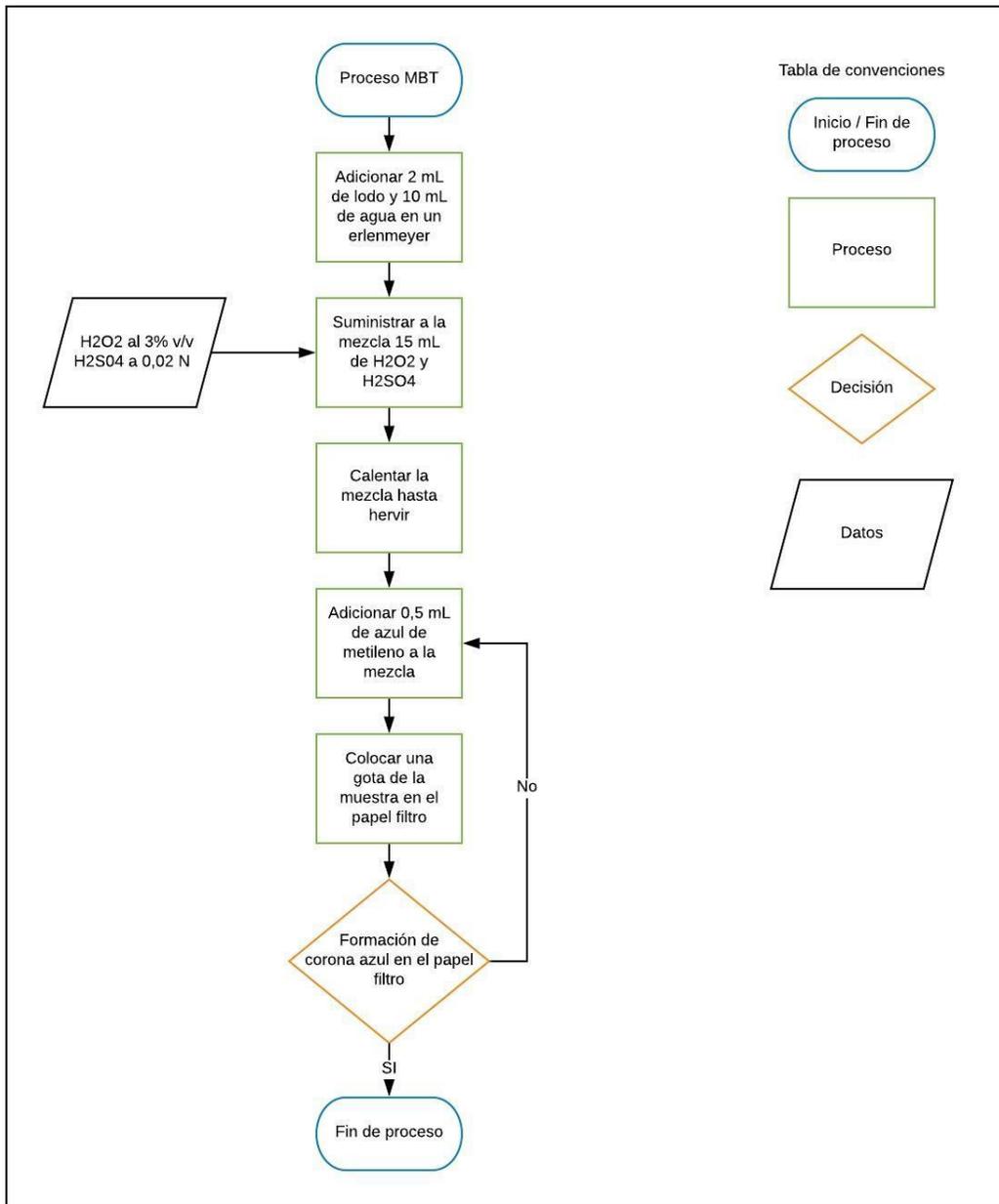
Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba retorta una vez obtenido el lodo de inicio.

ANEXO F

→ **MBT**

Figura 32.

Diagrama para el proceso MBT.



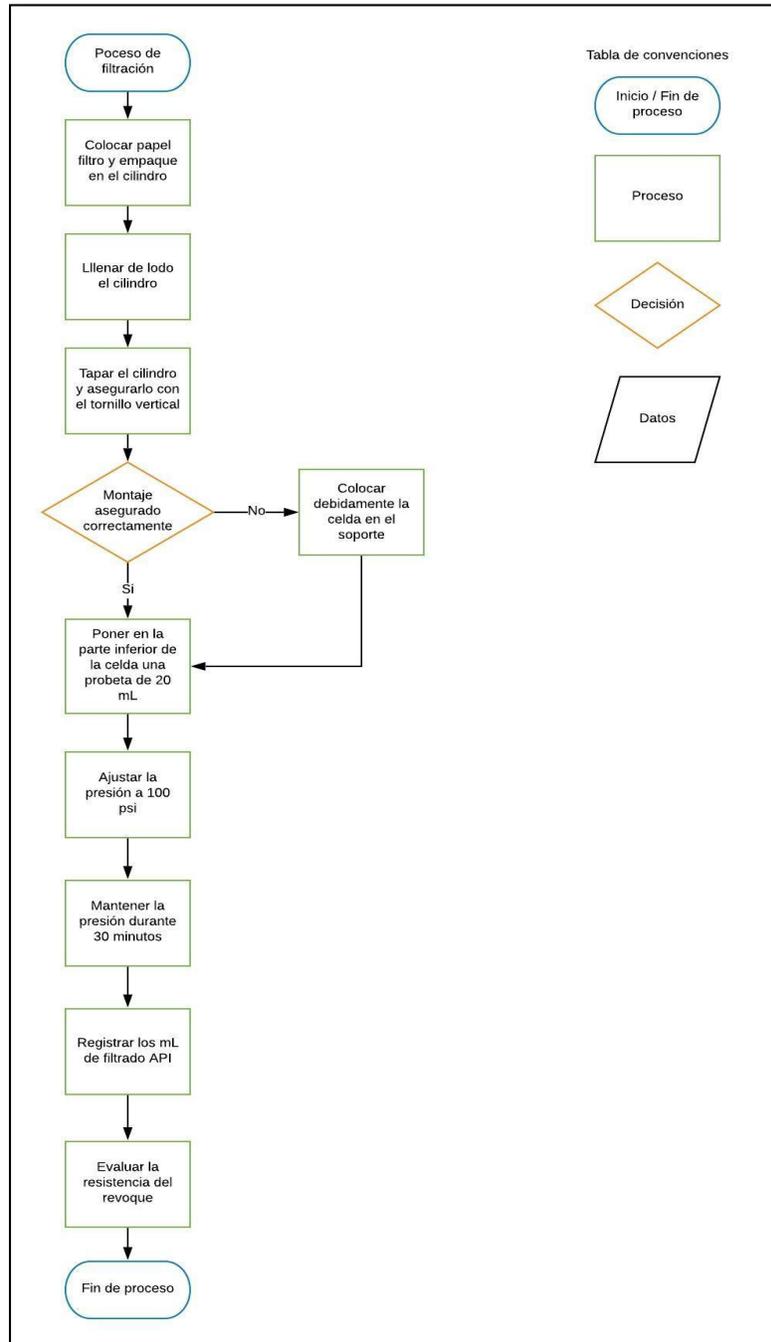
Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de MBT una vez obtenido el lodo de inicio.

ANEXO G

→ **Filtrado**

Figura 33.

Diagrama para el proceso de filtrado.



Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de filtrado una vez obtenido el lodo de inicio.

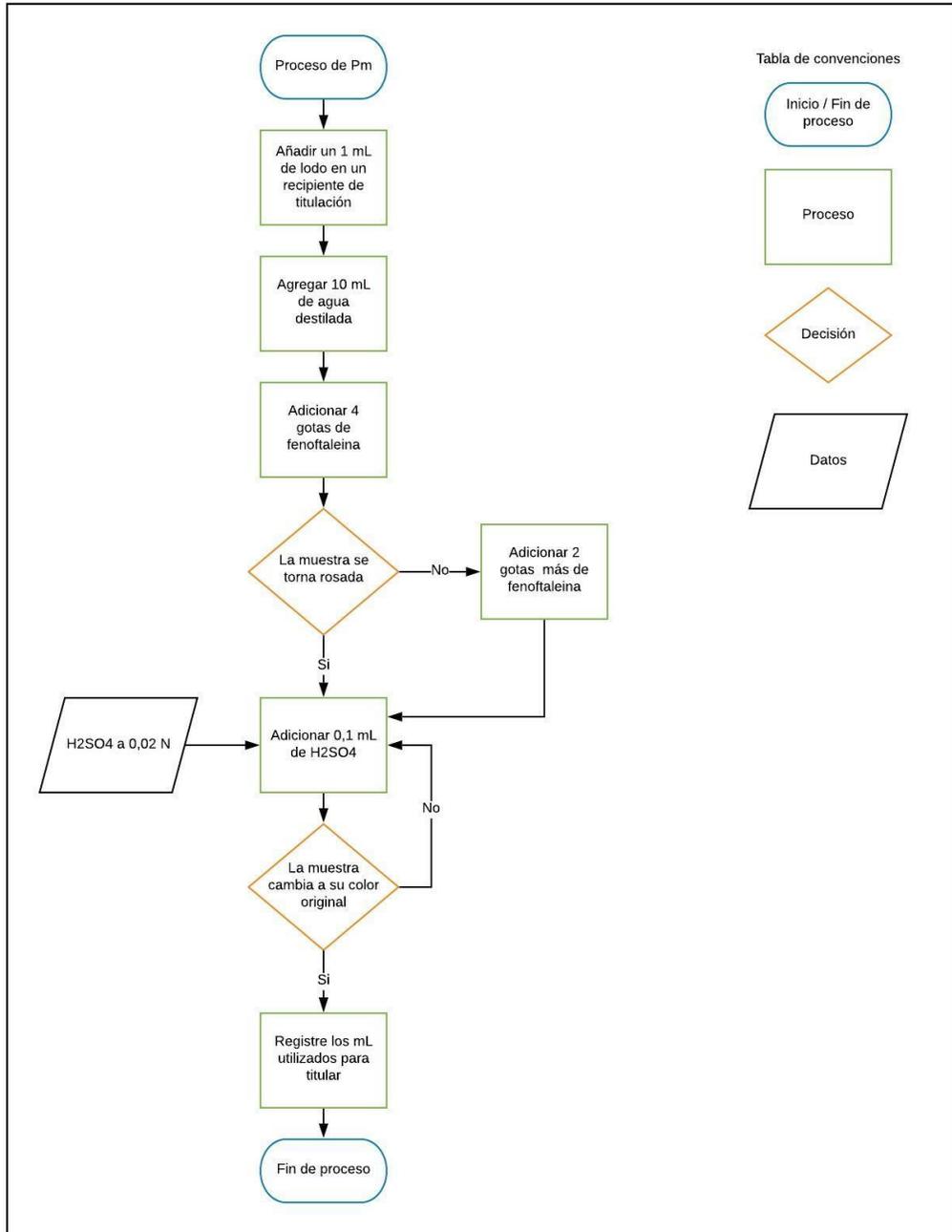
ANEXO H

Pruebas químicas

→ Pm

Figura 34.

Diagrama para el proceso de Pm.



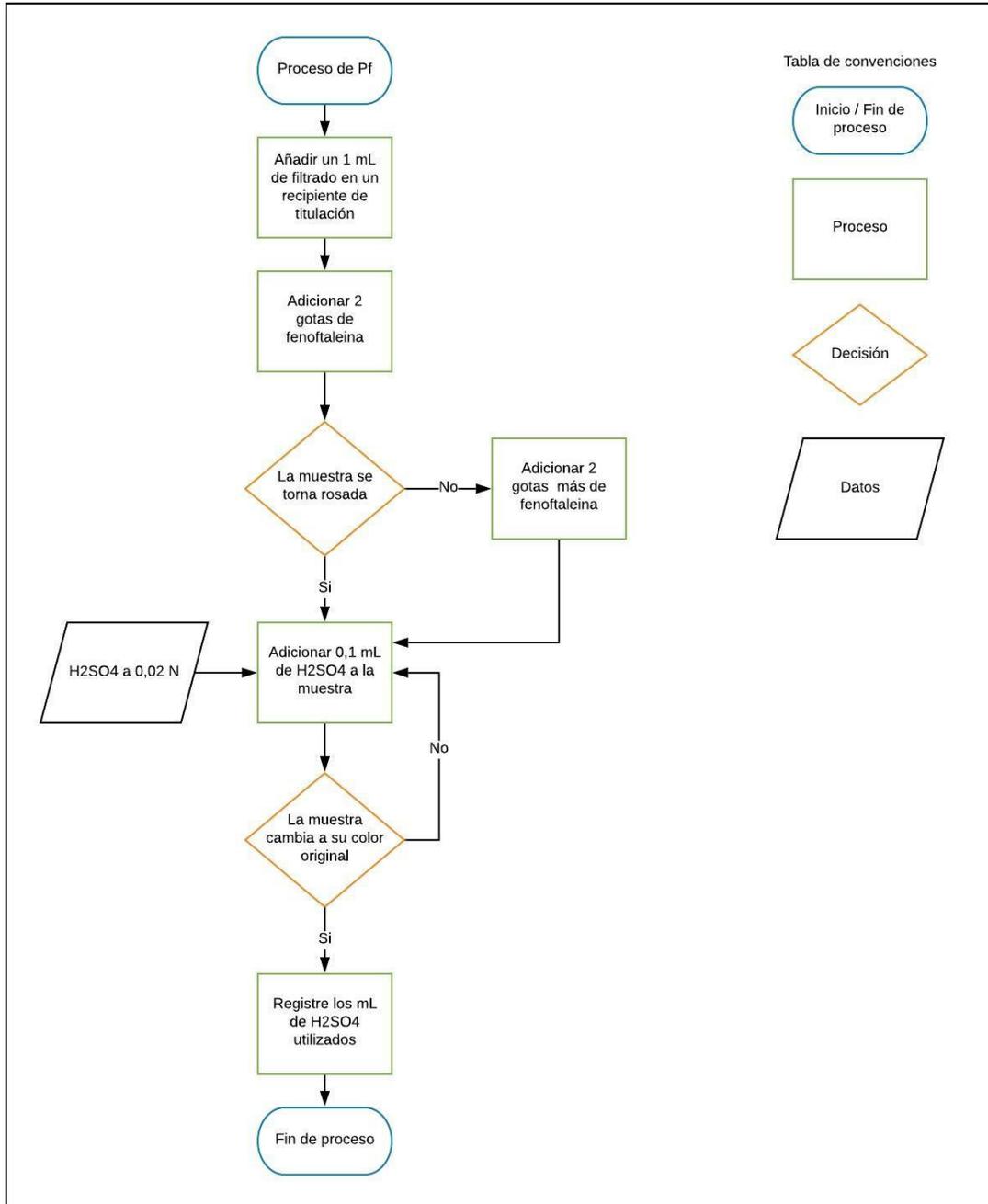
Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de Pm una vez obtenido el lodo de inicio.

→

Pf

Figura 35.

Diagrama para el proceso de Pf.

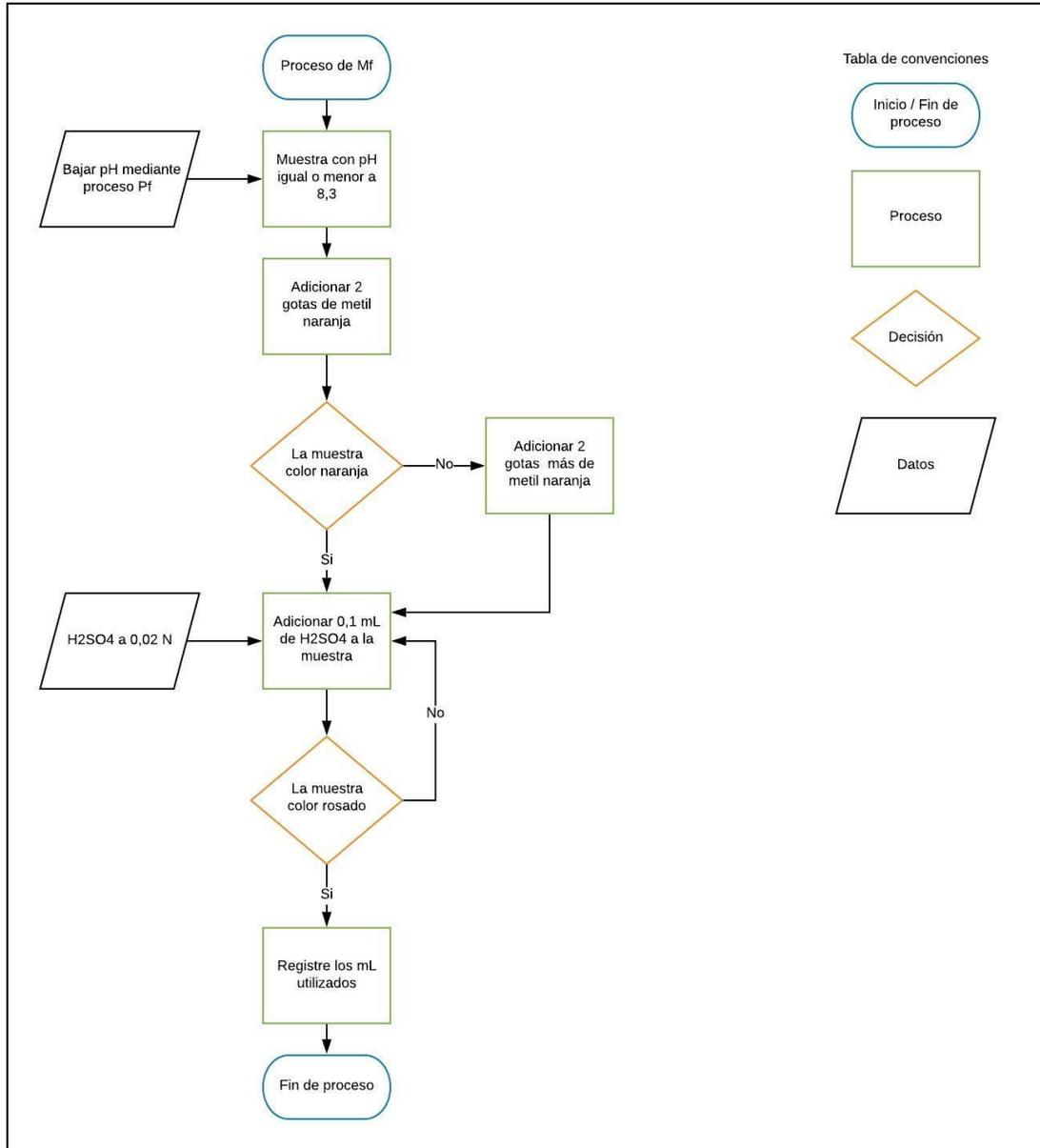


Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de Pf una vez obtenido el lodo de inicio.

→ Mf

Figura 36.

Diagrama para el proceso de Mf.



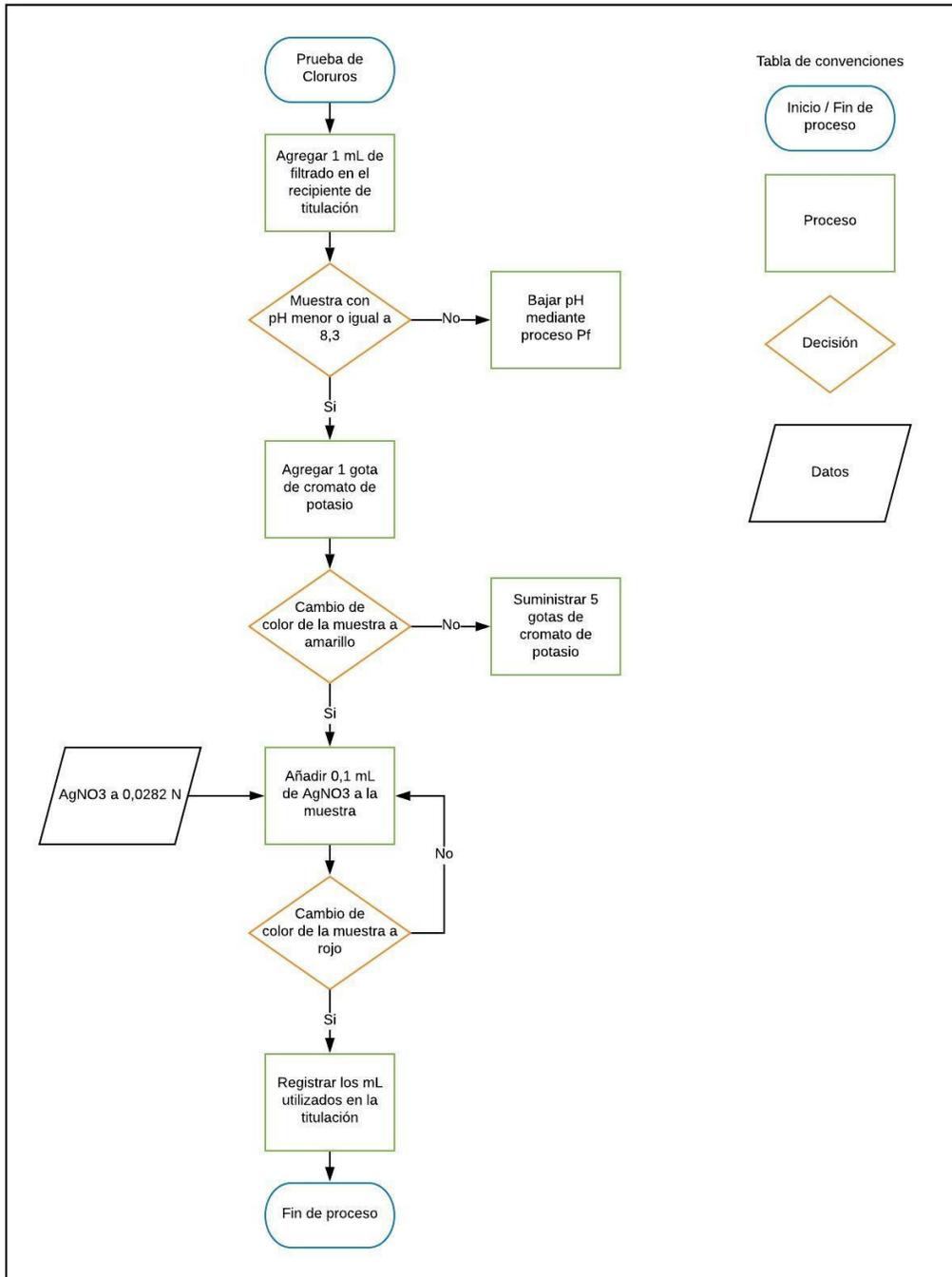
Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de Mf una vez obtenido el lodo de inicio.

ANEXO I

→ **Cloruros**

Figura 37.

Diagrama de procesos prueba de cloruros.



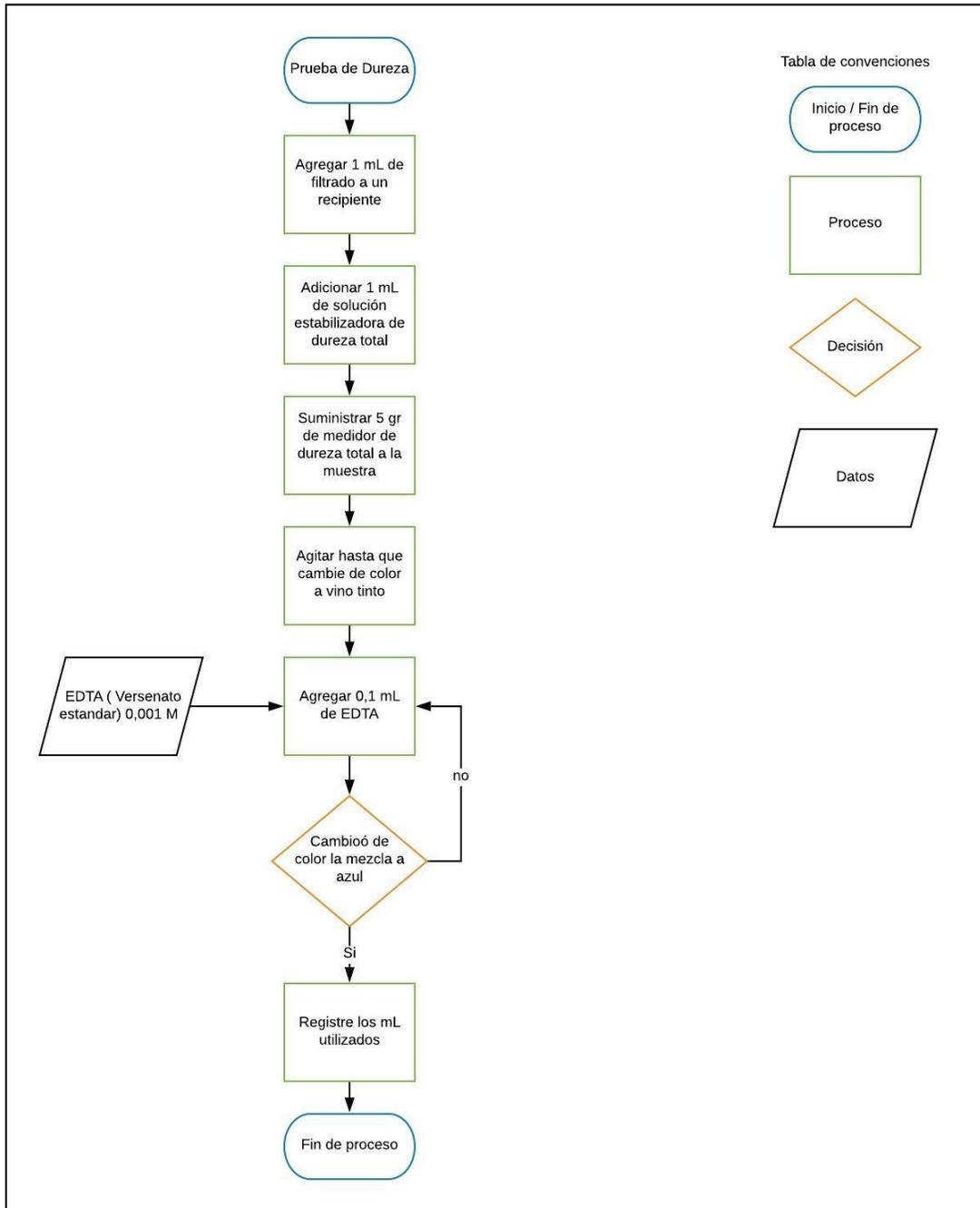
Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de cloruros una vez obtenido el lodo de inicio

ANEXO J

→ **Dureza**

Figura 38.

Diagrama de proceso prueba de dureza.



Nota: En la figura se describe el proceso que se llevó a cabo para realizar la prueba de dureza una vez obtenido el lodo de inicio.

ANEXO K

→ Floculación de polímeros

En la **Figura 39** se logra evidenciar como las cuatro jarras que fueron expuestas a 80 RPM y 20 minutos tuvieron una buena floculación, una buena separación de fases y gran cantidad de sólidos sedimentados.

Figura 39.

Prueba de test de jarras Polímero Ecoquímicos 811 con 80 RPM y a 20 minutos.



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos en las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

Mostrando un escenario a 80 RPM y 60 minutos, la **Figura 40** presenta una floculación parcial entre la jarra 1 y 3, donde no se evidencia una gran cantidad de sólidos sedimentados, mientras que la jarra 2 tiene una buena floculación y buena separación de fases. Por el contrario, la jarra 4 no presenta ninguna floculación y la mezcla sigue siendo homogénea.

Figura 40.

Prueba de test de jarras polímero Ecoquímicos 811 con 80 RPM y a 60 minutos.



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos de en las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

Las **Figura 41 y 42** presentan las mismas condiciones para cada una de las jarras. En estas pruebas, la jarra 1 pasados los 60 y 40 minutos respectivamente para cada imagen seguían presentando una mezcla homogénea, mientras que las jarras 2,3 y 4 exhiben una buena separación de fases y gran cantidad de agua resultante.

Figura 41.

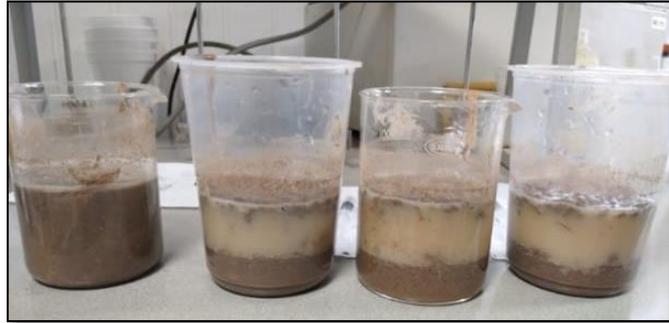
Prueba de test de jarras polímero Lipesa 1641 a 80 RPM y a 60 minutos



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos en las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

Figura 42.

Prueba de test de jarras polímero Lipesa 1641 a 100 RPM y a 40 minutos.



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos en las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

En la **Figura 43** se muestra un escenario de 40 RPM y 60 minutos se logró obtener en las cuatro jarras una excelente floculación, presentando en la jarra 1 un agua resultante casi incolora a comparación de las tres jarras restantes. La separación de sólidos se puede evidenciar con gran facilidad.

Figura 43.

Prueba de test de jarras polímero Kemira 1143 a 40 RPM y a 60 minutos.



Nota: La imagen expone los resultados obtenidos en las pruebas con concentraciones de 0.5, 1, 2 y 3 (de izquierda a derecha).

→ Pruebas Físicas y Químicas

En las siguientes imágenes se exponen algunos de los resultados obtenidos en las pruebas fisicoquímicas realizadas al lodo.

- **Densidad**

Al momento de haber obtenido el lodo con agua resultante del polímero Lipesa 1641 se procedió a realizar las pruebas fisicoquímicas donde en la **Figura 44** se puede apreciar el resultado de la prueba de densidad.

Figura 44.

Prueba de Densidad.



Nota: En la imagen se muestra el resultado obtenido en la prueba de densidad para el lodo con agua resultante del polímero Lipesa 1641.

- **Filtrado**

Para la **Figura 45** se presenta el resultado obtenido de la prueba de filtrado, en ella se mide el espesor del revoque.

Figura 45.

Prueba de filtrado.



Nota. En la imagen se presenta el resultado final de la prueba de filtrado del lodo con agua resultante del polímero Lipesa 1641, donde finalmente se midió el revoque.

- **pH**

En las **Figura 46** se presentan los resultados obtenidos de esta prueba de pH para cada lodo de inicio con aguas resultantes del proceso de dewatering utilizados con el polímero Kemira 1143.

Figura 46.

Resultado prueba de pH para el lodo de inicio empleando el polímero Kemira 1143.



Nota. En la imagen se muestra el resultado obtenido con la cinta de pH para el lodo de inicio con agua resultante del proceso de dewatering utilizando el polímero Kemira 1143.