

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO  
ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

**ALBA LILIANA CASTRO CELY**

**JUAN DAVID GOMÉZ CAÑON**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO – QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS**

**BUCARAMANGA**

**2012**

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO  
ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

**ALBA LILIANA CASTRO CELY**

**JUAN DAVID GOMÉZ CAÑON**

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

**Director**

**M.Sc. EMILIANO ARIZA LEÓN**

**Ingeniero de petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2012**

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, **CARLOS ARIOSTO CASTRO** y **ODILIA CELY**, por su infinita paciencia, su ejemplo, su amor y apoyo incondicional.*

*A mi hija **LAURITA**, por el ser el motor y motivo de mi vida y por darle una nueva dimensión a la palabra amor.*

*A mis hermanos **CRISTHIAN ANDRES** y **YESENIA**, por su amor y acompañamiento permanente.*

*A mis amigos, maestros y familiares, por las enseñanzas, el cariño y las experiencias compartidas, a todas aquellas personas que siempre creyeron en mí y a las que no, porque con su abandono me obligaron a ser más fuerte y a enfrentarme a las adversidades de la vida.*

*Pero sobre todo a **DIOS** por hacer todo esto posible.*

**Liliana C.**

**Dedicado a todas aquellas personas que me han acompañado durante este largo viaje y nunca han dejado de confiar en mí, en especial a mi familia, ya que sin su ayuda y amor incondicional nada de esto hubiese sido posible. Muchas gracias papá, mamá, hermanos y abuelos.**

**De igual manera no podría dejar pasar la oportunidad para agradecer a aquellos que a pesar de no forma parte de mi familia y que aunque jamás imagine conocer, con su apoyo, cariño, amor y comprensión, lograron ocupar un gran espacio en mi corazón y hacerme sentir siempre como en casa, en un segundo hogar.**

**Juan David Gómez Cañón**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores agradecemos de manea muy especial a:

A nuestro director de proyecto, M.Sc. EMILIANO ARIZA LEÓN, por la orientación, el acompañamiento y el tiempo dedicado, para que esta investigación llegara a buen término.

Al Ingeniero OSCAR FERNANDO LOPEZ, por el tiempo dedicado, por sus sugerencias e ideas de las que tanto provecho hemos sacado, por el respaldo y la amistad.

A ALEXANDER BELTRAN y JORGE, encargados del laboratorio de lodos y cementos, por aportar experiencia, por los consejos y acompañamiento durante el desarrollo de las pruebas de esta investigación.

A la Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de petróleos, administrativos y docentes, por el respaldo y la instrucción durante todos estos largos y fructíferos años de vida como estudiantes.

Y a todos aquellos que de una manera u otra tuvieron que ver para que este proyecto se llevara a cabo, a todos muchas gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>PÁG</b>
INTRODUCCIÓN.....	23
1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	25
1.1 GENERALIDADES .....	25
1.1.1 Definición .....	25
1.1.2 Especificaciones.....	25
1.1.3 Fases de los lodos de perforación.....	25
1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	25
1.2.1 Fluidos base agua.....	26
1.2.2 Fluidos base aceite. ....	26
1.2.3 Fluidos Neumáticos.....	26
1.3 FUNCIONES DEL LODO DE PERFORACIÓN.....	26
1.4 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN .....	28
1.4 Propiedades Químicas. ....	30
1.5 VISCOSIDAD EN LODOS DE PERFORACIÓN .....	30
1.6 PERDIDA DE FILTRADO EN LODOS DE PERFORACIÓN.....	31
1.6.1 Factores que afectan el filtrado y la formación de la torta. ....	34
1.7 QUÍMICA DE LOS POLÍMEROS .....	36
1.7.1 Estructura de los polímeros.....	36
1.7.2 Clasificación de los polímeros.....	37
1.8 QUÍMICA DE LAS ARCILLAS.....	44
1.8.1 Hidratación de las arcillas. ....	45
2. ACHIRA O SAGÚ (Canna edulis).....	46

2.1	TAXONOMIA .....	46
2.1.1	Dispersión geográfica.....	47
2.2	MORFOLOGIA DE LA PLANTA .....	47
2.2.1	Sistema radical.....	48
2.2.2	Rizomas y sus yemas .....	48
2.2.3	Tallo .....	49
2.2.4	Sistema foliar.....	49
2.2.5	Inflorescencia .....	49
2.3	REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS .....	49
2.3.1	Suelos .....	50
2.3.2	Establecimiento del cultivo .....	50
2.3.3	Cosecha .....	52
2.4	PRODUCCIÓN DE ACHIRA EN COLOMBIA.....	52
2.5	PROCESAMIENTO O BENEFICIO DEL ALMIDON .....	53
2.6	ALMIDÓN DE ACHIRA.....	56
2.6.1	Calidad del almidón de achira .....	57
2.6.2	Uso y aplicaciones del almidón .....	59
2.6.3	Comparación del almidón de achira con otras especies.....	60
3.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	62
3.1	IDENTIFICACION Y DEFINICION DE VARIABLES .....	63
3.2	SELECCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL .....	66
3.2.1	Tipos de modelos estadísticos .....	66
3.3	FACTIBILIDAD DEL ALMIDÓN DE ACHIRA Ó SAGÚ COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.....	67

3.4	ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA.....	68
3.5	PRUEBA DE OBSERVACIÓN DE DEGRADACIÓN .....	68
3.6	ALMIDON DE ACHIRA COMO AGENTE VISCOSIFICANTE.....	69
3.6.1	Prueba de Viscosidad en AQUAGEL. ....	69
3.6.2	Prueba de viscosidad en lodo BASE I.....	70
3.7	ALMIDÓN DE ACHIRA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO.....	71
3.7.1	Prueba de filtrado Lodo BASE II.....	71
3.7.2	Lodo BASE III.....	72
3.7.3	Lodo BASE IV .....	73
3.8	ALMIDÓN DE ACHIRA COMO EXTENDEDOR DE PROPIEDADES DE LA BENTONITA.....	74
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	75
4.1	CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA O SAGÚ .....	77
4.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	77
4.3	RESULTADOS DE LA PRUEBA QUÍMICA DEL AGUA .....	78
4.4	RESULTADOS DE LA PRUEBA DE OBSERVACIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA.....	78
4.5	FACTIBILIDAD DEL ALMIDON DE ACHIRA COMO AGENTE VISCOSIFICANTE.....	79
4.5.1	Resultados de la Prueba de Viscosidad en AQUAGEL.....	80
4.5.2	Resultados Prueba de Viscosidad Lodo Base I.....	86
4.6	FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO.....	93
4.6.1	Resultados de la Prueba de filtrado al Lodo BASE II .....	94
4.6.2	Resultados Prueba de filtrado Lodo BASE III.....	102

4.6.3	Resultados Prueba de filtrado Lodo BASE IV .....	112
4.6.4	Comparación de los resultados obtenidos con polisacárido preservado, la celulosa polianiónica y el almidón de Achira.....	115
4.7	FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO EXTENDEDOR DE PROPIEDADES DE LA BENTONITA.....	119
4.8	ANALISIS DE COSTOS DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN.....	125
	CONCLUSIONES .....	126
	RECOMENDACIONES.....	128
	BIBLIOGRAFIA .....	129
	ANEXO 1 .....	132

## LISTA DE FIGURAS

	<b>PÁG</b>
Figura 1. Estructura de los Polímeros.....	37
Figura 2. Clasificación de los polímeros.....	38
Figura 3. Estructura química de la Amilosa.....	40
Figura 4. Estructura química de la amilopectina. ....	41
Figura 5. Planta de Achira (cannaedulisKer).....	46
Figura 6. Rizomas de achira o sagú. ....	48
Figura 7. Regiones con especies nativas y productoras de Achira en Colombia...53	
Figura 8. Diagrama del proceso de extracción del almidón de Achira. ....	54
Figura 9. Almidón de Achira o Sagú. ....	58
Figura 10. Diagrama del diseño experimental.....	65
Figura 11. Clasificación modelos estadísticos. ....	66
Figura 12. Filtro prensa API. ....	76
Figura 13. Viscosímetro digital.....	77
Figura 14. Comportamiento de los Esfuerzos de corte en AQUAGEL.....	81
Figura 15.Comparación Va y Vp en lodo bentonítico. ....	82
Figura 16. Esfuerzos de gel para Almidón de Achira. ....	83
Figura 17. Esfuerzos de gel para GOMA XANTANA. ....	83

Figura 18. Comportamiento de YP lodo bentonitico.....	84
Figura 19. Variación de las propiedades del Lodo más Almidón de Achira. ....	85
Figura 20. Variación de las propiedades del Lodo más GOMA XANTANA.....	85
Figura 21. Comparación de los esfuerzos de corte en lodo Base I.....	87
Figura 22. Comparación de la Vp y Va Lodo Base I. ....	88
Figura 23. Comportamiento de geles el Lodo Base I más GOMA XANTANA.....	89
Figura 24. Comportamientos de Geles Lodo Base I más Almidón de Achira.....	89
Figura 25. Comportamiento del YP Lodo Base I.....	90
Figura 26. Variación de las propiedades del Lodo Base I más Almidón de Achira.	91
Figura 27. Variación de las propiedades de Lodo Base I más GOMA XANTANA.	91
Figura 28. Comportamiento del Filtrado Vs Concentración Lodo Base II .....	96
Figura 29. Filtrado a 30 minutos Lodo Base II .....	96
Figura 30. Celulosa Polianiónica como controlador de filtrado en Lodo base II.....	97
Figura 31. Almidón de Achira como controlador de filtrado en Lodo Base II.....	98
Figura 32. Comparación CELULOSA POLIANIÓNICA y almidón de achira a 2 y 4 lb/bbl en Lodo base II.....	99
Figura 33. Filtrado a 2 lb/bbl para el Lodo Base II. ....	100
Figura 34. Filtrado a 3 lb/bbl para el Lodo Base II. ....	100
Figura 35. Filtrado a 4 lb/bl en Lodo Base II. ....	100
Figura 36. Torta de la Celulosa Polianiónica - Almidón de achira.....	101
Figura 37. Grafico Filtrado Vs Concentración Lodo Base III .....	104

Figura 38. Perdida de filtrado Lodo Base III concentraciones de 4 a 7 lb/bbl. ....	104
Figura 39. Filtrado a 30 min lodo Base III. ....	105
Figura 40. Comportamiento del filtrado empleando POLISACÁRIDO PRESERVADO. ....	106
Figura 41. Comportamiento del filtrado con Almidón de Achira .....	106
Figura 42. Comparación del filtrado concentración 0,5 - 4 lb/bbl Lodo Base III ...	107
Figura 43. Perdida de filtrado a 0,5 lb/bbl. Fig. 44. Perdida de filtrado a 1 lb/bbl.	108
Figura 45. Perdida de filtrado a 1,5 lb/bbl. Fig. 46. Perdida de filtrado a 2 lb/bbl. .	108
Figura 47. Perdida de filtrado a 3 lb/bbl. ....	109
Figura 48. Perdida de filtrado a 4 lb/bbl. ....	109
Figura 49. Torta del lodo base III a 0,5 y 1 lb/bbl .....	110
Figura 50. Torta del lodo base III a 1,5 y 2 lb/bbl .....	110
Figura 51. Torta del Lodo Base III a 3 y 4 lb/bbl. ....	111
Figura 52. Comportamiento del filtrado en Lodo Base IV .....	113
Figura 53. Comportamiento del filtrado en el Lodo Base IV con el tiempo.....	114
Figura 54. Variación de las propiedades del Lodo Base IV.....	115
Figura 55. Comparación de los Lodos Base II, III y IV a 30 min de Filtrado.....	116
Figura 56. Comparación filtrados Lodos Base II, III y IV a 30 min en intervalo de interés. ....	117
Figura 57. Comparación de los Esfuerzos de corte del Lodo Base V.....	121
Figura 58. Comparación de Viscosidades Lodo Base V.....	122

Figura 59. Esfuerzo de gel para el Almidón de Achira en Lodo Base V.....	122
Figura 60. Esfuerzo de gel para el extendedor de bentonita en Lodo Base V.....	123
Figura 61. Comportamiento de YP Lodo Base V.....	124
Figura 62. Variación de Propiedades Lodo Base V empleando Almidón de Achira. .....	124
Figura 63. Comparación costos.....	125

## LISTA DE TABLAS

	<b>PÁG</b>
Tabla 1. Clasificación Taxonómica de la Achira.....	47
Tabla 2. Composición química del almidón de Achira.....	57
Tabla 3. Tabla de comparación de almidones .....	60
Tabla 4. Factores del experimento.....	63
Tabla 5. Identificación y Definición de Variables.....	64
Tabla 6. Análisis químico del agua .....	68
Tabla 7. Prueba de observación de degradación.....	68
Tabla 8. Prueba de viscosidad en AQUAGEL.....	69
Tabla 9. Prueba de viscosidad GOMA XANTANA - Achira.....	70
Tabla 10. Prueba de Almidón de Achira como controlador de filtrado en lodo base II.....	71
Tabla 11. Prueba del Almidón de Achira como controlador de filtrado en lodo Base III.....	72
Tabla 12. Prueba del Almidón de Achira como controlador de filtrado en lodo Base IV .....	73
Tabla 13. Prueba de extensión de las propiedades de la Bentonita. ....	74
Tabla 14. Análisis químico del Agua.....	78
Tabla 15. Resultados de la prueba de observación de degradación. ....	79

Tabla 16. Composición Lodo Base I .....	79
Tabla 17. Resultados de la prueba de Viscosidad AQUAGEL - Almidón de Achira. .....	80
Tabla 18. Diferencia de las Viscosidades de GOMA XANTANA y Almidón de Achira.....	82
Tabla 19. Resultados prueba de viscosidad Lodo Base I. ....	86
Tabla 20. Diferencia de Viscosidades de GOMA XANTANA - Almidón de Achira Lodo Base I.....	88
Tabla 21. Composición de los lodos base I, II y III.....	93
Tabla 22. Prueba de filtrado Lodo base II. ....	94
Tabla 23. Diferencia de perdida de filtrado (ml) y porcentaje del Lodo Base II. ....	95
<b>Tabla 24.</b> Resultados prueba de filtrado Lodo Base III.....	102
Tabla 25. Diferencia del filtrado en el lodo Base III.....	103
Tabla 26. Resultados prueba de filtrado Lodo Base IV.....	112
Tabla 27. Variación de las propiedades del lodo Base IV.....	114
Tabla 28. Resultados de las pruebas al Lodo Base V. ....	120
Tabla 29. Precios de aditivos.....	125

## LISTA DE ANEXOS

	PÁG
ANEXO A.....	132

## RESUMEN

**TITULO: ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA.\***

### **AUTORES:**

Alba Liliana Castro Cely  
Juan David Gómez Cañón.\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Fluido de perforación, Almidón de Achira, agente viscosificante, agente controlador de filtrado, prueba de filtrado API.

### **DESCRIPCIÓN:**

El almidón es un polímero de glucosa natural proveniente de una variedad de plantas o semillas compuesto principalmente de amilosa y amilopectina, la relación de estos componentes y su organización física dentro de la estructura granular le confieren al almidón propiedades fisicoquímicas y funcionales características; la industria de los hidrocarburos desde el año 1930, ha venido utilizando el almidón como agente aditivo en todo tipo de lodos, mostrando alta eficacia a la hora de contribuir con las funciones de los mismos en la remoción de sólidos del pozo producto de las acciones de perforación y el control de la pérdida de fluido hacia la formación.

En el presente trabajo se plantea la importancia de la utilización de productos alternativos, que no afecten el medio ambiente y que permita dar otro uso a diversos recursos naturales disponibles en Colombia, en este caso el almidón proveniente de la planta de la Achira o sagú, y que podría generar fuente de empleo para mejorar la calidad de vida de las personas encargadas de su cultivo y beneficio.

Se realizaron pruebas de laboratorio con el almidón de achira para estudiar su eficacia como agente viscosificante, agente extendedor de bentonita y controlador de filtrado en lodos de perforación base agua, encontrando buenos resultados, como controlador de filtrado, con efecto similar a productos comerciales utilizados para este propósito.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela De Ingeniería De Petróleos, Director M.Sc. Emiliano Ariza León.

## ABSTRACT

**TITLE: STUDY OF FEASIBILITY ABOUT THE USE OF ACHIRA'S STARCH LIKE WATER-BASED DRILLING MUD ADDITIVE.\***

**AUTORS:**

Alba Liliana Castro Cely  
Juan David Gómez Cañón.\*\*

**KEYWORDS:** Drilling fluid, Achira's Starch, Viscosifiers agent, filtration control agent, API filtrate test.

**DESCRIPTION:**

The Starch is a natural glucose polymer extracted from a variety of plants and seeds mainly amylose and amylopectin, the relation of this compounds and their physical organization within the granular structure confers on starch, physicochemical properties and functional characteristics; Since 1930, the hydrocarbon industry has been used the starch like additive agent in all kind of muds, Starch has shown high efficiency and contribution in the mud's functions like solids removal produced by well's drilling and the fluid losses control to the formation.

This study propounds the importance of alternative products usage that no affects de environment and allows give other different usage to the natural resources, in this case the Achira's or Sagú's starch that could generate employment to improve the life quality of the people responsible for its production.

Laboratory test were performed in order to compare Achira's starch (Canna Edulis Ker starch without any modification) with commercial additives to study its efficiency like viscosifier agent, extender bentonite properties agent and filtration control agent in water-based muds, finding good results like filtration control agent and similar effect produced by other commercial products used for this purpose.

---

\* Trabajo de grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela De Ingeniería De Petróleos, Director M.Sc. Emiliano Ariza León.

## INTRODUCCIÓN

Los fluidos de perforación tienen como propósito fundamental hacer que las labores de perforación sean rápidas y seguras, su éxito está determinado por la potencialización de las propiedades del lodo de acuerdo a las características geológicas de la formación a perforar y de la información y pericia de los operadores a cargo.

Las funciones del fluido de perforación describen las tareas que el fluido de perforación es capaz de desempeñar, y son inherentes a cada pozo, entre las funciones más importantes encontramos la remoción de recortes del pozo, el control de las presiones de la formación y la lubricación de las brocas y herramientas utilizadas en perforación.

La industria de los hidrocarburos está en constante investigación e incorporación de nuevas tecnologías, de ahí que es de vital importancia la implementación de nuevos y alternativos productos naturales que sean capaces de sustituir los ya existentes manteniendo y optimizando las propiedades reológicas del lodo, que sean acsequibles y amigables con el medio ambiente y que disminuya los costos, lo que revierte en rentabilidad para las empresas que se desempeñan en la perforación de pozos de hidrocarburos.

Colombia, dispone abundancia de recursos naturales que se pueden utilizar como sustitutos de aditivos en lodos de perforación, entre ellos encontramos el almidón de *Canna edulis* conocida como ACHIRA ó SAGU, Ampliamente cultivada en los departamentos del Tolima, Huila y Cundinamarca y que promete ser una buena alternativa para mejorar el rendimiento y eficiencia, especialmente en lodos base agua.

Este documento muestra el estudio realizado al almidón de Achira para determinar si es viable técnica y económicamente su empleo como aditivo en la ingeniería de lodos, teniendo en cuenta que es un producto fácil adquisición en el país y no nocivo para el medio ambiente, se divide en cuatro capítulos distribuidos de la siguiente manera: El primero contiene la información sobre las generalidades y principales características de los fluidos de perforación; el segundo; la fisiología y manejo de cultivo de la Achira ó Sagú (*cannaedulis ker*), la obtención y manejo del Almidón de Achira, el tercer capítulo contiene el diseño experimental del estudio de factibilidad; en el cuarto capítulo se explican los resultados de las pruebas diseñadas y la factibilidad del empleo del almidón de Achira como aditivo en lodos de perforación base agua.

## 1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

#### 1.1.1 Definición

Los fluidos utilizados durante la perforación o completamiento de un pozo, son denominados fluidos de perforación. Este término está restringido a los fluidos que son circulados a través del pozo, formados por una mezcla de aditivos que proporcionan propiedades físico-químicas adecuadas para cumplir con los requisitos mínimos de eficiencia de limpieza y de seguridad en durante la operación.

#### 1.1.2 Especificaciones

El fluido no debe ser tóxico, corrosivo, ni inflamable, pero si debe ser inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales y estable a las altas temperaturas que se presentan durante la perforación. Además debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones, y ser inmune al desarrollo de bacterias.

#### 1.1.3 Fases de los lodos de perforación

Un fluido o lodo de perforación, se trata de una suspensión de sólidos, líquidos o gases en un líquido. El líquido en el cual todos los aditivos químicos están suspendidos se conoce como **FASE CONTINUA** del líquido de control o lodo y las partículas sólidas o líquidas suspendidas dentro de otro (Glóbulos) constituyen la **FASE DISCONTINUA**; cuando se conoce la constitución de la fase continua, se obtiene el tipo de sistema de fluido conocido como base del lodo.

### 1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN<sup>1</sup>

Los fluidos de perforación son clasificados según las características de su fase continua.

---

<sup>1</sup> M I Swaco - Engineering Drilling Fluid Manual.

### **1.2.1 Fluidos base agua**

Son aquellos que tienen como fase continua agua dulce o salada, en el cual ciertos materiales se disuelven y otros quedan en suspensión. Por lo general la fase dispersa es bentonita o atapulgita. Estos lodos son los más usados en la industria por ser los más simples y menos costosos.

### **1.2.2 Fluidos base aceite.**

Estos fluidos tienen como fase continua un aceite, el cual es generalmente diesel; sin embargo, también se utilizan crudos, aceites minerales o sintéticos. Cuando existe una fase discontinua por agua se denomina lodo invertido y debe contener agentes emulsificantes para lograr la homogeneidad.

### **1.2.3 Fluidos Neumáticos.**

Este tipo de lodo se caracteriza porque la fase continua es aire u otro gas (gas seco o mezcla de gases). A este tipo de fluidos también se le conoce como “Fluido de perforación reductores de presión”, debido a que su gradiente de presión es mucho menor que el de los lodos base aceite y por consiguiente menor que el de los lodos base agua. El propósito original para el uso de este tipo de fluidos es el de aminorar las pérdidas de fluido hacia la formación y reducir el daño a esta, además de aumentar la tasa de penetración en zonas de rocas muy duras.

## **1.3 FUNCIONES DEL LODO DE PERFORACIÓN**

El propósito fundamental del fluido de perforación es ayudar a hacer rápida y segura la perforación del pozo mediante el cumplimiento de las siguientes funciones:

- Transporte de los recortes a la superficie
- Suspensión de los recortes cuando la circulación es detenida
- Control de la presión de la formación.
- Lubricación y enfriamiento del conjunto de perforación

- Provisión de soporte para las paredes del hueco
- Suspensión aparente del peso del conjunto de perforación y tubería de revestimiento
- Proveer energía hidráulica
- Proveer un medio adecuado para la toma de registros.

**TRANSPORTE DE RECORTES A LA SUPERFICIE:** El pozo debe ser limpiado apropiadamente para prevenir que los recortes se acumulen en el espacio anular, debido a que esto podría dar como resultado una tubería atascada, pérdida de circulación o una disminución en la penetración.

**SUSPENSION DE LOS RECORTES:** Los recortes trataran de caer al fondo cuando la circulación se detiene a menos que el fluido de perforación forme una estructura gelatinosa. Esta estructura gelatinosa deberá suspender o mantener los recortes en su lugar hasta que la circulación sea restablecida.

**CONTROL DE PRESION ANULAR:** Debido a que los fluidos de formación (petróleo, agua o gas) están bajo una gran presión, tienen que ser balanceados o sobre balanceados para prevenir el flujo incontrolado.

**LUBRICACIÓN Y ENFRIAMIENTO:** A medida que la broca de perforación en el fondo y la sarta rotan en el pozo, se desarrollan temperaturas extremas. Esta debe ser absorbida por el fluido de perforación y llevadas lejos del fondo del pozo. El fluido de perforación también debe lubricar la sarta de perforación, la tubería de revestimiento y la broca de perforación.

**SOPORTE DE LA PARED:** La formación podría derrumbarse en el pozo antes de que la tubería de revestimiento sea instalada, a menos que el soporte sea reemplazado por el fluido de perforación.

**FLOTACIÓN DEL CONJUNTO DE PREFORACIÓN Y CASING:** El peso de la sarta de perforación y el de la tubería de revestimiento pueden exceder miles de

libras e imponer un estrés extremo en la estructura de la torre. Estos pesos extremos pueden ser absorbidos en parte por la fuerza boyante del fluido.

**PROPORCIONAR ENERGÍA HIDRAULICA:** El fluido es el medio por el cual se transmite la potencia desde la superficie hasta el fondo del pozo. El programa hidráulico, trata de obtener la máxima caída de presión en la broca para obtener los valores óptimos de caudal y chorros, que faciliten una limpieza efectiva del fondo del hoyo y del espacio anular.

**MEDIO DE REGISTRO ADECUADO:** El fluido de perforación es necesario para muchas herramientas de MWD/LWD (medición y/o registro mientras se perfora) y para registros con líneas de cable de acero que son utilizados en la evaluación de la formación. Muchos registros requieren que el fluido de perforación sea un líquido conductor de electricidad que exhiba propiedades eléctricas diferentes de las de los fluidos de la formación.<sup>2</sup>

## 1.4 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Las propiedades del fluido a mantener durante la perforación del pozo son físicas y químicas.

### 1.4.1 Propiedades Físicas.

- **DENSIDAD:** Una de las principales propiedades del lodo cuya función es mantener los fluidos contenidos dentro del hoyo en el yacimiento durante la perforación. Adicionalmente, mantiene las paredes del hoyo al transmitir la presión a las mismas.
- **VISCOSIDAD PLÁSTICA:** Es aquella parte de la resistencia a fluir causada por fricción mecánica, esta fricción se produce: entre los sólidos contenidos

---

<sup>2</sup> WCS- Well Control

en el lodo, entre los sólidos y el líquido que lo rodea y debido al esfuerzo cortante del propio líquido.

- **VISCOSIDAD APARENTE:** Se define como la medición en centipoises que un fluido Newtoniano debe tener en un viscosímetro rotacional, a una velocidad de corte previamente establecida, y que denota los efectos simultáneos de todas las propiedades de flujo.
- **RESITENCIA O FUERZA DE GEL:** Representa una medida de las propiedades tixotrópicas de un fluido y denota la fuerza de floculación bajo condiciones estáticas.
- **PUNTO CEDENTE:** Se define como la resistencia a fluir causada por las fuerzas de atracción electroquímicas entre las partículas sólidas, en estado dinámico. Estas fuerzas son el resultado de las cargas negativas y positivas localizadas cerca de la superficie de las partículas.
- **FILTRADO:** El filtrado indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través de la torta hacia las formaciones permeables, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial.
- **CONTENIDO DE SÓLIDOS:** En un fluido de perforación existen sólidos deseables como la arcilla y la barita, y sólidos indeseables como ripios y arena, los cuales hay que eliminar del sistema, ya que es de suma importancia mantener el porcentaje de sólidos en los fluidos de perforación en los rangos correspondientes al peso del lodo en cuestión.<sup>3</sup>
- **PH:** Durante el tratamiento químico de los lodos de perforación es necesario conocer su alcalinidad y acidez, los cuales se definen en términos del pH del lodo. La acidez o alcalinidad de un lodo está indicada por la concentración del ion hidrógeno, la cual es expresada como el pH. El conocimiento del pH del agua y otras soluciones tienen su importancia para otras industrias o procesos aparte de los fluidos de perforación, el

---

<sup>3</sup> DOWELL SCHLUMBERGER DRILLING FLUIDS, Fundamentos teóricos y sistemas.

conocimiento del pH del agua indicara si es apta para alimentar las calderas de vapor y la posibilidad de corrosión de los equipos metálicos.

#### 1.4 Propiedades Químicas.

- **Dureza:** Es causada por la cantidad de sales de calcio y magnesio disuelta en el agua o en el filtrado del lodo. El calcio por lo general, es un contaminante de los fluidos base de agua.
- **Cloruros:** Es la cantidad de iones de cloro presentes en el filtrado del lodo. Una alta concentración de cloruros causa efectos adversos en un fluido base de agua.
- **Alcalinidad:** La alcalinidad de una solución se puede definir como la concentración de iones solubles en agua que pueden neutralizar ácidos. Con los datos obtenidos de la prueba de alcalinidad se pueden estimar la concentración de iones, presentes en el fluido.
- **MBT (Methylene Blue Test):** Es una medida de la concentración total de sólidos arcillosos que contiene el fluido.<sup>4</sup>

#### 1.5 VISCOSIDAD EN LODOS DE PERFORACIÓN

La viscosidad se encuentra estrechamente relacionada con la remoción de ripios, suspensión de ripios y material que adiciona peso cuando no se está circulando el fluido de perforación. Además de analizar la contaminación de fluidos por sólidos, sustancias químicas temperatura; así como para determinar los cambios de presión de un pozo durante un viaje.

Por definición, viscosidad es la resistencia que ofrece un fluido a deformarse (a fluir). Los fluidos de perforación son tixotrópicos y una medida de viscosidad de un

---

<sup>4</sup> Manual de fluidos de perforación PDVSA

fluido de este tipo será válida únicamente para la tasa de corte a la cual la medida fue hecha.

Se han desarrollado diferentes modelos que buscan por medio de la viscosidad y otras propiedades reológicas para calcular las pérdidas de presión en la tubería de perforación y en el anular, y para estimar la velocidad de levantamiento de los cortes (Modelo plástico de Bingham y Modelo Exponencial)

La viscosidad de los fluidos de perforación es una función de muchos factores entre los cuales podemos encontrar:

- Viscosidad de la fase líquida continua.
- Volumen de sólidos en el lodo.
- Volumen de fluido disperso.
- Número de partículas por unidad de volumen.
- Forma y tamaño de las partículas sólidas.
- Atracción o repulsión entre las partículas sólidas y entre sólidos y la fase líquida.

En general, al aumentar el porcentaje de sólidos en el sistema, aumentará la viscosidad plástica, esta es afectada por la concentración tamaño y forma de las partículas suspendidas en el lodo. El control de la viscosidad plástica en lodos de bajo y alto peso es indispensable para mejorar el comportamiento reológico y sobre todo para lograr altas tasas de penetración. Este control se obtiene por dilución o por mecanismos de control de sólidos.

## **1.6 PERDIDA DE FILTRADO EN LODOS DE PERFORACIÓN**

La pérdida de fluido es una de las propiedades del lodo con importancia fundamental en las operaciones de perforación o completación.

Para que la filtración pueda ocurrir, tres condiciones son necesarias:

- Debe haber un líquido o un fluido líquido/lechada de sólidos.
- Debe haber un medio permeable.
- La presión del fluido debe ser más alta que la presión del medio permeable.

Durante la perforación, se hace circular un fluido a través del pozo. Se perforan zonas permeables como las areniscas y se mantiene generalmente la presión hidrostática de la columna de lodo a una presión superior a la presión poral.

Una vez que estas condiciones se han satisfecho, una torta de sólidos de lodo se acumula sobre las formaciones permeables. Mientras tanto, la fase líquida del lodo, es decir el filtrado, fluirá a través de la torta y dentro de la formación. El espesor de la torta y la profundidad de invasión de filtrado son controlados por la concentración de sólidos, la presión diferencial, la permeabilidad de la torta y el tiempo de exposición. Durante la exposición inicial de una formación permeable a un fluido de perforación, cuando los sólidos del lodo están formando una torta de baja permeabilidad en el pozo, se produce una alta tasa de filtración y los sólidos finos del lodo invaden la formación. Esta alta tasa de filtración inicial se llama pérdida instantánea.

Existen dos tipos de filtración estática y dinámica. La estática ocurre cuando el fluido no está en movimiento, mientras que la dinámica ocurre cuando el lodo fluye a lo largo de la superficie filtrante.

Durante el proceso de filtración estática, la torta aumenta de espesor con el tiempo y la velocidad de filtración disminuye por lo que el control de este tipo de filtración consiste en prevenir la formación de tortas muy gruesas. Por otro lado la filtración dinámica se diferencia de la anterior en que el flujo de lodo a medida que pasa por la pared del pozo tiende a raspar la torta a la vez que el mismo, hasta que el grosor se estabiliza con el tiempo y la velocidad de filtración se vuelve constante,

por lo que el control de este tipo de filtración consiste en prevenir una pérdida excesiva de filtrado a la formación.

Los problemas potenciales relacionados con las tortas gruesas y la filtración excesiva incluyen las condiciones de pozo reducido, el aumento del torque y arrastre, tuberías pegadas, la pérdida de circulación la calidad inferior de los registros y daños a la formación.

Problemas potenciales relacionados con el espesor excesivo de la torta:

- Puntos apretados en el pozo que casan un arrastre excesivo.
- Mayor suabeo y pistoneo debido a la reducción del espacio anular libre.
- Pega por presión diferencial de la columna de perforación debido a la mayor superficie en contacto y al desarrollo rápido de las fuerzas de adhesión causado por la tasa de filtración más alta.
- Dificultades con la cementación primaria debido al desplazamiento inadecuado de la torta.
- Mayor dificultad para bajar el revestidor.

Problemas potenciales relacionados con la invasión excesiva de filtrado:

- Daños a la formación causados por la invasión de filtrado y sólidos, los daños pueden consistir en precipitación de compuestos insolubles, cambios de humectabilidad, cambios de permeabilidad relativa con respecto al aceite o al gas, taponamiento de la formación por finos o sólidos, y el hinchamiento de las arcillas in situ.
- Prueba inválida del muestreo del fluido de la formación, pueden dar resultados que se refieren al filtrado y no a los fluidos del yacimiento.
- Dificultades en la evaluación de la formación causadas por la invasión excesiva de filtrado.
- Las zonas de aceite y gas pueden ser desapercibidas por que el filtrado esta desplazando a los hidrocarburos alejándolos del pozo.

- Problemas con lutitas y la inestabilidad del hueco.<sup>5</sup>

### 1.6.1 Factores que afectan el filtrado y la formación de la torta.

La pérdida de filtrado es inferior cuando la permeabilidad de la torta es más baja, la superficie es más pequeña y la presión diferencial es más baja. La filtración también disminuye cuando la viscosidad del filtrado y el espesor de la torta aumentan, siempre que la torta más gruesa tenga la misma permeabilidad.

**TIEMPO:** Cuando todas las otras condiciones son constantes (presión, superficie, viscosidad, permeabilidad) la tasa de filtración y la velocidad de crecimiento de la torta disminuyen progresivamente con el tiempo.

**PRESION:** La torta está relacionada directamente con la presión, ya que está sujeto a la compresibilidad y a la continua deposición de material, por lo tanto cambia tanto en porosidad como en permeabilidad. Al ocurrir un aumento de presión las partículas se ven forzadas a comprimirse disminuyendo así la permeabilidad, lo que indicaría que de igual manera disminuirá la cantidad de filtrado obtenido.

**PERMEABILIDAD DE LA TORTA:** El tamaño, la forma y la habilidad de las partículas de deformarse bajo presión son factores de gran influencia para la permeabilidad de la torta. Partículas planas y grandes se prefieren sobre partículas esféricas, irregulares y pequeñas, ya que estas ofrecen una menor permeabilidad de la torta debido a su mejor empaquetamiento, a medida que el grado de hidratación de las partículas aumenta la permeabilidad disminuye.

En la práctica la permeabilidad de la torta filtrante es función de la porosidad, la forma de la partícula y el empaquetamiento, el tamaño de la partícula y la

---

<sup>5</sup> M.I. swaco- engineering Drilling Fluid Manual

distribución, la tasa de flujo a la que la torta fue formada, la concentración del chorro siendo filtrando, etc.

**TEMPERATURA:** Un aumento de temperatura repercutirá en un aumento en las tasas de filtración, ya que disminuirá la viscosidad del lodo lo cual se convertirá en un aumento de la pérdida de fluidos si y solo si los otros factores permanecen constantes.

**DISPERSIÓN:** Es necesaria una apropiada dispersión de las arcillas en forma coloidal en el lodo, cuando las partículas se encuentran bien dispersas, se alcanza unas muy buenas características de filtración, en un lodo floculado el filtrado fácilmente pasa entre los agregados del lodo resultando en una mayor cantidad de fluido perdido.

**FORMACIÓN DE LA TORTA:** Para que se forme un torta, es esencial que el lodo contenga algunas partículas cuyo tamaño sea ligeramente menor que el de los poros de la formación.

Estas partículas, que son conocidas como “partículas formadoras de puentes”, son atrapadas en la superficie de los poros, mientras que las partículas más finas son, en principio, transportadas a una mayor profundidad en el interior de la formación; su nombre se debe al hecho de que ellas se agrupan en el interior del poro formando una estructura estable, semejante al arco de un puente. El paso de las partículas más pequeñas se impide, progresivamente, a medida que los puentes se forman; cuando los espacios libres existentes entre las partículas que forman los puentes son lo suficientemente pequeños, solamente ocurre el paso de líquido hacia la formación, y todas las partículas sólidas son retenidas, formando la torta. La suspensión de partículas finas que ingresa a la formación antes y durante el establecimiento de los puentes se conoce como el “chorro de lodo (“mud spurt”); el líquido que entra posterior a la formación de los puentes es el filtrado.

En la perforación de pozos, el “chorro de lodo” puede ser considerable (llegando incluso a perderse la circulación del lodo en el hoyo), a menos que el lodo contenga partículas del tamaño requerido para formar los puentes en los poros de la formación, y así establecer una base sobre la cual la torta se pueda formar. Solo partículas de un tamaño determinado relativo al tamaño del poro pueden formar puentes. Partículas más grandes que la abertura del poro no pueden entrar en el mismo, y son arrastradas por la corriente de lodo; partículas considerablemente más pequeñas que la abertura del poro invaden a la formación expuesta; pero las partículas de un cierto tamaño crítico se introducen en las estrechuras de los canales de flujo y forman un puente justo en el interior de los poros. Una vez que se establece el primer puente, sucesivamente las partículas más pequeñas son atrapadas y después sólo líquido filtrado invade a la formación. El período de chorro de lodo es muy breve, cosa de un segundo o dos a lo sumo.<sup>6</sup>

## **1.7 QUIMICA DE LOS POLIMEROS**

Un polímero es una molécula de gran tamaño que se compone de pequeñas unidades repetidas idénticas llamados monómeros. Los polímeros pueden tener pesos moleculares de varios millones o pueden componerse simplemente de algunas unidades repetidas. Son coloides orgánicos de cadena larga que se usan como viscosificantes, controladores de filtrado, adelgazantes, o como encapsulantes de sólidos de perforación.

### **1.7.1 Estructura de los polímeros**

Estructuralmente un polímero puede ser lineal, ramificado o entrecruzado (ver **figura 1**). Las propiedades de los polímeros pueden variar considerablemente dependiendo de si existen o no ramificaciones y de la longitud de las mismas.

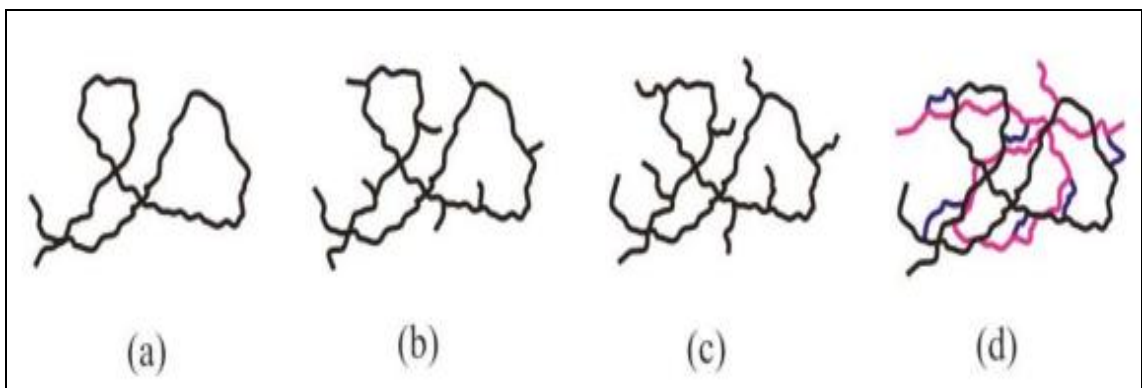
---

<sup>6</sup>SORRENTINO, José. Estudio de la formación de tortas de fluidos de perforación con sólidos de distintas granulometrías. Laboratorio de Separaciones Mecánicas, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1998

Algunas de las posibilidades estructurales que afectan el rendimiento de los polímeros están enumeradas a continuación.

- Tipo de monómero o monómeros.
- Peso molecular.
- Tipo y alcance de la modificación subsiguiente en el polímero.
- Número de grupos de ramificación o entrecruzamiento en la cadena del polímero.

**Figura 1.** Estructura de los Polímeros.



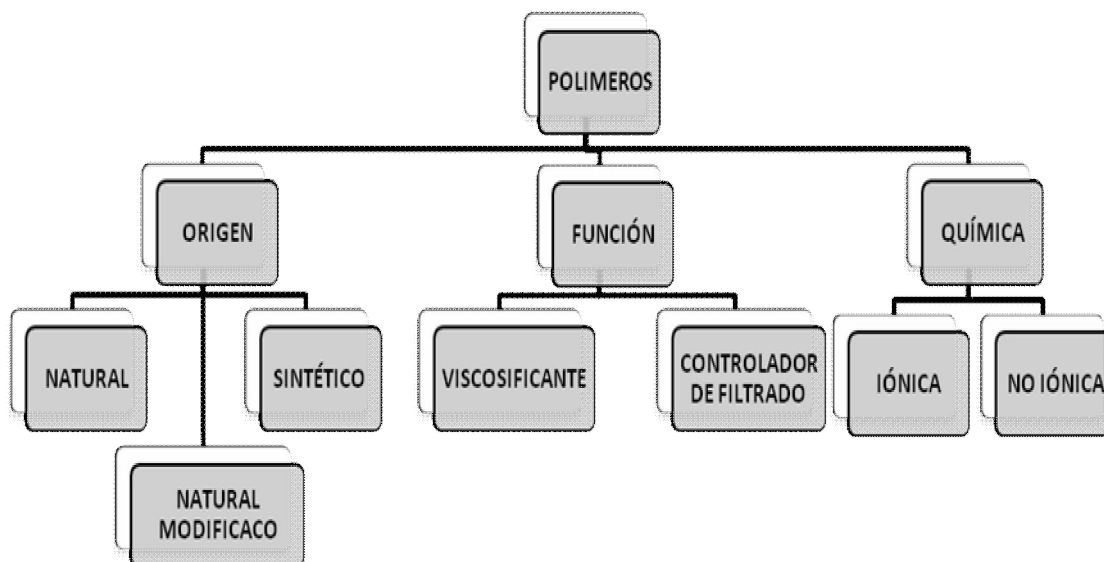
Polímero lineal sin ramificaciones (a) con ramificaciones cortas (b) con ramificaciones largas (c) y polímero entrecruzado (d)

**Fuente.** <http://iq.ua.es/TPO/Tema1.pdf>

### 1.7.2 Clasificación de los polímeros.

Los polímeros usados en los fluidos de perforación pueden ser clasificados de tres maneras. Se pueden clasificar de acuerdo a su química, de conformidad con su función, o simplemente de acuerdo con su origen (**Figura 2**).

**Figura 2.** Clasificación de los polímeros.



**Fuente.** Autores.

#### 1.7.2.1 Según su origen.

**NATURALES:** Son polímeros producidos por la naturaleza, sin la intervención humana. Son ampliamente usados por razones económicas. Tienen estructuras más complejas que los polímeros sintéticos, y en general también tienen pesos moleculares más altos. Son polímeros complejos, generalmente son hidrocicloides, es decir, no forman una solución verdadera, en vez de solubilizarse en el agua se hidratan e hinchan. Sus propiedades coloidales no son bien conocidas o entendidas.

## ALMIDÓN<sup>7</sup>

El almidón es un polímero natural que proviene de una variedad de plantas y semillas. El principal inconveniente del uso de almidones es su tendencia fermentar, los almidones son materiales naturales biodegradables que deben ser conservados con un biocida cuando son utilizados en los fluidos de perforación.

El almidón está compuesto fundamentalmente por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Los gránulos también contienen trazas de otros constituyentes como lípidos polares, nitrógeno y fósforo, en forma de fosfolípidos, que, en muchas ocasiones, juegan un rol importante en las propiedades funcionales del almidón. La relación amilosa/amilopectina y su organización física dentro de la estructura granular, le confieren a los almidones propiedades fisicoquímicas y funcionales características<sup>8</sup>.

La amilosa (**Figura 3**) se compone principalmente de cadenas de restos de  $\alpha$ -Dglucopiranosilo unidas por enlaces  $\alpha$ -(1→4). Aunque se admite que se trata de un polímero lineal, existe una pequeña proporción de ramificaciones por enlaces  $\alpha$ -(1→6)<sup>9</sup>. El tamaño molecular varía entre  $1 \times 10^5$  y  $1 \times 10^6$  Da y puede contener entre 500 y 6000 unidades de glucosa. La naturaleza lineal y de gran longitud le confieren a la amilosa algunas propiedades únicas, como por ejemplo su capacidad para formar complejos con yodo, alcoholes o ácidos orgánicos y su tendencia a asociarse consigo misma, precipitando de la solución. Cuando se enfría, la amilosa presenta una fuerte tendencia a la retrogradación, donde cristaliza formando geles de almidón, aumentando así la viscosidad de la solución.

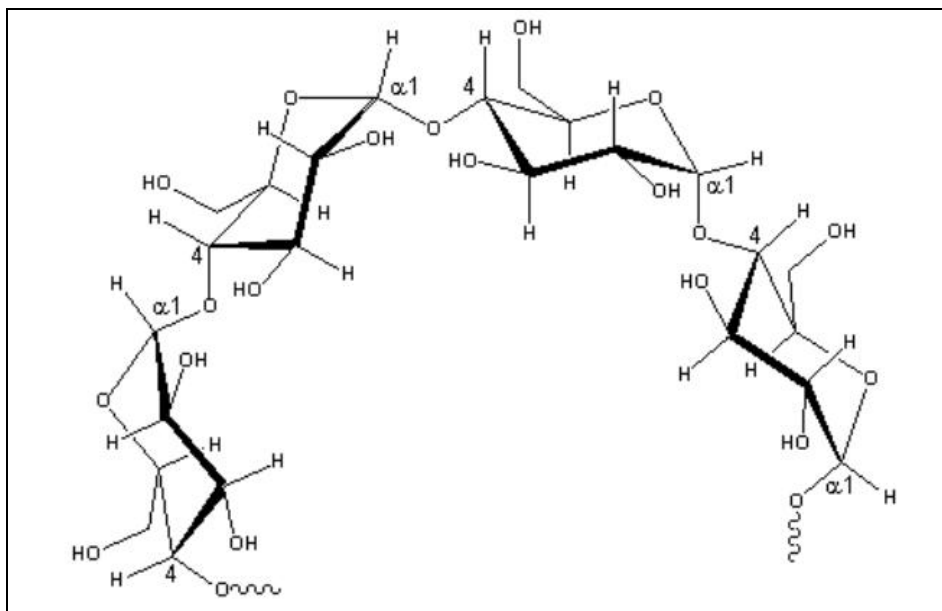
---

<sup>7</sup> López, Olivia Valeria, Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón. - 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2012. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento\\_completo.pdf?sequence=3](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento_completo.pdf?sequence=3).

<sup>8</sup> Bello-Pérez, 1985

<sup>9</sup> Thomas y Atwell, 1999

**Figura 3.** Estructura química de la Amilosa.



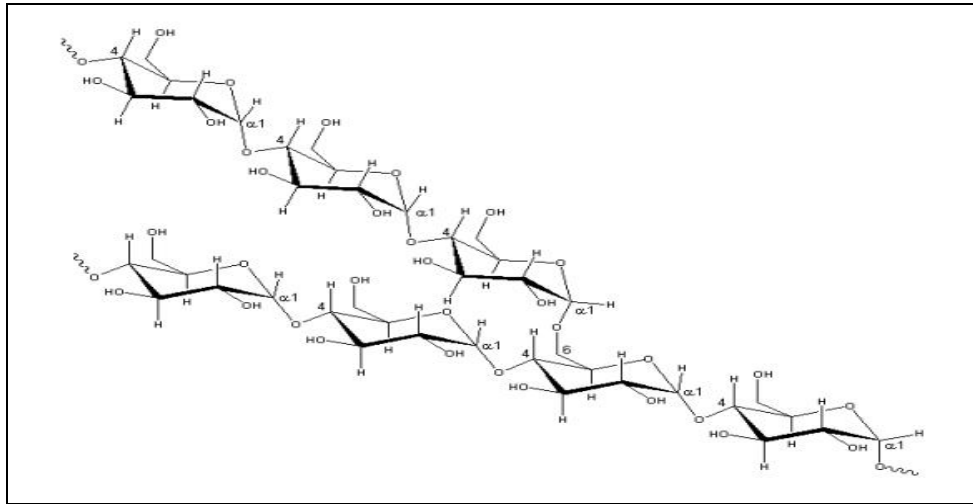
**Fuente.** [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento\\_completo.pdf?sequence=3](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento_completo.pdf?sequence=3)

La amilopectina (**Figura 4**) está formada por  $\alpha$ -D-glucosa, concatenada fundamentalmente por enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 4). Está mucho más ramificada que la amilosa, con un 4-5% de enlaces  $\alpha$ -(1 $\rightarrow$ 6). Se encuentra en una proporción de 70-80% y en ciertos casos alcanza niveles de hasta 98-99%, dependiendo de la Fuente botánica del almidón. Su estructura y proporción en el almidón contribuyen notablemente a las propiedades funcionales del mismo<sup>10</sup>. El peso molecular es del orden de  $10^8$  Da, con aproximadamente 600000 restos de glucosa y se encuentra ramificada al azar. Posee una alta viscosidad intrínseca debido a su estructura ramificada y su alto peso molecular. Por calentamiento en agua, proporciona soluciones claras y de alta viscosidad, que son además filamentosas y cohesivas. Sus soluciones no tienen casi tendencia a la retrogradación,

<sup>10</sup> Bello-Pérez y col., 2002

tampoco presentan envejecimiento ni formación de gel, aunque la concentración de las mismas sea muy elevada.

**Figura 4.** Estructura química de la amilopectina.



**Fuente.** [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento\\_completo.pdf?sequence=3](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento_completo.pdf?sequence=3)

**MODIFICADOS:** Son polímeros afectados químicamente con el fin de mejorar su tolerancia a las sales, su solubilidad y estabilidad térmica. La celulosa y el almidón son dos polímeros naturales usados frecuentemente para producir polímeros naturales modificados. Los HEC son un buen ejemplo de este grupo, son polímeros no iónicos, ideales para viscosificar salmueras. Poseen excelentes propiedades tixotrópicas y de adelgazamiento, pero carece de punto cedente y fuerza gel.

**SINTÉTICOS:** Los polímeros sintéticos son sintetizados químicamente, generalmente a partir de productos derivados del petróleo. A diferencia de los polímeros naturales y naturales modificados, los polímeros sintéticos son “desarrollados” a partir de moléculas relativamente más pequeñas. Se puede

manipular su tamaño y su composición para producir las propiedades requeridas prácticamente para cualquier función.

#### 1.7.2.1 Según su función

**VICOSIDAD:** La capacidad de un polímero para desarrollar viscosidad depende de los siguientes factores.

- Del requerimiento de agua, el cual es controlado por el tipo y cantidad de grupos funcionales.
- Del tamaño de la partícula, que depende del peso molecular del polímero. Las partículas más grandes desarrollan viscosidad rápidamente.
- Del tipo de ramificación. Si es demasiado ramificado se decanta sin producir viscosidad.
- De la capacidad para encontrar agua libre en la solución. Si el polímero no tiene la habilidad de encontrar agua, no se hidrata.<sup>11</sup>

Los polímeros no iónicos funcionan por hidratación e hinchamiento, desarrollando viscosidad y control de filtrado, mientras que los polímeros aniónicos, tales como CMC, PAC y extendedores de bentonita, funcionan por adsorción sobre los enlaces positivos de las partículas de arcilla, formando una red. Son muy buenos viscosificantes cuando existe baja concentración de sólidos en el sistema.

**FILTRADO:** Los polímeros son los productos de control de filtración más usados en los lodos base agua. Pueden variar de almidones naturales y celulosa modificada a polímeros sintéticos complicados, capaces de proporcionar el control de filtración a temperaturas elevadas y en condiciones adversas. Estos polímeros a veces se clasifican según su acción dentro de un sistema de lodo, así como también según su composición química. La clasificación basada en la acción

---

<sup>11</sup> REYES GONZALES BEATRIZ ELENA, BOADA MUÑOZ MARIA JOSE; evaluación de la concentración de amina como inhibidor en el fluido de perforación utilizado en hoyos superficiales en pozos del campo santa rosa del distrito gas anaco; Universidad del Oriente, Venezuela.

depende de si el polímero se adsorbe en los sólidos o viscosifica la fase fluida, para proporcionar el control de filtrado.

Los polímeros reducen la pérdida de filtrado de varias maneras:

- Sellando las aberturas de la torta con partículas de polímeros.
- Encapsulando los sólidos mediante la formación de un revestimiento o una película deformable más grande que reduce la permeabilidad de la torta.
- Mediante la viscosificación de la fase líquida
- Al partirse las partículas de arcilla, el polímero se adhiere a las cargas positivas de los bordes expuestos. Así los polímeros aumentan la viscosidad de la fase acuosa, reduciendo la invasión de fluido, lo que ayuda a controlar el hinchamiento y dispersión de las lutitas sensibles al agua.

Los almidones han sido utilizados para controlar la filtración en los fluidos de perforación desde los años 30. Los almidones más económicos y más utilizados son los preparados a partir de maíz y papas, pero también se pueden obtener a partir de otros productos.

La mayor parte del almidón usado en el control de filtrado es sometido a un proceso de calentamiento y posterior secado llamado “pregelatinización” donde se busca romper la capa de amilopectina liberando así la Amilosa, la cual absorbe el agua y se hincha para formar bolsas esponjosas. La amilosa causa una disminución de la filtración mediante la reducción de la cantidad de agua libre en el sistema y la obturación de los poros de la torta.

El rendimiento de estos almidones no debería verse afectado por el pH, la salinidad, la dureza o temperaturas inferiores a 250°F.

## 1.8 QUÍMICA DE LAS ARCILLAS

Las arcillas físicamente son consideradas como un coloide de partículas pequeñas y de superficie lisa. En la naturaleza las arcillas existen como estructuras en capas o apiladas. En el agua natural, las capas absorben agua y se hinchan a tal punto que las fuerzas que las mantienen juntas se debilitan y las capas individuales pueden separarse en paquetes fenómeno que es conocido como dispersión, que junto con el aumento con el área de superficie provoca un aumento en la viscosidad, de igual manera la sobre posición de las capas provocara el efecto llamado “en capas (escalonado)” tan importante para el control de perdida de filtrado.<sup>12</sup>

Algunas de las propiedades que frecuentemente se determinan para determinar mejor los minerales de arcilla, así como para minimizar los problemas de perforación son:

- Capacidad de intercambio de catión (CEC).
- Hidratación
- Área superficial.

**CAPACIDAD D EINTERCAMBIO DE CATION:** Los cationes de compensación, adsorbidos en la superficie de la capa de la unidad, pueden ser intercambiados por otros cationes y son conocidos como los cationes intercambiables de la arcilla. La prueba de azul de metileno (MBT) es el indicador del CEC aparente de una arcilla, cuando esta prueba se corre en un fluido de perforación, se mide la capacidad de intercambio de todos los minerales de arcilla presentes en el fluido. Este procedimiento reporta la cantidad de azul de metileno como la cantidad

---

<sup>12</sup> INSTITUTO AMERICANO DEL PETROLEO API, Manual De fluidos de perforación.

equivalente de bentonita de Wyoming requerida para obtener esta misma capacidad.

### **1.8.1 Hidratación de las arcillas.**

El cristal de la bentonita está formado por tres capas: una de alúmina con una de sílice encima y otra debajo, de acuerdo a la significativa de cationes que posea será llamada montmorillonita de calcio y montmorillonita de sodio.

Dependiendo de los cationes presentes el espaciamiento entre capas varía 9.8 Å (sodio) y 12.1 Å (calcio) y llenado con agua enlazada estrechamente. Cuando la arcilla seca contacta el agua natural, el espacio inter capas se expande, y la arcilla adsorbe una gran cantidad de agua, estos dos fenómenos permiten a la arcilla generar viscosidad. Las bentonitas con base calcio solo se expanden a 17 Å, mientras que la bentonita de sodio se expande a 40 Å. (Amginstroms)

Debido a que la bentonita de sodio se hincha cuatro veces más que la bentonita de calcio genera cuatro veces más viscosidad.

Existen gran variedad de minerales de arcillas pero aquellos que están involucrados en los fluidos de perforación se clasifican en tres tipos:

- **ATAPULGUITA O SEPIOLITA:** Arcillas en forma de aguja que no se hinchan, debido a su tamaño y forma fabrica una estructura de “escobilla” en suspensión y por tanto exhibe alta estabilidad coloidal aun en presencia de electrolito, por esta característica su falta de hinchazón. Son deficientes controladores de filtrado y se utilizan para viscosificar algunos lodos en agua salada.
- **ILITA, CLORITA Y KAOLITA:** ligeramente hinchables con forma de placas.
- **MONTMORILLONITA:** Altamente hinchables, con forma de placa. La montmorillonita de sodio (Bentonita) es añadida a un lodo para aumentar la viscosidad y reducir la pérdida de fluido.

## 2. ACHIRA O SAGÚ (*Canna edulis*)

### 2.1 TAXONOMIA

Taxonómicamente la Achira o sagú pertenece al orden de las Escitamióides, familia Cannaceae, en la cual se han descrito más de 100 especies. Las Cannas son cultivadas como flores predilectas de jardín y algunas especies como la *Cannaedulis* para la obtención de almidón. Esta especie tiene los siguientes sinónimos *Cannarubicaulis* Link, *Cannaesculenta* Lodd. *Canna indica* Ruiz<sup>13</sup>.

**Figura 5.** Planta de Achira (*cannaedulis* Ker)



**Fuente:** CAICEDO D., Guillermo E. y otros, La Achira: alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina, CORPOICA, 2003

---

<sup>13</sup> CAICEDO, GUILLERMO, El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor Disponible en: [http://cipotato.org/artc/Series/06\\_PDF\\_RTAs\\_Capacitacion/11\\_El\\_cultivo\\_achira\\_alternat\\_produc.pdf](http://cipotato.org/artc/Series/06_PDF_RTAs_Capacitacion/11_El_cultivo_achira_alternat_produc.pdf) consultado el 10 de enero de 2012 20:12

La **Tabla 1** presenta la clasificación taxonómica de la achira o sagú<sup>14</sup>

**Tabla 1.** Clasificación Taxonómica de la Achira

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA	
REINO	Vegetal
ORDEN	Scitamidales
CLASE	Monocotiledoneas
DIVISIÓN	Angiospermae
SUBREINO	Fanerogamas
FAMILIA	Cannaceae
GÉNERO	Canna
ESPECIE	Cannaedulis, Ker

Fuente: Corporación Colombiana de investigación agropecuaria CORPOICA (Modificada)

### 2.1.1 Dispersión geográfica

La especie de achira para la extracción de almidón se desarrolla principalmente en las regiones tropicales y subtropicales de todo el mundo. Se reportan cultivos en el continente asiático como en Vietnam (30.000 has.), Tailandia e India; en Oceanía como en Australia y Polinesia; en el Congo Belga de África, y en la América tropical se cultiva en Perú, Ecuador, Bolivia, Brasil, Venezuela y Colombia.<sup>15</sup>

## 2.2 MORFOLOGIA DE LA PLANTA

La planta de achira esta formada por el sistema radical, los rizomas, el tallo, el sistema foliar y la inflorescencia que da origen a la semilla

---

<sup>14</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA; Programa Nacional de Transferencia de Tecnología, PRONATTA. El Almidón de Achira o Sagú (Cannaedulis, Ker) Manual Técnico para su Elaboración Disponible en: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/Almidon%20de%20achira%20o%20sagu.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Almidon%20de%20achira%20o%20sagu.pdf) consultado el 10 de enero de 2012 21:06

<sup>15</sup> *Ibíd.* 2

### 2.2.1 Sistema radical

El sistema radical esta conformado por raíces de características adventicias, fasciculadas, fibrosas, blancas y cilíndricas, que generalmente salen de la parte inferior del rizoma en forma irregular, su emergencia en la superficie del rizoma no se ajusta a ningún patrón especial de distribución y lo hacen generalmente en grupos de 2 o individualmente. Estas raíces consideradas primarias, dan origen a raíces laterales, secundarias y terciarias. Su color es blanco cremoso a pardo amarillento.

### 2.2.2 Rizomas y sus yemas

Los rizomas son abundantes, esféricos o en forma de trompo, con la base más ancha, miden de 15 cm de largo por 3 a 12 cm de ancho. En la superficie presentan surcos transversales que marcan la base de las escamas que lo cubren. De la parte inferior salen raicillas blancas y cilíndricas, del ápice las hojas y el vástago floral.

**Figura 6.** Rizomas de achira o sagú.



**Fuente:** CAICEDO D., Guillermo E. y otros, La Achira: alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina, CORPOICA, 2003.

### **2.2.3 Tallo**

Las Cannáceas tienen tallos erguidos, simples y rizomas gruesos ricos en almidón. Los tallos miden entre 0.41 y 1.77 m. de altura, se reportan plantas con tallos de 2.5 a 3.0 m. de altura, los cuales están cubiertos por las vainas envolventes de las hojas, poseen entrenudos cortos o largos de donde salen las hojas de color verde o morado, en su extremo superior sale el racimo floral.

### **2.2.4 Sistema foliar**

Sus hojas son alternas con pecíolos envainados y amplexicables sin lígula, las vainas son envolventes y cubren totalmente el tallo.

### **2.2.5 Inflorescencia**

Inflorescencia en espiga terminal, racimos y panículas irregulares, periandro compuesto por tres sépalos libres, angostos y agudos, verdes y a veces coralinos; tres pétalos más o menos unidos parecidos a los sépalos, angostos y agudos, generalmente coloreados, más largos que los sépalos y alternadamente con ellos, uno más corto que los otros. Estambres estériles más o menos petaloides, estaminodios que representan las partes más vistosas de la flor, por lo general cinco.

## **2.3 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS**

La achira o sagú requiere áreas libres de heladas durante el período de maduración de los rizomas; los máximos rendimientos se han obtenido en sitios donde los días y las noches tienen periodos cortos de variación de temperatura, entre los 21 y 23° C. En términos generales, la planta se puede desarrollar desde los 9 hasta los 30-32° C (36), y desde el nivel del mar hasta los 2.700 metros de altura.

En cuanto a precipitación, requiere de lluvias moderadas y bien distribuidas; resiste períodos de sequía; la excesiva humedad causa un desarrollo anormal del follaje y de los rizomas, presentándose pudrición general de la planta. El requerimiento de agua durante el periodo vegetativo es de 800 a 1 120 mm bien distribuidos.<sup>16</sup>

### **2.3.1 Suelos**

La planta se desarrolla en una amplia gama de suelos, su mejor comportamiento se ha obtenido en suelos sueltos, francos, franco arenoso o franco limosos, ricos en materia orgánica, no resiste encharcamientos prolongados, tolera la acidez y crece en pH de 4.5 a 7.5, su mejor comportamiento se observa en pH de 5.0 a 6.5.<sup>17</sup>

### **2.3.2 Establecimiento del cultivo**

Las variedades cultivadas en Colombia que han mostrado buen potencial de rendimiento para la producción de almidón son: Nativa (Altamira II.), Verde o Lisa (Cáqueza. C.), Roja (Pasto. N.), Morada de San Agustín (H), Raizuda (Cáqueza. C.), Extranjera (Cáqueza. C.), y Blanca de Pasto (N).<sup>18</sup>

**Selección de semilla.** Se utilizan como material de propagación los rizomas jóvenes o parte de ellos con yemas funcionales, de porte medio o grande del cultivar seleccionado para la región; libres de plagas y enfermedades, provenientes de plantas sanas de buen desarrollo y rendimiento.

**Preparación de la semilla para la siembra.** A los rizomas seleccionados para semilla, se les corta las raicillas secas y la parte del rizoma donde hay mayor concentración de almidón por ser de mayor edad fisiológica, luego se hace un

---

<sup>16</sup> Ibíd. 2

<sup>17</sup> Ibíd. 3

<sup>18</sup> Ibíd. 1

corte en el bisel de la yema apical a 2 cm por encima del punto de crecimiento. Es necesario establecer semilleros que se pueden cosechar de los 3 a los 5 meses para obtener la mayor cantidad de rizomas. El manejo agronómico del semillero es el mismo que el descrito para el cultivo.

**Manejo del cultivo - selección y preparación del terreno.** El terreno donde se establece el cultivo idealmente debe ser de topografía plana o de ligera pendiente, de suelo suelto, profundo, rico en materia orgánica que haya sido analizado con la debida anticipación. El trazado y ahoyado se realiza estableciendo surcos perpendiculares a la pendiente y se abren hoyos de 15 a 20 cm de profundidad, 15 cm de ancho y 15 cm de largo, conservando distancias de 1.0 m x 0.5 a 0.75 m. dependiendo del tamaño de la variedad seleccionada.

**Siembra y fertilización.** La fertilización depende de los resultados del análisis del suelo, en términos generales se recomienda el uso de abonos orgánicos al momento de la siembra, aplicándolo en el fondo del hoyo mezclado con la tierra y posteriormente se procede a sembrar los rizomas a 10 cm por debajo del nivel del suelo, cubriéndolos totalmente con tierra.

**Manejo de maleza y aporque.** El periodo más crítico de competencia entre la achira y las malezas ocurre en los primeros 15 días, dependiendo de las condiciones agroecológicas. El manejo se hace de manera integral, por control manual, mecánico y cultural. Este último se hace empleando las prácticas recomendadas de: preparación de suelo, sistema y distancia de siembra, semilla de buena calidad, selección del lote y fertilización. El control manual se realiza con pala o azadón, deshierbando las calles y aporcando las plantas a los 30 días de la germinación y a los 90 días se realiza en las calles otro control con machete. Si las condiciones de desarrollo del cultivo son normales, después de 3 a 4 meses de la germinación el propio cultivo controla la emisión de malezas.

### **2.3.3 Cosecha**

La labor de cosecha se realiza manualmente arrancando la planta con pala o barretón, se sacude para desprender la tierra, se hace luego el corte por la base de los tallos para separar los rizomas, se limpia de tierra y material seco y se empacan para el traslado a la planta procesadora. Las hojas y tallos pueden ser usados como forraje, contienen aproximadamente el 10 % de proteína. Los rizomas para la extracción de almidón deben ser procesados tan pronto sean cosechados, El rendimiento de los rizomas varía considerablemente de acuerdo a la duración del periodo de crecimiento y condiciones de clima y suelo.

## **2.4 PRODUCCIÓN DE ACHIRA EN COLOMBIA.**

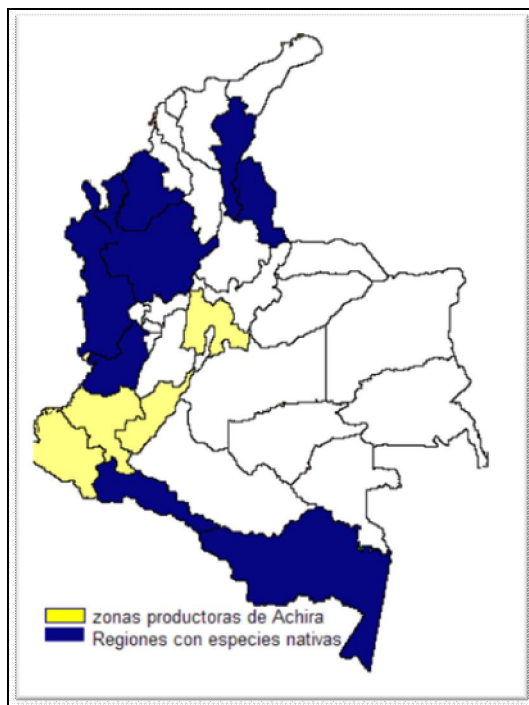
La achira, también conocida como sagú, es una planta de origen andino que esencialmente se cultiva para la extracción del almidón de sus rizomas, En Colombia es un cultivo con fines comerciales en el oriente de Cundinamarca, provincia de Cáqueza, en el departamento de Nariño, Cauca y Huila, hay cultivos o desarrollo de especies en menor escala y en estado silvestre en la costa Atlántica, en límites con Venezuela, Norte de Santander, Valle del Cauca, Putumayo, Córdoba, Amazonas y Choco<sup>19</sup>.

De acuerdo con estudios realizados por la corporación colombiana de investigación Agropecuaria CORPOICA, en la actividad de producción de almidón de Achira participan 1169 productores, que vinculan cerca de 3500 personas, y se genera una producción aproximada de 1400 toneladas anuales de almidón, en total se estima un área cultivada de 700 hectáreas cultivadas, donde el 95% de la producción tiene lugar en Cundinamarca.

---

<sup>19</sup> GARCIA BERNAL, H.R; ARIAS R, S; CAMACHO, J.H. Almidón de achira, producción y uso industrial, corpoica, Programa Nacional de Maquinaria y poscosecha. Santa Fe de Bogotá, 1998.

**Figura 7.** Regiones con especies nativas y productoras de Achira en Colombia



**Fuente:** CAICEDO D. G. E y otros, La achira: Alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina, Corpoica, Pág 22. (Modificada).

## 2.5 PROCESAMIENTO O BENEFICIO DEL ALMIDON<sup>20</sup>

Las labores de beneficio del rizoma de la achira y la obtención del almidón se resumen en la figura 4.

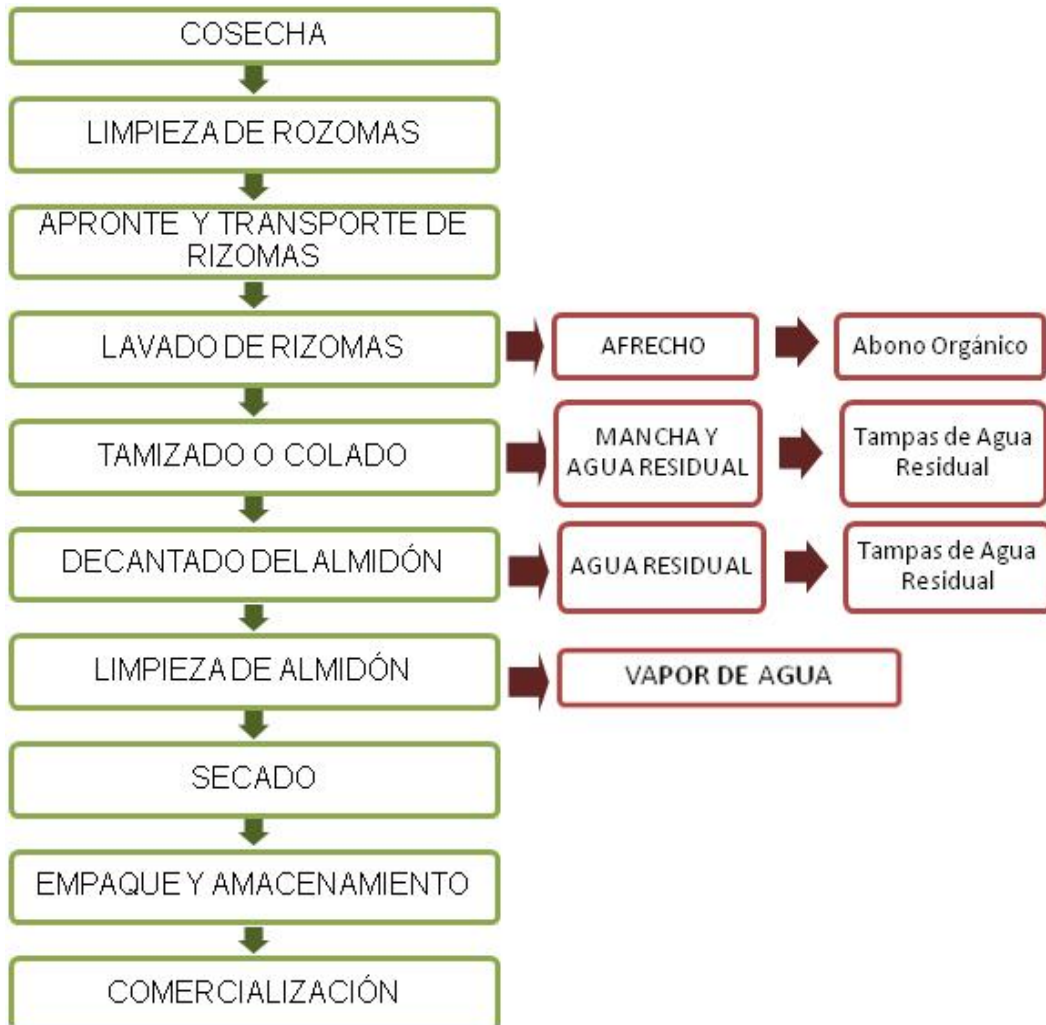
- 1. Limpieza de rizomas:** Esta actividad se hace en forma manual después de la cosecha, consiste en desprender tierra, raíces y cortar los tallos, para lo cual se utiliza machetes, peinillas, cuchillos o las herramientas de cosecha.
- 2. Empaque, apronte o transporte de rizomas:** Esta labor consiste en empacar los rizomas encostales o lonas y transportarlos al sitio de proceso o beneficio.

---

<sup>20</sup> Ibíd. 4

**3. Lavado de rizomas:** Tiene como propósito obtener el mayor grado de limpieza de los rizomas para llevarlos a la etapa de rallado.

**Figura 8.** Diagrama del proceso de extracción del almidón de Achira.



**Fuente:** RIVERA T., A.E. Almidón de achira, producción y uso industrial. Corpoica. 1998, (modificada)

Esta labor se realiza de forma manual por inmersión utilizando tanques, canecas, tambores, fondos o albercas con agua, se echan los rizomas y se agita en forma fuerte para remover las impurezas, después de 2 cambios de agua, se sacan para continuar el rallado, a nivel industrial se emplean

lavadoras mecánicas especialmente diseñadas por CORPOICA para el beneficio de la Achira<sup>21</sup>

**4. Rallado de rizomas:** Consiste en pasar los rizomas por una máquina compuesta por una tolva de alimentación, un rodillo o tambor recubierto por una lámina de acero inoxidable con una gran cantidad de púas sobresalientes, una tabla o pechero regulador de la finura del rallado y canales o conductos para el desfogue de la masa producto del rallado.

Para liberar el almidón presente en las células que conforman el rizoma, es necesario romperlas. Esto se logra por operaciones de rallado o licuado, principalmente, donde la fibra se corta rompiendo las paredes celulares de tal forma que libere el almidón.

**5. Colado y tamizado:** Es el procedimiento por el cual se separa la lechada de almidón del afrecho o fibra del rizoma. La masa producto del rallado se pasa por un tamiz manual o mecánico. se agrega agua durante todo el proceso para facilitar la salida del almidón, cuando esta labor es manual se estruja fuertemente, en el colador mecánico el movimiento rotatorio, el golpeo sistemático contra las paredes y el agua a presión facilita el colado del almidón.

**6. Decantado y desmanche:** Esta etapa del proceso tiene como objetivo separar el almidón de agua de la lechada resultante en el tamizado, se puede realizar la laboren tanques o canecas, el peso y tamaño de los gránulos de almidón de achira facilita esta labor, el tiempo para que el almidón se decante es de 15 a 30 minutos en promedio.

Durante el tiempo de sedimentación, el productor aprovecha para retirar la cachaza o mancha cuando se hace en tanques grandes.

---

<sup>21</sup> RODRIGUEZ B., Gonzalo y otros, El almidón de Achira o Sagú (*cannaedulis*, Ker), CORPOICA-PRONATTA, Tibaitatá, julio 2003.

- 7. Lavado del almidón:** Esta labor tiene como finalidad limpiar y quitar la denominada mancha, impurezas, residuos vegetales y tierra que aún tenga el almidón, se realiza manualmente utilizando tanques o canecas. Consiste en lavar con agua limpia el almidón, revolviéndolo completamente y se deja decantar, este procedimiento se hace las veces que sea necesario hasta que el almidón esté completamente limpio. Se requiere un promedio de 4 a 7 lavadas dependiendo del cultivar y la calidad del agua.
- 8. Secado:** su finalidad es eliminar parte de la humedad del almidón, generalmente se realiza a libre exposición con los rayos solares lo cual favorece que el almidón tenga un mejor color.
- 9. Almacenamiento:** El almidón seco, preferiblemente se empaca en sacos de lona de 50 kilogramos, para su comercialización o almacenamiento. La calidad del almidón, define su precio y comercialización oportuna, por la demanda de almidón de alta pureza y bien secado, esto depende del proceso, del número de lavadas, la calidad del agua y del cultivar de donde proviene la materia prima.

El almidón debe ser empacado en bolsas de polipropileno u otro material que le permita la conservación o manipulación del producto hasta su destino final.

## **2.6 ALMIDÓN DE ACHIRA**

En la naturaleza existen al menos tres tipos de almidones, los gránulos están constituidos por amilasa y amilopectina, pero la forma en que estas cadenas se asocian en una estructura supramolecular para conformar el gránulo, varía el grado de cristalinidad y forma en que estas moléculas se asocian determina patrones de difracción de rayos X distintos. Los patrones naturales de los almidones son el patrón tipo A, patrón tipo B y patrón tipo C. El patrón tipo A es

típico de todos los cereales; los almidón es aislados de tubérculos, típicamente la achira, la papa y banano tienen un patrón tipo B. El tipo B condiciona al almidón a una susceptibilidad de degradación por enzimas mucho más limitada que en el caso tipo A; el almidón de achira por naturaleza resiste al ataque enzimático<sup>22</sup>,

La achira es una de las plantas que produce mayor rendimiento de almidón profundidad de superficie, el rendimiento varía con la edad de los rizomas.

El almidón de achira es de forma ovoide, de gran tamaño, de apariencia transparente y sin coloración propia. Dentro de la diversidad de almidones, el de achira se identifica con mayor facilidad por su considerable rapidez de sedimentación, proporcionada principalmente, por el mayor diámetro de partícula.

**Tabla 2.** Composición química del almidón de Achira.

COMPONENTES	%
Almidón	71,1 – 81,3
Humedad	13,6 – 23,4
Proteína	0,18 – 0,71
Grasas	0,048 – 0,09
Cenizas	0,17 – 0,4
Fibras	0,0023 – 0,0053

Fuente: DIAS G. E., "La achira" alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina, 2003.

### 2.6.1 Calidad del almidón de achira

Está determinada por sus características generales, tamaño del grano, grosor y ausencia de manchas e impurezas, puede detectarse inspeccionándolo. No obstante, el mejor modo de medir el valor comercial del almidón es el estudio de

<sup>22</sup>Digestibilidad de almidones nativos y modificados, aislados de Fuentes no convencionales cultivadas en Venezuela. Responsable: Juscelino Tovar, 1993.

las propiedades más específicas, como contenido de humedad, acidez, contenido de proteínas, capacidad de absorción de agua, grado de granulación y color.

El almidón de achira, limpio y puro, obtenido de un proceso de extracción y comercializado sin adición de materias similares y/ o mejoradores, debe presentar como características físicas: color blanco grisáceo, olor y sabor neutro, textura polvosa; y su composición debe ser: contenido de almidón de 71,1-81,3%, humedad 13,6-23,4%, proteína 0,18-0,71%, grasa 0,048-0,09%, cenizas 0,17-0,4%, fibra 0,0023-0,0053%.

Los parámetros indicadores de la pureza y calidad del almidón de achira están representados por tiempo de sedimentación 6,2-16,5 minutos, tamaño de partícula 100 a 300 micras, densidad 0,63 -0,71 g/cm<sup>3</sup>, pH 5,5 - 6,2.

**Figura 9.** Almidón de Achira o Sagú.



**Fuente.** Autores.

Las impurezas que contiene el almidón de achira se clasifican en:

- Impurezas de origen físico: Conformadas por tierra y arena provenientes del cultivo del rizoma. Por conteo al microscopio estas no deben sobrepasar el 10 % del total del almidón.
- Impurezas de origen químico: Pigmentación presente en el tejido vegetal.
- Color: Respuesta blanca en el análisis frente a un foto colorímetro.
- Contenido de humedad: el almidón se debe comercializar con humedad inferior al 15%.
- Mezclas de otros almidones de menor precio: Mediante pruebas de sedimentación se puede establecer las mezclas de otros almidones, ya que el de achira decanta de manera casi instantánea mientras los otros permanecen más tiempo en solución.

### 2.6.2 Uso y aplicaciones del almidón<sup>23</sup>

El Almidón de Achira constituye una gran Fuente de materias primas para las más variadas industrias:

- **En la industria alimenticia:** El almidón de Achira es consumido como bizcochuelos, almojábana, espesantes en sopas instantáneas, coladas, en la industria de productos enlatados, en la fabrica de salsas, relleno de productos dietéticos y en la elaboración de dulces gomas y otros.
- **En la industria farmacéutica:** relleno en la elaboración de drogas en pastillas.
- **En la industria textil:** Para almidonar prendas y lograr adhesión en fibras que constituyen las telas.
- **En la industria de adhesivos y papelera:** La comunidad económica europea ha centrado su atención en el almidón de Achira debido a que no

---

<sup>23</sup>Torres, L. Raíces Andinas, Beneficio de la Achira para la obtención del almidón en Colombia, Luis Torres, Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), pág 163.

presenta toxicidad y no es obstáculo en el reciclaje del papel. Además, da mejores acabados al papel.

### 2.6.3 Comparación del almidón de achira con otras especies.<sup>24</sup>

La achira produce el gránulo de almidón mas grande (30-100 micras de diámetro) de todas las especies conocidas (Maíz, trigo, Yuca y papa entre 10-30 micras de diámetro) y resistente a esterilización.

En la tabla 3 indica el porcentaje de amilosa esta íntimamente relacionado con la resistencia a la esterilización debido a la naturaleza cristalina de la amilosa donde solo hay hinchazón a altas temperaturas. Por esta razón, el almidón de achira y el de Maíz el tener alto porcentaje de amilosa resiste a la esterilización.

**Tabla 3.** Tabla de comparación de almidones

TIPO DE ALMIDÓN	% AMILOSA	TAMAÑO	T GEL °C	PERDIDA DE VISCOSIDAD %	RESISTENCIA A:
ACHIRA	31-38	25 - 45	64 -72	10	Esterilización
PAPA	16-28	23 – 31	58 -67	-100	Ninguna
YUCA	13-15	11 – 12	62 -68	-100	congelación y acidez
MAÍZ	20-25	12 – 15	62 - 72	-110	En menor grado a la esterilización
TRIGO	17-32	13 – 19	52 -68	-40	Ninguna

Fuente: YEPEZ Lucia y otros, disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bits>.

La perdida de viscosidad en porcentaje indica el comportamiento de la pasta de almidón a temperaturas elevadas; si el valor es negativo, indica una perdida en el porcentaje en la viscosidad inicial y que la pasta no resiste altas temperaturas.

<sup>24</sup> YEPEZ Lucia y otros, Influencia del almidón de Achira (CannaEdulisKer) para elaboración de Muffis adicionando Leches y edulcorantes, Universidad Técnica del norte, Ecuador, Junio 2 de 2011, Información disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/553/2/03%20AGI%20244%20TESIS.pdf>

La composición del almidón y particularmente la proporción de amilosa/amilopectina determinan las propiedades funcionales del almidón, por ejemplo la amilosa favorece la gelificación de sus pastas durante el enfriamiento. El almidón de Achira tiene mejores propiedades fisicoquímicas y resiste más a los procesos estresantes propios de procesos industriales que los provenientes de Fuentes cereales tales como el maíz y el trigo.

### 3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño de experimentos tuvo su inicio teórico a partir de 1935 por Sir Ronald A. Fisher, quien sentó la base de la teoría del Diseño Experimental que a la fecha se encuentra bastante desarrollada y ampliada. Actualmente sus aplicaciones son múltiples desde casi todas las ramas de las ciencias sociales hasta la ingeniería.

El diseño de experimentos se define como un conjunto de técnicas activas que manipulan el proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo, es sabido que si se repite un experimento, en condiciones indistinguibles, los resultados presentan una cierta variabilidad.

El objetivo de la metodología de diseños experimentales es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y, si existe influencia de algún factor, cuantificar dicha influencia. De igual manera se espera estudiar si cuando se utiliza un determinado tratamiento se produce una mejora en el proceso o no. Para ello se debe experimentar aplicando el tratamiento y no aplicándolo. Si la experimentación se realiza en un laboratorio donde la mayoría de las causas de variabilidad están muy controladas, el error experimental será pequeño y habrá poca variación en los resultados del experimento. Pero si se experimenta en procesos industriales o administrativos la variabilidad será mayor en la mayoría de los casos.

Experimento comparativo. Cuando se estudia un grupo de tratamientos, los resultados absolutos varían erráticamente mientras que los resultados relativos permanecen razonablemente estables. En tales situaciones es posible establecer, que en circunstancias se espera que ciertos tratamientos sean sustancialmente mejores que otros. Son básicamente experimentos en los cuales los tratamientos se comparan por sus efectos medios sobre una variable de respuesta con el objeto principal de determinar cuál de ellos es “mejor” en algún sentido.

Un aspecto fundamental en el diseño de experimentos es definir las pruebas o tratamientos que se van a correr en el proceso, con el fin de enfocarse en la variable de interés y para obtener la máxima cantidad de información. También es necesario definir el número de corridas o repeticiones a realizar en el experimento y la forma en que se combinaran para que sean de forma aleatoria.

La planeación está encaminada a entender el problema, el diseño y la realización de las pruebas experimentales adecuadas. Un planteamiento claro del problema contribuye a menudo en forma sustancial a un mejor conocimiento del fenómeno y de la solución final del problema.

Planear y organizar el trabajo experimental con base en el diseño seleccionado es de suma importancia, la **figura 10** presenta el diagrama donde se toman en cuenta cada uno de los puntos del diseño experimental.

### 3.1 IDENTIFICACION Y DEFINICION DE VARIABLES

Los factores que pueden influir en el desarrollo del experimento son:

**Tabla 4.** Factores del experimento

FACTOR	TIPO
Temperatura	Cuantitativo
Ph	Cuantitativo
Tipo de lodo	Cuantitativo
Agitación	Cuantitativo
Tipo de almidón	Cualitativo
Concentracion del almidon	Cuantitativo
Operadores	Cualitativo

Fuente: Autores

**Temperatura:** Las pruebas se realizaran a temperatura ambiente ( $T = 25.5 \text{ c}$ ), consante en todas las pruebas.

**pH:** El pH de un fluido de perforacion que contiene bentonita debe estar por encima generalmente de 8.5 y los aditivos del lodo rquieren de una alta alcalinidad para que funciones a niveles optimos.

**Tipo de lodo:** Se utilizara cuatro lodos base agua dulce con igual composicion para cada tratamiento con el fin de asegurar condiciones constantes y que los resultados sean comparativos.

**Agitacion:** Se tendran tiempos de agitacion de 10 minutos para todas las pruebas.

**Tipo de almidon:** Almidón homogéneo

**Concetracion de almidón:** Dependera del tipo de prueba a realizar.

**Operadores:** Trabajarán los autores en todo el proceso.

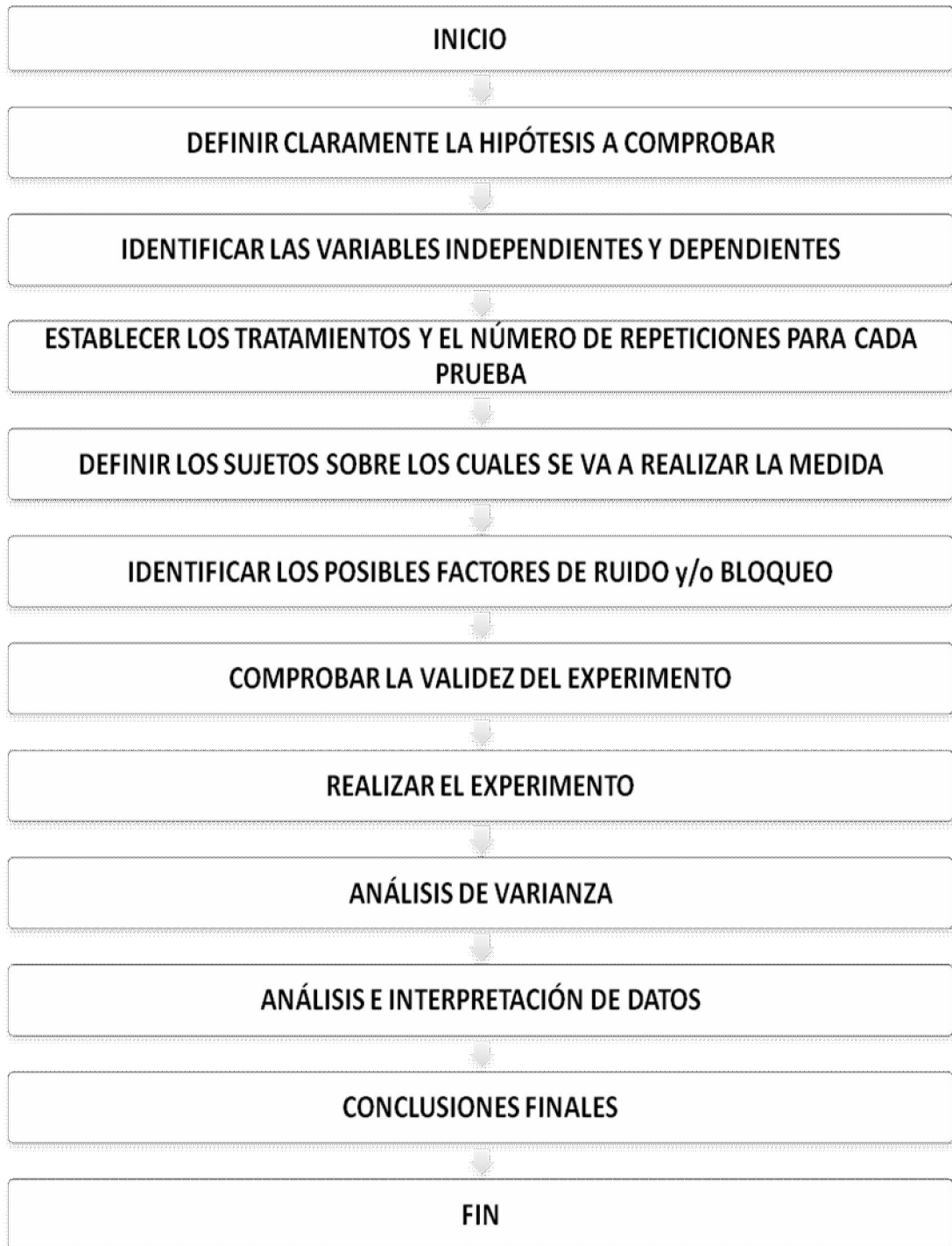
En la **tabla 5** se identifican las diferentes variables involucradas en esta investigación.

**Tabla 5.** Identificación y Definición de Variables

VARIABLES	CANTIDAD	DESCRIPCION
Independientes	1	Concentracion de almidón de Achira
Dependientes	7	Densidad, Va, VP, Yp, pH, Filtrado API, Torta.

Fuente. Autores

**Figura 10.** Diagrama del diseño experimental.



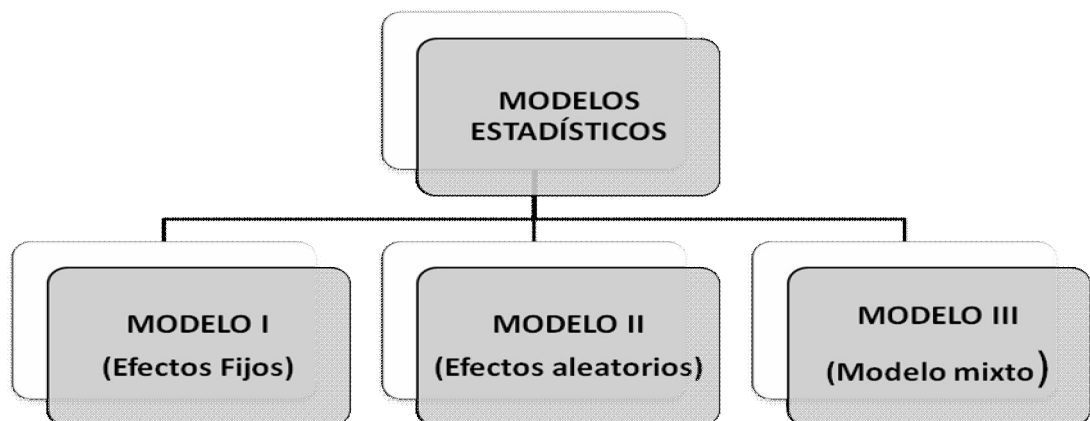
**Fuente.** Autores.

## 3.2 SELECCIÓN DEL MODELO EXPERIMENTAL

### 3.2.1 Tipos de modelos estadísticos

De acuerdo a la selección de los tratamientos y otros factores se tiene tres tipos de modelos estadísticos (Figura 11).

Figura 11. Clasificación modelos estadísticos.



FUENTE: Autores

El propósito de los experimentos comparativos es proveer información necesaria para obtener decisiones administrativas satisfactorias. La principal característica de este tipo de experimentación es que todos los tratamientos de interés están incluidos en el experimento. Consecuentemente, la estructura matemática básica es el modelo de efectos fijos (modelo I) de Eisenhart (1947) ya que bajo experimentos repetidos se seleccionaran los mismos tratamientos. En este caso, es de interés la detección y estimación de relaciones determinadas (constantes) entre las medias del universo de objetos considerados.

El análisis de un experimento está basado normalmente en un modelo matemático para las observaciones, y este está relacionado y justificado con el diseño. Para este caso en particular de un factor y en grupos iguales el modelo matemático tiene la siguiente estructura:

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

Dónde:

$y_{ij}$  = Valor de respuesta

$i$  = Numero de tratamientos

$j$  = Número de replicas

$\mu$  = Es la media general

$\tau_j$  = Es el efecto diferencial del tratamiento.

$\varepsilon_{ij}$  = Error experimental aleatorio

### **3.3 FACTIBILIDAD DEL ALMIDÓN DE ACHIRA Ó SAGÚ COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

Para determinar si es viable o no la utilización del almidón de la Achira o sagú en lodos de perforación base agua se estudiarán tres parámetros fundamentales:

- a. El Almidón de achira como agente viscosificante, analizado en los lodos base AQUAGEL y Lodo Base I.
- b. El Almidón de achira ó sagú como agente controlador de filtrado, analizado en los lodos base II, III y IV.
- c. El almidón de achira como extendedor de las propiedades de la bentonita Lodo Base V.

La composición de los lodos base y el nombre genérico de los aditivos, se detalla en las secciones 3,6 y 3,7 del presente documento. Adicionalmente se realizaran pruebas complementarias, análisis químico del agua y degradación con el tiempo a temperatura ambiente. El diseño de estas pruebas se describe a continuación.

### 3.4 ANALISIS QUÍMICO DEL AGUA

**Tabla 6.** Análisis químico del agua

ANALISIS QUÍMICO DEL AGUA											
Muestra	Temperatura (F)	θ 600	Va (cp)	Densidad (lb/gal)	pH	Pf	Mf	ppm Cl	ppm NaCl	ppm Ca ++	ppm CaCO3
1											
2											
3											

Fuente. Autores

### 3.5 PRUEBA DE OBSERVACIÓN DE DEGRADACIÓN

**Tabla 7.** Prueba de observación de degradación.

PRUEBA DE OBSERVACIÓN DE DEGRADACIÓN								
DIA	Concentración (lb/bbl)	θ 600	θ 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel	
							10 Seg	10 Min
1								
2								
3								
DIA	pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)	
1								
2								
3								

Fuente. Autores.

### 3.6 ALMIDON DE ACHIRA COMO AGENTE VISCOSIFICANTE.

#### 3.6.1 Prueba de Viscosidad en AQUAGEL.

**Tabla 8.** Prueba de viscosidad en AQUAGEL.

PRUEBA DE VISCOSIDAD AQUAGEL-GOMA XANTANA- ALMIDÓN DE ACHIRA														
1	Concentración (lb/bbl)	Ø 600	Ø 300	Ø 200	Ø 100	Ø 6	Ø 3	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)
											10 Seg	10 Min		
AQUAGEL	15													
AQUAGEL (15 lb/bbl) + GOMA XANTANA	1													
	2													
	3													
	4													
AQUAGEL (15 lb/bbl) + ALMIDON ACHIRA	1													
	2													
	3													
	4													
	6													
	10													

Fuente. Autores

### 3.6.2 Prueba de viscosidad en lodo BASE I.

**Tabla 9.** Prueba de viscosidad GOMA XANTANA - Achira.

PRUEBA DE VISCOSIDA GOMA XANTANA - ALMIDÓN DE ACHIRA														
1	Concentración (lb/bbl)	Ø 600	Ø 300	Ø 200	Ø 100	Ø 6	Ø 3	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)
											10 seg	10 Min		
LODO BASE I + GOMA XANTANA	0,6													
	1													
	1,5													
	2													
LODO BASE I + ALMIDON ACHIRA	0,6													
	1													
	1,5													
	2													
	---													

LODO BASE I	VISCOSIFICANTE	1,3	Lb/bbl
	POLISACÁRIDO PRESERVADO	4	Lb/bbl
	SODA CAUSTICA	3	Lb/bbl

Fuente. Autores.

### 3.7 ALMIDÓN DE ACHIRA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO.

#### 3.7.1 Prueba de filtrado Lodo BASE II

**Tabla 10.** Prueba de Almidón de Achira como controlador de filtrado en lodo base II.

PRUEBA FILTRADO CELULOSA POLIANIÓNICA - ALMIDON DE ACHIRA															
1	Concentración (lb/bbl)	θ 600	θ 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)
							10 Seg	10 Min							
LODO II + CELUSOSA POLIANIÓNICA	0,5														
	1														
	1,5														
	2														
	3														
LODO II  + ALMIDON ACHIRA	4														
	0,5														
	1														
	1,5														
	2														
	3														
	4														
	5														
6															
LODO BASE II	BENTONITA			5	Lb/bbl										
	VISCOSIFICANTE COMERCIAL			3	Lb/bbl										
	POLISACÁRIDO PRESERVADO			2	Lb/bbl										
	SODA CAUSTICA			0,3	Lb/bbl										

Fuente. Autores

### 3.7.2 Lodo BASE III

**Tabla 11.** Prueba del Almidón de Achira como controlador de filtrado en lodo Base III

PRUEBA FILTRADO POLISACÁRIDO PRESERVADO - ALMIDON DE ACHIRA															
1	Concentración (lb/bbl)	Ø 600	Ø 300	Vp	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)
							10 Seg	10 Min							
LODO BASE III  +	0,5														
	1														
	1,5														
	2														
	3														
	4														
	POLISACÁRIDO PRESERVADO	5													
	6														
	7														
LODO III  +	0,5														
	1														
	1,5														
	2														
ALMIDÓN ACHIRA	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
LODO BASE III	BENTONITA			5	Lb/bbl										
	VISCOSIFICANTE COMERCIAL			3	Lb/bbl										
	CELULOSA POLIANIÓNICA			2	Lb/bbl										
	SODA CAUSTICA			0,3	Lb/bbl										

Fuente. Autores

### 3.7.3 Lodo BASE IV

**Tabla 12.** Prueba del Almidón de Achira como controlador de filtrado en lodo Base IV

PRUEBA FILTRADO ALMIDON DE ACHIRA															
1	Concentración (lb/bbl)	$\theta$ 600	$\theta$ 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)
							10 Seg	10 min							
LODO BASE IV	0,5														
	1														
	1,5														
	2														
+  ALMIDON ACHIRA	3														
	4														
	5														
	6														
	7														
LODO BASE IV	BENTONITA		5	Lb/bbl											
	VISCOSIFICANTE COMERCIAL		3	Lb/bbl											
	SODA CAUSTICA		0,3	Lb/bbl											

Fuente. Autores

### 3.8 ALMIDÓN DE ACHIRA COMO EXTENDEDOR DE PROPIEDADES DE LA BENTONITA.

**Tabla 13.** Prueba de extensión de las propiedades de la Bentonita.

PRUEBA DE EXTENSIÓN DE PROPIEDADES DE LA BENTONITA														
1	Concentración (lb/bl)	Ø 600	Ø 300	Ø 200	Ø 100	Ø 6	Ø 3	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)
											10 seg	10 min		
LODO BASE V	-													
LODO BASE V	0,6													
+ EXTENDEDOR DE BENTONITA	1													
	1,5													
	2													
LODO BASE V + ALMIDÓN ACHIRA	0,6													
	1													
	1,5													
LODO BASE V	2													
	VISCOSIFICANTE	1,2	Lb/bbl											
	POLISACÁRIDO PRESERVADO	4	Lb/bbl											
	SODA CAUSTICA	3	Lb/bbl											

Fuente. Autores.

#### 4. ANALISIS DE RESULTADOS

Las pruebas de laboratorio se llevaron a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Lodos y Cementos de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, en la ciudad de Bucaramanga-Colombia, ubicada en una terraza inclinada de la cordillera oriental a los 7 08' de latitud norte con respecto al meridiano de Bogotá y 73° 08' de longitud oeste del meridiano de Greewich.

Temperatura: 23 °C – 79 F

Altura sobre el nivel del mar: 959 m.s.n.m.

Entre los equipos empleados para llevar a cabo las pruebas están:

- **FILTRO PRENSA API - FANN<sup>25</sup>.**

La filtroprensa API (**figura 12**) consta de una celda de lodo, un regulador de presión y un medidor en la parte superior. Se usa un adaptador de acoplamiento para conectar la celda al regulador, introduciendo el empalme macho de la celda dentro del empalme hembra del filtro prensa y dando un cuarto de vuelta en sentido horario. La celda se cierra en la parte inferior con una tapa provista de una tela metálica (o rejilla), colocando la tapa firmemente contra el papel filtro y girando hacia la derecha hasta que quede apretada a mano. Esto empuja la hoja de papel filtro contra la junta tórica que fue previamente introducida en la base de la celda. La presión es proporcionada por una pequeña cápsula de gas carbónico. Se proporciona una válvula de purga para aliviar la presión antes de desacoplar la celda. No se debe usar óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). La prueba de filtrado API se realiza a temperatura ambiente y a una presión de 100 psi, Los filtros prensas cumplen con las especificaciones API 13B-1 de la norma API para determinar el filtrado o

---

<sup>25</sup> INSTITUTO AMERICANO DEL PETROLEO API, Manual de fluidos de perforación

pérdida de agua que pasa hacia la formación permeable cuando el fluido es sometido a una presión diferencial.

**Figura 12.** Filtro prensa API.



**Fuente.** [http://eurosul.com/brochures/Filter\\_Press\\_LPLT.pdf](http://eurosul.com/brochures/Filter_Press_LPLT.pdf).

- **VISCOSIMETRO OFITE 900<sup>26</sup>.**

Es un viscosímetro digital (**figura 13**), de fácil calibración, consta con cilindro concéntrico accionado por un motor, que alcanza velocidades variables que van desde 0,006 a 1000 rpm y velocidades fijas de 600, 300, 200, 100, 60, 20, 10, 6, 3, 2 y 1rpm, con una precisión de  $\pm 0,001$ , esta provisto de una termocupla que permite realizar mediciones de reología a temperaturas que alcanzan los 190 °F. Adicional tienen funciones pre programadas para analizar el lodo de manera mas simple.

---

<sup>26</sup> <http://www.ofite.com/products/sp/sp-model%20900.htm>.

**Figura 13.** Viscosímetro digital.



**Fuente.** <http://www.ofite.com/products/sp/sp-model%20900.htm>.

Adicionalmente se empleo; balanza de lodos, peachimetro, Agitadores, Kit de mediciones químicas, probetas, pipetas, bikers, entre otros.

#### **4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA O SAGÚ**

El almidón de Achira que se empleó para realizar las pruebas fue adquirido a distribuidores de la ciudad de Ibagué, Departamento del Tolima, Colombia. Es homogéneo sus características físicas son: color blanco grisáceo, olor y sabor neutro y textura polvosa. El cual cumple con las especificaciones de calidad expuestas en el capítulo 2.

#### **4.2 ANALISIS ESTADISTICO.**

A todas las pruebas de laboratorio se les realizo una réplica, los datos obtenidos de estas se analizaron con el paquete estadístico **Statgraphics centurión VII**, se

calculó la media, la varianza, la desviación estándar y el porcentaje de coeficiente de varianza con el fin de establecer la confiabilidad de los datos, ver ANEXO 1

Se calcularon valores para la varianza y la desviación estándar no mayores a 1, salvo algunas excepciones donde se obtuvieron resultados mayores, lo cual nos indican la confiabilidad en los datos de las pruebas realizadas, ya que para todos los casos las medidas son cercanas a la media, por lo tanto al realizar nuevamente cualquiera de estas pruebas se espera una variación mínima en los valores de los datos.

#### 4.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA QUÍMICA DEL AGUA

El análisis químico del agua dulce que se utilizó para preparar todos los lodos empleados en las pruebas se resume en la **Tabla 14**.

**Tabla 14.** Análisis químico del Agua

ANÁLISIS QUÍMICO DEL AGUA											
Muestra	Temperatura (F)	θ 600	Va (cp)	Densidad (lb/gal)	pH	Pf	Mf	ppm Cl	ppm NaCl	ppm Ca ++	ppm CaCO <sub>3</sub>
1	79	2,6	1,6	8,3	8	0	0,05	15	24,75	60	150
2	78	2,5	1,5	8,3	8	0	0,05	15	25	60	150
3	79	2,6	1,5	8,3	8	0	0,05	15	24,73	60	150

Fuente. Autores.

#### 4.4 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE OBSERVACIÓN DE DEGRADACIÓN DEL ALMIDÓN DE ACHIRA

Para observar la variabilidad de las propiedades del Almidón de Achira con el paso de los días se diseñó una prueba, que midió las propiedades durante tres días seguidos del Lodo Base III más 1.5 lb/bbl de almidón de Achira, los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 15**, es evidente que las propiedades de esta

configuración de lodo no se ven mayormente afectadas por la utilización del almidón sin ningún tratamiento previo como aditivo del lodo.

**Tabla 15.** Resultados de la prueba de observación de degradación.

PRUEBA DE OBSERVACIÓN DE DEGRADACIÓN								
DIA	Concentración (lb/bbl)	θ 600	θ 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel	
							10 Seg	10 Min
1	1,5	59,8	35	25,35	29,9	9,6	0,3	0,3
2	1,5	59,8	35	25,20	29,9	10	0,5	0,5
3	1,5	59,9	35	24,6	29,9	11	0,8	0,9
DIA	pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)	
1	11	8,5	4	5	7,75	9,25	< 1/32	
2	11	8,5	3,5	4,2	6,3	7,7	< 1/32	
3	10,6	8,5	5	6,8	9	10	< 1/32	

Fuente. Autores.

#### 4.5 FACTIBILIDAD DEL ALMIDON DE ACHIRA COMO AGENTE VISCOSIFICANTE

El Almidón de Achira se evaluó como agente viscosificante en fluidos de perforación, empleando dos lodos; el primero de ellos compuesto únicamente de AQUAGEL y el segundo con la composición presentada en la **tabla 16**.

**Tabla 16.** Composición Lodo Base I

	ADITIVO	CANT	UNIDAD
LODO BASE I	VISCOSIFICANTE	1,3	lb/bbl
	POLISACÁRIDO PRESERVADO	4	lb/bbl
	SODA CAUSTICA	3	lb/bbl

Fuente. Autores.

En esta sección se busca comparar las viscosidades a altas velocidades (600 RPM) y bajas velocidades (6 y 3 RPM) de los lodos referidos anteriormente, para evaluar el comportamiento de las propiedades Tixotrópicas a 10 segundos y 10 minutos, Viscosidad aparente, Viscosidad plástica, YP, la densidad y el PH, empleando aditivos comerciales (AQUAGEL y GOMA XANTANA) y el producto propuesto en el presente trabajo de investigación (ALMIDÓN DE ACHIRA).

#### 4.5.1 Resultados de la Prueba de Viscosidad en AQUAGEL

Los resultados obtenidos de la prueba de viscosidad empleando AQUAGEL a una concentración de 15 lb/bbl, se muestran en la **tabla 17**.

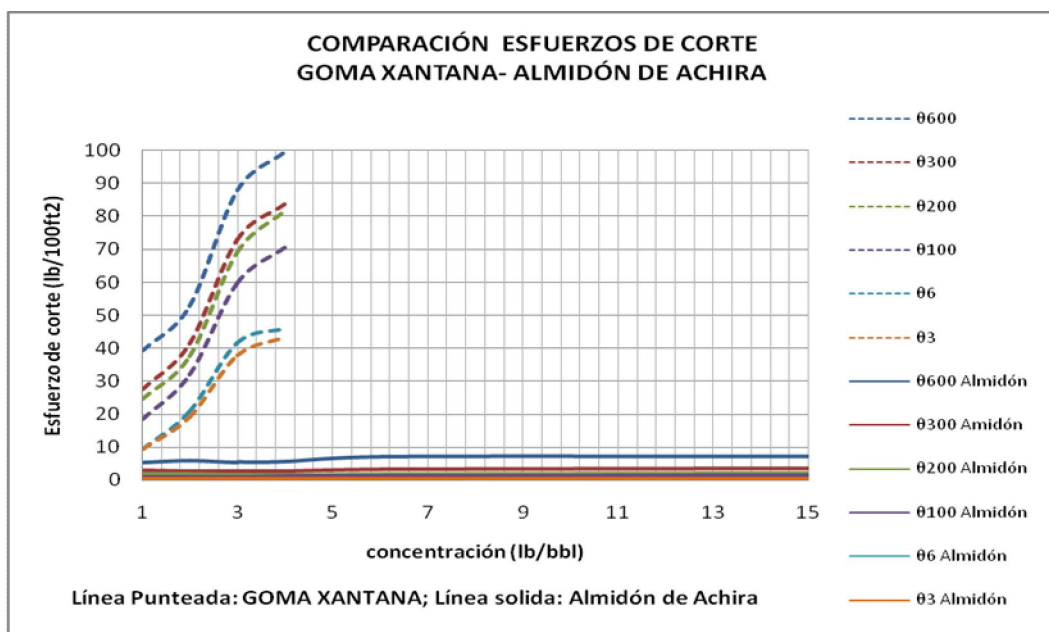
**Tabla 17.** Resultados de la prueba de Viscosidad AQUAGEL - Almidón de Achira.

PRUEBA DE VISCOSIDAD AQUAGEL-GOMA XANTANA- ALMIDÓN DE ACHIRA														
PROMEDIO	Concentración (lb/bbl)	Ø 600	Ø 300	Ø 200	Ø 100	Ø 6	Ø 3	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)
											10 Seg	10 Min		
AQUAGEL	15	4,05	2,35	1,25	0,8	0,2	0,2	1,7	2,025	0,4	0,2	0,2	11	8,4
AQUAGEL (15 lb/bbl) + GOMA XANTANA	1	39,4	27,65	24,65	18,5	9,6	9,5	12,1	19,675	16,95	10,25	15,2	11	8,4
	2	52,85	41,5	37,65	32	20,85	19,15	11,35	26,45	27,95	16,95	20	11	8,4
	3	87,9	73,15	69,25	59,95	41,8	37,75	14,9	43,95	58,95	32,75	44	11	8,4
	4	99,7	83,9	81,85	70,7	46,1	43,5	15,85	49,85	72,5	37,95	49,2	11	8,4
AQUAGEL (15 lb/bbl) + ALMIDON ACHIRA	1	5,35	3	1,75	1,1	0,45	0,45	2,4	2,7	0,6	0,45	0,4	11	8,5
	2	6,05	2,85	1,7	1,05	0,25	0,3	3,2	3,025	0,55	0,25	0,25	11	8,5
	3	5,45	2,7	1,65	1,05	0,25	0,3	2,75	2,725	0,55	0,2	0,25	11	8,5
	4	5,55	2,85	1,55	1,15	0,25	0,25	2,7	2,775	0,6	0,2	0,2	11	8,5
	6	7,15	3,25	1,9	1,35	0,3	0,3	4	3,325	0,25	0,35	0,3	11	8,5
	15	7,25	3,6	2,25	1,6	0,35	0,35	4,15	3,375	0,15	0,15	0,1	11	8,5

Fuente. Autores.

La **figura 14**, indica la variación de los esfuerzos de corte en un lodo bentonítico a una concentración de 15 lb/bbl de AQUAGEL, al que se le adicionó un viscosificante comercial a base de GOMA XANTANA, donde hay una clara tendencia al aumento en todas las mediciones en relación con la concentración, mientras que para el ALMIDÓN DE ACHIRA, todos los valores se mantienen constantes.

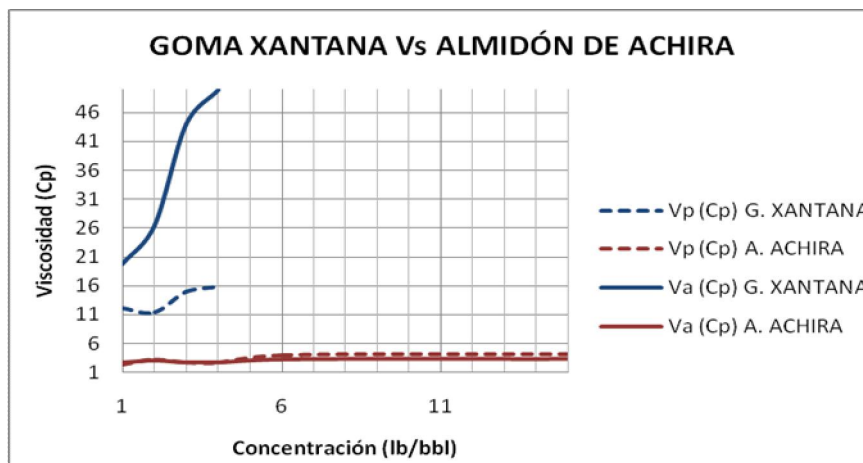
**Figura 14.** Comportamiento de los Esfuerzos de corte en AQUAGEL.



**Fuente.** Autores.

En la **figura 15**, se muestra en detalle la viscosidad respecto a la concentración de la GOMA XANTANA (Azul) y Almidón de Achira (Rojo), el incremento en la viscosidad plástica (líneas punteadas) para el GOMA XANTANA, es bastante notoria con valores superiores a 11,35 Cp, mientras que el almidón de achira alcanzó un máximo valor de 4 Cp, indicando una diferencia superior a 71%. La **tabla 18** muestra la diferencia en centipoises (Cp) y porcentaje (%) de las viscosidades obtenidas con el almidón de achira respecto a las alcanzadas con el producto comercial empleado.

**Figura 15.** Comparación Va y Vp en lodo bentonítico.



Fuente. Autores.

**Tabla 18.** Diferencia de las Viscosidades de GOMA XANTANA y Almidón de Achira.

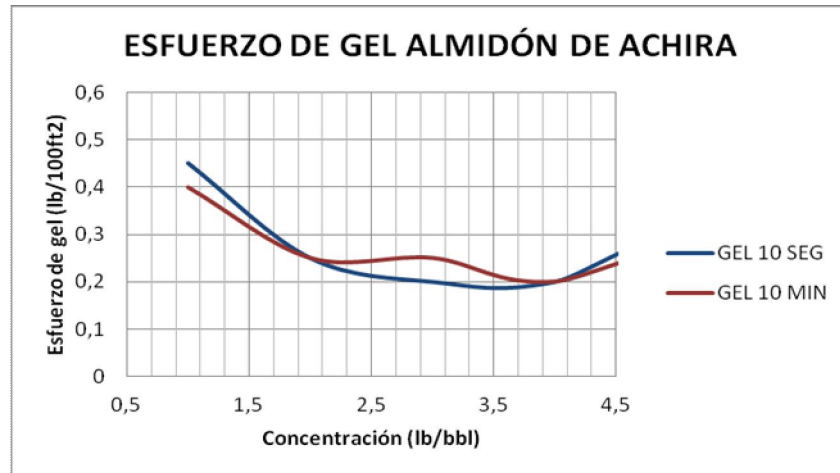
DIFERENCIA EN LA VISCOSIDAD (Cp y %) GOMA XANTANA Y-ALMIDÓN DE ACHIRA				
Concentración (lb/bbl)	Vp* (Cp)	%**	Va (Cp)	%
1	10,2	81,60	17,05	86,33
2	7,9	71,82	23,5	88,68
3	11,8	81,94	40,95	93,92
4	12,9	82,69	47,15	94,49

\*Vp(Goma xantana)-Vp(A. Achira); \*\* $(100 - [(Vp(A. Achira) \times 100) / (Vp(G.xantana))])$

Fuente. Autores.

Las propiedades tixotrópicas se analizaron a 10 segundos y 10 minutos, para el Almidón de Achira no se evidencia presencia de geles progresivos ni geles instantáneos, esto debido a la carencia de sólidos y de agentes floculantes en el lodo, Los geles son bajos con tendencia a disminuir al aumentar la concentración del almidón, mostrando un efecto dispersante en el lodo; la variación del esfuerzo de gel frente a la concentración se muestran en la **figura 16**.

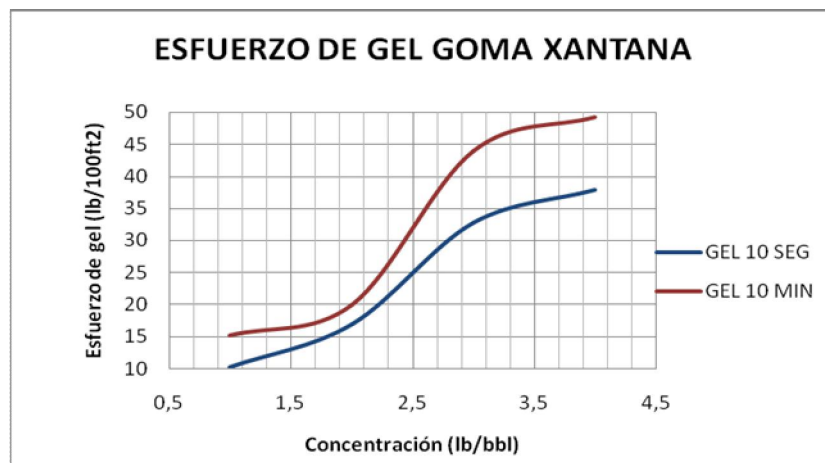
**Figura 16.** Esfuerzos de gel para Almidón de Achira.



Fuente. Autores.

El comportamiento de los geles para el Lodo cuando se le adicionó GOMA XANTANA, tiene clara tendencia al aumento, alcanzando un máximo de 37,95 lb/100ft<sup>2</sup> a 10 segundos y 49,2 lb/100ft<sup>2</sup> a 10 minutos a una concentración de 4 lb/bbl, mostrando un aumento del 300% respecto a los valores medidos a 1 lb/bbl, este comportamiento está representado en la **figura 17**.

**Figura 17.** Esfuerzos de gel para GOMA XANTANA.

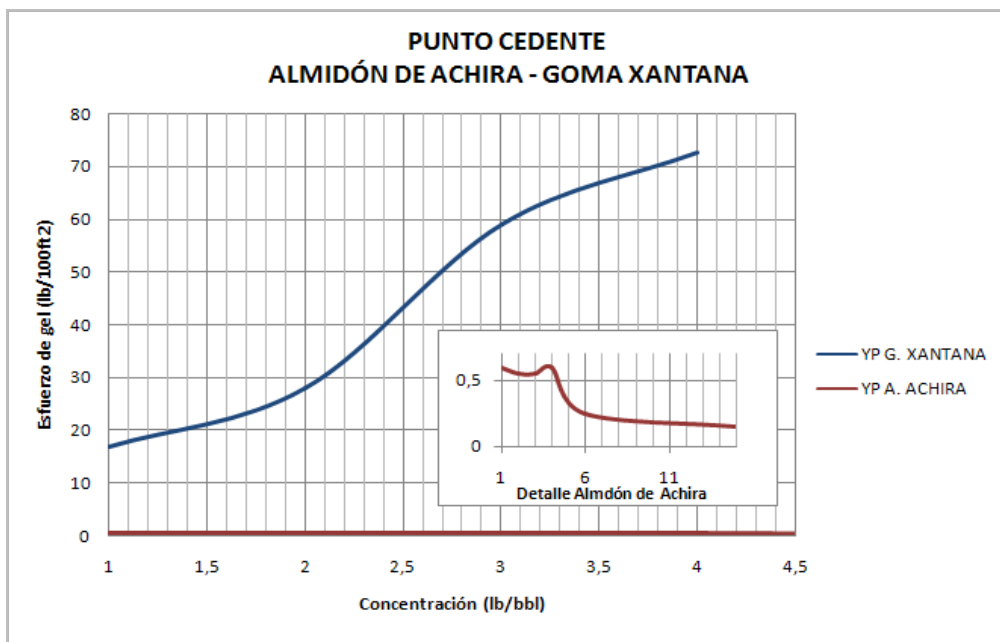


Fuente. Autores.

El punto de cedencia para el Almidón de achira es bajo con valores que no superan la unidad, siendo consistente con los valores de viscosidad obtenidos para este lodo, lo que indica su incapacidad para suspender material densificante y retirar material de recortes del pozo.

Para la GOMA XANTANA, El punto de cedencia tiene un incremento considerativo con respecto a la concentración, esto puede deberse a un menor tamaño de partícula o a una mayor área superficial de las mismas, repercutiendo en un aumento de la viscosidad plástica, el comportamiento de punto de cedencia (YP) está representado en la **figura 18**.

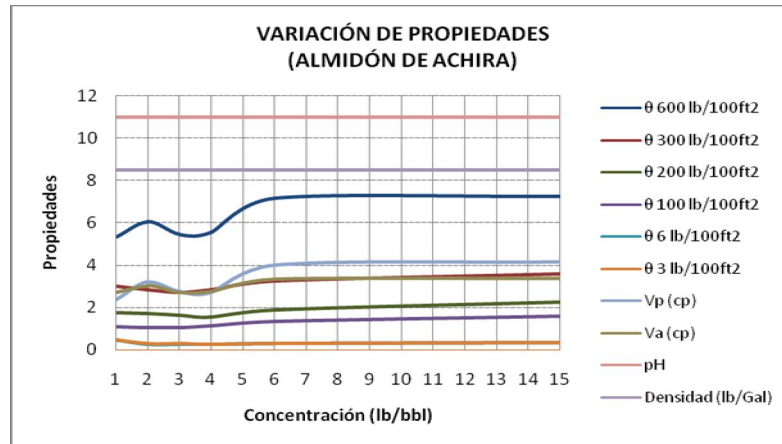
**Figura 18.** Comportamiento de YP lodo bentonítico.



Fuente. Autores.

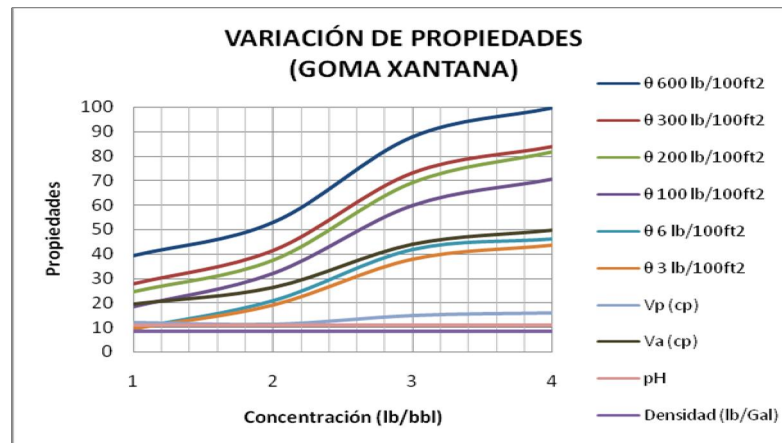
El PH y la densidad, al igual que las demás propiedades estudiadas no muestran variabilidad al aplicar el almidón de Achira (**Figura 19**), el efecto de la concentración para el BARAZAN D, se indica en la **figura 20**.

**Figura 19.** Variación de las propiedades del Lodo más Almidón de Achira.



Fuente. Autores.

**Figura 20.** Variación de las propiedades del Lodo más GOMA XANTANA.



Fuente. Autores.

De acuerdo a lo expuesto; se concluye que el Almidón de Achira no tiene ningún efecto sobre la viscosidad del lodo, esto debido a que el almidón no recibió tratamiento previo de pregelatinización, donde los gránulos del almidón son calentados hasta romper las moléculas permitiendo la liberación de cadenas de amilosa de bajo peso molecular altamente hidratadas capaces de rodear a los agregados de los restos de los gránulos del almidón.

#### 4.5.2 Resultados Prueba de Viscosidad Lodo Base I

Al Lodo Base I, se le realizó la medición de las viscosidades plástica y aparente, el punto de cedencia, los esfuerzos de gel a 10 segundos y 10 minutos, PH y densidad, para establecer una comparación entre un viscosificante altamente empleado en la industria (GOMA XANTANA) y el Almidón de Achira, en concentraciones de 0.6 y 2 lb/bbl, Los resultados de las mediciones se consignan en la **tabla 19**.

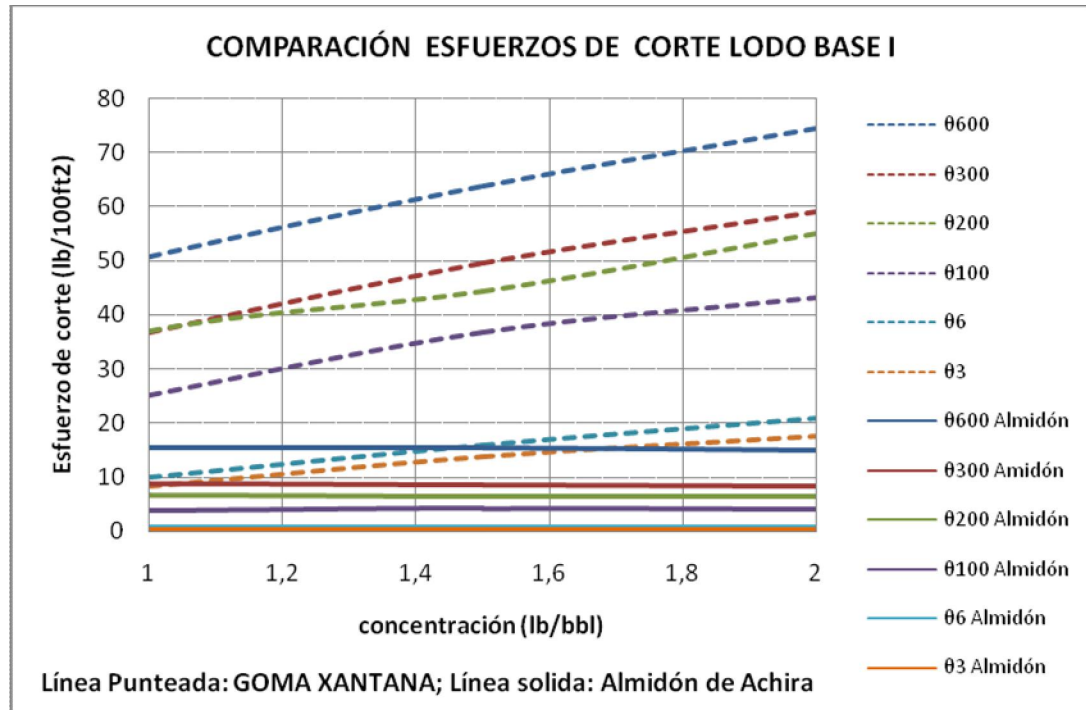
**Tabla 19.** Resultados prueba de viscosidad Lodo Base I.

PRUEBA DE VISCOSIDA GOMA XANTANA - ALMIDÓN DE ACHIRA														
	Concentración (lb/bbl)	θ 600	θ 300	θ 200	θ 100	θ 6	θ 3	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)
											10 seg	10 Min		
LODO BASE I + GOMA XANTANA	0,6	38,05	26,05	21,8	15,25	5,5	4,3	11,85	19,025	16,1	5,25	5,55	10	8,4
	1	50,65	36,85	36,9	25,15	10	8,3	13,8	25,325	23,1	8,95	11,9	10	8,4
	1,5	63,75	49,45	44,3	36,8	16	14	14,3	31,875	36,7	14,8	20,05	10	8,4
	2	74,45	58,95	55	43,05	21	18	15,55	37,225	48,5	20,7	26,6	10	8,4
LODO BASE I + ALMIDON ACHIRA	0,6	15,15	8,4	6,25	3,55	0,9	0,5	6,75	7,575	1,65	0,1	0,1	10	8,5
	1	15,35	8,8	6,6	3,8	0,8	0,4	6,55	7,675	1,55	0,1	0,1	10	8,5
	1,5	15,4	8,55	6,35	4,2	0,7	0,4	6,85	7,7	1,45	0,1	0,1	10	8,5
	2	15,05	8,35	6,4	4,15	0,7	0,4	6,7	7,525	1,55	0,1	0,1	10	8,5
LODO BASE I	VISCOSIFICANTE		1,3	Lb/bbl										
	POLISACÁRIDO PRESERVADO		4	Lb/bbl										
	SODA CAUSTICA		3	Lb/bbl										

Fuente. Autores.

Las mediciones de viscosidad a altas y bajas velocidades se muestran en la **figura 21** es evidente que el almidón de achira no tiene ningún efecto en el Lodo Base I, entre tanto la GOMA XANTANA, Repercute positivamente en la reologia del lodo, apreciandose en los valores de viscosidad plástica y aparente.

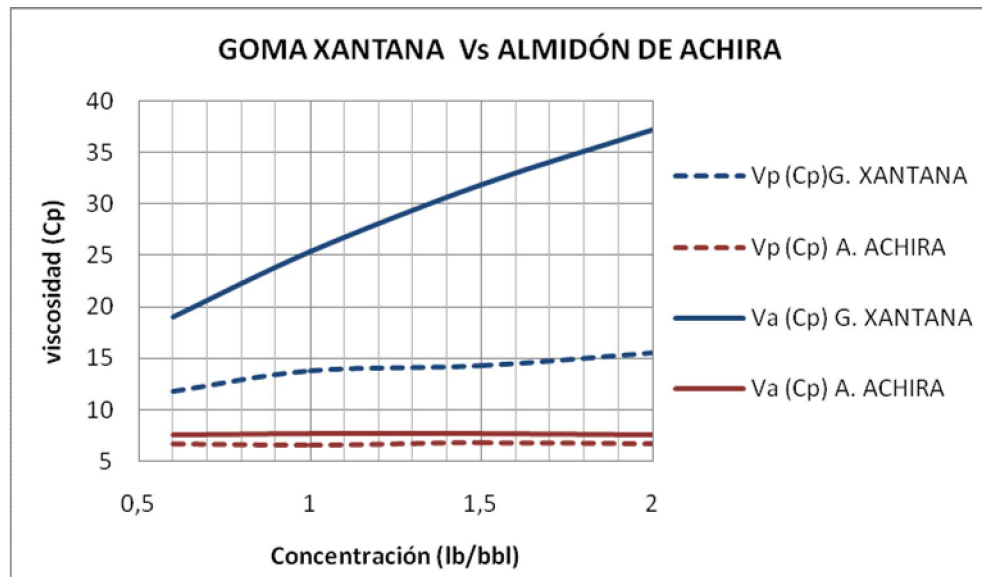
**Figura 21.** Comparación de los esfuerzos de corte en lodo Base I.



Fuente. Autores.

La **figura 22**, muestra en detalle el comportamiento de la viscosidad plástica (línea punteada) y la viscosidad aparente (línea sólida) del GOMA XANTANA y el Almidón de Achira, adicionados en concentraciones de 0.6, 1 1.5 y 2 lb/bbl, es evidente el porcentaje de superioridad alcanzado por el Viscosificante comercial frente al almidón de achira es superior al 43.03%, con valores de diferenciación de 5 y 10.45 Cp en la viscosidad Plástica y aparente, respectivamente. El detalle se muestra en la **tabla 20**, Donde se hace una diferenciación en Centipoises (Cp) y porcentaje (%) de las viscosidades obtenidas con el almidón de achira respecto al producto a base de GOMA XANTANA.

**Figura 22.** Comparación de la Vp y Va Lodo Base I.



Fuente. Autores.

**Tabla 20.** Diferencia de Viscosidades de GOMA XANTANA - Almidón de Achira Lodo Base I.

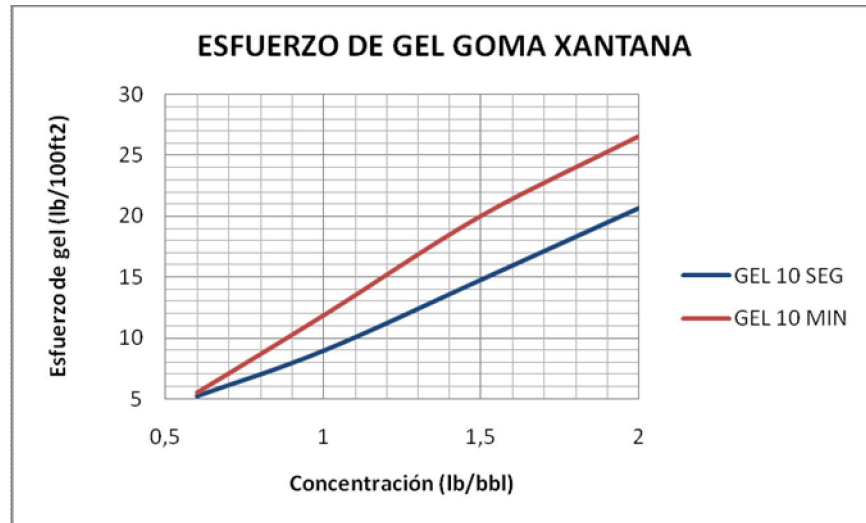
DIFERENCIA EN LA VISCOSIDAD (Cp y %) GOMA XANTANA -ALMIDÓN DE ACHIRA LODO BASE I				
Concentración (lb/bbl)	Vp (Cp)	%	Va (Cp)	%
0,6	5,1	43,04	11,45	60,18
1	7,25	52,54	17,65	69,69
1,5	7,45	52,10	24,175	75,84
2	8,85	56,91	29,7	79,79

\*Vp(Goma xantana)-Vp(A. Achira); \*\* $(100-[(Vp(A. Achira) \times 100)/(Vp(G.xantana))])$

Fuente. Autores.

El almidón de Achira no muestra rendimiento como agente viscosificante, la diferencia entre el esfuerzo de corte y la velocidad de corte del Lodo es muy estrecha, dando a lugar viscosidades bajas. En la **figura 23**, se muestra la tendencia al aumento de los esfuerzos gel en el Lodo Base I adicionando GOMA XANTANA, sin que se presenten geles progresivos ni instantáneos.

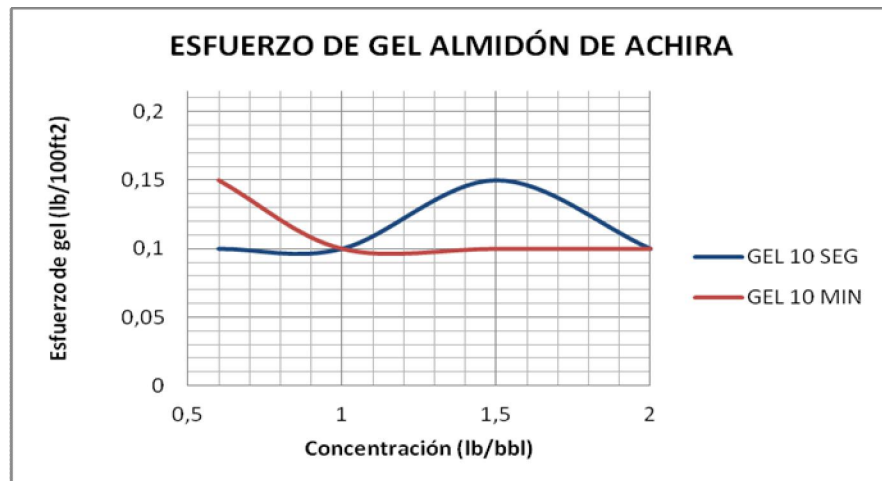
**Figura 23.** Comportamiento de geles el Lodo Base I más GOMA XANTANA.



Fuente. Autores.

El comportamiento de los geles en el Lodo base I, empleado Almidón de Achira como agente viscosificante, no muestra ningún cambio con el aumento de la concentración del Almidón, esto debido a que este producto no recibió tratamiento previo y a que el lodo base es bajo en sólidos, la variación de las propiedades tixotropicas a 10 segundos y 10 minutos se exponen en la **figura 24**.

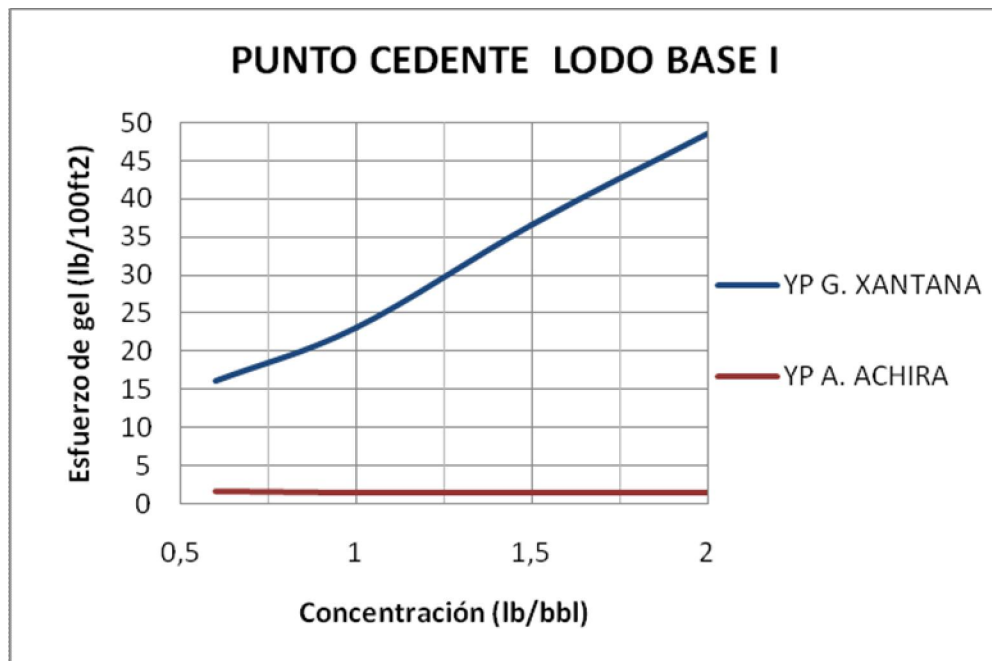
**Figura 24.** Comportamientos de Geles Lodo Base I más Almidón de Achira.



Fuente. Autores.

Los valores bajos en el punto de cadencia en el Lodo Base I más Almidón de Achira (línea roja), indican poca eficiencia del lodo en la remoción de sólidos del pozo, para el Lodo Base I más GOMA XANTANA (línea azul), el YP tiene un comportamiento adecuado. La tendencia se muestra en la **figura 25**.

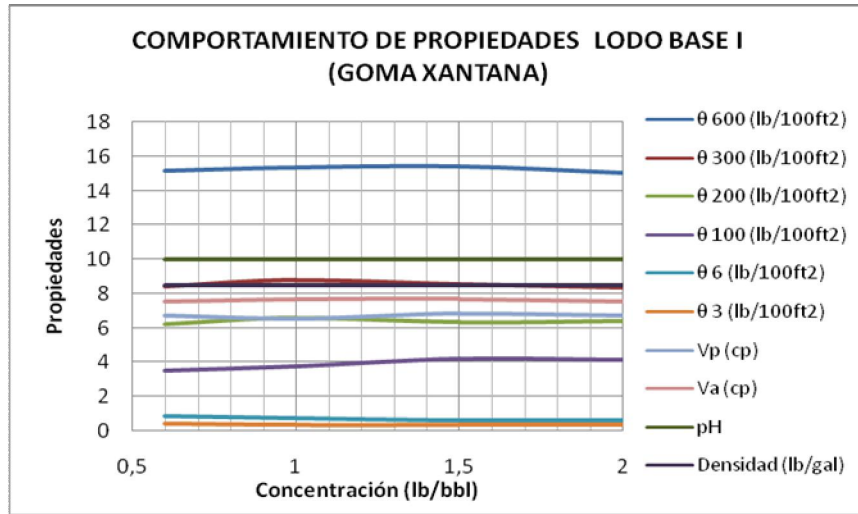
**Figura 25.** Comportamiento del YP Lodo Base I



**Fuente.** Autores.

La variación de las propiedades del Lodo Base I adicionando Almidón de Achira como agente viscosificante se muestran en la **figura 26**, El producto propuesto no tiene ninguna de ellas, indicando que no es viable su empleo en la industria como agente visosificante.

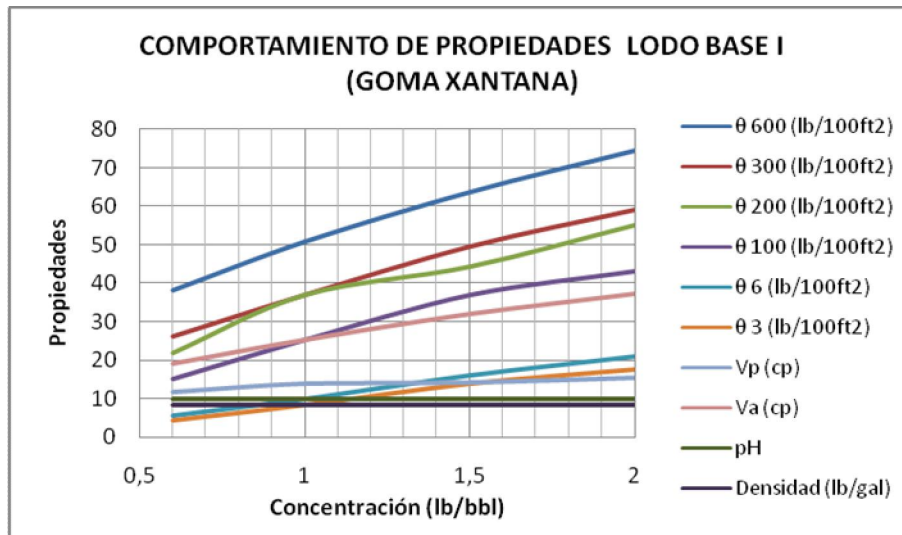
**Figura 26.** Variación de las propiedades del Lodo Base I más Almidón de Achira.



Fuente. Autores.

En la **figura 27**, se observa el comportamiento de las propiedades reológicas el PH y la densidad del Lodo Base I cuando se adicionó GOMA XANTANA como agente viscosificante, la tendencia al aumento con el incremento de la concentración del producto refleja su eficiencia.

**Figura 27.** Variación de las propiedades de Lodo Base I más GOMA XANTANA.



Fuente. Autores.

La literatura indica que los almidones necesitan de tratamientos previos como la gelatinización o la retrogradación, que rompan las largas cadenas moleculares que les permitan ser hidrosolubles a temperatura ambiente y aportar viscosidad a la mezcla, y la precipitación instantánea de las moléculas de amilosa orientando paralelamente sus cadenas lineales reaccionando entre si por puentes de hidrogeno a través de hidroxilos que a temperatura ambiente forman geles rígidos razón por la cual las moléculas del almidón de Achira empleado se reordenan y el agua es expulsada separándose así la fase solida (Cristales de amilosa y amilopectina) y la fase acuosa (Agua líquida) impidiendo la formación de geles y la ganancia de viscosidad, esto debido a la presencia de la amilopectina, de cadena ramificada, que implica la decantación sin producir viscosidad, de la cual es responsable la amilosa (cadena lineal, con un pequeña proporción de ramificaciones) que aprovecha el agua disponible para hincharse y producir un aumento en la viscosidad. Por lo tanto al no realizarse el debido tratamiento no se alcanzaron los requerimientos necesarios para producir un aumento en la viscosidad del lodo.

#### 4.6 FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO.

En esta fase se emplearon tres lodos base, donde se comparó el comportamiento del almidón de la achira como controlador de filtrado con controladores usualmente utilizan en la industria a base de CELULOSA POLIANIÓNICA y POLISACÁRIDO PRESERVADO, adicionalmente se midieron las propiedades reológicas del lodo, la densidad y el PH, con el fin de analizar la incidencia del almidón de Achira en todas las propiedades del lodo, la concentración de los lodos base se muestra en la **tabla 21**.

**Tabla 21.** Composición de los lodos base I, II y III.

	ADITIVO	CANT	UNIDADES
LODO BASE II	BENTONITA	5	Lb/bbl
	BOREPLUS	3	Lb/bbl
	POLISACÁRIDO PRESERVADO	2	Lb/bbl
	SODA CAUSTICA	0,3	Lb/bbl
LODO BASE III	BENTONITA	5	Lb/bbl
	BOREPLUS	3	Lb/bbl
	CELULOSA POLIANIÓNICA	2	Lb/bbl
	SODA CAUSTICA	0,3	Lb/bbl
LODO BASE IV	BENTONITA	5	Lb/bbl
	BOREPLUS	3	Lb/bbl
	SODA CAUSTICA	0,3	Lb/bbl

Fuente. Autores

El promedio de los resultados comparativos de la CELULOSA POLIANIÓNICA y el almidón de Achira o sagú se muestran en las **tabla 22**.

#### 4.6.1 Resultados de la Prueba de filtrado al Lodo BASE II

**Tabla 22.** Prueba de filtrado Lodo base II.

PRUEBA FILTRADO CELULOSA POLIANIÓNICA - ALMIDÓN DE ACHIRA															
	Concentración (lb/bbl)	Ø 600	Ø 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)
							10 Seg	10 Min							
LODO BASE II + CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	35,35	19,65	15,75	17,67	4,15	0,25	0,2	11	8,4	4,75	6,25	8,75	10,75	< 1/32
	1	48,55	27,35	21,15	24,27	6,15	0,3	0,3	11	8,4	4,4	6,25	8,53	10,2	< 1/32
	1,5	57,3	32,1	23,8	28,65	6,8	0,2	0,2	11	8,4	4,25	6,15	8,35	10,05	< 1/32
	2	65,05	37,8	27,05	32,52	11,6	0,5	0,5	11	8,4	4,25	5,75	8,25	9,9	< 1/32
	3	94	55,6	37,15	47	19,1	0,6	0,7	11	8,4	4,25	5,85	8,25	9,6	< 1/32
	4	116,7	73,95	46,85	58,32	29	1,1	1,2	11	8,4	4,15	5,6	8,2	9,65	< 1/32
LODO BASE II + ALMIDÓN ACHIRA	0,5	27,1	14,45	12,55	13,57	1,9	0,15	0,2	11	8,5	5,25	6,23	9,45	11,25	< 1/32
	1	28,2	15,2	13,1	13,87	2,4	0,1	0,1	11	8,5	4,75	6,25	8,3	9,53	< 1/32
	1,5	29,4	15,75	13,25	14,72	2,65	0,15	0,15	11	8,5	4,25	5,65	7,25	8,65	< 1/32
	2	29,8	16,1	13,35	14,9	2,7	0,2	0,1	11	8,5	3,95	5,4	7,2	8,25	< 1/32
	2,5	30,5	16,3	13,6	14,95	2,5	0,2	0,2	11	8,5	3,95	5,2	6,8	7,9	< 1/32
	3	29,5	15,85	13,45	14,72	2,7	0,1	0,1	11	8,5	3,9	5,2	6,3	7,35	< 1/32
	4	29,75	16,3	13,6	14,85	2,7	0,15	0,2	11	8,5	3,55	4,75	5,8	6,75	< 1/32
	5	28,9	15,75	13,15	14,45	2,7	0,15	0,15	11	8,5	3,75	4,7	6,25	6,8	< 1/32
6	31,5	18	13,65	15,75	4,45	0,8	0,65	11	8,5	3,65	4,4	5,7	6,6	< 1/32	
7	31,45	18,35	13,5	15,75	5,75	0,9	0,55	11	8,5	3,75	4,55	6	6,75	< 1/32	

Fuente. Autores

La **tabla 23**, muestra la diferencia de la perdida de filtrado(ml) y porcentaje (%), del lodo base II más almidón de Achira respecto al lodo base II más aditivo compuesto de Celulosa polianiónica, los valores negativos indican mayor eficiencia del producto comercial, (CELULOSA POLIANIÓNICA).

**Tabla 23.** Diferencia de perdida de filtrado (ml) y porcentaje del Lodo Base II.

DIFERENCIA EN CANTIDAD DE FILTRADO Y % (CELULOSA POLIANIÓNICA - ALMIDÓN DE ACHIRA)								
Concentración (lb/Bbl)	DIFERENCIA*		DIFERENCIA		DIFERENCIA		DIFERENCIA	
	5 MIN (ml)	%**	10 MIN (ml)	%	20 MIN (ml)	%	30 MIN (ml)	%
0,5	-0,5	-10,53	0,025	0,40	-0,7	-8,00	-0,5	-4,65
1	-0,35	-7,95	0,225	0,00	0,225	2,64	0,67	6,57
1,5	0	0,00	1,095	8,13	1,095	13,11	1,4	13,93
2	0,3	7,06	1,05	6,09	1,05	12,73	1,65	16,67
3	0,3	7,06	1,45	11,11	1,45	17,58	1,7	17,71
4	0,25	6,02	1,9	7,14	1,9	23,17	2,3	23,83

\*Filtrado(C.POLIANIÓNICA)-Filtrado(A. Achira);

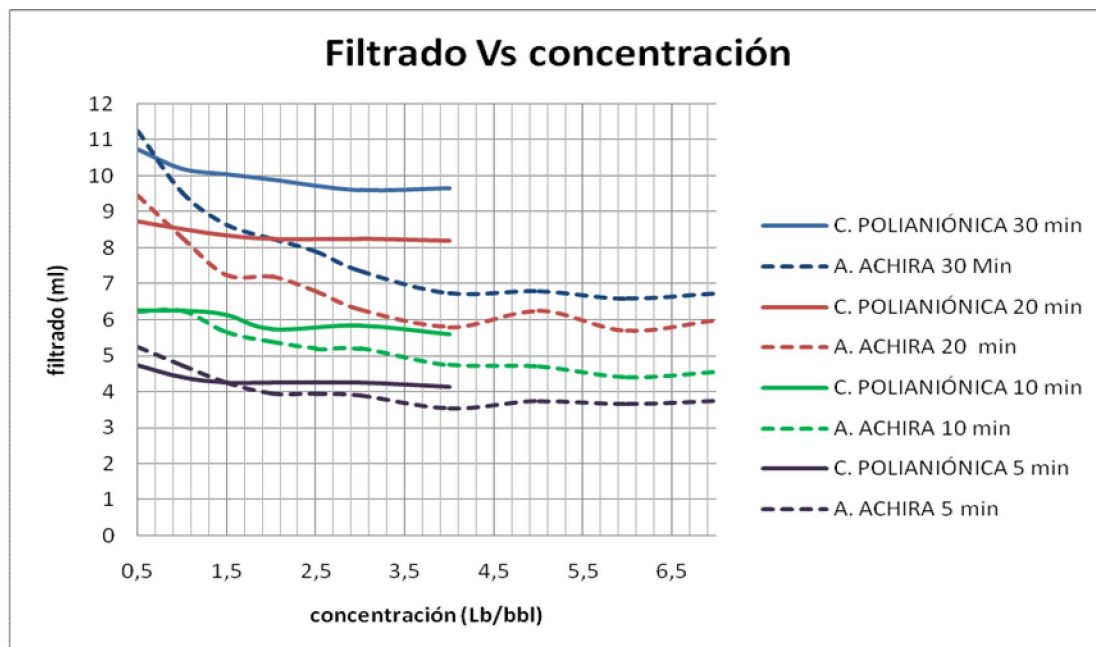
\*\* $(100 - [(\text{Filtrado(A.Achira)} \times 100) / (\text{Filtrado(C.POLIANIÓNICA)})])$

**Fuente.** Autores

En la **figura 28**, se observa el comportamiento del filtrado a 5, 10, 20 y 30 minutos respecto a la concentración de la CELULOSA POLIANIÓNICA (líneas solidas) y almidón de Achira (Líneas punteadas).

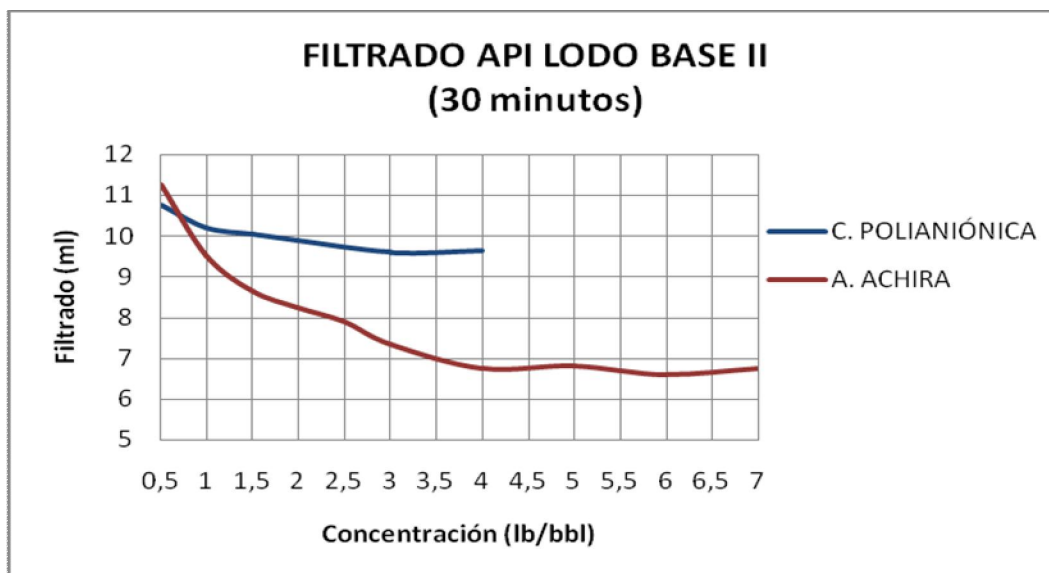
El almidón de Achira muestra buen rendimiento como controlador de filtrado respecto al aditivo comercial a base de CELULOSA POLIANIÓNICA. El filtrado de la CELULOSA POLIANIÓNICA, se empieza a estabilizar en una concentración de 1,5 lb/bbl, mientras que el almidón de la Achira muestra mayor eficiencia desde concentraciones de 1 lb/bbl, y se estabiliza la cantidad de perdida de filtrado a concentraciones superiores de 5 lb/bbl, a 4 lb/bbl es 30,05% menor la perdida de filtrado (6,75 ml) frente a 9,65 ml obtenidos empleando CELULOSA POLIANIÓNICA, la **figura 29**, muestra en detalle el comportamiento del filtrado a 30 min.

**Figura 28.** Comportamiento del Filtrado Vs Concentración Lodo Base II



Fuente. Autores

**Figura 29.** Filtrado a 30 minutos Lodo Base II

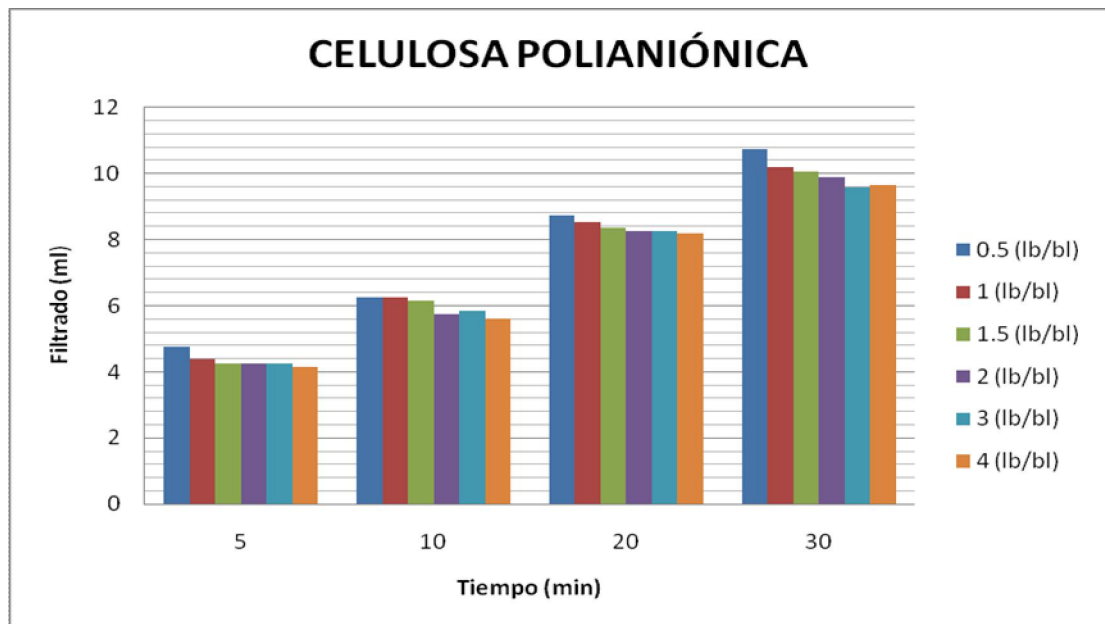


Fuente. Autores.

La cantidad de almidón de Achira o Sagú optima a emplear esta entre 1 y 2 lb/bbl, a estas concentraciones es mas importante la eficiencia como controlador de filtrado, a concentraciones mayores los cambios no son significativos.

En la **figura 30**, se muestra el comportamiento del CELULOSA POLIANIÓNICA como agente controlador de filtrado a diferentes concentraciones y tiempos, y una clara estabilización del efecto del producto sobre la disminución de filtrado al alcanzar concentraciones mayores a 2 (lb/bbl), ratificando así las recomendadas en la ficha técnica del producto que se encuentra entre 0.5 y 3 lb/bbl<sup>27</sup>. Y se establece un primer punto de comparación en 2 lb/bbl ya que en esta encontramos la disminución de filtrado más significativa en relación con la cantidad de producto a utilizar.

**Figura 30.** Celulosa Polianiónica como controlador de filtrado en Lodo base II.



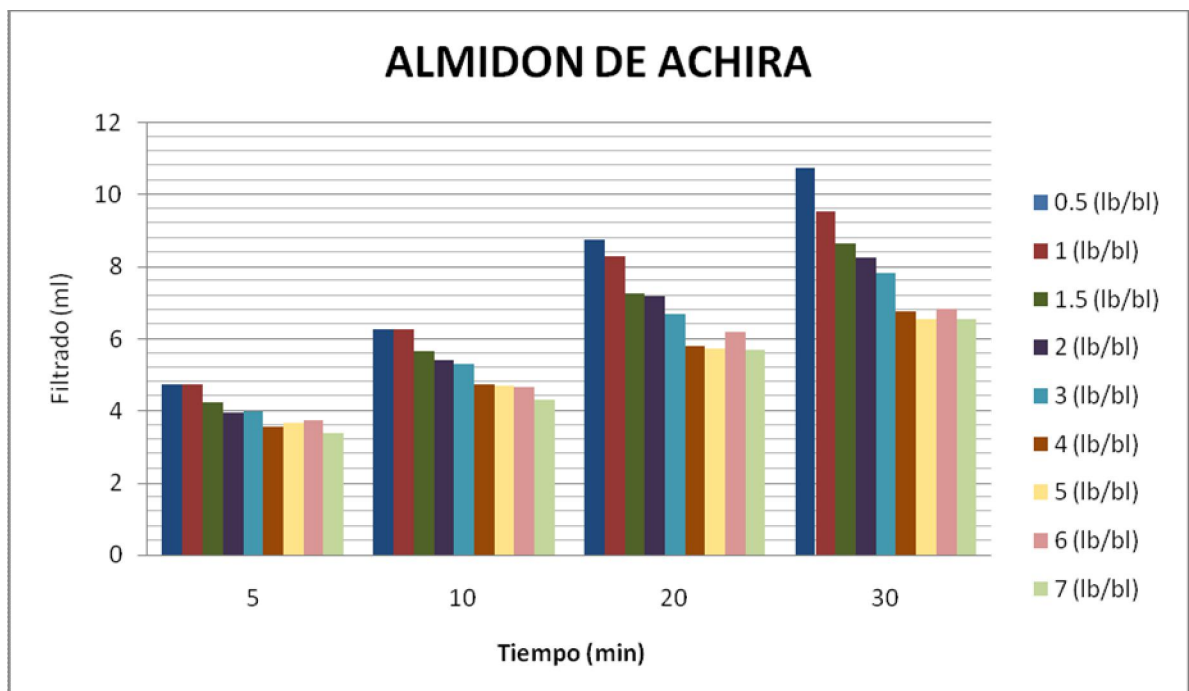
Fuente. Autores

<sup>27</sup>

[http://www.halliburton.com/public/bar/contents/Data\\_Sheets/web/Product\\_Data\\_Sheets/P\\_Through\\_Z/CELULOSA\\_POLIANIÓNICA.pdf](http://www.halliburton.com/public/bar/contents/Data_Sheets/web/Product_Data_Sheets/P_Through_Z/CELULOSA_POLIANIÓNICA.pdf)

En la **figura 31** se observa el comportamiento del almidón de achira a diferentes concentraciones como agente controlador de filtrado, el lodo responde positivamente a concentraciones que están entre los 0.5 y 4 lb/bbl, para luego estabilizarse a partir de las 4 lb/bbl e incluso fluctuar, como se evidencia a 6 lb/bbl, por consiguiente se puede tomar según los datos obtenidos un intervalo de estudio para el almidón de achira que estaría comprendido entre 0.5 y 4 lb /bbl y un segundo punto de referencia para realizar una comparación mas detallada con el CELULOSA POLIANIÓNICA 4 lb/bbl.

**Figura 31.** Almidón de Achira como controlador de filtrado en Lodo Base II.

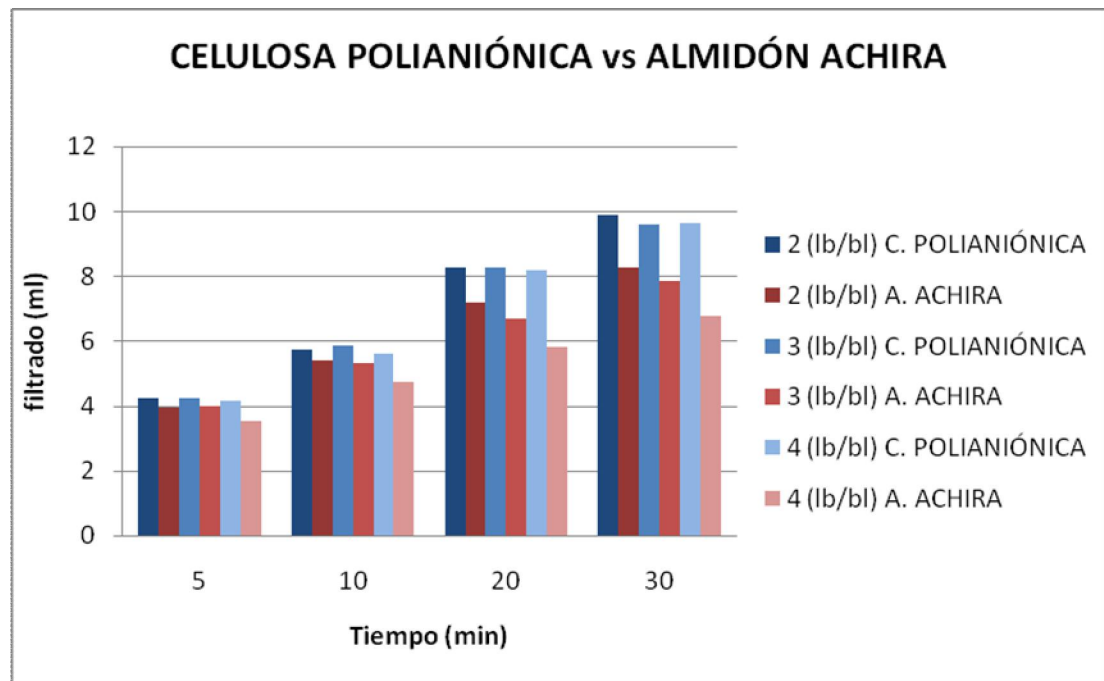


Fuente. Autores.

La **figura 32** permite ver el efecto de la CELULOSA POLIANIÓNICA (Azul) frente al almidón de Achira (Rojo), en concentraciones de 2 a 4 lb/bbl, intervalo tomado en base a los dos puntos de referencia previamente establecidos, y a los cuales se aprecia mejor comportamiento para los dos productos. La respuesta del lodo a las

mismas concentraciones es mejor con el almidón de achira efecto que se acentúa con el paso del tiempo.

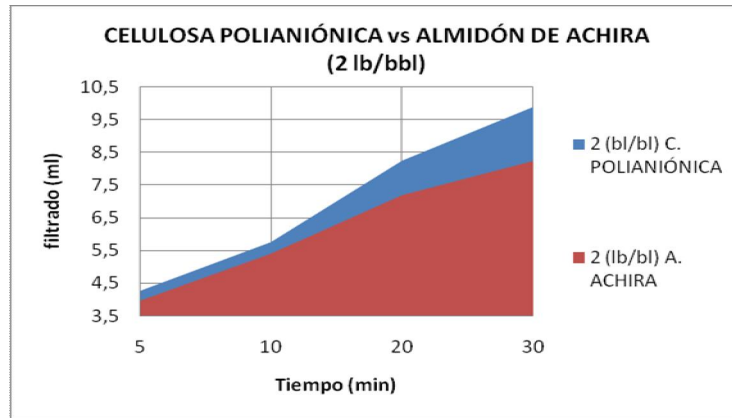
**Figura 32.** Comparación CELULOSA POLIANIÓNICA y almidón de achira a 2 y 4 lb/bbl en Lodo base II



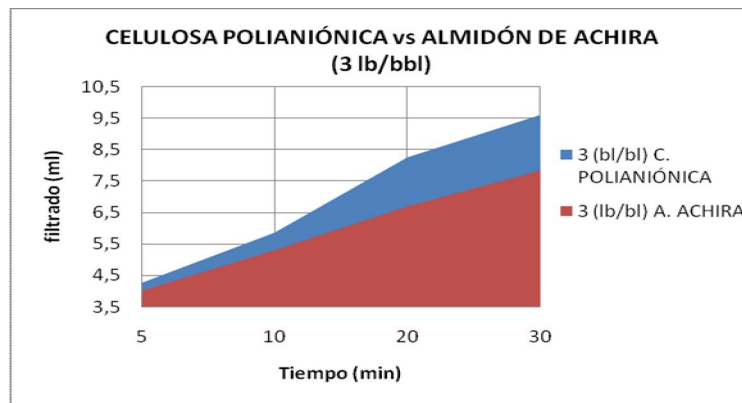
Fuente. Autores.

En las **figuras 33, 34 y 35**, se observa con mayor exactitud el comportamiento de los productos en los puntos de control 2 y 4 lb/bbl respectivamente, donde se corrobora la respuesta positiva del lodo de perforación con el almidón de achira como agente controlador de filtrado, a una concentración de 2 lb/bbl, la reducción en la cantidad de filtrado a los 30 minutos es 8,25 ml equivalente al 16,7% y en la de 4 lb/bbl de 6,75 ml correspondiente a 30 %, mientras que a 3 lb/bbl, la incidencia del Almidón de Achira no es significativo, respecto a las concentraciones mencionadas.

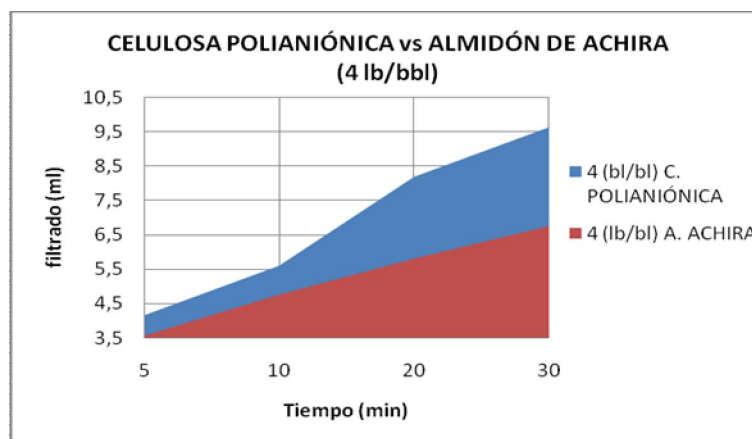
**Figura 33.** Filtrado a 2 lb/bbl para el Lodo Base II.



**Figura 34.** Filtrado a 3 lb/bbl para el Lodo Base II.



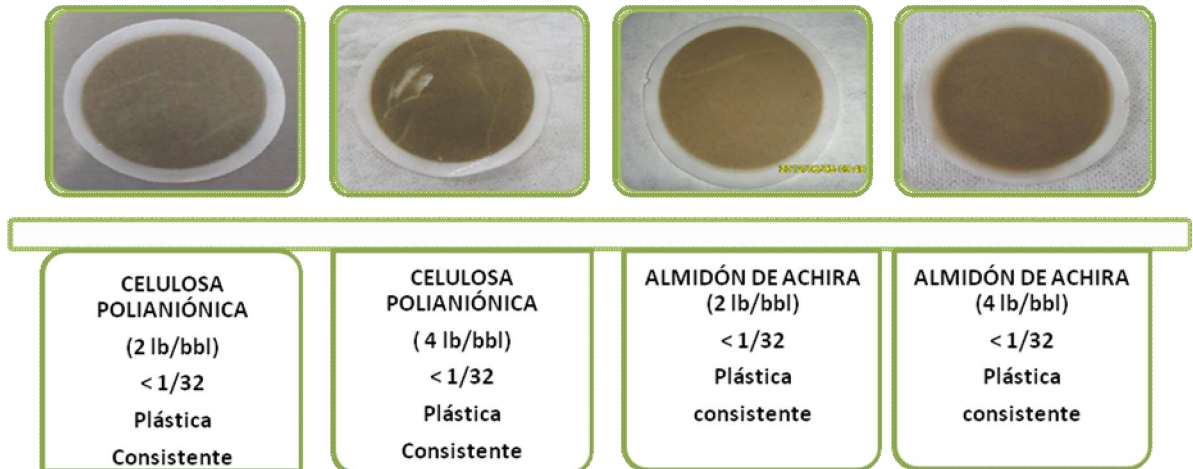
**Figura 35.** Filtrado a 4 lb/bbl en Lodo Base II.



Fuente. Autores.

En la **figura 36**, se muestran las tortas de las concentraciones de 2 y 4 lb/bbl, son de apariencia plástica y consistente con espesor inferior a 1/32 de pulgada, esto debido a que el lodo base es bajo en sólidos.

**Figura 36.** Torta de la Celulosa Polianiónica - Almidón de achira.



**Fuente.** Autores.

Respecto a los resultados de la prueba de filtrado del lodo base II, se puede concluir:

1. En términos generales para esta configuración de lodo perforación, el producto que presentó mejor respuesta como controlador de filtrado fue el almidón de achira.
2. El CELULOSA POLIANIÓNICA y el almidón de achira se estabilizan a concentraciones de 2 y 4 lb/bbl respectivamente, siendo estas las que muestran mejores resultados, lo que permitió restringir el estudio a esta sección.

#### 4.6.2 Resultados Prueba de filtrado Lodo BASE III

**Tabla 24.** Resultados prueba de filtrado Lodo Base III

PRUEBA FILTRADO POLISACÁRIDO PRESERVADO - ALMIDÓN DE ACHIRA															
	Concentración (lb/bbl)	θ 600	θ 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)
							10 Seg	10 Min							
LODO BASE III	0,5	50,5	30,3	21,1	25,25	6,25	0,35	0,3	11	8,4	4,95	7	9,5	11,65	< 1/32
	1	58,9	33,6	25,2	26,95	9	0,2	0,15	11	8,4	4,5	6	8,5	10,75	< 1/32
+  POLISACÁRIDO PRESERVADO	1,5	61,85	33,95	26,35	30,85	10,05	0,25	0,15	11	8,4	4,4	6,5	8,65	10,5	< 1/32
	2	62,7	36,15	27,6	31,5	10,2	0,3	0,25	11	8,4	4,7	6,4	8,75	10,1	< 1/32
	3	65,1	37,7	27,4	32,55	10,8	0,35	0,3	11	8,4	4,1	6,65	8,15	9,5	< 1/32
	4	81,05	46,7	32	40,5	15,5	0,55	0,5	11	8,4	3,5	5,4	7,25	8,3	< 1/32
	5	83,8	51,85	34,9	41,9	17	0,5	0,5	11	8,4	3,5	5	6,6	7,65	< 1/32
	6	90	53,05	36,95	45	17,1	0,55	0,6	11	8,4	3,25	5	6,6	7,65	< 1/32
	7	95,55	57,3	39,4	47,75	18,45	0,65	0,75	11	8,4	3	4,8	6,65	7,3	< 1/32
LODO BASE III	0,5	55,45	31,1	24,5	27,5	7,3	0,3	0,3	11	8,5	4,5	6,65	8,25	10,25	< 1/32
	1	58,10	31,85	24,4	27,5	8,9	0,3	0,3	11	8,5	4,25	5,75	7,8	9,8	< 1/32
+  ALMIDÓN ACHIRA	1,5	59,8	35	25,35	29,9	9,6	0,3	0,3	11	8,5	4	5	7,75	9,25	< 1/32
	2	54,3	32,6	24,95	27,2	7,75	0,3	0,3	11	8,5	3,25	4,65	6,85	8,85	< 1/32
	3	57,4	32,4	24,7	28,7	8,35	0,2	0,2	11	8,5	3	4,5	6,5	8,3	< 1/32
ALMIDÓN ACHIRA	4	59,7	33,9	25,9	29,83	8,4	0,2	0,2	11	8,5	3,5	5	6,4	8,25	< 1/32
	5	59,6	34	24,5	29,9	7,7	0,2	0,2	11	8,5	3,8	5	6,95	8	< 1/32
	6	57,2	31,2	24,35	28	8,4	0,2	0,2	11	8,5	3,5	5	6,2	7,35	< 1/32
	7	59,4	34,2	25,3	29	8,7	0,2	0,2	11	8,5	3	4	5,5	6,1	< 1/32

Fuente. Autores

Los resultados de los promedios de la prueba de filtrado comparando el almidón de Achira con el POLISACÁRIDO PRESERVADO se muestran en la **tabla 24**. La **tabla 25**, muestra la diferencia en la perdida de filtrado en mililitros (ml) y porcentaje (%) del lodo base III más el aditivo comercial a base de polisacáridos preservados respecto al que se le adicionó almidón de achira, los valores negativos indican mayor eficiencia del POLISACÁRIDO PRESERVADO como controlador de filtrado.

**Tabla 25.** Diferencia del filtrado en el lodo Base III.

DIFERENCIA EN CANTIDAD DE FILTRADO Y % (POLISACÁRIDO PRESERVADO - ALMIDÓN DE ACHIRA)								
Concentración (lb/bbl)	DIFERENCIA 5 MIN (ml)	%	DIFERENCIA 10 MIN (ml)	%	DIFERENCIA 20 MIN (ml)	%	DIFERENCIA 30 MIN (ml)	%
0,5	0,45	9,09	0,45	5,00	1,25	13,16	1,4	12,02
1	0,25	5,56	0,25	4,17	0,7	8,24	0,95	8,84
1,5	0,4	9,09	0,4	23,08	0,9	10,40	1,25	11,90
2	1,45	30,85	1,45	27,34	1,9	21,71	1,25	12,38
3	1,1	26,83	1,1	32,33	1,65	20,25	1,2	12,63
4	0	0,00	0	7,41	0,85	11,72	0,05	0,60
5	-0,3	-8,57	-0,3	0,00	-0,35	-5,30	-0,35	-4,58
6	-0,25	-7,69	-0,25	0,00	0,4	6,06	0,3	3,92
7	0	0,00	0	16,67	1,15	17,29	1,2	16,44

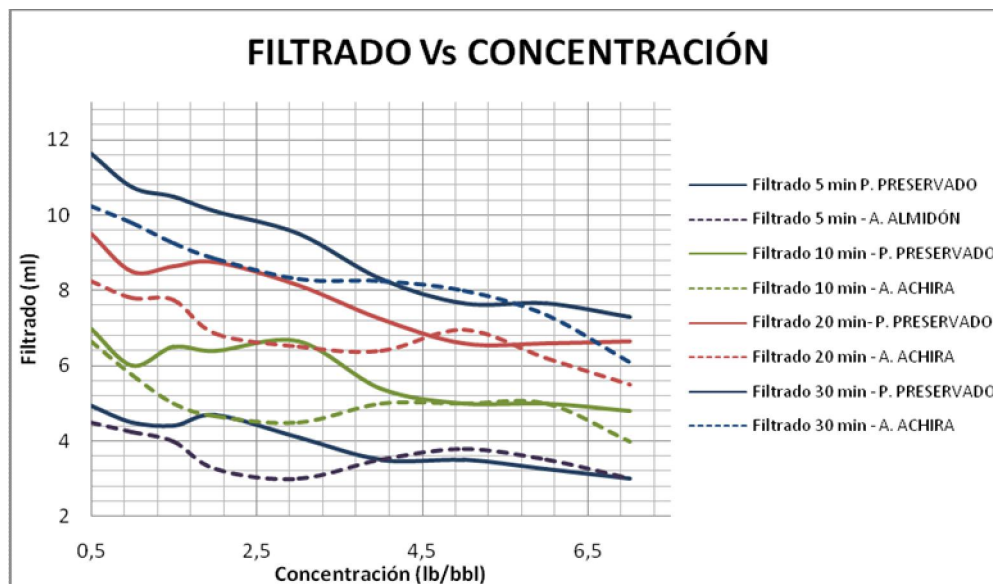
\*Filtrado(P.PRESERVADO)-Filtrado(A. Achira);

\*\* $(100 - [(\text{Filtrado(A.Achira)} \times 100) / \text{Filtrado(P.PRESERVADO)}])$

**Fuente.** Autores.

El comportamiento a diferentes tiempos y concentraciones del aditivo comercial a base de POLISACÁRIDO PRESERVADO (línea solida) y producto de estudio el almidón de achira (líneas punteadas) se presenta en la **figura 37**, donde la cantidad de filtrado es menor cuando se utiliza el almidón.

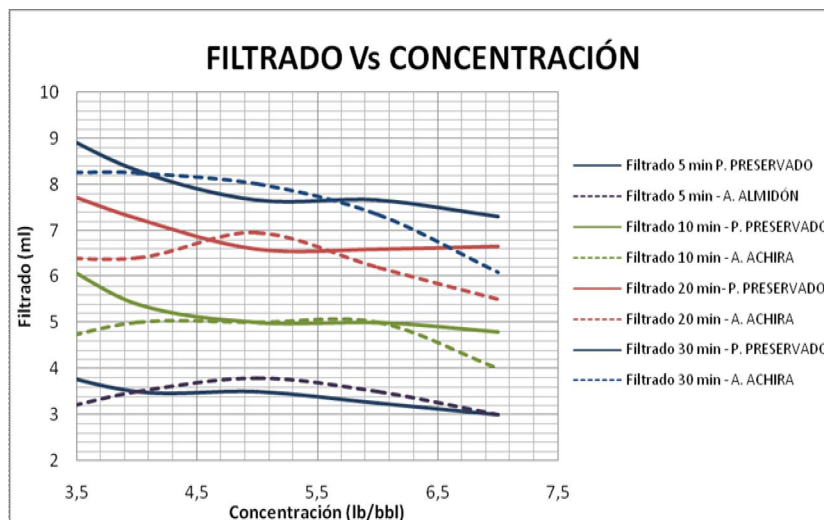
**Figura 37.** Grafico Filtrado Vs Concentración Lodo Base III



Fuente. Autores.

En la **figura 38** se amplía el intervalo comprendido entre 3,5 y 7,5 lb/bbl, en él se aprecia que el comportamiento del filtrado con el almidón de Achira se estabiliza, Lo que indica que a estas concentraciones no es factible trabajar con el almidón.

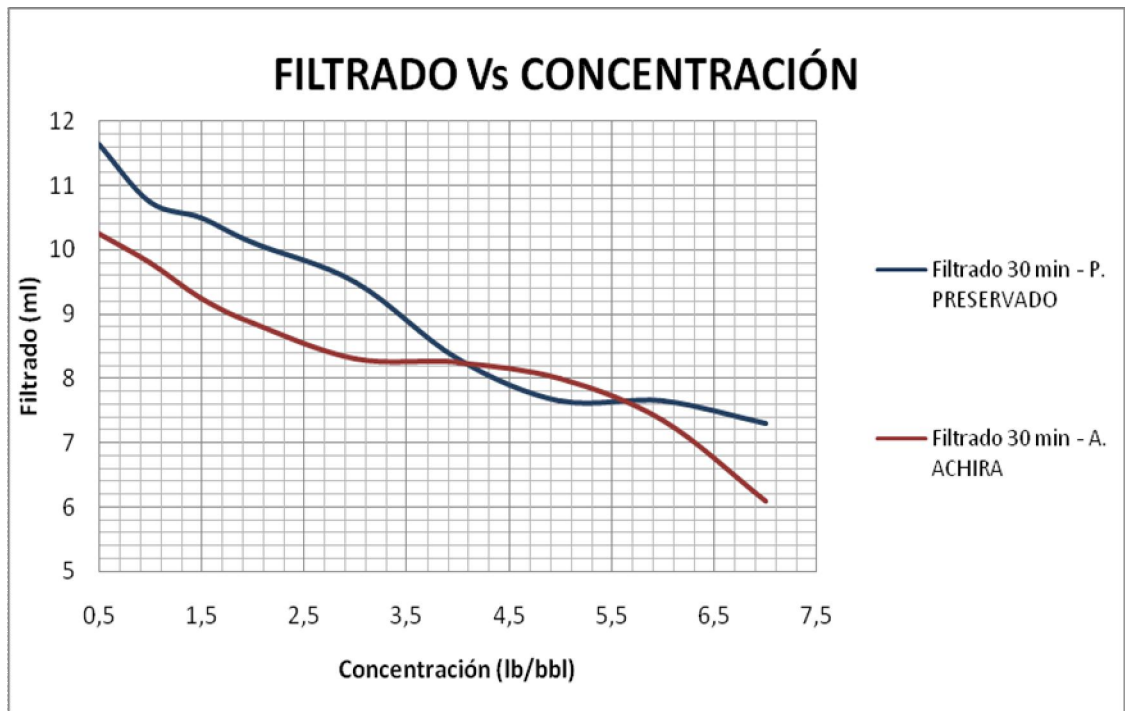
**Figura 38.** Perdida de filtrado Lodo Base III concentraciones de 4 a 7 lb/bbl.



Fuente. Autores.

La **figura 39**, muestra en detalle el comportamiento del filtrado del lodo Base III a 30 minutos.

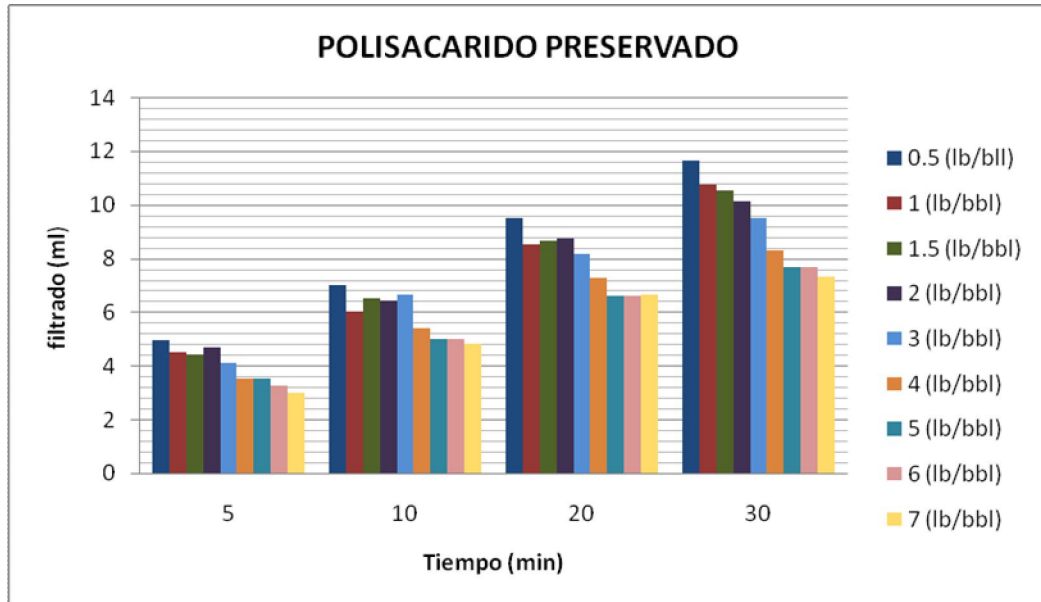
**Figura 39.** Filtrado a 30 min lodo Base III.



Fuente. Autores.

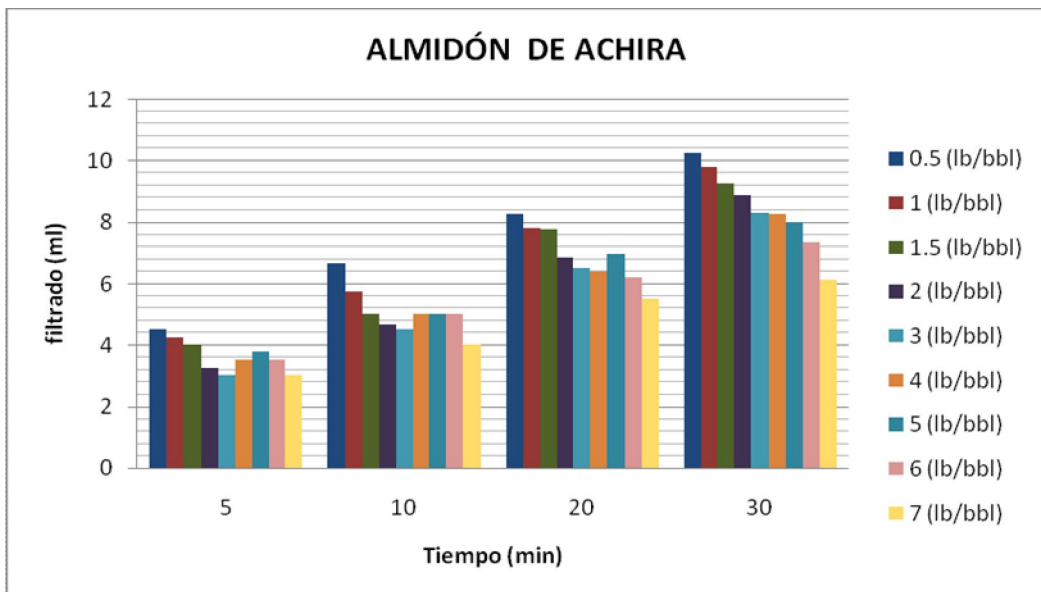
En las **figuras 40 y 41** se observa que el POLISACÁRIDO PRESERVADO se estabiliza a partir de las 4 lb/bbl y el almidón de achira por el contrario se mantiene su variación a todas las concentraciones, de acuerdo a las observaciones hechas se toma el intervalo de concentraciones entre 0.5 y 4 lb/bbl como el mas favorable para el almidón de achira como agente controlador de filtrado, a concentraciones mayores la diferencia entre el POLISACÁRIDO PRESERVADO y el almidón de achira es baja y no justifica la cantidad de adición de los dos productos .

**Figura 40.** Comportamiento del filtrado empleando POLISACÁRIDO PRESERVADO.



Fuente. Autores.

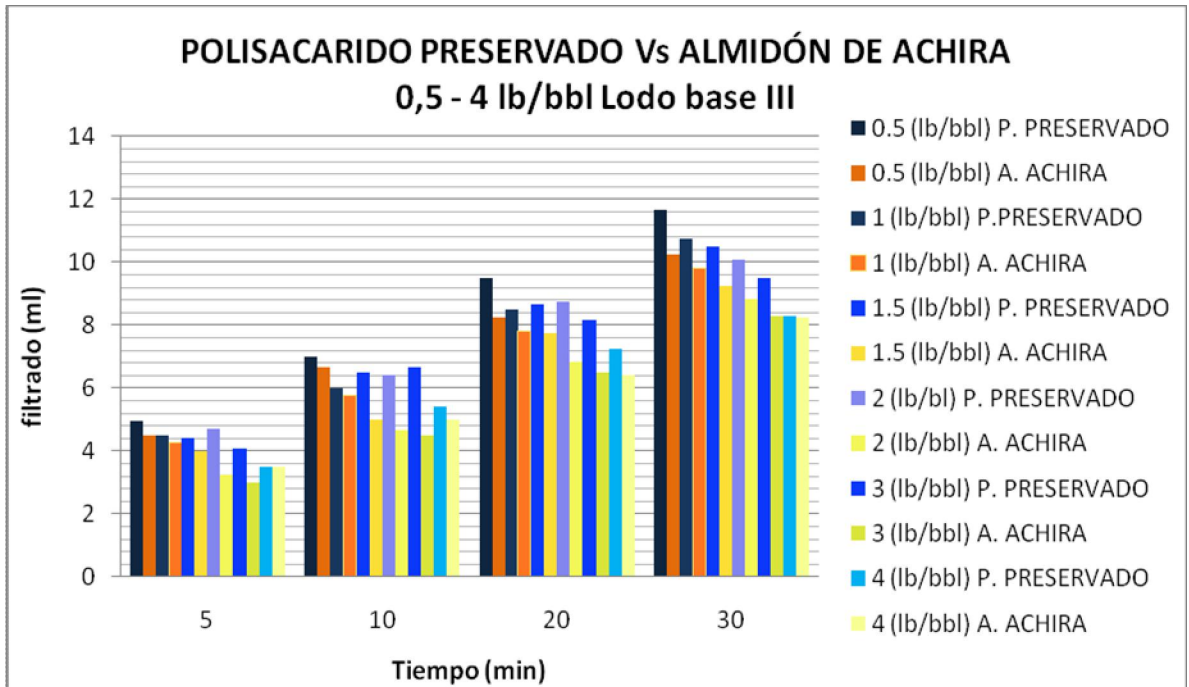
**Figura 41.** Comportamiento del filtrado con Almidón de Achira



Fuente. Autores.

En la **figura 42**, Se ratifica una mejor respuesta en el control de filtrado para las concentraciones de almidón de achira (tono Azul) sobre las de POLISACÁRIDO PRESERVADO (tonos amarillos), En las figuras 28 a 33, se grafica el comportamiento para las concentraciones de 0.5, 1, 1.5, 2, 3 Y 4 lb/bbl.

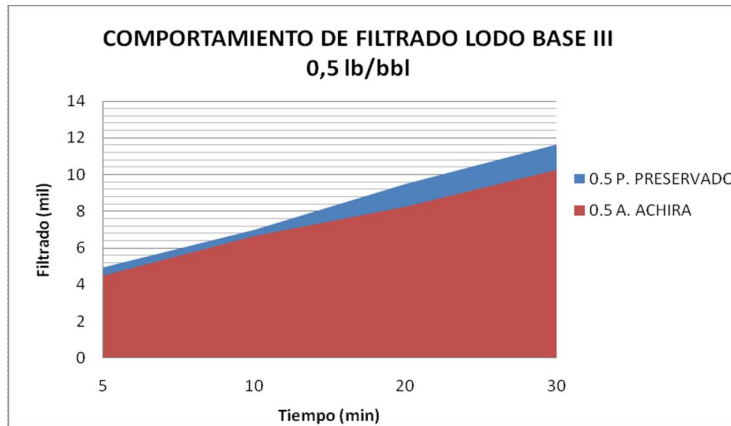
**Figura 42.** Comparación del filtrado concentración 0,5 - 4 lb/bbl Lodo Base III



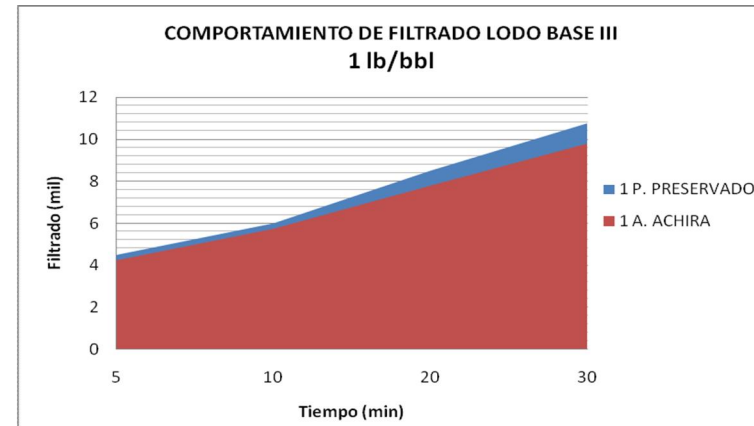
Fuente. Autores

En las concentraciones de 0,5 y 1 lb/bbl (**Figuras 43 y 44**), la diferencia en la cantidad de perdida de filtrado entre el Almidón de Achira (Rojo) y el POLISACÁRIDO PRESERVADO (Azul) es baja en promedio de 9,82% para 0,5 lb/bbl y 6,7% para 1 lb/bbl. Comportamiento que se vuelve a repetir para una concentración de 4 lb/bbl (**Figura 48**) con 4,93%. Para concentraciones intermedias (**Figura 45 a 47**), la eficiencia promedio del almidón de achira se incrementa de 13,23% a 23,01% para 1,5 y 3 lb/bbl. A 30 minutos las perdidas de filtrado en concentraciones de 0,5 a 3 lb/bbl, son menores empleando Almidón de Achira, en promedio de 9,63% y a 4 lb/bbl de 0,6 %.

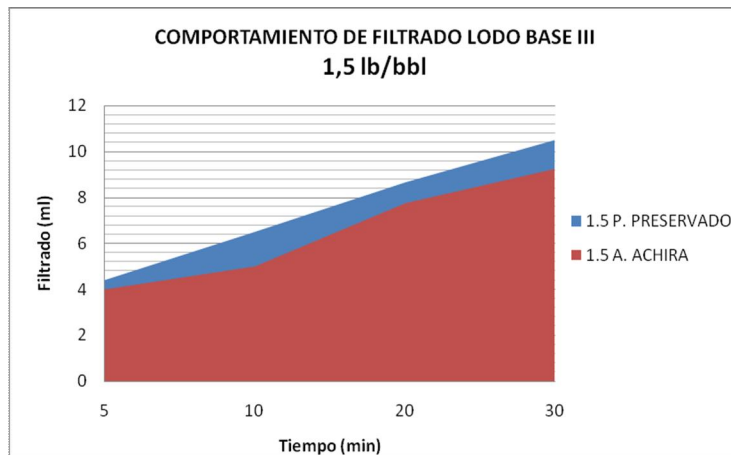
**Figura 43.** Perdida de filtrado a 0,5 lb/bbl.



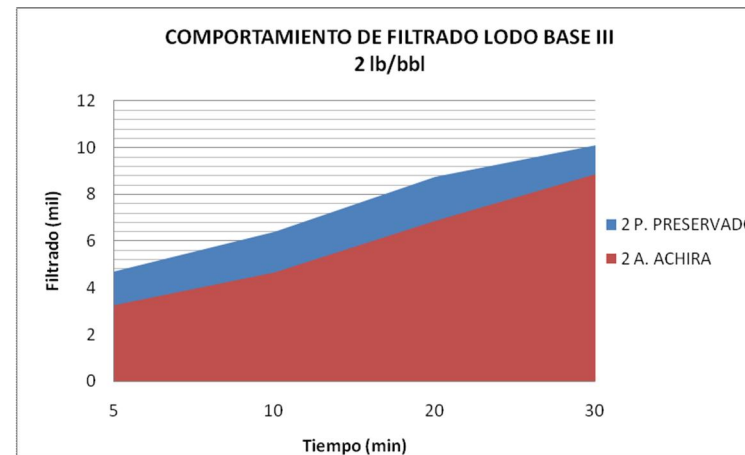
**Figura 44.** Perdida de filtrado a 1 lb/bbl.



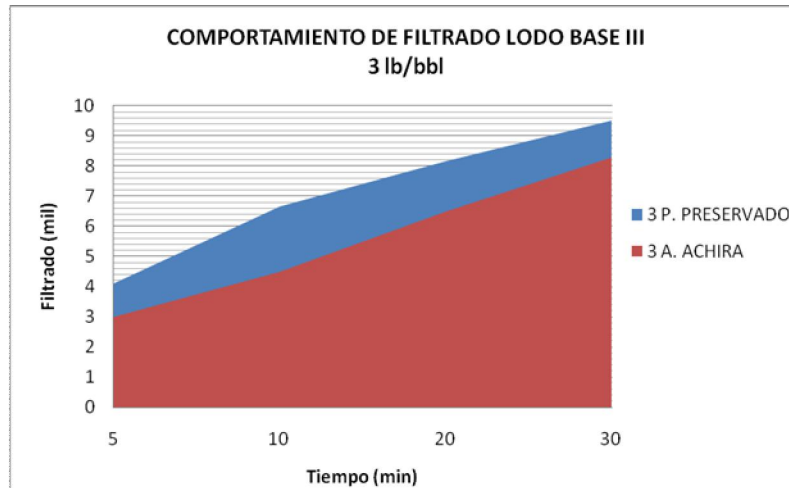
**Figura 45.** Perdida de filtrado a 1,5 lb/bbl.



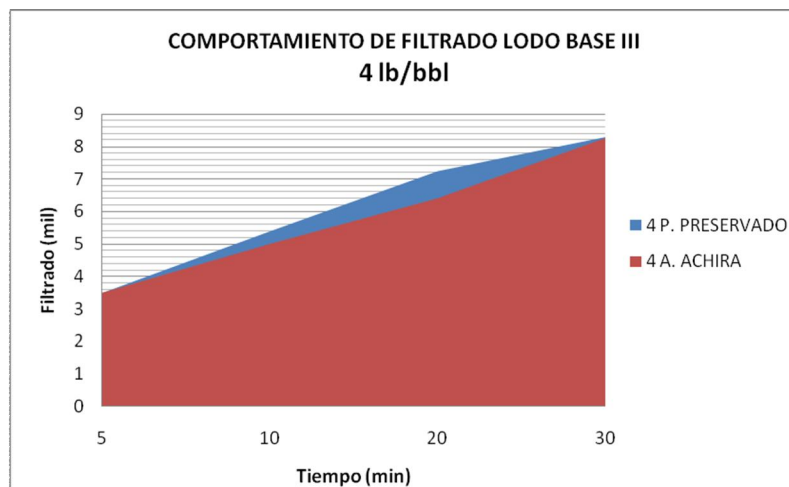
**Figura 46.** Perdida de filtrado a 2 lb/bbl.



**Figura 47.** Perdida de filtrado a 3 lb/bbl.



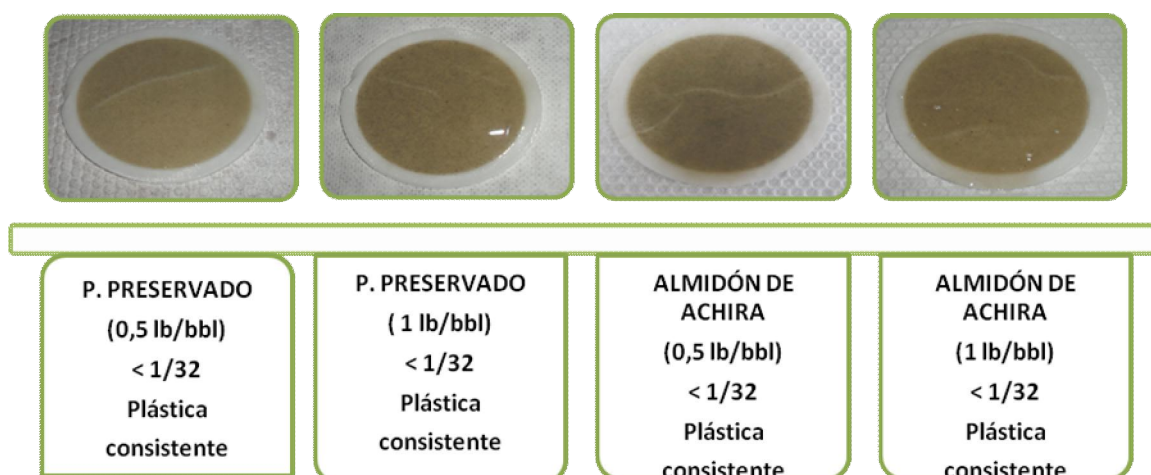
**Figura 48.** Perdida de filtrado a 4 lb/bbl.



**Fuente.** Autores.

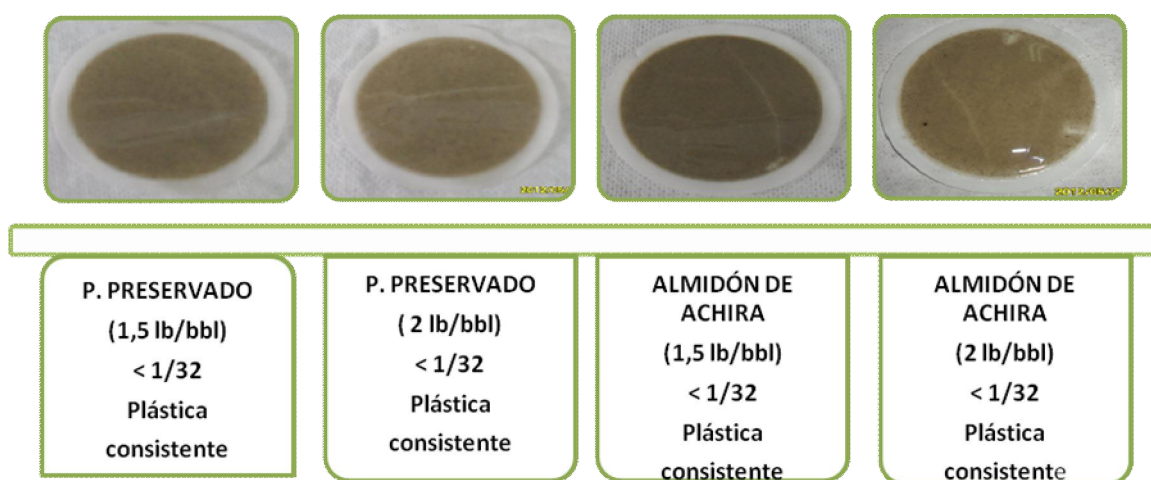
Las **figuras 49, 50 y 51**, muestran las tortas para las concentraciones mencionadas previamente, estas tienen apariencia plástica y consistente con un espesor menor a 1/32 de pulgada, debido a la ausencia de sólidos del lodo base III.

**Figura 49.** Torta del lodo base III a 0,5 y 1 lb/bbl



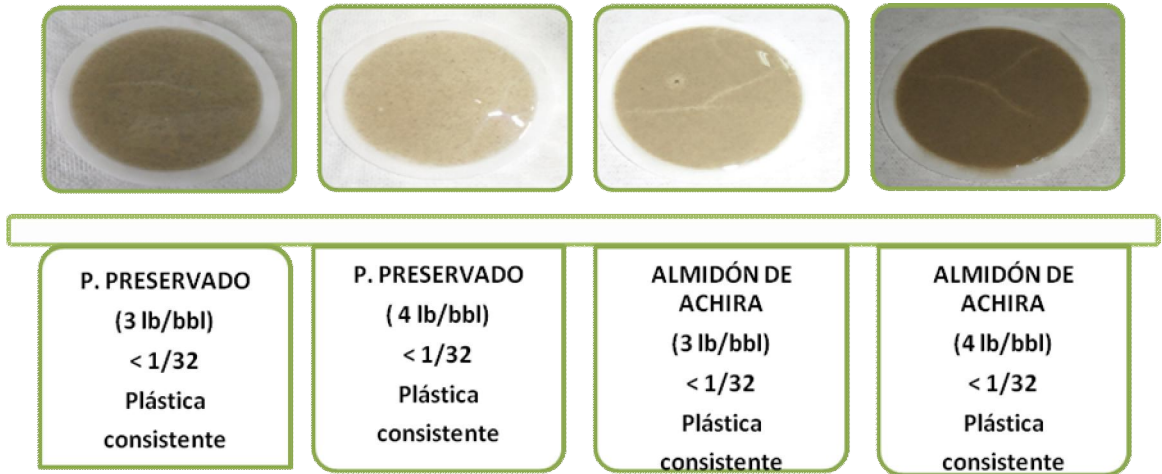
Fuente. Autores.

**Figura 50.** Torta del lodo base III a 1,5 y 2 lb/bbl



Fuente. Autores.

**Figura 51.** Torta del Lodo Base III a 3 y 4 lb/bbl.



**Fuente.** Autores.

#### 4.6.3 Resultados Prueba de filtrado Lodo BASE IV

Los resultados de la prueba de filtrado realizada al Lodo Base IV se consignan en la **tabla 26**.

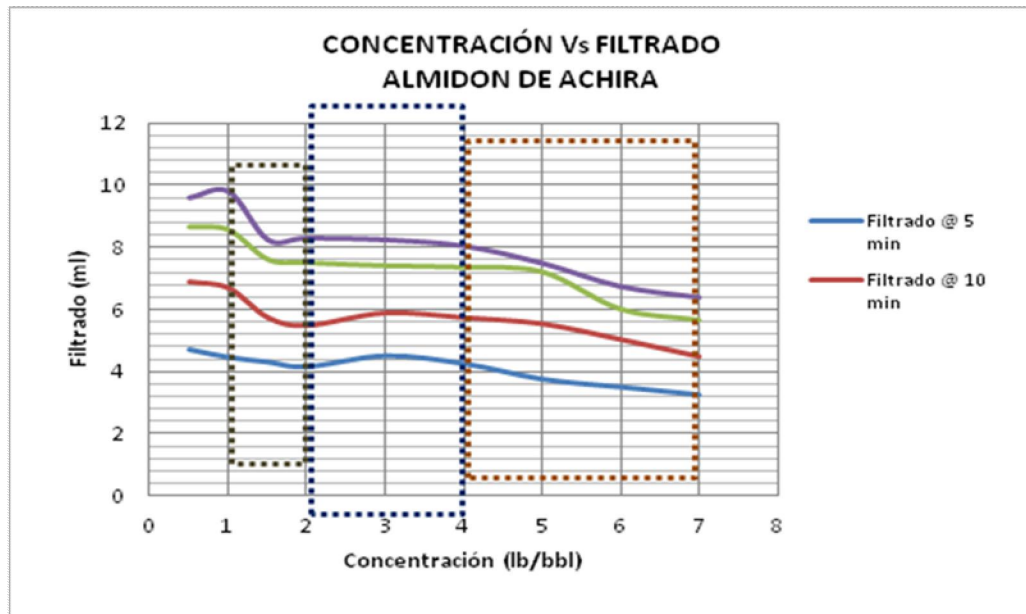
**Tabla 26.** Resultados prueba de filtrado Lodo Base IV.

PRUEBA FILTRADO ALMIDON DE ACHIRA															
	Concentración (lb/bbl)	$\theta$ 600	$\theta$ 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)	Filtrado API @ 5 min (ml)	Filtrado API @ 10 min (ml)	Filtrado API @ 20 min (ml)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32 Pulgada)
							10 Seg	10 min							
LODO IV	0,5	21,6	11,65	10,55	11,3	1,35	0,05	0,1	11	8,5	4,7	6,9	8,65	9,6	< 1/32
	1	22,65	12,45	10,75	11,3	1,8	0,1	0,15	11	8,5	4,45	6,7	8,55	9,3	< 1/32
	1,5	23,15	12,3	10,8	11,55	1,8	0,1	0,1	11	8,5	3,8	5,25	7,1	7,75	< 1/32
	2	22,95	12,4	10,65	11,5	2	0,1	0,1	11	8,5	3,65	5	7	7,8	< 1/32
+	3	23,3	12,6	10,7	11,6	1,85	0,1	0,1	11	8,5	4,5	5,9	7,4	8,25	< 1/32
	4	23,3	12,55	10,55	11,65	1,85	0,15	0,15	11	8,5	4,25	5,75	7,35	8,05	< 1/32
	5	23,1	12	11,1	11,55	1,85	0,1	0,1	11	8,5	3,75	5,55	7,2	7,5	< 1/32
ALMIDON	6	21,8	11,7	10,3	10,9	1,75	0,1	0,1	11	8,5	3,5	5,05	6	6,75	< 1/32
ACHIRA	7	23	12,15	10,7	11,5	1,55	0,1	0,1	11	8,5	3,25	4,5	5,65	6,4	< 1/32

Fuente. Autores

En la **figura 52** tenemos tres zonas, la primera de ella es la comprendida entre 1 y 2 lb/bbl, donde se observa una alta pendiente negativa en las curvas lo que significa una rápida caída del contenido de filtrado a medida que aumenta la concentración del almidón cabe resaltar que en la última parte se observa una pequeña estabilización. En la siguiente zona 2-4 lb/bbl se tiene pendientes mas pequeñas lo que representa una estabilización en la disminución del filtrado con respecto al almidón de achira y por ultimo en el intervalo de 4-7 lb/bbl nuevamente se tiene un leve incremento en la pendiente de la curva, representando una caída en la cantidad de filtrado.

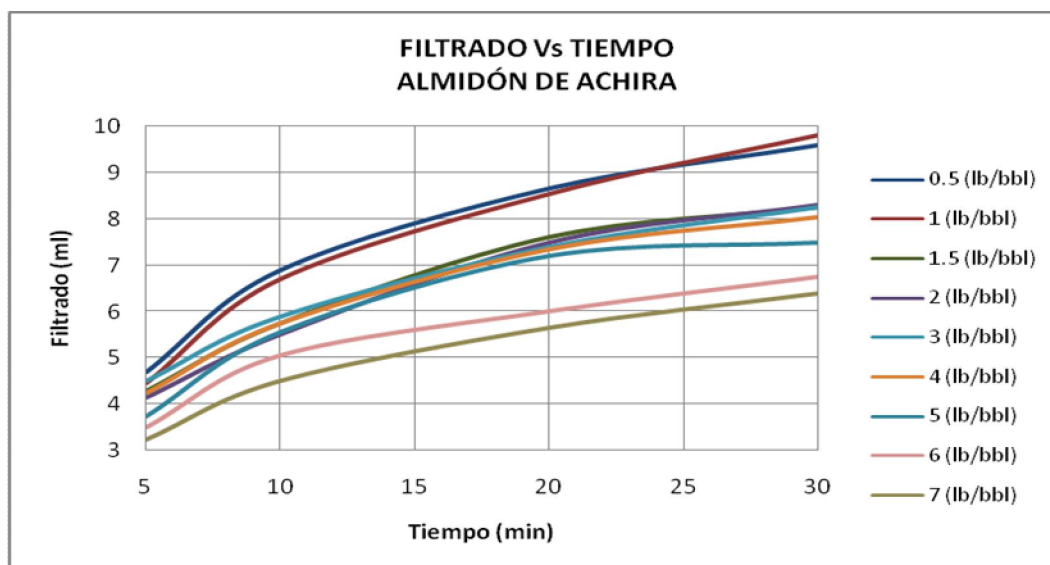
**Figura 52.** Comportamiento del filtrado en Lodo Base IV



Fuente. Autores.

En la **figura 53** se encuentran grupos de concentraciones que representan comportamientos similares 0,5 y 1 lb/bbl, de 1,5 a 4, en estos intervalos hay fuertes caídas en la cantidad de filtrado, las concentraciones mayores a 5 lb/bbl, están aisladas mostrando una tendencia de disminución de filtrado.

**Figura 53.** Comportamiento del filtrado en el Lodo Base IV con el tiempo.



Fuente. Autores.

Para analizar la incidencia del almidón de Achira en las propiedades del lodo, se evaluó sin la presencia del almidón y se procedió a comparar con los resultados obtenidos anteriormente para el lodo con concentraciones de almidón desde 0,5 – 7 lb/bbl, estos se muestran en la **Tabla 27**.

**Tabla 27.** Variación de las propiedades del lodo Base IV.

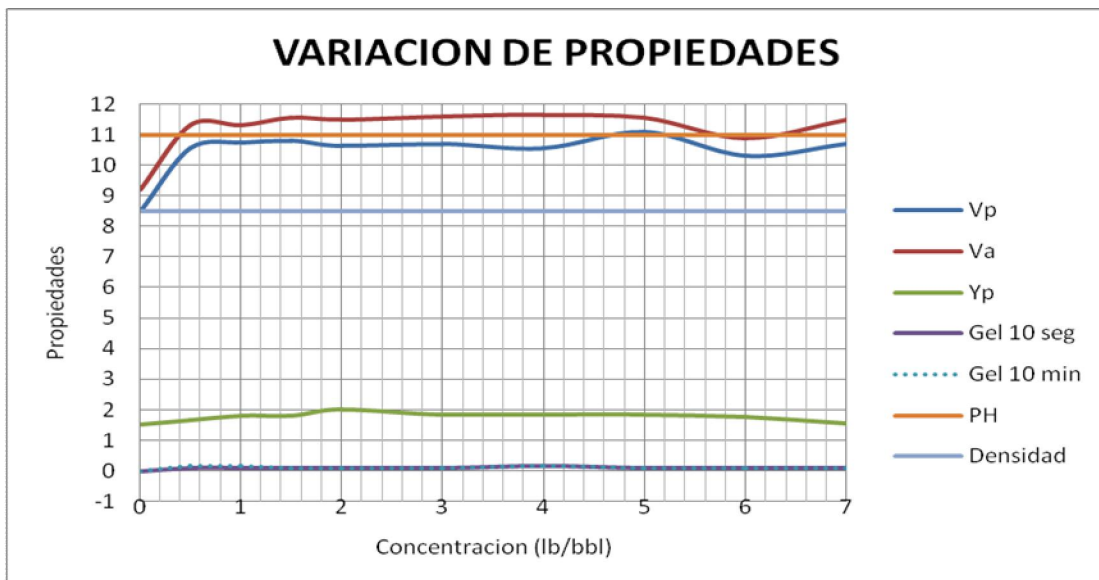
PRUEBA FILTRADO ALMIDON DE ACHIRA										
	Concentración (lb/bbl)	θ 600	θ 300	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)
							10 Seg	10 min		
LODO III	0	18,4	10,3	8,5	9,2	1,5	0	0	11	8,5
	0,5	21,6	11,65	10,55	11,3	1,65	0,1	0,15	11	8,5
	1	22,65	12,45	10,75	11,3	1,8	0,1	0,15	11	8,5
	1,5	23,15	12,3	10,8	11,55	1,8	0,1	0,1	11	8,5
	2	22,95	12,4	10,65	11,5	2	0,1	0,1	11	8,5
+ ALMIDON ACHIRA	3	23,3	12,6	10,7	11,6	1,85	0,1	0,1	11	8,5
	4	23,3	12,55	10,55	11,65	1,85	0,15	0,15	11	8,5
	5	23,1	12	11,1	11,55	1,85	0,1	0,1	11	8,5
	6	21,8	11,7	10,3	10,9	1,75	0,1	0,1	11	8,5
	7	23	12,15	10,7	11,5	1,55	0,1	0,1	11	8,5

Fuente. Autores.

En la **figura 54** se tiene la variación de las distintas propiedades del lodo. En términos generales se puede decir que las mantiene constantes, Para las viscosidades plástica y aparente se tiene una leve variación a partir de la adición de 0.5 lb/bbl de almidón de Achira, aproximadamente de 2 Cp. De ahí en adelante no importa la cantidad de almidón que se adicione estas propiedades se mantendrán estables.

Los esfuerzos de gel a 10 segundos y 10 minutos tampoco se ven afectados por la presencia del almidón, de igual manera sucede para el resto de las propiedades.

**Figura 54.** Variación de las propiedades del Lodo Base IV.



Fuente. Autores.

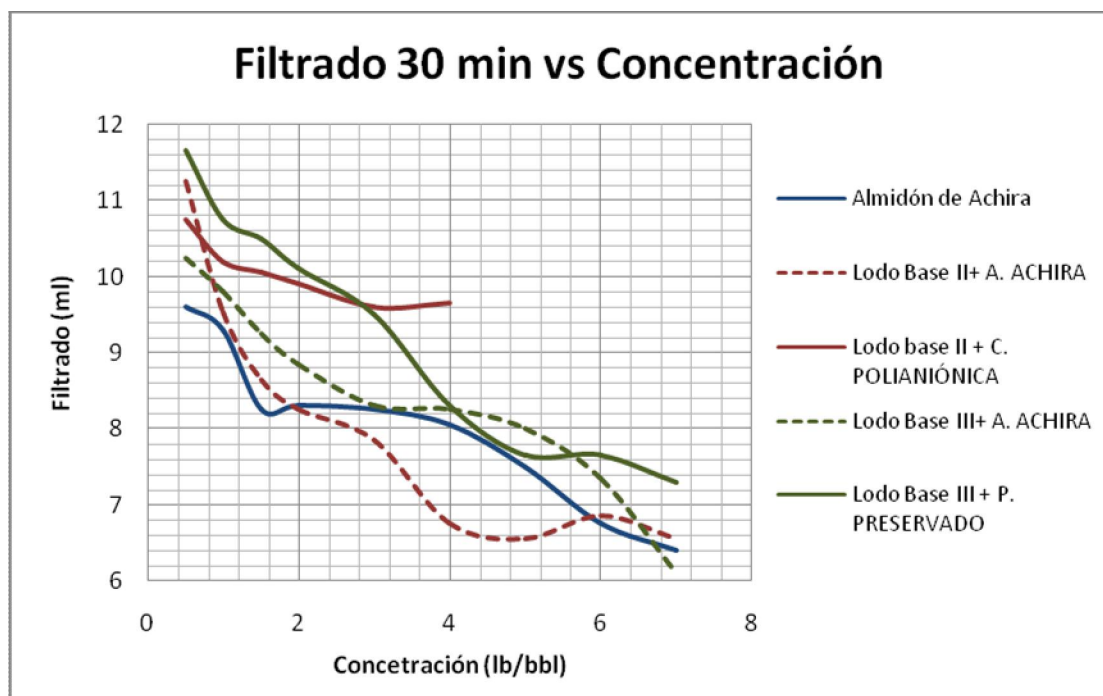
#### 4.6.4 Comparación de los resultados obtenidos con polisacárido preservado, la celulosa polianiónica y el almidón de Achira.

Para terminar con el análisis del almidón de Achira como agente controlador de Filtrado, se realizó una revisión de los resultados obtenidos en todas las pruebas teniendo en cuenta los intervalos de concentración de interés seleccionados.

- CELULOSA POLIANIÓNICA - Almidón de Achira (2 – 4 lb/bbl).
- POLISACÁRIDO PRESERVADO – Almidón de Achira (0.5 – 4 lb/ bbl).
- Almidón de Achira (1- 2 lb/bbl).

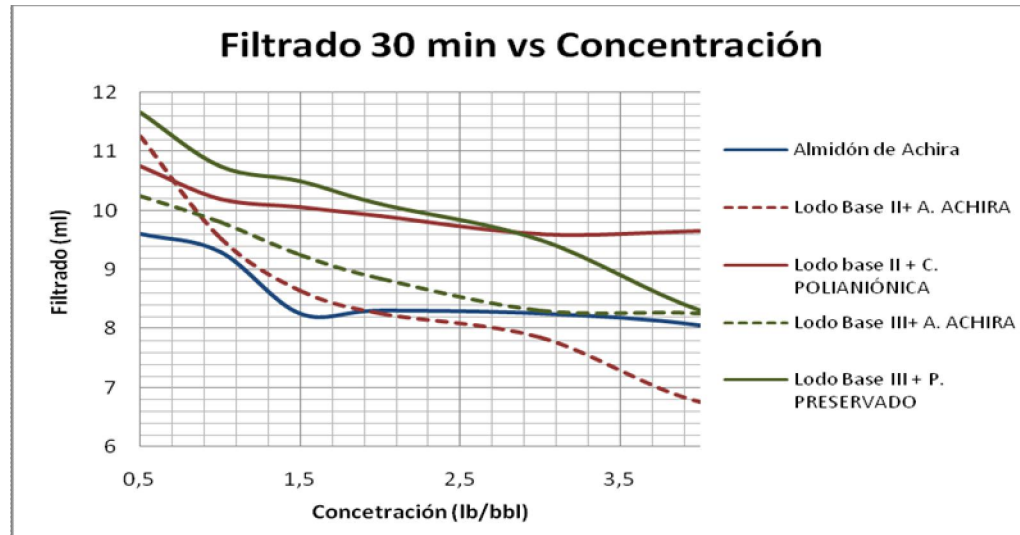
De este análisis, se obtiene un intervalo de estudio establecido entre 0.5 y 4 lb/bbl. Estudiando los resultados para 30 minutos de acuerdo con lo establecidos en la prueba de filtrado API, como se muestra en la **figura 55** y **figura 56**.

**Figura 55.** Comparación de los Lodos Base II, III y IV a 30 min de Filtrado.



Fuente. Autores.

**Figura 56.** Comparación filtrados Lodos Base II, III y IV a 30 min en intervalo de interés.



Fuente. Autores.

De las **figuras 55 y 56** se concluye:

- Las concentración óptima del almidón de achira esta en el intervalo de 0,5 y 2 lb/bbl.
- El almidón de Achira muestra mejor rendimiento en el lodo Base II, que lleva en su composición POLISACÁRIDO PRESERVADO, comparado con el Lodo Base III que contiene CELULOSA POLIANIÓNICA
- Para la configuración de los lodos mostrados, Los mejores resultados se obtienen en aquellos que se empleo el Almidón de achira como agente controlador de filtrado.
- En concentraciones de 2 a 4 lb/bbl, el Lodo base II + Almidón de Achira, muestra mejores resultados, alcanzando valores de 6,75 ml de filtrado a 4 lb/bbl, en concentraciones de 6 a 7 lb/bbl los resultados de la cantidad de filtrado tiende a la misma cantidad en los lodos que se les adicionó Almidón.

De acuerdo a lo expuesto en este capítulo y retomando algunos conceptos básicos descritos en capítulos anteriores del libro, se puede decir que:

1. El almidón de Achira funciona de manera efectiva como agente controlador de filtrado en concentraciones que van de 0,5-2 lb/bbl.
2. La torta extraído de la prueba de filtrado API, es consistente, plástico y menor 1/32 de pulgada.
3. Las pérdidas de filtrado de los lodos analizados se encuentran en rangos comprendidos entre los siete (7.0) y once (11.0) ml.
4. Se evidencia la presencia del chorro de lodo o “mud spurt” en los primeros instantes de la realización de la prueba API.
5. El Almidón de Achira ofrece buenos resultados como agente controlador de filtrado comparado con otros agentes comúnmente utilizados por la industria como lo son la CELULOSA POLIANIÓNICA y el POLISACÁRIDO PRESERVADO, sin realizar ningún tratamiento previo al almidón.
6. El Almidón de Achira no tiene mayor incidencia sobre las otras propiedades del lodo de perforación ( $V_a$ ,  $V_p$ ,  $Y_p$ , esfuerzos de gel, pH y densidad), manteniéndolas constantes comparado con valores obtenidos con diferentes aditivos utilizados en los lodos de perforación.
7. El almidón ofrece resistencia a agentes que degradan y modifican las propiedades del lodo, aún sin realizar ningún tratamiento previo y sin la adición de biocidas, manteniendo estable las propiedades que para efecto de este proyecto fueron medidas.

Los numerales de 1 a 5 se explican, gracias al amplio rango de tamaño que maneja los gránulos de almidón de Achira, de igual manera la achira produce el gránulo de almidón más grande (30-100 micras de diámetro) de todas las especies conocidas (Maíz, trigo, Yuca y papa entre 10-30 micras de diámetro).

Esto junto a otros factores facilita la formación de puentes en la superficie de los poros, produciendo un sellado en los poros de la torta, al igual que encapsula los sólidos presentes en el lodo, disminuyendo así la permeabilidad de la torta que a su vez repercute de manera positiva en el control de la pérdida de filtrado hacia la formación. Cabe aclarar que la reducción en la pérdida de filtrado no se produce gracias a la viscosificación de la fase líquida, ya que al almidón de Achira no se le realizó el debido proceso de pregelatinización, lo cual explica que no se presenten cambios en las propiedades reológicas del lodo (numeral 6), ya que no se rompió la capa de amilopectina necesaria para liberar la amilosa, responsable en gran parte de estos cambios.

El uso del almidón de Achira como controlador de filtrado en fluidos de perforación, sería una alternativa entre otros por:

- Evita que se presenten puntos apretados en el pozo y pega de tubería.
- Reduce las operaciones de suabeo y pistoneo.
- Disminución de los daños a la formación.
- Reducen los problemas con lutitas e inestabilidad del hueco.

#### **4.7 FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO EXTENDEDOR DE PROPIEDADES DE LA BENTONITA.**

Para establecer la factibilidad del uso de almidón de la Achira como extendedor de propiedades de la bentonita se diseñó un lodo base V, y se midió la reología, el PH y la densidad; para ser comparado con un extendedor comercial empleado en la ingeniería de lodos.

**La tabla 28** muestra los resultados de la prueba de extensión de las propiedades de la bentonita en el Lodo Base V. Esta prueba se realizó comparando un extendedor comercial (EXTENDEDOR DE BENTONITA) y el Almidon de Achira en concentraciones desde 0,3 hasta 1,5 lb/bbl.

**Tabla 28.** Resultados de las pruebas al Lodo Base V.

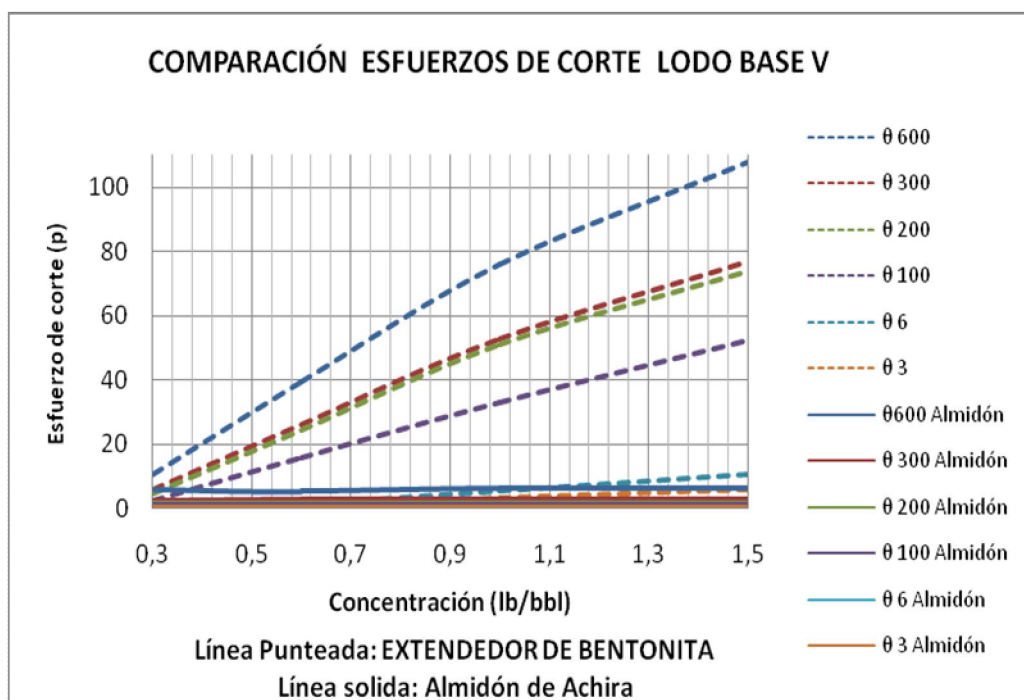
PRUEBA DE EXTENSIÓN DE PROPIEDADES DE LA BENTONITA														
1	Concentración (lb/bbl)	θ 600	θ 300	θ 200	θ 100	θ 6	θ 3	Vp (cp)	Va (cp)	Yp	Esfuerzo Gel		pH	Densidad (lb/Gal)
											10 seg	10 min		
LODO BASE V	-	4	2,4	1,3	0,8	0,2	0,2	1,6	2	0,1	0,2	0,2	11,5	8,4
LODO BASE V + EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,3	10,6	5,6	4	2	0,3	0,2	5,7	5,3	0,1	0,1	0,2	11,5	8,4
	0,6	39,8	26,2	24,9	15,9	1,6	0,7	13,8	19,9	13,3	0,6	0,8	11,5	8,4
	1	76,4	52,2	50,5	33,4	5,3	3,3	24,3	38,2	29,3	3,1	4	11,5	8,4
	1,5	107	75,5	74,6	51,7	10	5,9	31,3	54	47,1	5	8,9	11,5	8,4
LODO BASE V + ALMIDON ACHIRA	0,3	5	2,6	1,6	1,1	0,3	0,3	2,4	2,5	0,4	0,2	0,2	11,5	8,5
	0,6	5,1	2,7	1,6	1,1	0,4	0,4	2,4	2,6	0,6	0,3	0,3	11,5	8,5
	1	6,1	2,8	1,6	1,1	0,3	0,3	3,3	3,05	0,5	0,2	0,2	11,5	8,5
	1,5	6,2	2,8	1,7	1,2	0,4	0,4	3,4	3,1	0,6	0,1	0,1	11,5	8,5

LODO V	AQUAGEL	5	Lb/bbl
	SODA CAUSTICA	3	Lb/bbl

Fuente. Autores.

La **figura 57**, Muestra la tendencia de los esfuerzos de corte a las diferentes velocidades, para el EXTENDEDOR DE BENTONITA y el Almidón de Achira, se comprueba que el Almidón no es viable emplearlo con extendedor de las propiedades de la bentonita, ya que no modifica la reología del lodo.

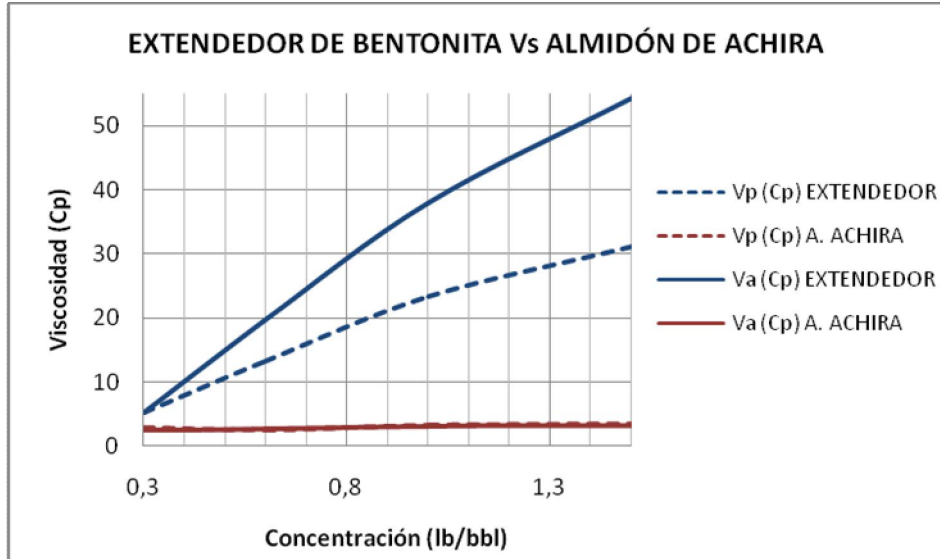
**Figura 57.** Comparación de los Esfuerzos de corte del Lodo Base V.



Fuente. Autores.

La **figura 58**, muestra la variación de las viscosidades plástica y aparente del lodo base V, comparando el extendedor comercial y el almidón de Achira, se ratifica la incapacidad del almidón de Achira sin tratamiento para aportar viscosidad al Lodo

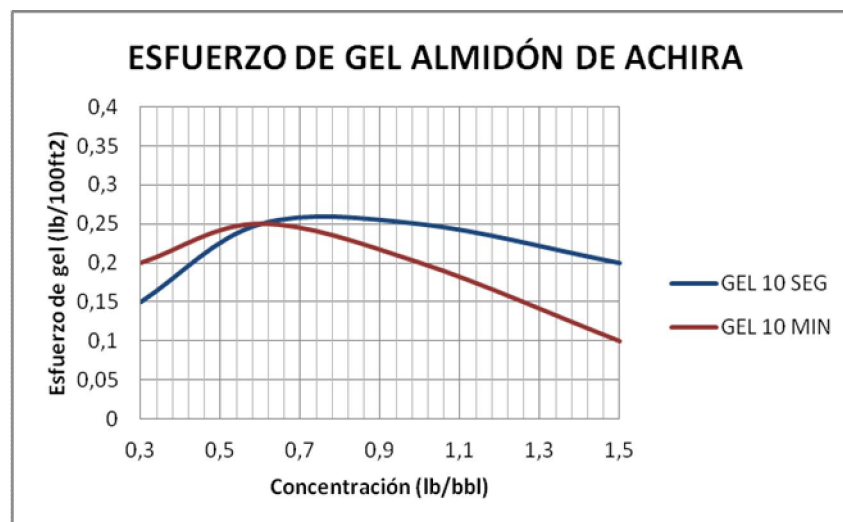
**Figura 58.** Comparación de Viscosidades Lodo Base V.



Fuente. Autores.

La **figura 59**, muestra las propiedades tixotropicas a 10 segundos y 10 minutos para el almidón de Achira, donde no se evidencia la formación de geles.

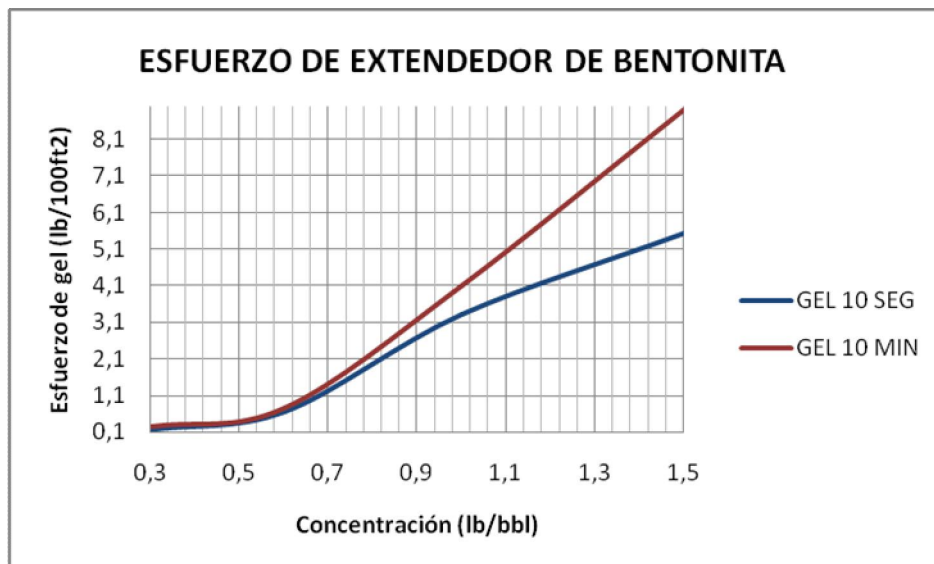
**Figura 59.** Esfuerzo de gel para el Almidón de Achira en Lodo Base V.



Fuente. Autores.

En la **figura 60**, se muestra el comportamiento de los geles en el lodo Base V, adicionando el Extendedor de propiedades de la Bentonita (EXTENDEDOR DE BENTONITA), es clara la diferencia con el producto propuesto, que no contribuye a la ejecución de las principales funciones de un lodo de perforación, como lo es la remoción de detritos del pozo.

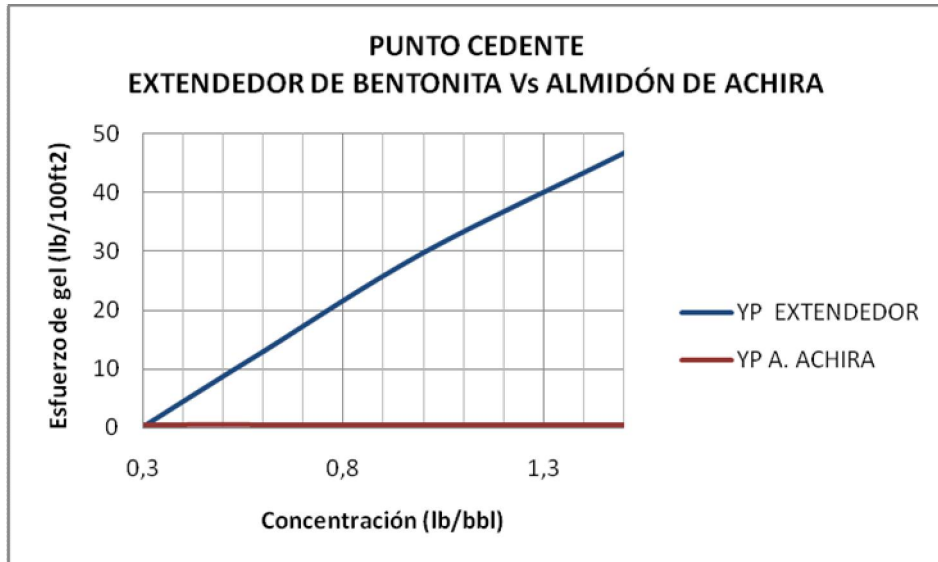
**Figura 60.** Esfuerzo de gel para el extendedor de bentonita en Lodo Base V.



Fuente. Autores.

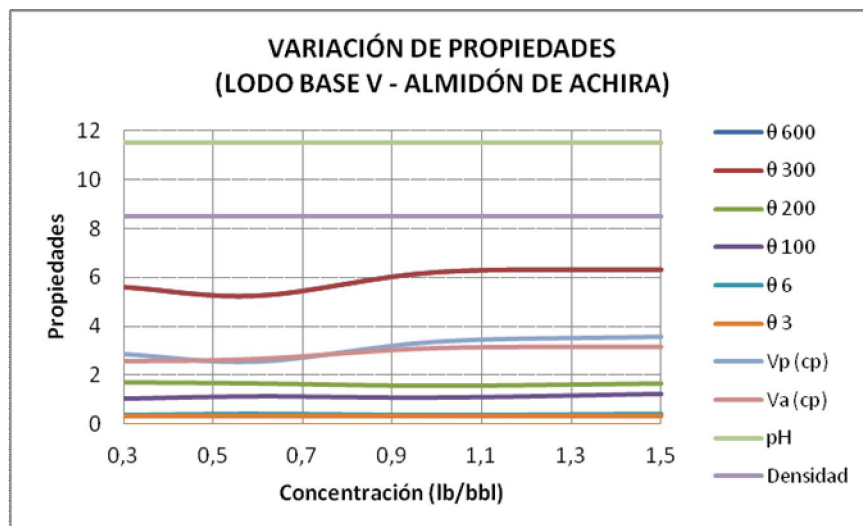
La **figura 61**, muestra el comportamiento del punto de cedencia del EXTENDEDOR DE BENTONITA frente al Almidón de Achira, para este último no hay variación demostrando que no es viable su utilización como extendedor de propiedades de la Bentonita, ni como agente viscosificante ya que no hay incremento en ninguna de las propiedades medidas en esta prueba (**figura 62**). Debido a que como se explicó en la sección de pruebas de viscosidad no se realizó ningún tratamiento previo al almidón de Achira que modificara su estructura molecular liberando amilosa.

**Figura 61.** Comportamiento de YP Lodo Base V.



Fuente. Autores.

**Figura 62.** Variación de Propiedades Lodo Base V empleando Almidón de Achira.



Fuente. Autores.

#### 4.8 ANALISIS DE COSTOS DEL ALMIDÓN DE ACHIRA COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN

El análisis de costos se realizó teniendo en cuenta la eficiencia del producto como agente controlador de filtrado, los precios de los productos se cotizaron, puestos en la ciudad de Bogotá (Colombia), (**tabla 29**), se encontró que el costo de los mismos dependen de la cantidad de producto y del tipo de contrato a establecer.

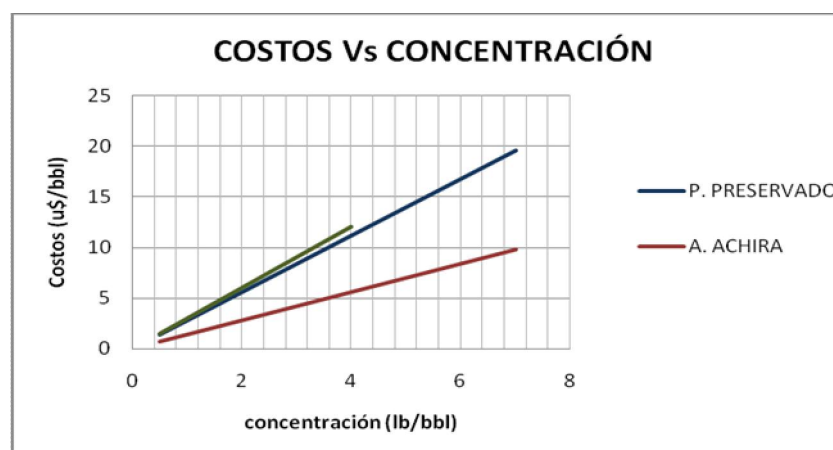
**Tabla 29.** Precios de aditivos.

PRODUCTO	VALOR	UNIDAD	PRESENTACIÓN
CELULOSA POLIANIÓNICA	150	U\$	Saco 50 lb
POLISACARIDO PRESERVADO	140	U\$	Saco 50 lb
ALMIDÓN DE ACHIRA	70	U\$	Saco 50 lb

Fuente. Autores.

En la **figuras 63** se compara el valor comercial frente a la concentración del almidón de Achira con el producto comercial a base de CELULOSA POLIANIÓNICA y POLISACARIDO PRESERVADO, se encuentra la curva del almidón de achira por debajo de la de los producto comerciales indicando la economía del mismo a todas las concentraciones.

**Figura 63.** Comparación costos.



Fuente. Autores.

## CONCLUSIONES

- El almidón de achira sin ningún tratamiento previo es viable técnicamente como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua tipo bentónicos, en un amplio rango de concentraciones se demostró que obtiene mejores resultados que otros aditivos comerciales utilizados en la industria.
- El almidón de achira funciona como agente controlador de filtrado, gracias al amplio rango de tamaño, produce el gránulo de almidón más grande (30-100 micras de diámetro) de todas las especies conocidas (Maíz, trigo, Yuca y papa entre 10-30 micras de diámetro).
- En relación a producto utilizado/pérdida de filtrado, el almidón de achira funciona de manera óptima como agente controlador de filtrado, en concentraciones que van de 0,5-2 lb/bbl, manteniendo las pérdidas de filtrado comprendidas entre los siete (7) y once (11) ml a 30 minutos.
- El almidón de achira como agente controlador de filtrado no presenta mayor incidencia sobre las otras propiedades del lodo de perforación (Va, Vp, Yp, esfuerzos de gel, pH y densidad).
- El uso del almidón de Achira como agente controlador de filtrado, proporciona baja pérdida de filtrado hacia la formación y una torta plástica consistente y de espesor menor a un 1/32 de pulgada, disminuyendo operaciones de suabeo y pistoneo, puntos apretados en el pozo, pega de tubería, problemas con lutitas e inestabilidad del hueco y daño a la formación, entre otros.

- El almidón de achira en periodo de tres (3) días ofrece resistencia a agentes que degradan que modifican las propiedades del lodo, sin el empleo de biocidas ni tratamiento previo.
- El almidón de Achira como se probó en el presente trabajo (sin modificar) no es buen agente viscosificante para fluidos de perforación base agua, por que las largas cadenas moleculares no se han roto y no le permite ser soluble en agua a temperatura ambiente, haciendo que las moléculas se reordenen y se separe la fase solida de la fase acuosa.
- El almidón de Achira sin modificar NO genera geles ni puntos de cedencia debido a que las cadenas ramificadas de la amilopectina se decantan por su poca capacidad de hinchamiento al absorber el agua libre de la mezcla, haciendo que el lodo sea incapaz de sostener material densificante y extraer los recortes del pozo.
- No es factible el empleo del almidón de achira sin modificar como agente extendedor de las propiedades de la Bentonita, debido a que las características químicas necesarias para impartir efecto en la reología del lodo no se han activado, (rompimiento de la capa protectora de la amilopectina para liberar la amilosa).
- Colombia ofrece las condiciones climáticas favorables para el cultivo de la achira o sagú, haciendo una posible explotación a mayor escala, mediante la tecnica del cultivo, la extracción del almidón para alternativa de uso industrial en Lodos de perforación como agente controlador de filtrado, por sus propiedades de ser un polímero natural, el cual disminuye el impacto ambiental comparado con otros productos químicos comerciales utilizados.

## RECOMENDACIONES

Realizar el proceso de tratamiento de pregelatinización al almidón de Achira y evaluar la efectividad como agente viscosificante y controlador de filtrado.

Realizar una investigación de las características fisicoquímicas del almidón de Achira, para tener mayores fundamentos que permitan definir las condiciones y alternativas de uso en la industria de hidrocarburos.

Profundizar en la investigación del almidón de achira como controlador de filtrado en lodos de perforación base agua, realizando pruebas de tratamiento a lodos contaminados para establecer su eficiencia y definir las concentraciones óptimas de almidón a emplear.

Continuar realizando investigación con productos naturales en la industria de los hidrocarburos contribuyendo a la economía y el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades productoras y del medio ambiente.

Realizar pruebas de repetitividad para obtener un análisis estadístico más completo, ya que por limitaciones en la disponibilidad del laboratorio de Lodos y cementos, se hizo únicamente una réplica de todas las pruebas expuestas en este documento.

## BIBLIOGRAFIA

**AMANULLAH, M.**, “screening and evaluation of some environment-friendly mud to use in water-based drilling muds”. SPE, 2007.

**ARIZA, L.**, Emiliano; **FAJARDO, M.**, Adrian, Factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación, Revista ION, Bucaramanga (Colombia), 15-22, Junio de 2011.

**BELLO-Pérez, L.A.** Amilopectina-Characterización molecular y funcional. Tesis Doctoral, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Irapuato, Guanajuato, México. (1995).

**CAICEDO, Guillermo**, El cultivo de achira: Alternativa de producción para el pequeño productor Disponible en: [http://cipotato.org/artc/Series/06\\_PDF\\_RTAs\\_Capacitacion/11\\_El\\_cultivo\\_achira\\_a\\_lternat\\_produc.pdf](http://cipotato.org/artc/Series/06_PDF_RTAs_Capacitacion/11_El_cultivo_achira_a_lternat_produc.pdf) consultado el 10 de enero de 2012 20:12.

**CARICO, R.D.**, **BAGSHAW, F.R.** “Description and use of polymers used in drilling workovers, and completions, SPE, 1978.

**CORPOICA**, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria; Programa Nacional de Transferencia de Tecnología, PRONATTA. El Almidón de Achira o Sagú (Cannaedulis, Ker) Manual Técnico para su Elaboración Disponible en: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/Almidon%20de%20achira%20o%20sagu.pdf](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/Almidon%20de%20achira%20o%20sagu.pdf) consultado el 10 de enero de 2012 21:06.

**CHENEVERT, M.**; **GARRET R.**, Drilling fluids and related hole problems Manual. Pennwell corp. USA, 1992.

**DOWELL SCHLUMBERGER DRILLING FLUIDS**, Fundamentos teóricos y sistemas, teoría Aplicada a los fluidos de perforación, elaborado por ING. Marco A. Ruiz, Drilling fluid service GVZ, Ensayo, Venezuela, disponible en: <http://es.scribd.com/doc/282042/Tecnologia-Aplicada-a-los-Fluidos-de-perforacion>.

**GARCIA**, B., H.R; **ARIAS** R, S; **CAMACHO**, J.H. Almidón de achira, producción y uso industrial, corpoica, Programa Nacional de Maquinaria y poscosecha. Santa Fe de Bogotá, 1998.

**LÓPEZ**, Olivia Valeria, Desarrollo, caracterización y aplicación de envases biodegradables a partir de almidón. - 1a ed. - La Plata: Universidad Nacional de La Plata, 2012. Disponible en: [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento\\_completo.pdf?sequence=3](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2651/Documento_completo.pdf?sequence=3).

**LUMMUS**, James L y **AZAR**, J.J. Drilling fluids optimization: a practical field approach. Pennwell corp, USA, 1986.

**MI SWACO** – MI- Drilling engineering Fluid Manual. Schlumberger company, Houston, Texas, 1998.

**NAVARRETE**, R.C., et al, “Experiments in fluid loss and formation damage with Xanthan-Based fluids while drilling, SPE, 2000.

**PDVSA**. Manual de fluidos de perforación. Centro internacional de educación y desarrollo (CIED), 2002.

**REYES**, G., Beatriz Elena, **BOADA** M., Maria; evaluación de la concentración de amina como inhibidor en el fluido de perforación utilizado en hoyos superficiales en pozos del campo santa rosa del distrito gas anaco; Universidad del Oriente, Venezuela.

**RODRIGUEZ** B., Gonzalo y otros, El almidón de Achira o Sagú (*cannaedulis*, Ker), CORPOICA-PRONATTA, Tibaitatá, julio 2003.

**SORRENTINO**, José. Estudio de la formación de tortas de fluidos de perforación con sólidos de distintas granulometrías. Laboratorio de Separaciones Mecánicas, Universidad Central de Venezuela. Caracas, 1998.

**THOMAS**, D. J. y Atwell, W. Starch Modifications. En: Starches. Eagen Press Handbook. USA. 1999.

**TORRES**, L. Raíces Andinas, Beneficio de la Achira para la obtención del almidón en Colombia, Luis Torres, Corporación Colombiana de investigación agropecuaria (CORPOICA), pág 163.

**TOVAR**, J., Digestibilidad de almidones nativos y modificados, aislados de Fuentes no convencionales cultivadas en Venezuela, 1993.

**WARD**, I.; **CHAPMAN**, J.W. y **WILLIAMSON** R., "New viscosifier for water based muds based on a genetically modified starch", SPE, 1999.

**YEPEZ**, L., et al, Influencia del almidón de Achira (CannaEdulisKer) para elaboración de Muffis adicionando Leches y edulcorantes, Universidad Técnica del norte, Ecuador, Junio 2 de 2011, Información disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/553/2/03%20AGI%20244%20TE%20SIS.pdf>

## ANEXO A

### a. ANALISIS ESTADISTICO DEL LODO BENTONITICO

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	Ø600				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	4,05	0,005	0,07
GOMA XANTANA	1	2	39,4	0,02	0,14
	2	2	52,85	0,045	0,21
	3	2	87,9	0,98	0,98
	4	2	99,7	0,02	0,14
ACHIRA	1	2	5,35	0,005	0,07
	2	2	6,05	0,005	0,07
	3	2	5,45	0,045	0,21
	4	2	5,55	0,005	0,07
	6	2	7,15	0,005	0,07
	15	2	7,25	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	Ø300				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	2,35	0,005	0,07
GOMA XANTANA	1	2	27,65	0,845	0,91
	2	2	41,5	0,5	0,70
	3	2	73,15	0,245	0,49
	4	2	83,9	0,18	0,42
ACHIRA	1	2	3	0,02	0,14
	2	2	2,85	0,005	0,07
	3	2	2,7	0	0
	4	2	2,85	0,005	0,07
	6	2	3,25	0,005	0,07
	15	2	3,6	0,02	0,14

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	Ø200				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	1,25	0,005	0,07
GOMA XANTANA	1	2	24,65	0,245	0,49
	2	2	37,65	1,805	1,34
	3	2	69,25	0,245	0,49
	4	2	81,85	0,245	0,49
ACHIRA	1	2	1,75	0,005	0,07
	2	2	1,7	0	0
	3	2	1,65	0,005	0,07
	4	2	1,55	0,005	0,07
	6	2	1,9	0	0
	15	2	2,25	0,005	0,07

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	Ø100				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	0,8	0	0
GOMA XANTANA	1	2	18,5	0,02	0,14
	2	2	32	0,08	0,28
	3	2	59,95	0,245	0,49
	4	2	70,7	0,98	0,98
ACHIRA	1	2	1,1	0	0
	2	2	1,05	0,005	0,07
	3	2	1,05	0,005	0,07
	4	2	1,15	0,005	0,07
	6	2	1,35	0,005	0,07
	15	2	1,6	0,02	0,14

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	Ø6				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	0,2	0	0
GOMA XANTANA	1	2	9,6	0,02	0,14
	2	2	20,85	0,045	0,21
	3	2	41,8	0,5	0,70
	4	2	46,1	0,5	0,70
ACHIRA	1	2	0,45	0,005	0,07
	2	2	0,25	0,005	0,07
	3	2	0,25	0,005	0,07
	4	2	0,25	0,005	0,07
	6	2	0,3	0	0
	15	2	0,35	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	θ3				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	0,2	0	0
GOMA XANTANA	1	2	9,5	0,5	0,70
	2	2	19,15	0,405	0,63
	3	2	37,75	0,125	0,35
	4	2	43,5	4,5	2,12
ACHIRA	1	2	0,45	0,005	0,07
	2	2	0,3	0,02	0,14
	3	2	0,3	0	0
	4	2	0,25	0,005	0,07
	6	2	0,3	0	0
	15	2	0,35	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	Vp				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	1,7	0,02	0,14
GOMA XANTANA	1	2	12,1	0,32	0,57
	2	2	11,35	0,245	0,49
	3	2	14,9	0,5	0,70
	4	2	15,85	0,125	0,35
ACHIRA	1	2	2,4	0,02	0,14
	2	2	3,2	0,02	0,14
	3	2	2,75	0,045	0,21
	4	2	2,7	0	0
	6	2	4	0,02	0,14
	15	2	4,15	0,245	0,49

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	Va				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	2,025	0,00125	0,03
GOMA XANTANA	1	2	19,675	0,01125	0,10
	2	2	26,45	0,005	0,07
	3	2	43,95	0,245	0,49
	4	2	49,85	0,005	0,07
ACHIRA	1	2	2,7	0	0
	2	2	3,025	0,00125	0,03
	3	2	2,725	0,01125	0,10
	4	2	2,775	0,00125	0,03
	6	2	3,325	0,15125	0,38
	15	2	3,375	0,15125	0,38

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	YP				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	0,4	0	0
GOMA XANTANA	1	2	16,95	0,245	0,49
	2	2	27,95	0,245	0,49
	3	2	58,95	17,405	4,17
	4	2	72,5	0,98	0,98
ACHIRA	1	2	0,6	0	0
	2	2	0,55	0,005	0,07
	3	2	0,55	0,005	0,07
	4	2	0,6	0	0
	6	2	0,25	0,005	0,07
	15	2	0,15	0,005	0,07

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	GEL A 10 SEGUNDOS				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	0,2	0	0
GOMA XANTANA	1	2	10,25	0,125	0,35
	2	2	16,95	0,125	0,35
	3	2	32,75	0,405	0,63
	4	2	37,95	4,205	2,05
ACHIRA	1	2	0,45	0,005	0,07
	2	2	0,25	0,005	0,07
	3	2	0,2	0	0
	4	2	0,2	0	0
	6	2	0,35	0,005	0,07
	15	2	0,15	0,005	0,07

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN AQUAGEL					
	GEL A 10 MINUTOS				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
AQUAGEL	15	2	0,2	0	0
GOMA XANTANA	1	2	15,2	0	0
	2	2	20	0	0
	3	2	44	0	0
	4	2	49,2	0	0
ACHIRA	1	2	0,4	0	0
	2	2	0,25	0,005	0,07
	3	2	0,25	0,005	0,07
	4	2	0,2	0	0
	6	2	0,3	0	0
	15	2	0,1	0	0

**b. ANALISIS ESTADISTICO LODO BASE I**

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Ø600				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	38,05	0,045	0,21
	1	2	50,65	0,605	0,77
	1,5	2	63,75	0,125	0,35
	2	2	74,45	0,405	0,63
ACHIRA	0,6	2	15,15	0,005	0,07
	1	2	15,35	0,005	0,07
	1,5	2	15,4	0,02	0,14
	2	2	15,05	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Ø300				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	26,05	0,125	0,35
	1	2	36,85	0,845	0,91
	1,5	2	49,45	0,125	0,35
	2	2	58,95	0,605	0,77
ACHIRA	0,6	2	8,4	0,02	0,14
	1	2	8,8	0	0
	1,5	2	8,55	0,005	0,07
	2	2	8,35	0,045	0,21

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Ø200				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	21,8	0,18	0,42
	1	2	36,9	0,98	0,98
	1,5	2	44,3	6,48	2,54
	2	2	55	2	1,41
ACHIRA	0,6	2	6,25	0,125	0,35
	1	2	6,6	0,08	0,28
	1,5	2	6,35	0,005	0,07
	2	2	6,4	0	0

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Ø100				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	15,25	0,005	0,07
	1	2	25,15	0,245	0,49
	1,5	2	36,8	0,08	0,28
	2	2	43,05	0,125	0,35
ACHIRA	0,6	2	3,55	0,005	0,07
	1	2	3,8	0,08	0,28
	1,5	2	4,2	0,02	0,14
	2	2	4,15	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Ø6				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	5,5	0,18	0,42
	1	2	10	0,08	0,28
	1,5	2	15,95	0,005	0,07
	2	2	20,8	0,98	0,98
ACHIRA	0,6	2	0,85	0,005	0,07
	1	2	0,75	0,005	0,07
	1,5	2	0,65	0,005	0,07
	2	2	0,65	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Ø3				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	4,3	0,02	0,14
	1	2	8,25	0,125	0,35
	1,5	2	13,8	0	0
	2	2	17,5	0,5	0,70
ACHIRA	0,6	2	0,45	0,005	0,07
	1	2	0,35	0,005	0,07
	1,5	2	0,35	0,005	0,07
	2	2	0,35	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Vp				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	11,85	0,605	0,78
	1	2	13,8	0,02	0,14
	1,5	2	14,3	6,311E-30	2,5121E-15
	2	2	15,55	1,805	1,34
ACHIRA	0,6	2	6,75	0,005	0,07
	1	2	6,55	0,005	0,07
	1,5	2	6,85	0,045	0,21
	2	2	6,7	0,02	0,14

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	Va				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	19,025	0,01125	0,10
	1	2	25,325	0,15125	0,38
	1,5	2	31,875	0,03125	0,17
	2	2	37,225	0,10125	0,31
ACHIRA	0,6	2	7,575	0,00125	0,03
	1	2	7,675	0,00125	0,03
	1,5	2	7,7	0,005	0,07
	2	2	7,525	0,00125	0,03

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	YP				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	16,1	0,08	0,28
	1	2	23,1	0,98	0,98
	1,5	2	36,65	0,405	0,63
	2	2	48,5	0,98	0,98
ACHIRA	0,6	2	1,65	0,005	0,07
	1	2	1,55	0,005	0,07
	1,5	2	1,45	0,005	0,07
	2	2	1,55	0,005	0,07

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	GEL A 10 SEGUNDOS				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	5,25	0,005	0,07
	1	2	8,95	0,005	0,07
	1,5	2	14,8	0,08	0,28
	2	2	20,7	0,5	0,70
ACHIRA	0,6	2	0,1	0	0
	1	2	0,1	0	0
	1,5	2	0,15	0,005	0,07
	2	2	0,1	0	0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE I					
	GEL A 10 MINUTOS				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
GOMA XANTANA	0,6	2	5,55	0,125	0,35
	1	2	11,9	0,32	0,56
	1,5	2	20,05	0,125	0,35
	2	2	26,6	0,5	0,70
ACHIRA	0,6	2	0,15	0,005	0,07
	1	2	0,1	0	0
	1,5	2	0,1	0	0
	2	2	0,1	0	0

**c. ANALISIS ESTADISTICO LODO BASE II**

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	ø600				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	35,35	1,44	1,20
	1	2	48,55	16,245	4,03
	1,5	2	57,3	8	2,82
	2	2	65,05	7,605	2,75
	3	2	94	2	1,41
	4	2	116,65	73,205	8,55
ACHIRA	0,5	2	27,1	0,08	0,28
	1	2	28,2	5,78	2,40
	1,5	2	29,4	5,78	2,40
	2	2	29,8	5,12	2,26
	2,5		30,5	0,02	0,14
	3	2	29,5	0,08	0,28
	4	2	29,75	0,045	0,21
	5	2	28,9	0,5	0,70
	6	2	31,5	0,02	0,14
7	2	31,45	2,645	1,62	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	ø300				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	19,65	0,405	0,63
	1	2	27,35	1,125	1,06
	1,5	2	32,1	2,42	1,55
	2	2	37,8	2	1,41
	3	2	55,6	0,72	0,84
	4	2	73,95	1,805	1,34
ACHIRA	0,5	2	14,45	0,125	0,35
	1	2	15,2	2	1,41
	1,5	2	15,75	2,645	1,62
	2	2	16,1	1,28	1,13
	2,5	2	16,3	0,18	0,42
	3	2	15,85	0,045	0,21
	4	2	16,3	0,18	0,42
	5	2	15,75	0,245	0,49
6	2	18	0,5	0,70	
7	2	18,35	2,645	1,62	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	VISCOSIDAD PLÁSTICA VP (cp)				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	15,75	0,405	0,63
	1	2	21,15	8,405	2,89
	1,5	2	23,8	0,72	0,84
	2	2	27,05	1,125	1,06
	3	2	37,15	2,645	1,62
	4	2	46,85	0,845	0,91
ACHIRA	0,5	2	12,55	0,005	0,07
	1	2	13,1	0,98	0,98
	1,5	2	13,25	0,605	0,77
	2	2	13,35	0,405	0,63
	2,5	2	13,6	0,08	0,28
	3	2	13,45	0,045	0,21
	4	2	13,6	0,18	0,42
	5	2	13,15	0,045	0,21
6	2	13,65	0,125	0,35	
7	2	13,5	0,32	0,56	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	VISCOSIDAD APATENTE Va (cp)				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	17,675	0,36125	0,60
	1	2	24,275	4,06125	2,01
	1,5	2	28,65	2	1,41
	2	2	32,525	1,90125	1,37
	3	2	47	0,5	0,70
	4	2	58,325	18,3013	4,278
ACHIRA	0,5	2	13,575	0,01125	0,10
	1	2	13,875	0,78125	0,88
	1,5	2	14,725	1,53125	1,23
	2	2	14,9	1,28	1,13
	2,5	2	14,95	0,005	0,07
	3	2	14,725	0,01125	0,10
	4	2	14,85	0,005	0,07
	5	2	14,45	0,125	0,35
6	2	15,75	0,005	0,07	
7	2	15,75	0,605	0,77	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	YP				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	4,15	0,005	0,07
	1	2	6,15	1,805	1,34
	1,5	2	6,8	2,88	1,69
	2	2	11,55	0,125	0,35
	3	2	19,05	0,005	0,07
	4	2	28,95	0,125	0,35
ACHIRA	0,5	2	1,9	0,2	0,14
	1	2	2,4	0,08	0,28
	1,5	2	2,65	0,045	0,21
	2	2	2,700	0,02	0,14
	2,5	2	2,5	0	0
	3	2	2,7	0,5	0,70
	4	2	2,7	0,98	0,98
	5	2	2,7	0,08	0,28
	6	2	4,45	0,605	0,77
7	2	5,75	5,445	2,33	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	ESFUERZO DE GEL 10 SEG				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	0,25	0,005	0,07
	1	2	0,3	0,02	0,14
	1,5	2	0,2	0,02	0,14
	2	2	0,5	0,02	0,14
	3	2	0,6	0	0
	4	2	1,1	0	0
ACHIRA	0,5	2	0,15	0,005	0,07
	1	2	0,1	0	0
	1,5	2	0,15	0,005	0,07
	2	2	0,2	0,02	0,14
	2,5	2	0,2	0	0
	3	2	0,1	0	0
	4	2	0,15	0,005	0,07
	5	2	0,15	0,005	0,07
	6	2	0,8	0,72	0,84
7	2	0,9	1,62	1,27	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	ESFUERZO DE GEL 10 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	0,2	0,02	0,14
	1	2	0,3	0,02	0,14
	1,5	2	0,2	0,02	1,14
	2	2	0,5	0,02	1,14
	3	2	0,7	0	0
	4	2	1,2	0	0
ACHIRA	0,5	2	0,2	0	0
	1	2	0,1	0	0
	1,5	2	0,15	0,005	0,07
	2	2	0,1	0	0
	2,5	2	0,2	0	0
	3	2	0,1	0	0
	4	2	0,2	0	0
	5	2	0,15	0,005	0,07
	6	2	0,65	0,405	0,63
7	2	0,55	0,605	0,77	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	FILTRADO 5 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	4,75	1,125	1,06
	1	2	4,4	1,62	1,27
	1,5	2	4,25	1,125	1,06
	2	2	4,25	1,125	1,06
	3	2	4,25	1,125	1,06
	4	2	4,15	0,605	0,77
ACHIRA	0,5	2	5,25	0,125	0,35
	1	2	4,75	0,245	0,49
	1,5	2	4,25	1,125	1,06
	2	2	3,95	1,805	1,34
	2,5	2	3,95	1,805	1,34
	3	2	3,9	2,42	1,55
	4	2	3,55	1,125	1,06
	5	2	3,75	1,125	1,06
	6	2	3,65	1,445	1,20
7	2	3,75	0,125	0,35	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	FILTRADO 10 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	6,25	1,125	1,06
	1	2	6,25	1,125	1,06
	1,5	2	6,15	0,845	0,91
	2	2	5,75	1,125	1,06
	3	2	5,85	0,845	0,91
	4	2	5,6	0,72	0,84
ACHIRA	0,5	2	6,225	1,20125	1,09
	1	2	6,25	1,125	1,06
	1,5	2	5,65	1,125	1,06
	2	2	5,4	1,62	1,27
	2,5	2	5,2	2	1,41
	3	2	5,2	2,88	1,69
	4	2	4,75	1,125	1,06
	5	2	4,7	0,98	0,98
	6	2	4,4	1,62	1,27
7	2	4,55	0,605	0,77	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	FILTRADO 20 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	8,75	1,125	1,06
	1	2	8,525	1,20125	1,09
	1,5	2	8,35	0,845	0,91
	2	2	8,25	1,125	1,06
	3	2	8,25	0,845	0,91
	4	2	8,2	0,18	0,42
ACHIRA	0,5	2	9,45	0,005	0,07
	1	2	8,3	1,28	1,13
	1,5	2	7,255	1,11005	1,05
	2	2	7,2	0,98	0,98
	2,5	2	6,8	2	1,41
	3	2	6,3	3,38	1,83
	4	2	5,8	1,28	113.13
	5	2	6,25	0,125	0,35
	6	2	5,7	0,98	0,98
7	2	6	0,32	0,56	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE II					
	FILTRADO 30 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	10,75	1,125	1,06
	1	2	10,2	2,88	1,69
	1,5	2	10,05	2,205	1,48
	2	2	9,9	1,62	1,27
	3	2	9,6	0,5	0,707
	4	2	9,65	0,245	0,49
ACHIRA	0,5	2	11,25	0,005	0,07
	1	2	9,53	1,8818	1,37
	1,5	2	8,65	0,845	0,91
	2	2	8,25	1,125	1,06
	2,5	2	7,9	1,62	1,27
	3	2	7,35	3,645	1,90
	4	2	6,75	1,125	1,06
	5	2	6,8	0,18	0,42
	6	2	6,6	0,72	0,88
7	2	6,75	0,245	0,49	

**d. ANÁLISIS ESTADÍSTICO LODO BASE III**

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	ø600				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	50,5	0,01	0,14
	1	2	58,9	0,84	1,83
	1,5	2	61,85	0,06	0,49
	2	2	62,7	0,01	0,14
	3	2	65,1	1,45	2,40
	4	2	81,05	5,61	4,73
	5	2	83,8	1,62	2,54
	6	2	90	3,92	3,95
ACHIRA	0,5	2	55,45	0,01	0,21
	1	2	58,105	0,02	0,28
	1,5	2	59,8	4,50	4,24
	2	2	54,3	0,00	0
	3	2	57,4	0,02	0,28
	4	2	59,7	0,50	1,41
	5	2	59,6	0,00	0
	6	2	57,2	2,64	3,25
7	2	59,4	0,00	0	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	Ø300				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	30,3	0,01	0,14
	1	2	33,6	0,84	0,84
	1,5	2	33,95	0,06	2,19
	2	2	36,15	0,01	0,35
	3	2	37,7	1,45	1,55
	4	2	46,7	5,61	2,12
	5	2	51,85	1,62	1,62
	6	2	53,05	3,92	2,75
ACHIRA	0,5	2	31,1	0,01	0,14
	1	2	31,85	0,02	1,76
	1,5	2	35	4,50	1,83
	2	2	32,6	0,00	2,96
	3	2	32,4	0,02	0,56
	4	2	33,9	0,50	0,70
	5	2	34	0,00	0
	6	2	31,2	2,64	0
7	2	34,2	0,00	0	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	VISCOSIDAD PLÁSTICA VP (cp)				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	21,1	0,13	0,70
	1	2	25,2	0,24	0,98
	1,5	2	26,35	0,06	0,49
	2	2	27,6	0,50	1,4
	3	2	27,4	0,08	0,56
	4	2	32	0,02	0,28
	5	2	34,9	0,01	0,14
	6	2	36,95	0,36	1,20
ACHIRA	0,5	2	24,5	0,01	0,14
	1	2	24,4	0,13	0,70
	1,5	2	25,35	0,66	1,62
	2	2	24,95	0,66	1,62
	3	2	24,7	0,02	0,28
	4	2	25,9	0,18	0,84
	5	2	24,5	0,61	1,55
	6	2	24,35	0,55	1,48
7	2	25,3	0,00	0	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	VISCOSIDAD APATENTE Va (cp)				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	25,25	0,00	0,07
	1	2	26,95	4,96	4,45
	1,5	2	30,85	0,03	0,35
	2	2	31,5	0,02	0,28
	3	2	32,55	0,36	1,20
	4	2	40,5	1,45	2,40
	5	2	41,9	0,40	1,27
	6	2	45	0,98	1,97
ACHIRA	0,5	2	27,5	0,05	0,42
	1	2	27,5	1,13	2,12
	1,5	2	29,9	1,13	2,12
	2	2	27,2	0,00	0
	3	2	28,7	0,01	0,14
	4	2	29,825	0,11	0,67
	5	2	29,9	0,00	0,14
	6	2	28	0,00	0
7	2	29	0,00	0	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	YP				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	6,25	0,91	1,92
	1	2	9	0,00	0,14
	1,5	2	10,05	0,00	0,07
	2	2	10,2	0,04	0,42
	3	2	10,8	0,40	1,27
	4	2	15,5	0,85	1,83
	5	2	17	0,02	0,28
	6	2	17,1	0,61	1,55
ACHIRA	0,5	2	7,3	0,00	0
	1	2	8,9	0,00	0,14
	1,5	2	9,6	0,41	1,27
	2	2	7,75	0,21	0,91
	3	2	8,35	0,00	0,07
	4	2	8,4	0,00	0
	5	2	7,7	0,00	0
	6	2	8,4	0,00	0
7	2	8,7	0,00	0	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	ESFUERZO DE GEL 10 SEG				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	0,35	0,00	0,07
	1	2	0,2	0,02	0,28
	1,5	2	0,25	0,00	0,07
	2	2	0,3	0,00	0
	3	2	0,35	0,00	0,07
	4	2	0,55	0,00	0,07
	5	2	0,5	0,00	0
	6	2	0,55	0,00	0,07
ACHIRA	0,5	2	0,3	0,00	0
	1	2	0,3	0,00	0
	1,5	2	0,3	0,00	0
	2	2	0,3	0,00	0
	3	2	0,2	0,00	0
	4	2	0,2	0,00	0
	5	2	0,2	0,00	0
	6	2	0,2	0,00	0
7	2	0,2	0,00	0	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	ESFUERZO DE GEL 10 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	0,3	0,00	0
	1	2	0,15	0,01	0,21
	1,5	2	0,15	0,01	0,21
	2	2	0,25	0,00	0,07
	3	2	0,3	0,00	0
	4	2	0,5	0,00	0
	5	2	0,5	0,00	0
	6	2	0,6	0,01	0,14
ACHIRA	0,5	2	0,3	0,00	0
	1	2	0,3	0,00	0
	1,5	2	0,3	0,00	0
	2	2	0,3	0,00	0
	3	2	0,2	0,00	0
	4	2	0,2	0,00	0
	5	2	0,2	0,00	0
	6	2	0,2	0,00	0
7	2	0,2	0,00	0	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	FILTRADO 5 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	4,95	0,00	0,07
	1	2	4,5	0,00	0
	1,5	2	4,4	0,01	0,14
	2	2	4,7	0,00	0,14
	3	2	4,1	0,00	0,14
	4	2	3,5	0,00	0
	5	2	3,5	0,00	0
	6	2	3,25	0,03	0,35
ACHIRA	0,5	2	4,5	0,00	0
	1	2	4,25	0,03	0,35
	1,5	2	4	0,13	0,70
	2	2	3,25	0,03	0,35
	3	2	3	0,00	0
	4	2	3,5	0,00	0
	5	2	3,8	0,00	0
	6	2	3,5	0,00	0
7	2	3	0,00	0	

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	FILTRADO 10 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	7	0,00	0
	1	2	6	0,13	0,70
	1,5	2	6,5	0,06	0,70
	2	2	6,4	0,03	0,56
	3	2	6,65	0,01	0,21
	4	2	5,4	0,03	0,56
	5	2	5	0,08	0
	6	2	5	0,08	0
ACHIRA	0,5	2	6,65	0,03	0,21
	1	2	5,75	0,02	0,35
	1,5	2	5	0,03	0
	2	2	4,65	0,06	0,21
	3	2	4,5	0,00	0
	4	2	5	0,01	0
	5	2	5	0,00	0
	6	2	5	0,00	0
7	2	4	0,00	0	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	FILTRADO 20 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	9,5	0,00	0
	1	2	8,5	0,13	0,70
	1,5	2	8,65	0,06	0,49
	2	2	8,75	0,03	0,35
	3	2	8,15	0,01	0,21
	4	2	7,25	0,03	0,35
	5	2	6,6	0,08	0,56
	6	2	6,6	0,08	0,56
ACHIRA	0,5	2	8,25	0,03	0,35
	1	2	7,8	0,02	0,28
	1,5	2	7,75	0,03	0,35
	2	2	6,85	0,06	0,49
	3	2	6,5	0,00	0
	4	2	6,4	0,01	0,14
	5	2	6,95	0,00	0,07
	6	2	6,2	0,00	0,14
7	2	5,5	0,00	0	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE III					
	FILTRADO 30 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
CELULOSA POLIANIÓNICA	0,5	2	11,65	0,01	0,21
	1	2	10,75	0,28	1,06
	1,5	2	10,5	0,13	0,70
	2	2	10,1	0,00	0,14
	3	2	9,5	0,13	0,70
	4	2	8,3	0,13	0,70
	5	2	7,65	0,01	0,21
	6	2	7,65	0,01	0,21
ACHIRA	0,5	2	10,25	0,03	0,35
	1	2	9,8	0,04	0,42
	1,5	2	9,25	0,03	0,35
	2	2	8,85	0,01	0,21
	3	2	8,3	0,00	0
	4	2	8,25	0,01	0,21
	5	2	8	0,00	0
	6	2	7,35	0,01	0,21
7	2	6,1	0,00	0,14	

e. **ANALISIS ESTADISTICO LODO BASE IV**

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	Ø600				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	21,6	0,5	0,70
	1	2	22,65	0,605	0,77
	1,5	2	23,15	0,125	0,35
	2	2	22,95	2,202	1,48
	3	2	23,3	2,88	1,69
	4	2	23,3	0,5	0,70
	5	2	23,1	0,18	0,42
	6	2	21,8	0,72	0,84
	7	2	23	0	0

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	Ø300				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	11,65	0,605	0,77
	1	2	12,45	1,445	1,20
	1,5	2	12,3	0,02	0,14
	2	2	12,4	0,72	0,84
	3	2	12,6	0,72	0,84
	4	2	12,55	0,125	0,35
	5	2	12	0,08	0,28
	6	2	11,7	0,08	0,28
	7	2	12,15	0,045	0,21

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	VISCOSIDAD PLASTICA VP (cp)				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	10,55	0,045	0,21
	1	2	10,75	0,125	0,35
	1,5	2	10,8	0,02	0,14
	2	2	10,65	0,605	0,77
	3	2	10,7	0,98	0,98
	4	2	10,55	0,405	0,63
	5	2	11,1	0,5	0,70
	6	2	10,3	0,18	0,42
	7	2	10,7	0,02	0,14

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	VISCOSIDAD APARENTE $V_a$ (cp)				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	11,3	0,18	0,42
	1	2	11,3	0,18	0,42
	1,5	2	11,55	0,045	0,21
	2	2	11,5	0,5	0,70
	3	2	11,6	0,72	0,84
	4	2	11,65	0,125	0,35
	5	2	11,55	0,045	0,21
	6	2	10,9	0,18	0,42
	7	2	11,5	0	0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	YP				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	1,35	0,605	0,77
	1	2	1,8	0	0
	1,5	2	1,8	0	0
	2	2	2	0	0
	3	2	1,85	0,005	0,70
	4	2	1,85	0,005	0,07
	5	2	1,85	0,005	0,07
	6	2	1,75	0,045	0,21
	7	2	1,55	0,005	0,07

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	ESFUERZO DE GEL 10 SEG				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	0,05	0,005	0,07
	1	2	0,1	0	0
	1,5	2	0,1	0	0
	2	2	0,1	0	0
	3	2	0,1	0	0
	4	2	0,15	0,005	0,07
	5	2	0,1	0	0
	6	2	0,1	0	0
	7	2	0,1	0	0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	ESFUERZO DE GEL 10 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	0,1	0,02	0,14
	1	2	0,15	0,005	0,07
	1,5	2	0,1	0	0
	2	2	0,1	0	0
	3	2	0,1	0	0
	4	2	0,15	0,005	0,07
	5	2	0,1	0	0
	6	2	0,1	0	0
	7	2	0,1	0	0

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	FILTRADO 5 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	4,7	0,08	0,28
	1	2	4,45	0,405	0,63
	1,5	2	3,8	0,32	0,56
	2	2	3,65	0,045	0,21
	3	2	4,5	0,5	0,70
	4	2	4,25	0,405	0,63
	5	2	3,75	0,125	0,35
	6	2	3,5	0	0
	7	2	3,25	0,125	0,35

ANÁLISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	FILTRADO 10 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	6,9	0,02	0,14
	1	2	6,7	0,8	0,28
	1,5	2	5,25	1,125	1,06
	2	2	5	0	0
	3	2	5,9	0,02	0,14
	4	2	5,75	0,045	0,21
	5	2	5,55	0,005	0,07
	6	2	5,05	0,605	0,77
	7	2	4,5	0,5	0,70

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	FILTRADO 20 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	8,65	0,045	0,21
	1	2	8,55	0,605	0,77
	1,5	2	7,1	1,62	1,27
	2	2	7	0,5	0,70
	3	2	7,4	0,32	0,56
	4	2	7,35	0,045	0,21
	5	2	7,2	0,98	0,98
	6	2	6	0	0
	7	2	5,65	0,245	0,49

ANALISIS ESTADÍSTICO FILTRADO LODO BASE IV					
	FILTRADO 30 MIN				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
ACHIRA	0,5	2	9,6	0,32	0,56
	1	2	9,8	2,88	1,66
	1,5	2	7,75	0,125	0,35
	2	2	7,8	0,08	0,28
	3	2	8,25	1,125	1,06
	4	2	8,05	0,605	0,77
	5	2	7,5	0,5	0,70
	6	2	6,75	0,125	0,35
	7	2	6,4	0,02	0,14

**f. ANALISIS ESTADISTICO LODO BASE V**

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	ø600				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	4,05	0,005	0,07
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	10,55	0,005	0,07
	1	2	39,2	0,72	0,84
	1,5	2	76	0,32	0,56
	2	2	108	2	1,41
ACHIRA	0,6	2	5,1	0,02	0,14
	1	2	5,25	0,045	0,21
	1,5	2	6,2	0,02	0,14
	2	2	6,3	0,02	0,14

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	Ø300				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	2,45	0,00125	0,03
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	5,7	0,005	0,07
	1	2	26	0,02	0,14
	1,5	2	52,8	0,18	0,42
	2	2	76,85	0,91125	0,95
ACHIRA	0,6	2	2,55	0,00125	0,03
	1	2	2,7	0	0
	1,5	2	2,85	0,00125	0,03
	2	2	2,75	0,00125	0,03

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	Ø200				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	1,25	0,005	0,07
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	4,5	0,5	0,70
	1	2	24,2	0,98	0,98
	1,5	2	50,85	0,245	0,49
	2	2	73,9	0,98	0,98
ACHIRA	0,6	2	1,7	0,02	0,14
	1	2	1,65	0,005	0,07
	1,5	2	1,55	0,005	0,07
	2	2	1,65	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	Ø100				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	0,9	0,005	0,07
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	2,5	0,125	0,35
	1	2	15,9	0	0
	1,5	2	32,4	0,5	0,70
	2	2	52,7	0,5	0,70
ACHIRA	0,6	2	1	0,005	0,07
	1	2	1,2	0,005	0,07
	1,5	2	1,1	0	0

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	θ6				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	0,5	0,02	0,14
	1	2	1,5	0,005	0,07
	1,5	2	5,4	0,005	0,07
	2	2	11,2	0,5	0,70
ACHIRA	0,6	2	0,4	0,005	0,07
	1	2	0,4	0	0
	1,5	2	0,4	0,005	0,07
	2	2	0,4	0	0

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	θ3				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	0,1	0,005	0,07
	1	2	0,9	0,02	0,14
	1,5	2	3,5	0,02	0,14
	2	2	5,8	0,005	0,07
ACHIRA	0,6	2	0,4	0,005	0,07
	1	2	0,4	0	0
	1,5	2	0,4	0,005	0,07
	2	2	0,4	0	0

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	Vp				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	4,7	0,5	0,70
	1	2	12,8	0,5	0,70
	1,5	2	22,2	2,205	1,48
	2	2	30,8	0,125	0,35
ACHIRA	0,6	2	2,7	0,045	0,21
	1	2	2,7	0,045	0,21
	1,5	2	3,4	0,005	0,07
	2	2	3,7	0,045	0,21

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	Va				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	2,025	0,00125	0,03
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	5,275	0,00125	0,03
	1	2	19,6	0,18	0,42
	1,5	2	38	0,08	0,28
	2	2	54,25	0,125	0,35
ACHIRA	0,6	2	2,55	0,005	0,07
	1	2	2,65	0,005	0,07
	1,5	2	3,1	0,005	0,07
	2	2	3,15	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	YP				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	0,15	0,005	0,07
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	0,15	0,005	0,07
	1	2	13,1	0,08	0,28
	1,5	2	29,7	0,32	0,56
	2	2	46,7	0,32	0,56
ACHIRA	0,6	2	0,55	0,045	0,21
	1	2	0,55	0,005	0,07
	1,5	2	0,45	0,005	0,07
	2	2	0,55	0,005	0,07

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	GEL A 10 SEGUNDOS				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	0,2	0	0
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	0,2	0,005	0,07
	1	2	0,7	0,005	0,07
	1,5	2	3,5	0,08	0,28
	2	2	6,1	0,605	0,77
ACHIRA	0,6	2	0,1	0,005	0,07
	1	2	0,2	0,005	0,07
	1,5	2	0,3	0,005	0,07
	2	2	0,3	0,02	0,14

ANALISIS ESTADÍSTICO PRUEBA DE VISCOSIDAD EN LODO BASE V					
	GEL A 10 MINUTOS				
	CONCENTRACIÓN (LB/BBL)	FRECUENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESVIACIÓN ESTANDAR
LODO V		2	0,2	0	0
EXTENDEDOR DE BENTONITA	0,6	2	0,25	0,005	0,07
	1	2	0,75	0,005	0,07
	1,5	2	4,1	0,02	0,14
	2	2	8,9	0	0
ACHIRA	0,6	2	0,2	0	0
	1	2	0,25	0,005	0,07
	1,5	2	0,2	0	0
	2	2	0,1	0	0