

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL ALMIDON DE PAPA COMO ADITIVO EN  
FLUIDOS DE PERFORACION BASE AGUA**

**DIEGO ALBERTO BELLO NIÑO  
HENRY FERNANDO MINA REYES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2012**

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL ALMIDON DE PAPA COMO ADITIVO EN  
FLUIDOS DE PERFORACION BASE AGUA**

**DIEGO ALBERTO BELLO NIÑO  
HENRY FERNANDO MINA REYES**

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

**DIRECTOR:**

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

**CO-DIRECTOR:**

**ING JOHN ALEXANDER LEON PABON  
Ingeniero de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2012**

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres y familia por apoyarme durante toda mi carrera y darme la oportunidad de crecer intelectual y moralmente en un ambiente critico y libre, con su apoyo incondicional

A mi mama especialmente que logro que todo esto fuera posible con un grandísimo esfuerzo de su parte afrontando dificultades para que pudiera terminar mi carrera pero sin olvidar nunca regalarme una cálida sonrisa y alguna palabra que me diera fortaleza para continuar.

A mi tía Rosa una parte importante en mi carrera y en toda mi vida, con su apoyo incondicional desinteresado como solo una gran familia puede dar, gracias por tantas cosas.

Al ingeniero Emiliano por su apoyo en y orientación durante el desarrollo de este trabajo para que todo resultara excelente

A mis amigos que han estado conmigo desde los inicios de mi carrera y con los que he tenido miles de aventuras que recordare por siempre

A todos esos grandes escritores que con sus libros de grandes historias y anécdotas ayudaron en mi desarrollo como persona racional y analítica

A todas mis amigas que me presionaron siempre por estudiar y mantenerme enfocado en la carrera y regañarme en otras oportunidades por descuidar el estudio, gracias a todas ellas por su paciencia.

**HENRY FERNANDO MINA REYES**

## DEDICATORIA

Gracias a **DIOS** por haberme permitido realizar este sueño, y a toda mi familia, quienes confiaron en mí y me apoyaron.

Quiero agradecer de manera muy especial a mi madre **LUZ MARINA NIÑO ARCHILA**, a mi padre **PEDRO ELIAS BELLO BAYONA** y a mis hermanos **JORGE, ALEXANDER** y **CESAR**, que confiaron en mí y me dieron su apoyo incondicional.

Igualmente quiero darle gracias a mi novia **LEIDY ASTRID CADENA ORTIZ** a quien amo demasiado y quien ha sido un pilar importante en mi vida, gracias por su amor, su confianza y apoyo.

Gracias a las personas que ofrecieron su ayuda para cumplir este sueño, no sé cómo pagarles.

**DIEGO ALBERTO BELLO NIÑO**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	20
1. GENERALIDADES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN	21
1.1 DEFINICIÓN	21
1.2 FASES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN	21
1.2.1 Fase continúa de los lodos.	22
1.2.2 Fase discontinua de los lodos.	22
1.2.3 Fase sólida de los lodos.	22
1.3 FUNCIONES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN	23
1.4 CLASIFICACIÓN DE LODOS DE PERFORACIÓN	25
1.4.1 Lodos base agua.	25
1.4.2 Lodos base aceite.	26
1.4.3 Lodos neumáticos.	26
1.5 COMPONENTES DE UN LODO BASE AGUA	27
1.5.1 Agua	27
1.5.2 Densificantes	27
1.5.3 Viscosificantes	27
1.5.4 Dispersantes.	27
1.5.5 Controlador de filtrado.	28
1.5.6 Surfactantes.	28
1.5.7 Controladores de pH.	28
2. PROPIEDADES DEL LODO Y SU MEDICIÓN	29
2.1 DENSIDAD	29
2.2 VISCOSIDAD	29

2.2.1 Viscosidad aparente.	30
2.2.2 Viscosidad plástica.	30
2.3 PUNTO DE CEDENCIA (Yield Point)	30
2.4 FUERZA GEL	31
2.5 FILTRACION Y CONTROL DE FILTRADO	31
2.6 pH	32
3. VISCOSIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO EN LODOS DE PERFORACIÓN	33
3.1 VISCOSIFICANTES	33
3.1.1 Rendimiento de viscosificantes.	34
3.1.2 Importancia y aplicación.	34
3.1.3 Calculo del rendimiento de un viscosificante.	34
3.1.4 Agentes viscosificantes.	35
3.2 CONTROL DE FILTRADO	45
3.2.1 Importancia y aplicación.	46
3.2.2 Medición de las pérdidas de filtrado.	46
3.2.3 Problemas relacionados con la invasión excesiva de filtrado.	48
3.2.4 Problemas relacionados con el espesor excesivo de la torta.	48
3.2.5 Factores que afectan el filtrado.	49
3.2.6 Agentes de control de filtrado.	50
3.3 POLIMEROS	58
3.3.1 Introducción química.	58
3.3.2 Clasificación de los polímeros.	59
3.3.3 Factores que afectan a los polímeros.	61
3.3.4 Degradación de los polímeros.	61
3.3.5 Beneficios de los polímeros líquidos.	62
4. GENERALIDADES DEL ALMIDON DE PAPA	64
4.1 LA PAPA	64

4.1.1 Características.	65
4.1.2 Morfología.	66
4.2 ALMIDÓN	66
4.3 PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA	72
4.4 PROCESO DE TRANSFORMACION DEL ALMIDON	74
4.5 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA	78
4.6 PRODUCCIÓN DE PAPA EN COLOMBIA	79
4.7 ANTECEDENTES EN INVESTIGACIÓN SOBRE ALMIDONES	82
5. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL ALMIDÓN DE PAPA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA	84
5.1 IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES	86
5.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE DISEÑO EXPERIMENTAL	88
5.2.1 Caracterización del almidón de papa.	89
5.2.2 Prueba de Degradación.	89
5.3 PRUEBA DE COMPATIBILIDAD	90
5.4 PRUEBA DE RENDIMIENTO	91
5.5 PRUEBA DE EXTENSIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA	94
5.6 PRUEBA DE PROPIEDADES DE FILTRADO	101
5.7 PRUEBAS PARA EL LODO BASE.	103
6. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS	107
6.1 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA	107
6.2 PRUEBA DE DEGRADACIÓN	108
6.3 PRUEBA DE COMPATIBILIDAD	110
6.4 PRUEBA DE RENDIMIENTO	115
6.5 RENDIMIENTOS DE ALGUNOS VISCOSIFICANTES COMERCIALES	121
6.6 PRUEBA DE EXTENSIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA	124
6.7 PRUEBAS DEL ALMIDÓN COMO CONTROLADOR DE FILTRADO	131

6.7.1 Pruebas para el lodo base.	131
6.7.2 Prueba del almidón de papa como controlador de filtrado.	133
6.8 ANÁLISIS DE COSTOS	143
6.8.1 Precios de agentes viscosificantes y controladores de filtrado.	143
6.8.2 Costos comparativos de viscosificantes.	144
6.8.3 Costos comparativos de los agentes extendedores.	144
6.8.4 Costos comparativos de los controladores de filtrado.	145
7. CONCLUSIONES	146
8. RECOMENDACIONES	148
BIBLIOGRAFIA	149

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Agentes viscosificantes comerciales.	37
Tabla 2. Agentes comerciales de control de filtrado.	51
Tabla 3. Clasificación de polímeros.	60
Tabla 4. Factores que afectan los polímeros.	61
Tabla 5. Tipos de degradaciones en los polímeros.	62
Tabla 6. Taxonomía de la papa.	65
Tabla 7. Relación amilosa / amilopectina según la procedencia del almidón.	71
Tabla 8. Propiedades generales del almidón de papa.	72
Tabla 9. Área sembrada de papa por departamentos.	79
Tabla 10. Unidades productoras de papa por departamentos para uso industrial.	80
Tabla 11. Destino de la producción de papa para uso industrial según el volumen producido por departamentos.	81
Tabla 12. Factores influyentes.	86
Tabla 13. Identificación y definición de variables.	87
Tabla 14. Formato para la prueba de compatibilidad del almidón de Papa.	91
Tabla 15. Formato de observaciones para el almidón de papa.	91
Tabla 16. Formato de la prueba de rendimiento del almidón de papa en agua dulce y bentonita.	93
Tabla 17. Formato de la prueba de extensión de las propiedades de la bentonita.	97
Tabla 18. Formato de las propiedades del lodo base.	103
Tabla 19. Formato de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado.	104
Tabla 20. Características de los almidones de papa.	108
Tabla 21. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49.	109

Tabla 22. Formato de observación del almidón de papa sin tratar.	110
Tabla 23. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + Bentonita.	111
Tabla 24. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + CaCO <sub>3</sub> .	111
Tabla 25. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + SAPP.	112
Tabla 26. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + NaOH.	112
Tabla 27. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + Bentonita.	113
Tabla 28. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + CaCO <sub>3</sub> .	113
Tabla 29. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + SAPP.	114
Tabla 30. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + NaOH.	114
Tabla 31. Análisis para el agua dulce.	115
Tabla 32. Prueba de rendimiento en agua dulce.	116
Tabla 33. Variabilidad con un intervalo de confianza del 85 % para los almidones.	120
Tabla 34. Análisis estadístico del rendimiento del almidón de papa PENPLUS 49 en agua dulce.	120
Tabla 35. Análisis estadístico del rendimiento del almidón de papa sin tratar en agua dulce.	121
Tabla 36. Propiedades de algunos viscosificantes comerciales.	122
Tabla 37. Prueba de extensión de las propiedades de la bentonita.	124
Tabla 38. Rendimientos de los productos.	131
Tabla 39. Resultados de las propiedades del lodo base.	132
Tabla 40. Análisis estadístico de las propiedades del lodo base.	132
Tabla 41. Resultados de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado.	134
Tabla 42. Análisis estadístico para el lodo con 30 bentonita + PENPLUS 49.	137
Tabla 43. Análisis estadístico para el lodo con 25 bentonita + PENPLUS 49.	137
Tabla 44. Análisis estadístico para el lodo con 20 bentonita + PENPLUS 49.	137

Tabla 45. Análisis estadístico para el lodo con 30 bentonita + almidón sin tratar.	140
Tabla 46. Análisis estadístico para el lodo con 25 bentonita + almidón sin tratar.	140
Tabla 47. Análisis estadístico para el lodo con 20 bentonita + almidón sin tratar.	140
Tabla 48. Precio de viscosificantes y controladores de filtrado.	143
Tabla 49. Costos para la prueba de rendimiento.	144
Tabla 50. Costos para la prueba como agente extendedor.	145
Tabla 51. Costos para la prueba de control de filtrado.	145

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Estructura de la bentonita.	39
Figura 2. Estructura molecular de la celulosa.	41
Figura 3. Estructura molecular de la carboximetil celulosa.	41
Figura 4. Estructura molecular de la goma guar.	43
Figura 5. Estructura molecular de la goma xanthan.	44
Figura 6. Estructura de la molécula de almidón.	55
Figura 7. Tipos de cadenas en un polímero.	58
Figura 8. Papa.	65
Figura 9. Modelo tridimensional de la glucosa.	67
Figura 10. Estructura química de la amilosa.	69
Figura 11. Estructura helicoidal de la amilosa.	69
Figura 12. Estructura química de la amilopectina.	70
Figura 13. Estructura de árbol de la amilopectina.	70
Figura 14. Diagrama del proceso general de extracción de almidón de papa.	74
Figura 15. Proceso de hidrólisis enzimática.	76
Figura 16. Principio del proceso de hidrólisis de los cereales distintos del maíz.	77
Figura 17. Área sembrada de papa por departamentos.	80
Figura 18. Unidades productoras de papa por departamentos para uso industrial.	81
Figura 19. Destino de la producción de papa para uso industrial según el volumen producido por departamentos.	82
Figura 20. Almidón de papa PENPLUS 49 y almidón sin tratar para observación de degradación.	109
Figura 21. Curva de rendimiento - Almidón de papa PENPLUS 49.	117
Figura 22. Curva de rendimiento - Almidón de papa sin tratar.	117

Figura 23. Curva de rendimiento de la bentonita.	118
Figura 24. Rendimiento de algunos viscosificantes comerciales.	122
Figura 25. Comparación de algunos viscosificantes comerciales con los almidones.	123
Figura 26. Curva de rendimiento de la bentonita + viscosificantes.	128
Figura 27. Curva de extensión de las propiedades de la bentonita.	129
Figura 28. Curva de extensión de las propiedades de la bentonita ampliada.	130
Figura 29. Torta o Cake del lodo base.	132
Figura 30. Filtrado a 30 minutos para un lodo bentonita + PENPLUS 49.	138
Figura 31. Retorta del lodo almidón de papa PENPLUS 49.	139
Figura 32. Filtrado a 30 minutos para un lodo bentonita + almidón sin tratar.	141
Figura 33. Retorta del lodo almidón de papa almidón sin tratar.	142

## RESUMEN

**TÍTULO: ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL ALMIDON DE PAPA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA\*.**

**AUTORES:**

Diego Alberto Bello Niño  
Henry Fernando Mina Reyes\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Almidón de Papa, Agentes Viscosificantes, Agentes de Control de Filtrado, Prueba de Compatibilidad, Prueba de Degradación, Prueba de Rendimiento, Prueba de Control de Filtrado.

**DESCRIPCION:**

El almidón es un polímero que se utiliza ampliamente en todo tipo de lodo de perforación base agua y es uno de los principales componentes en los fluidos de perforación.

Las funciones principales del almidón son la reducción de la pérdida de líquidos y el control de la reología, de aquí el enfoque que se le dio a esta investigación. En los fluidos de perforación, el polímero interactúa con partículas sólidas para mejorar el sello de la filtración en el pozo, y para proporcionar la reología necesaria. Las razones para la selección del almidón de papa son su versatilidad, y en comparación con muchos biopolímeros, su bajo costo relativo.

En este trabajo se presenta los resultados de laboratorio obtenidos del trabajo experimental de un tipo de almidón.

Este informe está dividido en seis secciones o capítulos. Los dos primeros capítulos describen generalidades y propiedades de los lodos de perforación, el tercer capítulo se enfoca en los viscosificantes y controladores de filtrado (características, propiedades y tipos), el cuarto capítulo hace referencia a las generalidades del almidón de papa y el quinto capítulo contiene información concerniente con el diseño experimental del proyecto donde se describen las diferentes pruebas a realizar y finalmente, el sexto capítulo su correspondiente desarrollo con su respectivo análisis de los datos obtenidos.

---

\* Trabajo de grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela de Ingeniería de Petróleos, DIRECTOR M.Sc. EMILIANO ARIZA LEÓN CO-DIRECTOR: ING JOHN ALEXANDER LEON PABON

## ABSTRACT

**TITLE: FEASIBILITY STUDY OF POTATO STARCH AS AN ADDITIVE WATER-BASE DRILLING FLUID .**

**AUTHORS:**

Diego Alberto Bello Niño  
Henry Fernando Mina Reyes \*\*

**KEYWORDS:** Potato Starch, Enzymatic Hydrolysis, Viscosifiers Agents, Filtration Control Agents, Compatibility Test, Degradation Test, Viscosity Yield Test, Loss Control Test.

**DESCRIPTION:**

Starch is a polymer widely used in all types of water-based drilling mud and is a major component in drilling fluids.

The main functions of the starch are reducing fluid loss and rheology control, hence the approach that was given to this research. In drilling fluids, the polymer interact with solid particles to improve the seal of the leak in the well, and provide the necessary rheology. The reasons for the selection of potato starch are its versatility, and in comparison with many biopolymers, low relative cost.

This paper presents the laboratory results obtained from the experimental work of a types of starch. This report is divided into six sections or chapters. The first two chapters describe generalities and properties of drilling fluids, the third chapter focuses on the viscosifiers and filtration control agents (characteristics, properties and types), the fourth section covers the generalities of potato starch and the fifth chapter contains information relative to the experimental design of the project which describes the various tests performed and finally, the sixth chapter of its development for their respective analysis of the data. Starch is a polymer widely used in all types of water-based drilling mud and is a major component in drilling fluids.

---

\* Thesis of Grade

\*\* Physicochemical Faculty of Engineering, School of Petroleum Engineering DIRECTOR M.Sc. EMILIANO ARIZA LEÓN CO-DIRECTOR: ING JOHN ALEXANDER LEON PABON

## INTRODUCCIÓN

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

Debido a esto, es de gran importancia incursionar en la investigación y estudio de nuevos productos biodegradables como el caso del almidón de papa, que suplan las necesidades de la industria petrolera el cual estaría representado en una reducción de costos y mejor eficiencia del proceso a demás de ofrecer al medio ambiente mejores alternativas para la preservación de los recursos naturales tratando siempre de reducir el impacto ambiental sobre el medio.

Esto con el propósito de que en próximos estudios que se realicen dentro de este campo se puedan desarrollar aditivos con excelentes características para su funcionamiento en un lodo de perforación.

El presente trabajo se desarrolla para determinar la factibilidad del uso de almidón de papa como aditivo en fluidos de perforación. En esta investigación se realizaron pruebas de rendimiento y control de filtrado en lodos base agua, bajo diferentes esquemas con el fin de evaluar la eficacia de los productos y comparar dichos resultados con aditivos comerciales.

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

### **1.1 DEFINICIÓN**

Se denomina lodo de perforación o simplemente lodo a un fluido de perforación que es fundamentalmente líquido que circulan en pozos de petróleo y gas para limpiar y acondicionar el hoyo, lubricar la broca y equilibrar la presión de formación, además de medio de transporte para los ripios.

Un lodo ideal es aquel que a baja velocidad, tiene una alta viscosidad para que pueda cumplir la función de suspender y transportar los ripios, además de que sea el más económico en la perspectiva total de seguridad, costos de perforación y, eventualmente, costos de producción.

Debido a los problemas presentados en las operaciones de perforación rotaria, ha sido necesario investigar e introducir nuevos productos para ser usados como aditivos en los lodos de perforación.

### **1.2 FASES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN<sup>1</sup>**

Un lodo es, típicamente, una suspensión de sólidos y, posiblemente también de líquidos o gases, en un líquido. El líquido en el cual todos los materiales están suspendidos es la fase continua del lodo. Las partículas sólidas o glóbulos líquidos suspendidos en él, constituyen la fase discontinua del lodo.

---

<sup>1</sup> ECAPETROL – Escuela de Capacitación Petrolera. Química de lodos.

### **1.2.1 Fase continúa de los lodos.**

Es el líquido en el cual todos los materiales están suspendidos. La fase continua de un lodo de base agua es agua y de un fluido base aceite es el aceite. Las sales disueltas en el agua son también parte de la fase continua.

### **1.2.2 Fase discontinua de los lodos.**

Los glóbulos de petróleo emulsionados en un lodo de base agua viscosifican el lodo y reducen su densidad. El petróleo del lodo puede originarse en las formaciones perforadas. Más a menudo, cuando se encuentra en cantidades significativas de petróleo en un lodo base agua, se trata de petróleo adicionado deliberadamente para reducir la fricción mecánica, reducir la filtración a través de las paredes, liberar una tubería aprisionada por presión diferencial o, en casos pocos frecuentes producir un lodo más liviano que el agua.

El agua emulsionada de un lodo base aceite, lo hace mas viscoso. La proporción petróleo / agua en un lodo de base aceite debe ser cuidadosamente controlada. La entrada de agua de formación en este tipo de lodo lo hace más viscoso y, si es suficientemente abundante, lo desestabiliza.

### **1.2.3 Fase sólida de los lodos.**

Los sólidos desempeñan un papel tan importante en la condición y mantenimiento de un lodo que se le asigna una fase aparte, aun cuando todas las partículas sólidas que hay en un lodo pertenecen a su fase discontinua.

La inestabilidad de un lodo aumenta a medida que el porcentaje de sólidos (en volumen) se eleva. El tratamiento químico puede incrementar la capacidad de un

lodo para tolerar sólidos, pero solo hasta cierto punto. Muchos problemas de los lodos son causados por la falta de un control adecuado de sólidos.

### 1.3 FUNCIONES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN<sup>2</sup>

Son muchos los requerimientos para obtener un fluido de perforación óptimo. Según el Instituto Americano del Petróleo – API, define un fluido de perforación como un fluido en circulación para llevar a cabo cualquier función requerida durante una operación.

Además se tiene el concepto de James Lummus: “Un fluido de perforación óptimo es aquel en el cual la tasa de flujo necesaria para limpiar el pozo cumple con un caballaje hidráulico adecuado para limpiar la broca a un peso y una velocidad de rotación predeterminada para dar el costo más bajo. Dada esta combinación de variables, se puede obtener un pozo estable que cumple con el criterio de evaluación de formación y que ha alcanzado el objetivo deseado”<sup>3</sup>.

Las principales funciones de un lodo de perforación:

- **Transportar los recortes de perforación y los derrumbes a la superficie.** La acumulación de material sólido en el anular debido a una ineficiente limpieza del pozo causa un aumento en la torsión, en el arrastre, y en la presión hidrostática, lo que puede generar aprisionamiento de la tubería, reducción en la tasa de penetración y pérdida de circulación.
- **Mantener en suspensión los recortes y derrumbes, en el espacio anular, cuando se detiene la circulación.** El lodo tiene la capacidad de formar una

---

<sup>2</sup> Indagado de: Práctica de la Guía de Laboratorio de Lodos y Cementos. Rodríguez Bermúdez, Eliserio.

<sup>3</sup> Indagado de: Drilling Fluids Optimization. James L. Lummus and J.J. Azar.

estructura de tipo gel cuando no está fluyendo para evitar que los recortes y derrumbes caigan hacia el fondo del pozo.

- **Dar sostén a las paredes del pozo.** Evitar que la formación caiga en el interior del pozo depende de la naturaleza de la misma y del lodo que se use durante la perforación. El lodo debe formar una torta elástica y de un espesor adecuado para que ayude a sostener las paredes del hueco.
- **Controlar la presión de formación para evitar amagos de reventón y pérdidas humanas y materiales.** El agua, el gas y el petróleo que se encuentran en el subsuelo están bajo gran presión. Esta presión debe ser sobre-balanceada para evitar un flujo incontrolado de esos fluidos de formación en el interior del pozo. El control se logra a merced de un mantenimiento de una presión hidrostática suficiente en el anular. La presión hidrostática es directamente proporcional a la densidad del lodo y a la altura de la columna de lodo.
- **Enfriar y lubricar la broca y la sarta.** A medida que la broca raspa el fondo del pozo y que la sarta rota contra las paredes del pozo, se genera calor. El lodo debe absorber ese calor y conducirlo hacia fuera. Sus propiedades lubricantes permiten una mayor vida útil de la broca, una disminución en la torsión y en el arrastre, una menor presión de bombeo, menor desgaste por fricción en la sarta y debe ser más o menos denso. Cualquier lodo líquido desempeñará esta función al circular.
- **Ayudar a suspender el peso de la sarta y del revestimiento.** El empuje ascendente del lodo sostiene parcialmente la tubería ya que gran peso de la sarta (hasta más de 200 toneladas) puede causar una gran tensión o esfuerzo sobre el equipo de superficie.

- **Transmitir potencia hidráulica sobre la formación por debajo de la broca.** Esto permite que la superficie por debajo de la broca esté libre de recortes, de lo contrario la broca los seguirá re-triturando, reduciendo así la velocidad de penetración.
- **Proveer de un medio adecuado para tomar los registros del pozo.** Para esto se requiere que el lodo sea buen conductor de la electricidad y que presente propiedades eléctricas diferentes de los fluidos de la formación.

## **1.4 CLASIFICACIÓN DE LODOS DE PERFORACIÓN**

Los fluidos de perforación se clasifican comúnmente de acuerdo a un fluido base en tres grupos principales: fluido base agua, fluido base aceite y fluidos neumáticos.

### **1.4.1 Lodos 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.

Los lodos base agua varían desde los lodos no tratados hasta los más intensamente tratados, como son los lodos inhibidos que reducen o inhiben la interacción entre lodo y ciertas formaciones perforadas.

### 1.4.2 Lodos base aceite.

Un lodo base aceite es una emulsión o mezcla de dos fluidos inmiscibles, es decir, líquidos que no se mezclan bajo condiciones normales y, se caracteriza porque su parte líquida continua es petróleo y la fase dispersa consta de pequeñas gotas.

Para hacer la emulsión más estable, es necesario el uso de un agente emulsificante. El tipo de emulsión que se forma puede ser normal o inversa y depende de las características del agente emulsificante.

- **Lodos de emulsión normal.** En estos lodos la fase continua es el agua y la fase dispersa es el aceite.
- **Lodos de emulsión inversa.** En estos lodos la fase continua es el aceite y la fase dispersa es el agua. Se usan especialmente para tomar muestra de roca representativa del yacimiento y para perforar las zonas productoras de hidrocarburos.

### 1.4.3 Lodos 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 rata de penetración en zonas de rocas muy duras.

## **1.5 COMPONENTES DE UN LODO BASE AGUA**

### **1.5.1 Agua**

Es la sustancia más importante involucrada en los lodos base agua. En todos los tiempos de la perforación es el componente que se va a encontrar en mayor cantidad. Esta agua puede ser añadida al lodo en superficie o también puede ser agua proveniente de la formación.

### **1.5.2 Densificantes**

Cualquier sustancia que sea más densa que el agua y que no afecte otras propiedades del lodo, puede ser utilizada como agente densificante. Los productos más usados en la industria petrolera son la barita y el carbonato de calcio.

### **1.5.3 Viscosificantes**

La principal preocupación de un ingeniero de lodos desde el punto de vista reológico se encuentra relacionada con la capacidad de suspensión y de transporte de los ripios, y con el impacto de la viscosidad sobre las pérdidas de presión en el sistema de circulación.

Para lograr una buena capacidad de limpieza y de suspensión de los sólidos en el espacio anular durante los periodos que no hay circulación, se requiere de una viscosidad efectiva adecuada.

### **1.5.4 Dispersantes.**

Son aquellos aditivos usados en lodos de perforación cuya principal función es reducir la viscosidad y resistencia al gel. En lodos de agua dulce se usan como

dispersantes los fosfatos inorgánicos complejos (polifosfatos) y los adelgazantes orgánicos tales como taninos, lignitos y lignosulfonatos. Estos últimos se usan en compañía del hidróxido de sodio para lograr mayor efectividad.

#### **1.5.5 Controlador de filtrado.**

Ayudan a mantener un pozo estable minimizando los daños a la formación. Generalmente se utilizan almidones o polímeros.

#### **1.5.6 Surfactantes.**

Materiales que tienden a concentrarse en la interfase. Se emplea en lodos para controlar el grado de emulsificación, adición, dispersión, tensión en la interfase, espuma, los efectos antiespumantes, humectación, etc.

#### **1.5.7 Controladores de pH.**

El principal agente controlador de pH usado en lodos de perforación base agua, es el hidróxido de sodio o soda caustica. La cantidad de soda caustica necesaria para el control del pH depende de la influencia de varios factores: pH del lodo antes de hacer las adiciones de soda caustica, cantidad y tipo de aditivos incorporados al sistema de lodo, tipo y cantidad de las formaciones perforadas, cantidad y calidad de las adiciones de agua, contaminantes presentes, etc.

## 2. PROPIEDADES DEL LODO Y SU MEDICIÓN

Un lodo de perforación debe tener las propiedades y los componentes adecuados para llevar a cabo un correcto funcionamiento. En este capítulo se dará una descripción acerca de las propiedades involucradas dentro de la investigación y la forma como se miden estas.

### 2.1 DENSIDAD

Define la capacidad del lodo de ejercer una contrapresión en las paredes del pozo, controlando de este modo las presiones litostática e hidrostática existentes en las formaciones perforadas. Se determina pesando en una balanza un volumen conocido de lodo. La escala de la balanza (Baroid) da directamente el valor de la densidad del lodo, esta puede ser expresada en lb / gal, lb / ft<sup>3</sup>, lb / bbl, peso específico, o gradiente de presión (psi / ft).

### 2.2 VISCOSIDAD<sup>4</sup>

Es la resistencia o fricción interna de un fluido a circular cuando es forzado a fluir. Define la capacidad del lodo de lograr una buena limpieza de perforación, de mantener en suspensión y desalojar los detritus y de facilitar su decantación en las balsas o tamices vibrantes. Es la resultante de las fuerzas mecánicas o de rozamiento y se debe a presencia de sólidos.

---

<sup>4</sup> Indagado de: Drilling Fluids Optimization. James L. Lummus and J.J. Azar.

### **2.2.1 Viscosidad aparente.**

Es la viscosidad que un fluido parece tener en un instrumento dado y a una tasa definida de corte. Es una función de la viscosidad plástica y del punto de cedencia. Se toma como punto de comparación para determinar la eficiencia de un proceso de optimización de un fluido de perforación. Se da en unidades de centipoises. Tal como se determina con el viscosímetro Fann, es igual a la mitad de la lectura a 600 RPM.

### **2.2.2 Viscosidad plástica.**

Es la medida de la resistencia interna al flujo debido a la interacción de los sólidos en el fluido. Se atribuye a la cantidad, tipo y tamaño de los sólidos presentes en un fluido dado, se expresa en centipoises. Cuando se emplea el viscosímetro de Fann, la viscosidad plástica se determina sustrayendo la lectura a 300 RPM de la lectura a 600 RPM.

### **2.3 PUNTO DE CEDENCIA (Yield Point)**

Es una medida de las fuerzas electroquímicas o de atracción en un fluido que resultan de las cargas negativas y positivas ubicadas en o cerca de las superficies de las partículas medidas bajo las condiciones de flujo. Por lo tanto el punto de cedencia es una medida cuantitativa de la resistencia al flujo causadas por estas mismas fuerzas.

El punto de cedencia es medido en el viscosímetro Fann y es el resultado de la diferencia entre las lecturas a un esfuerzo de corte de 300 RPM y la viscosidad plástica, expresando su valor en  $\text{lb} / 100 \text{ft}^2$ .

## **2.4 FUERZA GEL**

Primero se debe mencionar que la tixotropía es la propiedad que tienen los lodos de perforación de pasar de gel a sólido y mediante agitación recupere sus propiedades. Gracias a esta propiedad, independiente de la densidad, los lodos colaboran en el mantenimiento de las paredes de la perforación.

La fuerza gel es la medida de las fuerzas de atracción que poseen los lodos en condiciones estáticas; en consecuencia es una medida de las propiedades tixotrópicas de los lodos de perforación.

Para mantener una medida de tixotropía presente en un lodo se toman dos lecturas en el viscosímetro Fann a una tasa de corte de 3 RPM, la primera con 10 segundos de reposo del lodo (Gel inicial) y la segunda con 10 minutos de reposo (Gel final).

Además para que un lodo bentonítico pase de sólido a gel inmediatamente después de dejarlo de agitar, se requieren concentraciones del orden del 20% en peso.

## **2.5 FILTRACION Y CONTROL DE FILTRADO**

La filtración se refiere a la acción mediante la cual la presión diferencial hace entrar a la fase líquida del lodo de perforación dentro de una formación permeable.

El objetivo de un control adecuado de las pérdidas de filtrado es formar una torta lisa, delgada y resistente en forma rápida sobre la superficie de las formaciones permeables e impedir una excesiva pérdida de filtrado. Además el filtrado debe ser compatible con la formación y con los fluidos de la misma.

## 2.6 pH

Son las condiciones de equilibrio químico de un lodo que marcan la estabilidad de sus características. Una variación sustancial del pH debida por ejemplo a la perforación de formaciones evaporíticas, salinas, calcáreas u horizontes acuíferos cargados de sales, puede provocar la floculación del lodo, produciéndose posteriormente la sedimentación de las partículas unidas, debido a que los cambios de pH actúan desestabilizando el lodo.

La estabilidad de la suspensión de bentonita en un lodo de perforación es esencial para que cumpla su función como tal, por lo que será necesario realizar un continuo control del pH. Además, un lodo bentonítico es estable cuando su pH está comprendido entre 7 y 9,5, aproximadamente, precipitando por fuera de este intervalo.

### **3. VISCOSIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO EN LODOS DE PERFORACIÓN**

Durante la década de los 50, los investigadores se enfocaron en probar productos básicos usados en los sistemas de lodos para hallar la mayor efectividad de producir una viscosidad y unas propiedades de control de pérdidas de filtrado deseadas con el fin de establecer la menor cantidad de materias primas para producir el sistema de lodo determinado<sup>5</sup>.

La falta de viscosidad y control de filtrado frecuentemente hace necesaria la adición de sólidos comerciales al agua para aumentar la viscosidad, la fuerza de gel y el control sobre la pérdida de fluidos en tal medida que no se altere la tasa de perforación.

#### **3.1 VISCOSIFICANTES**

Son productos agregados a los fluidos para mejorar la habilidad de los mismos de remover los sólidos perforados y suspender el material densificante, durante la perforación de un pozo.

Sin embargo, no todos los viscosificantes potenciales van a brindar una limpieza efectiva y económica del hoyo, y tampoco se hallan totalmente a salvo de las interferencias mecánicas y químicas del medio ambiente.

---

<sup>5</sup> Ibid, pág. 20.

### 3.1.1 Rendimiento de viscosificantes.

El rendimiento de viscosificantes se define como el número de barriles de lodo de 15 cP que se puede obtener de la adición de una tonelada de material seco.

La parte crítica de la curva para todos los tipos de viscosificantes aparece a 15 cP de viscosidad. La viscosidad a la que se hace referencia, es la “viscosidad aparente” del lodo, que se obtiene tomando la mitad de la lectura del esfuerzo de corte ( $\tau$ ) a 600 RPM en el viscosímetro de Fann.

Grandes adiciones de arcilla hasta los 15 cP aumentan muy poco la viscosidad, mientras que las pequeñas cantidades tienen un efecto marcado sobre la viscosidad mayor a 15 cP. Esto es cierto no solamente para las arcillas comerciales, sino también para los sólidos de perforación hidratables y materiales viscosificantes.

### 3.1.2 Importancia y aplicación.

Las arcillas tienen muchas aplicaciones en los lodos de perforación. Uno de los más importantes usos es como viscosificante.

El estudio del rendimiento de las arcillas y otros viscosificantes radica en que en el momento de la fabricación del lodo, esto nos proporciona una idea de la cantidad de producto necesario para obtener la viscosidad deseada y con ello podemos optimizar los costos.

### 3.1.3 Cálculo del rendimiento de un viscosificante.

$$R = \frac{2000}{\rho_{vis}} + \frac{100 - C^*}{\rho_{H_2O} * C^*} * 2000, \quad \frac{bb\ del\ lodo\ a\ 15\ cP}{Ton\ de\ viscosificante}$$

$$C^* = \frac{m_{visc}}{m_{vis} + m_{H_2O}} * 100$$

Donde:

- $\rho_{VIS}$  = Densidad del viscosificante (lb / bbl)
- $\rho_{H_2O}$  = Densidad del agua (lb / bbl)
- $m_{VIS}$  = Peso del viscosificante (lb)
- $m_{H_2O}$  = Peso del agua en (lb)
- $C^*$  = % en peso del viscosificante para alcanzar una viscosidad aparente de 15 cP.

### 3.1.4 Agentes viscosificantes.

Existe gran variedad de agentes viscosificantes, pero a la hora de seleccionar uno en especial para cierto trabajo se deben tener en cuenta ciertas condiciones de trabajo en un sistema de lodo predeterminado, para de esta manera poder seleccionar la mejor opción posible, esto quiere decir que algunos agentes viscosificantes podrían ofrecer un mejor desempeño en una condición determinada que algún otro agente viscosificante comercial<sup>6</sup>.

Las arcillas han sido tradicionalmente los viscosificantes más utilizados en lodos de perforación. Entre ellos sobresalen la bentonita, rica en montmorillonita, de gran capacidad de intercambio catiónico (80 a 150 meq).

Esta capacidad es altamente responsable de la enorme facilidad de hidratación de la bentonita en agua dulce y la atapulguita (silicato hidromagnésico – aluminico) usada para dar viscosidad a lodos de agua salada, donde no es efectiva la bentonita a menos que se halla pre-hidratado en agua dulce.

---

<sup>6</sup> Ibid, pág. 20.

En la **Tabla 1** se puede observar algunos agentes viscosificantes de uso comercial junto con el papel que desempeñan en un lodo.

**Tabla 1. Agentes viscosificantes comerciales.**

<b>AGENTES VISCOSIFICANTES COMERCIALES</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>M.I</b>	<b>BAROID</b>	<b>BH INTED</b>	<b>ACCIÓN PRINCIPAL</b>
Bentonita de Wyoming API	M_I GEL	Aquagel	Milgel	Viscosidad y control de filtración.
Bentonita de Wyoming API no tratada	M_I GEL SUPREME	Aquagel Cold Seal	Milgel NT	Viscosidad y control de filtración.
Bentonita mezclada de alto rendimiento	KWIK-THIK	Quik-Cel	SUper-Col	Viscosidad rápida para lodos base agua dulce en la parte superior del pozo.
Atapulguita API	SALT GEL	Zeogel	Salt Water Gel	Viscosidad en lodos a base de agua salada.
Sepiolita API	DUROGEL	Sea-Mud	–	Viscosidad para lodos geotérmicos a base de agua dulce, agua salada y alta temperatura.
Floculante total orgánico	FLOXIT	Barafloc	–	Floculante para sedimentar los sólidos durante la perforación en aguas claras.
Extendedor de bentonita/ Floculante selectivo	GELEX	X-Tend II	Benex	Para extender el rendimiento de la bentonita en lodos de bajo contenido de sólidos y como floculante selectivo.
Biopolímero de goma xanthan de alto peso molecular	DUO-VIS	Barazan	Xanplex D	Goma xanthan producida por bacterias para viscosidad y suspensión en todos los lodos base agua.
Biopolímero de goma xanthan clarificada de primera calidad	FLO-VIS PLUS	–	–	Goma xanthan producida por bacterias para viscosidad y suspensión en los sistemas de fluido de perforación de yacimiento.
Biopolímero de goma welan	Biozan	Biozan	Biozan	Goma welan producida por bacterias para viscosidad y suspensión en lodos de base

AGENTES VISCOSIFICANTES COMERCIALES				
DESCRIPCIÓN	M.I	BAROID	BH INTED	ACCIÓN PRINCIPAL
				agua de alto contenido de calcio o baja salinidad.
Goma guar	LO-LOSS	–	New-Vis	Viscosidad y control de filtrado en lodos de bajo contenido de sólidos.
Hidroxietilcelulosa	HEC	Baravis	W.O. 21	Viscosidad en fluidos y lodos base agua de rehabilitación / completamiento.

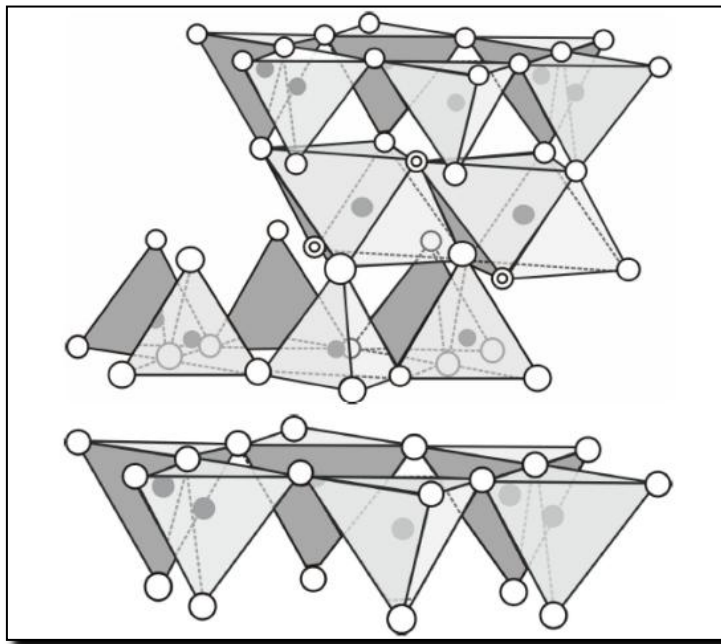
**Fuente.** Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas.

### **Bentonita (Montmorillonita de Sodio):**

Principalmente compuesta por montmorillonita de sodio original de Wyoming o del sur de Dakota, Estados Unidos de América. Esta clase de arcilla puede ofrecer un muy buen aumento de la viscosidad del fluido y control de pérdidas de fluido para lodos base agua debido a la alta tasa de absorción de agua que presentan sus gránulos. Su estructura puede observarse en la **Figura 1**.

También puede ofrecer cierto funcionamiento para lodos base aceite o lodos con presencia de sal si y solo si esta bentonita ha sido de alguna forma modificada o pre-hidratada.

**Figura 1. Estructura de la bentonita.**



**Fuente.** Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Fluidos de perforación. PDVSA. 2002.

### **Bentonita mejorada:**

Este producto es la bentonita de Wyoming tratada con un polímero, por lo general un poliacrilato. El resultado es un producto que produce suspensiones de aproximadamente el doble de la viscosidad de la bentonita de Wyoming.

El mismo comportamiento se puede lograr a un menor costo por tratamiento de una suspensión de bentonita con un polímero floculante o cal. Es eficaz en cualquier entorno en el que el polímero es ineficaz como por ejemplo: agua salada, contaminación por calcio, y altas temperaturas<sup>7</sup>.

### **Atapulgita (Silicato hidro magnesio-aluminio):**

Es un mineral de arcilla natural, se puede clasificar como un viscosificante para lodos salados, a diferencia de la bentonita no permite el control de filtrado y la viscosidad que agrega al fluido no depende de la capacidad de hidratarse sino de la desintegración de su estructura cristalina la cual se convierte en pequeñas partículas con forma de agujas que ofrecen cierta resistencia al flujo.

### **Asbesto (Silicato de calcio-Magnesio):**

Viscosificante tanto para lodos salados como para lodos base agua fresca. Su adición de viscosidad se remite a la resistencia al flujo causada por sus partículas abrasivas que otorgan un bono a favor de la limpieza de la cara del pozo.

Posee una desventaja al ser considerado un material cancerígeno, por lo tanto debe ser manejado con absoluto cuidado para preservar la integridad física de los operadores de campo.

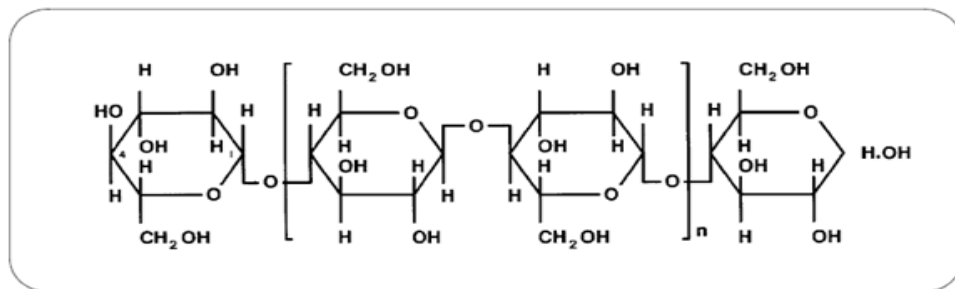
---

<sup>7</sup>SMITH, Martin V. y ANNIS, Max R. Tecnología de fluidos de perforación. 1974.

## Polímeros:

- **Celulosa polianionica:** Se usa principalmente como controlador de filtrado, pero también puede funcionar como agente viscosificante en lodos salados y base agua, funciona hasta temperaturas cercanas a los 280°F y no hay necesidad de utilizar algún tipo de control bacterial. La estructura de la celulosa puede observarse en la **Figura 2**.

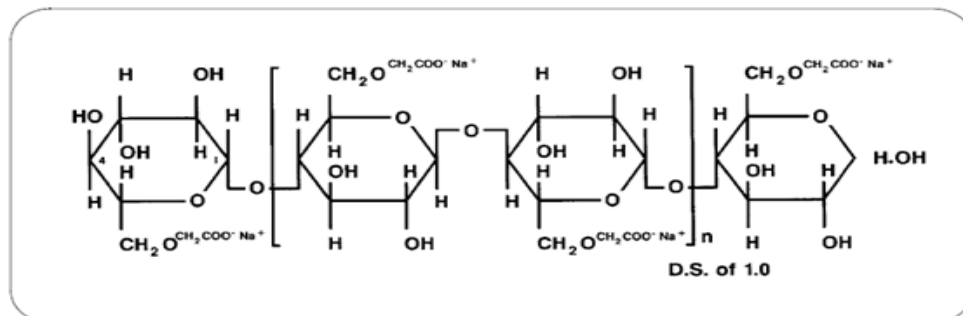
**Figura 2. Estructura molecular de la celulosa.**



**Fuente.** Drilling Fluids Manual, Amoco Production Company.

- **Carboximetil celulosa (CMC):** Es un coloide que se crea mediante la adición de una cadena carboximetil a una espina celulósica, como se observa en la **Figura 3**. Este proceso cambia el status de no solubilidad de la celulosa en agua, a un status de solubilidad en agua de la CMC.

**Figura 3. Estructura molecular de la carboximetil celulosa.**



**Fuente.** Drilling Fluids Manual, Amoco Production Company.

El grado de viscosidad del material está determinado por el número de cadenas adicionales y el peso molecular del producto final. Estos polímeros no son susceptibles a ataques bacterianos, pero no funcionan demasiado bien en ambientes salinos. Se comportan bien en lodos con pH mayor de 7. Pierden su efectividad cuando la concentración de sal es mayor de 50000 ppm y se degrada a temperaturas mayores de 250 °F.

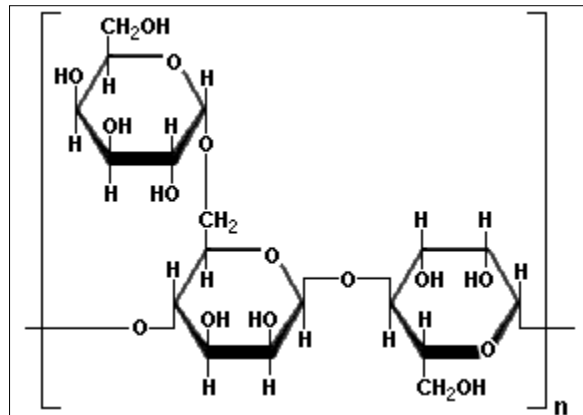
- **Celulosa carboximetil de sodio:** Posee acción doble, es controlador de filtrado viscosificante. Esta propiedad de viscosificante puede ser ajustada de acuerdo al grado de polimerización usado para aumentar el peso molecular de este, no necesita protección anti-bacterial y puede funcionar hasta los 250°F.
- **Goma Guar:** Es un polisacárido de alto peso molecular no aniónico, derivado de la semilla de la planta Guar. Este es un polímero de origen natural no iónico utilizado como viscosificador en aguas que van desde frescas a saturadas de sal, también evita la pérdida de filtrado por la formación de torta.

La goma guar estable es afectada por cambios en el pH y forma una floculación insoluble en contacto con el alcohol isopropílico. Tiene una estabilidad térmica alrededor de 200 °F.

El termino polisacárido se refiere a los polímeros que están compuestos principalmente de moléculas de azúcar mezcladas entre sí. La goma Guar se puede usar en casi cualquier tipo de agua. Su uso más común es en los fluidos de fracturamiento como fluido de sostén, esta goma es susceptible a la degradación bacteriana y requiere algún tipo de preservativo cuando se usa.

Su estructura molecular puede observarse en la **Figura 4**.

**Figura 4. Estructura molecular de la goma guar.**



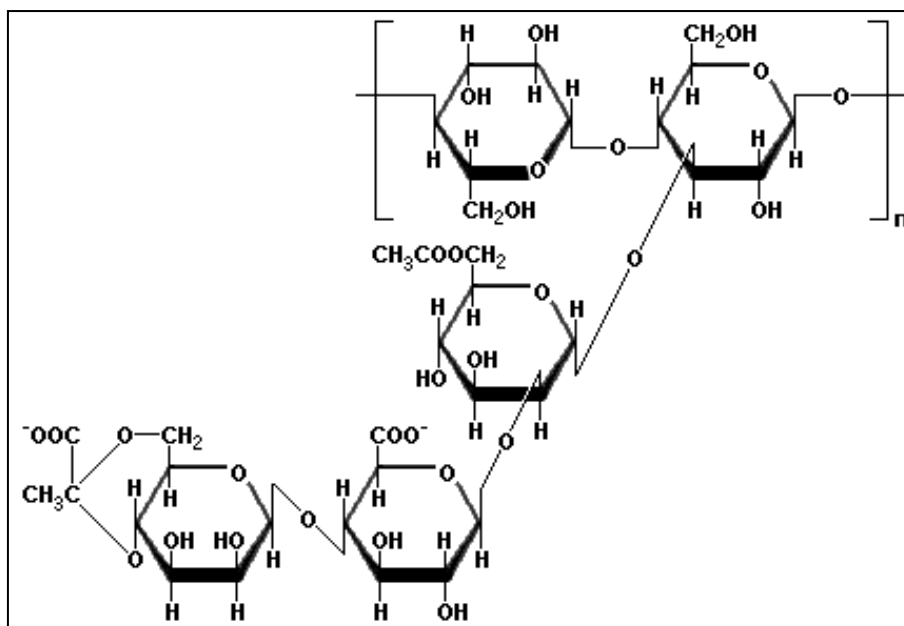
**Fuente.** [www.scientificpsychic.com](http://www.scientificpsychic.com).

- **Goma Xanthan:** Es un biopolisacarido de alto peso molecular producido por crecimiento bacteriano. Cada individuo bacteriano produce un revestimiento compuesto de este polímero. Es usado por la bacteria como un mecanismo protector para prevenir la deshidratación.

El polímero es producido comercialmente mediante el crecimiento de bacterias en un proceso de fermentación, precipitando la goma en alcohol, y luego secando y moliendo el producto hasta obtener una presentación en polvo.

La goma Xanthan puede ser usada en casi cualquier tipo de agua, es usado para proveer viscosidad tanto en ambientes de alta salinidad como en ambientes de baja salinidad, además de la viscosidad también puede proveer óptimas propiedades reológicas tales como fuerzas de gel o como valores de cedencia. Solo puede ser utilizado hasta temperaturas de 200°F. Es muy útil como agente viscosificante y agente de suspensión, es resistente al ataque bacteriano. Su estructura puede observarse en la **Figura 5**.

Figura 5. Estructura molecular de la goma xanthan.



Fuente. [www.scientificpsychic.com](http://www.scientificpsychic.com).

- **Mezcla entre goma guar y goma xanthan:** Usualmente se ofrece una mezcla de igual proporción como viscosificante y controlador de filtrado tanto para ambientes salinos como para ambientes no salinos, se necesita control antibacterial y una temperatura de operación menor a los 250°F.
- **Poliacrilamidas:** Es un material netamente sintético fabricado mediante la unión de monómeros bajo condiciones apropiadas de presión y temperatura. Las poliacrilamidas pueden ser hechas de acuerdo a las especificaciones del cliente.

El peso molecular y el grado de hidrólisis determinan la viscosidad del polímero en soluciones acuosas. Estos polímeros son principalmente usados como controladores de viscosidad, inyección en recobro mejorado y la estabilización de shales.

- **Poliacrilatos / Derivados anhídrido maleicos:** Son materiales netamente sintéticos y pueden ser fabricados de acuerdo a un amplio peso molecular con varias cargas en sus moléculas. Existen muchos tipos de poliacrilatos hechos por medio de la combinación de varios monómeros acrílicos ácidos. El tipo y el número de monómeros determinan las propiedades del producto final.

Los poliacrilatos se usan como floculantes, extensores de las propiedades de la bentonita y algunas veces como aditivos estabilizadores de shales. Los copolimeros anhídrido maleico combinados con estireno o etileno son similares a los acrilatos y pueden ser usados principalmente como extendedores de las propiedades de la bentonita.

### **3.2 CONTROL DE FILTRADO**

Las propiedades de la filtración no entran en efecto sino hasta que se forma una retorta de lodo, esta se compone de sólidos presentes en el lodo junto con los sólidos adjuntos provenientes de la formación recientemente perforada. Un parámetro aun más importante es el tamaño de partícula, la forma y la manera de su distribución.

La torta o cake es una costra resistente e impermeable que proporciona sostenimiento a las paredes de la formación y que no sea fácilmente erosionable por el roce de la sarta o columna de perforación, dificultando el paso del lodo hacia los acuíferos.

La capacidad de construir el “cake o torta” de un lodo depende del agua libre de éste, así como de la permeabilidad de las paredes del sondeo. Se analiza elasticidad (Plástica, Elástica, Quebradiza), consistencia (Consistente, Inconsistente) y espesor (1/32 – 2/32 de pulgada).

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.

### **3.2.1 Importancia y aplicación.**

Durante el proceso de perforación el lodo nos ayuda a controlar las presiones en la formación, por esto normalmente la presión de la columna de lodo se mantiene por encima de la presión de poro. Esta diferencia de presión ocasiona que la fase líquida del lodo invada la formación creando un daño que depende de la cantidad de líquido que invada y de las propiedades de las arcillas de la formación.

Las pruebas de filtración me permiten detectar estas cantidades de líquido que invaden la formación y hacer los correctivos necesarios en el lodo<sup>8</sup>.

Mediante una atención y control apropiados a las pérdidas de filtrado se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Menor riesgo de pega de la tubería.
- Mayor protección para las formaciones productoras.
- Mejor interpretación de los perfiles eléctricos.
- Estabilidad del pozo.

### **3.2.2 Medición de las pérdidas de filtrado.**

En el pozo ocurren dos tipos de filtración:

---

<sup>8</sup> Indagado de: Práctica de la Guía de Laboratorio de Lodos y Cementos. Rodríguez Bermúdez, Eliserio.

- **Estática.** La filtración estática tiene lugar cuando el lodo no está en movimiento. La torta se hace más gruesa con el tiempo; ya que restringe el flujo de filtrado y la tasa o velocidad de filtración disminuye con el tiempo.

El filtrado estático se mide por medio de dos ensayos estándar de la API, uno a baja presión y otro a alta temperatura – alta presión. El ensayo a baja presión se conoce generalmente como Filtrado API, mientras que el segundo se menciona generalmente como el HT – HP (ensayo a alta temperatura y alta presión).

La diferencia fundamental es que el ensayo API se realiza a 100 psi de presión y temperatura ambiente, mientras que el HT – HP se lleva a cabo a 500 psi de presión y 200 °F de temperatura.

- **Dinámica.** La filtración dinámica tiene lugar cuando el lodo está circulando o cuando la sarta está en rotación. Los ensayos para la medición de filtrado dinámico se encuentran limitados para los laboratorios y no existe ninguna correlación entre filtrado estático y el dinámico.

La filtración dinámica difiere de la estática en el hecho que el flujo de lodo de la cara del pozo tiende a erosionar la retorta de lodo a medida que esta se forma mediante el proceso de filtración.

La retorta crece hasta que la tasa de depositación sea igual a la tasa de erosión; cuando esta alcanza un espesor de equilibrio la tasa de filtración se vuelve constante. Contrario a esto durante la filtración estática la retorta del lodo nunca deja de crecer y la tasa de filtración disminuye con respecto al tiempo.

Por lo tanto para controlar la cantidad de filtrado perdido hacia la formación, se debe controlar la filtración dinámica y si se quiere prevenir la formación de retortas con demasiado espesor, se debe controlar la filtración estática.

En el proceso de filtración se identifican dos procesos importantes; uno es la parte líquida del lodo que invade la formación y la otra es el revoque (torta o cake) que se forma. Estos dos procesos pueden ocasionar problemas durante la perforación y en la parte productiva del pozo.

### **3.2.3 Problemas relacionados con la invasión excesiva de filtrado.**

- Daños a la formación causados por la invasión de filtrado y sólidos.
- Prueba inválida de muestreo del fluido de la formación.
- Dificultades en la evaluación de la formación causadas por la invasión excesiva de filtrado, la mala transmisión de las propiedades eléctricas a través de revoques gruesos, y posibles problemas mecánicos al bajar y recuperar las herramientas de registro.
- Las zonas de aceite y gas pueden pasar desapercibidas porque el filtrado está desplazando a los hidrocarburos, alejándolos del pozo, lo cual dificulta su detección.

### **3.2.4 Problemas relacionados con el espesor excesivo de la torta.**

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

### 3.2.5 Factores que afectan el filtrado.

De acuerdo a los estudios realizados al respecto, los factores que afectan las pérdidas de filtrado son: tiempo, temperatura y presión.

- **Tiempo.** La velocidad de filtrado (o tasa de filtrado) es directamente proporcional a la raíz cuadrada del tiempo, contando desde la pérdida inicial del filtrado.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \sqrt{\frac{t_2}{t_1}}$$

Donde:

- $Q_2$  = Cantidad de filtrado calculada a 30 minutos ( $\text{cm}^3$ )
- $Q_1$  = Cantidad de filtrado a 7.5 minutos ( $\text{cm}^3$ )
- $t_2$  = Duración de la prueba API a 30 minutos
- $t_1$  = Duración de la prueba a 7.5 minutos

La formula anterior se utiliza cuando la pérdida de filtrado es excesiva y se realiza una medición de 7.5 minutos y por la formula se halla a 30 minutos que es el dato que se debe reportar.

- **Temperatura.** Un aumento en la temperatura eleva la velocidad de filtrado debido a que disminuye la viscosidad de la fase líquida lo cual se convierte en un aumento de la pérdida de fluidos si y solo si los otros factores permanecen constantes. En este caso la cantidad de filtrado variará proporcionalmente con la raíz cuadrada de la viscosidad del fluido.

$$Q_2 = Q_1 \cdot \sqrt{\frac{\mu_2}{\mu_1}}$$

Donde:

$Q_2$  = Cantidad de filtrado desconocida a  $\mu_2$  (cm<sup>3</sup>)

$Q_1$  = Cantidad de filtrado conocida a  $\mu_1$  (cm<sup>3</sup>)

- **Presión.** Los efectos de la presión sobre la velocidad del filtrado dependen de gran medida de las características de la torta. Si la torta es compresible, un aumento en la presión reduce su permeabilidad y disminuye la pérdida de filtrado. Si la torta es incompresible, la velocidad de filtrado varía con la raíz cuadrada de la presión. Una torta incompresible implica que la permeabilidad del mismo no es afectada por la presión.

### 3.2.6 Agentes de control de filtrado.

Existen varios tipos de aditivos esenciales para el control de filtrado en lodos base agua. El éxito que tienen estos aditivos o agentes depende del tipo de lodo al cual están siendo aplicados y al ambiente químico donde se introducen. Algunos de ellos son mostrados en la **Tabla 2**.

**Tabla 2. Agentes comerciales de control de filtrado.**

<b>AGENTES COMERCIALES DE CONTROL DE FILTRADO</b>				
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>M.I</b>	<b>BAROID</b>	<b>BH INTED</b>	<b>ACCIÓN PRINCIPAL</b>
Mezcla de resina líquida	THERMEX	–	–	Reducir el filtrado en sistemas de alta temperatura.
Lignito resinado	RESINEX	Baranex	Filtrex	Control de filtrado a temperaturas elevadas y estabilizador de reología para todos los lodos base agua.
Almidón de maíz pre-gelatinizado	MY-LO-JEL	Impermex	Milstarch	Control de filtrado y estabilizador de reología para los lodos saturados de agua salada, cal y agua dulce.
Polisacárido preservado	POLY-SAL	Dextrid	Perma-Lose HT	Almidón no fermentante para control de filtrado, viscosidad y estabilización de lutitas en lodos a base de agua salada y agua dulce.
Polisacárido modificado	THERMPAC UL	–	Bio-Lose	Control de filtrado con aumento mínimo de la viscosidad.
Carboximetilcelulosa de sodio	CMC	cellex	CMC	Control de filtrado y viscosificador.
Celulosa polianiónica(PAC)	POLYPAC R	PAC R	Mil-Pac	Control de filtrado y viscosificador.
Celulosa polianiónica (PAC) de viscosidad ultra-baja	POLYPAC UL	PAC L	–	Control de filtrado con aumento mínimo de la viscosidad.
PAC de primera calidad	POLYPAC	–	–	Control de filtrado y viscosificador.

AGENTES COMERCIALES DE CONTROL DE FILTRADO				
DESCRIPCIÓN	M.I	BAROID	BH INTED	ACCIÓN PRINCIPAL
	SUPREME R			
PAC de primera calidad de viscosidad ultra- baja	POLYPAC SUPREME UL	–	–	Control de filtrado con aumento mínimo de la viscosidad.
Almidón derivado	FLO-TROL	–	–	Control de filtrado y viscosificador para sistemas de fluido de perforación de yacimiento.
Copolímero de poliacrilato de sodio	SP-101	Poly AC	New-Trol	Filtrado a temperaturas elevadas y estabilizador de reología para lodos de bajo contenido de calcio, bajo contenido de sólidos o no dispersos.

**Fuente.** Manual de fluidos de perforación. Procedimiento estándar para las pruebas de fluidos de perforación. Instituto Americano del Petróleo, Dallas, Texas. 2001.

## **Arcillas:**

Son los principales agentes de control de filtrado para sistemas de lodo base agua. Uno de los puntos claves se basa en una correcta distribución del tamaño de partículas solidas. Esto quiere decir que el lodo debe tener un amplio rango de tamaños de partículas, un muy grande porcentaje de estas partículas deben ser iguales o menores a 1 micrón.

Las tres arcillas más usadas como aditivos de lodo son: atapulgita, sepiolita y bentonita de sodio. Las dos primeras son generalmente usadas como viscosificantes en sistemas de lodos de alta salinidad pero no tienen propiedades para el control de filtrado.

La bentonita de calidad API es el mejor producto que se puede usar en la formulación de un lodo con buenas propiedades de revoque y control de filtración.

La bentonita no solamente proporciona el control de filtración, sino también aumenta la viscosidad; por lo tanto, en las aplicaciones de lodo densificado y de altas temperaturas, la concentración de bentonita debería limitarse al rango de 7,5 a 15 lb / bbl.

Los fluidos no densificados usan frecuentemente una concentración de bentonita de 15 a 30 lb / bbl, según la composición química del agua de preparación y la viscosidad deseada. Cualquier concentración superior a 7,5 lb / bbl proporcionará una buena base para el revoque y las características de filtración.

Las arcillas comerciales como la bentonita no solo desarrollan un impacto positivo sobre la viscosidad del lodo sino que también tienen la habilidad de disminuir la pérdida de fluidos<sup>9</sup>.

La habilidad de la bentonita para reducir la cantidad de filtrado puede ser atribuida a:

- Tamaño de las partículas.
- La forma plana de las partículas.
- La capacidad de hidratarse además de comprimirse bajo presión.

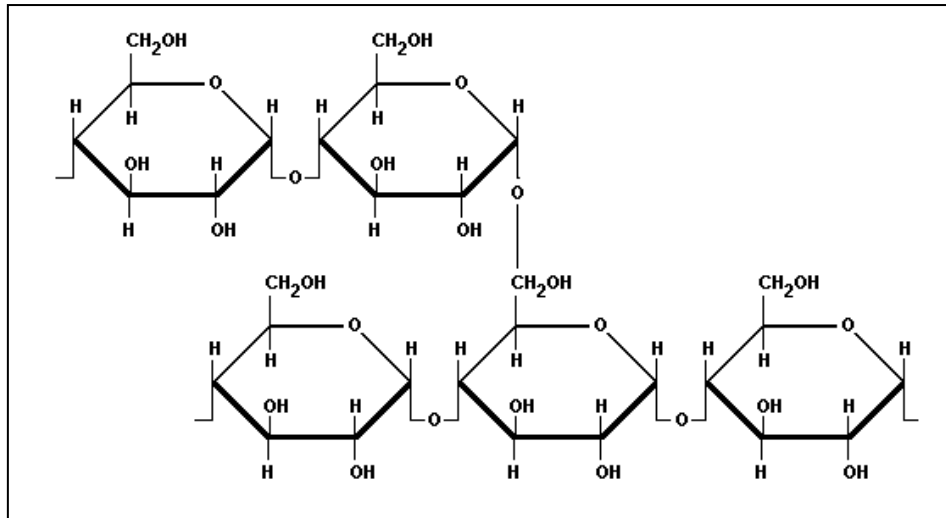
### **Almidones:**

Fueron introducidos en la industria petrolera en la década de los 30 como controladores de filtrado, y aun siguen cumpliendo esa misma función. Inicialmente se uso el almidón de maíz. Los almidones deben ser procesados con el fin de hacerlos solubles en agua fría. Los almidones son térmicamente estables alrededor de los 250 °F. Los almidones no son resistentes a las bacterias y requieren de un biocida para retardar la fermentación. Su estructura puede observarse en la **Figura 6**.

---

<sup>9</sup>Ibíd., pág. 20.

**Figura 6. Estructura de la molécula de almidón.**



**Fuente.** <http://www.cienciastella.com/Glucidos.html>.

Si los coloides minerales no surten suficiente efecto sobre la disminución de la cantidad del filtrado, la opción más lógica son los coloides orgánicos tales como los almidones. En lodos base agua, la adición de almidones no solo disminuye la cantidad de fluido perdido sino que también estabiliza el lodo, debido a que al entrar en contacto con el lodo se hincha y gelatiniza aumentando el contenido coloidal del lodo.

Las partículas de almidón se expanden en el agua como bolsas esponjosas que se introducen como cuñas en las aberturas de la torta con lo que producen un control de la pérdida de filtrado.

La pérdida de agua libre en el sistema repercute de tal forma que se disminuye la cantidad de filtrado, además los gránulos de amilosa llenos de agua se ajustan a las aberturas presentes en las retortas ayudando aun más a la reducción de la pérdida de fluidos. Su temperatura de operación se limita a rangos menores de 200°F.

## **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.

Debido a los recientes avances en tecnología de fluidos de perforación, el uso de polímeros solubles en agua ha desarrollado sistemas de lodos con una pérdida de fluidos bastante reducida. Los tipos de polímeros se clasifican por su acción sobre un sistema de lodo, esta clasificación se basa en su capacidad de adsorción sobre los sólidos o por su capacidad de viscosificar el fluido.

Comúnmente se usan los polímeros que viscosifican el fluido ya que tienen doble efecto sobre el lodo de perforación, además estos fluidos relativamente sin carga, son menos sensitivos al ambiente en el que se encuentran, también desarrollaran viscosidad en presencia de dureza y sal, sin embargo altas concentraciones podrían reducir su efectividad.

Los polímeros envuelven a las partículas solidas en el lodo, creando una película que se comporta en forma similar a un sellador a presión. También en algunos casos, las largas cadenas se pueden introducir en aberturas de la torta, taponándolas en forma de cuña.

- **Carboximetil celulosa de sodio (CMC):** CMC es un coloide orgánico utilizado para el control de la filtración. Este material está disponible en varios grados, cada uno varía en las cualidades de control de la viscosidad y la filtración. Los tres grados son comúnmente llamados de alta, media y baja

viscosidad de CMC .La elección de la CMC depende de las propiedades deseadas para el fluido de perforación. Cuando el aumento de la viscosidad y el control de filtración son deseados, un grado alto o medio de CMC debería ser utilizado.

- **Polianiónica celulosa (PAC):** Materiales de carbón activado en polvo son agentes orgánicos de control de filtración similar a la CMC, pero por lo general de mayor pureza y calidad. Este material puede ser utilizado tanto en ambientes de agua dulce como agua salada.
- **Poliacrilatos de sodio (SPA):** Los SPA son polímeros que están disponibles en varios rangos de peso molecular y ofrecen estabilidad a alta temperatura. Los SPA de bajo peso molecular son de floculantes de arcillas y se utilizan para mejorar el control de la pérdida de líquidos por ese mecanismo. Los SPA de muy alto peso molecular son efectivas para el control de la pérdida de líquidos. Son sensibles a los iones de calcio, especialmente en el alto peso molecular.

### **Dispersantes químicos:**

Una dispersión mejorada generalmente resulta en un decrecimiento en la cantidad de filtrado. Esto es un resultado de la distribución homogénea de los tamaños de las partículas solidas presentes en el fluido. La habilidad de los dispersantes para reducir la perdida de fluido se remite a la adsorción química de las partículas o a que el químico por si mismo puede adicionar otro tamaño de partícula.

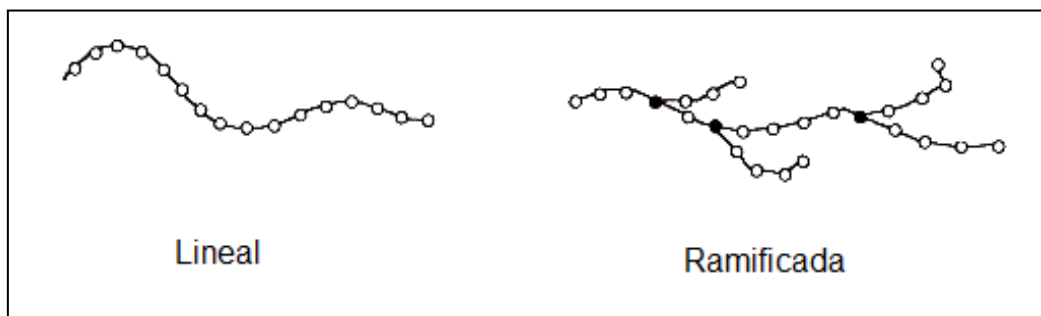
Estos dispersantes pueden trabajar a temperaturas y a presiones aun mayores que en las que los polímeros pueden trabajar, no son tan fácilmente afectados por la acción bacteriana y pueden ser usados en altas concentraciones de sal y calcio.

### 3.3 POLIMEROS

#### 3.3.1 Introducción química.

Un polímero es una molécula grande compuesta de moléculas relativamente pequeñas llamadas monómeros unidos entre sí. El peso molecular de los polímeros va desde unos pocos miles a varios millones de unidades de peso molecular. Los polímeros pueden tener miles de unidades de repetición. Los monómeros pueden ser iguales o diferentes. En el primer caso se obtiene un homopolímero, y en el segundo un copolímero. Las cadenas pueden ser lineales o ramificadas<sup>10</sup>, como se observa en la **Figura 7**.

**Figura 7. Tipos de cadenas en un polímero.**



**Fuente.** <http://envases.elenaibarreche.com/index.php>.

Los polímeros se adicionan al sistema para aumentar la viscosidad mediante la floculación o por medio de la viscosificación del agua. El uso más común es como controlador de filtrado, usualmente como un aditivo suplementario a la bentonita o a otros químicos.

<sup>10</sup> Tomado de Amoco – Drilling Fluids Manual.

### 3.3.2 Clasificación de los polímeros.

Los polímeros constituyen por lo general, sistemas no dispersos y se clasifican de acuerdo a su origen, estructura y utilidad. Cada tipo de polímero tiene sus propias características en términos de cómo funciona en un determinado tipo de fluido de perforación. Por lo tanto, la selección del tipo correcto de polímero es fundamental para un buen rendimiento.

#### **Clasificación de acuerdo a su origen:**

Los polímeros pueden ser: naturales, modificados o sintéticos.

- **Polímeros naturales:** Se originan de una forma natural y no requieren de cambios químicos en el proceso de manufactura. Son relativamente económicos y generalmente son hidrocoloides, es decir, polímeros que no se solubilizan, sino que se hidratan desarrollando viscosidad. Son usados principalmente para controlar filtrado en sistemas salinos.
- **Polímeros modificados:** Estos polímeros son alterados químicamente con el fin de mejorar su tolerancia a la sal, su solubilidad y su estabilidad térmica. Poseen buenas propiedades tixotrópicas y de adelgazamiento, pero carecen de propiedades reológicas. Se utilizan principalmente para viscosificar salmueras, por no poseer cargas eléctricas.
- **Polímeros sintéticos:** Estos polímeros se obtienen, mediante una reacción repetitiva de monómeros iguales (homopolímeros) o diferentes (copolímeros). Son más costosos que los naturales y los modificados, son más resistentes a los contaminantes. Por lo general estos polímeros son de alto peso molecular, razón por la cual se utilizan frecuentemente para: viscosificar, flocular y estabilizar.

### Clasificación según su estructura:

Los polímeros se clasifican según su estructura química y física.

- Química: Existen dos grupos, los que se derivan de las celulosas y los que se derivan de los alcoholes.
- Física: Los polímeros pueden ser iónicos o no iónicos.

Los iónicos son los que poseen cargas eléctricas. Estos polímeros desarrollan viscosidad por ionización y no por solubilización, es decir, se ionizan en el agua.

Los polímeros no iónicos no poseen cargas eléctricas y al contrario de los iónicos desarrollan viscosidad por solubilización, es decir, son solubles en agua. La solubilidad de estos polímeros es afectada por la fuerza iónica o contenido electrolítico del medio. Estos polímeros se utilizan frecuentemente para viscosificar fluidos de completamiento o reparación a base de salmuera.

### Clasificación según su utilidad:

Los polímeros cumplen su función de acuerdo a su peso molecular. Ver **Tabla 3**.

**Tabla 3. Clasificación de polímeros.**

Peso molecular	Función
Alto	Viscosificantes, floculantes y estabilizantes.
Medio	Reductores de filtrado.
Bajo	Adelgazantes o defloculantes.

**Fuente.** Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Fluidos de perforación. PDVSA. 2002.

### 3.3.3 Factores que afectan a los polímeros.

Entre los principales factores que afectan las propiedades y la estabilidad de los polímeros se pueden destacar mostradas en la **Tabla 4**.

**Tabla 4. Factores que afectan los polímeros.**

Factores	Efectos
Concentración y distribución de grupos funcionales ionizables.	Mayor estabilidad: debido a la mayor concentración y distribución de grupos funcionales.
Concentración del polímero.	Menor viscosidad: debido a la poca cantidad de agua disponible para la alta concentración de polímeros existentes.
Sales de solución.	Deshidratación: la sal deshidrata a los polímeros con cargas eléctricas(iónicos), pero no afecta a los que no tienen cargas (no iónicos).
pH de la solución.	Disminución de la viscosidad: debido a la repulsión electrostática causada por el incremento de las cargas negativas, cuando se aumenta el pH por encima de 9,5.

**Fuente.** Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Fluidos de perforación. PDVSA. 2002.

### 3.3.4 Degradación de los polímeros.

Los polímeros sufren degradaciones que afectan considerablemente su viscosidad, como se muestra en la **Tabla 5**.

**Tabla 5. Tipos de degradaciones en los polímeros.**

Tipos	Degradación
Termal	Los polímeros son cadenas altamente ramificadas, poseen más sitio para el ataque termal y se degradan con mayor facilidad que los de cadenas lineales.
Mecánica	Los polímeros con cadenas lineales sufren degradación mecánica durante el proceso de mezcla y cuando pasan a través de las boquillas de la mecha o través de los equipos de control de sólidos.
Bacteriana	Los polímeros particularmente los naturales, como el almidón son muy susceptibles al ataque de bacterias. Estos se degradan totalmente en un par de días, sino son tratados con un bactericida.
Oxigeno	La combinación de oxígeno con altas temperaturas degrada en forma rápida a los polímeros. Es necesario el uso de secuestradores de oxígeno para prevenir esta situación.

**Fuente.** Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Fluidos de perforación. PDVSA, 2002.

### **3.3.5 Beneficios de los polímeros líquidos.**

Los polímeros normalmente vienen en saco y son agregados a través del embudo lentamente para lograr su mayor efectividad y evitar la formación de flóculos u “ojos de pescado”, sin embargo, en forma líquida estos aditivos ofrecen mayores ventajas como:

- Pueden ser agregados por cualquier sitio del sistema de circulación, donde exista agitación.
- Se solubilizan más rápidamente, lo que acorta el tiempo de estabilización del sistema.
- Son más efectivos a corto tiempo.
- Hay menos pérdida por almacenamiento y manejo del producto.

- Se mezclan con mayor facilidad y no es imprescindible disponer de un obrero en forma permanente, para mezclarlos.
- No se forman “ojos de pescado” y por consiguiente, se minimiza la posibilidad de taponar la formación.

## 4. GENERALIDADES DEL ALMIDON DE PAPA

El uso de los almidones de papa puede ofrecer un buen comportamiento para ser utilizados en lodos de perforación, esto con el fin de crear un equilibrio entre la disminución de costos e impacto ambiental. Por eso es necesario realizar un análisis acerca de su composición, propiedades y proceso de modificación.

### 4.1 LA PAPA<sup>11</sup>

**Hábitat.** Cultivada hace 7000 años, la papa o patata es originaria de la región del lago Titicaca, al sur de Perú y norte de Bolivia, donde se conserva todavía en forma de chuño, obtenido al exponer el tubérculo al frío de la noche después de haber sido deshidratado al sol durante el día y pisoteado para exprimir los últimos restos de agua. Llegó a España procedente del nuevo mundo hacia 1570, desde donde pasó a Italia a finales del siglo XVI o principios de XVII y después Francia, Inglaterra y otros países centroeuropeos.

**Descripción.** Los tubérculos no son raíces sino engrosamientos subterráneos de los tallos. Hierba con tubérculos de la familia de las solanáceas de hasta 130 cm de altura. Flores en cimas, de color blanco o violeta, de hasta unos 4 cm de diámetros con las anteras amarillas muy destacadas.

**Propiedades e indicaciones:** En la composición de la patata cabe destacar la cantidad de hidratos de carbono, mayoritariamente en forma de almidón y una pequeña proporción de glucosa, fructosa y sacarosa; así como un

---

<sup>11</sup> CARDENAS,M. "Origen e historia de la papa". Técnica agropecuaria. Organo de la asociación peruana de ingenieros agrónomos.- biblioteca exp. Agric. La Molina.

aporte importante de fibra. La papa o patata es una buena fuente de vitamina C, si bien una buena parte de la misma puede perderse de la misma durante el proceso de cocción.

#### 4.1.1 Características.

En la **Figura 8**, se observa el producto en su forma natural y su clasificación es mostrada en la **Tabla 6**.

**Figura 8. Papa.**



**Fuente.** <http://alejandrofathouh.blogspot.com>

**Tabla 6. Taxonomía de la papa.**

TAXONOMIA	
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Solanales
Familia	Solanáceas
Tribu	Manihoteae
Género	Solanum
Especie	Solanum Tuberosum

**Fuente.** Hawkes J.G. 1990. The potato: evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven press, Washington DC.

### 4.1.2 Morfología.

Morfológicamente el tubérculo es un tallo subterráneo, acortado engrosado y provisto de yemas u ojos en las axilas de sus hojas escamosas. En cada ojo, existen normalmente 3 yemas, aunque en ocasiones pueden ser más. Una yema es, en consecuencia, una rama lateral del tallo subterráneo con entrenudos no desarrollados y todo el tubérculo un sistema morfológico ramificado y no una simple rama.

Los ojos se concentran con mayor frecuencia hacia el extremo distal (corona o roseta), siendo a la vez más profundos en esta región.

Las yemas de esta región normalmente se desarrollan primero. Cuando la yema apical es removida o muerta, otras yemas son estimuladas a desarrollar. Cada ojo es capaz de producir un infinito número de brotes, dependiendo del tamaño del tubérculo y de la reserva de hidratos de carbono.

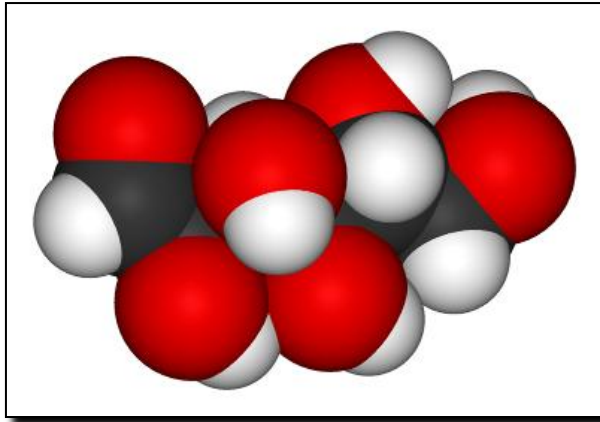
## 4.2 ALMIDÓN

El almidón está compuesto fundamentalmente por glucosa ( $C_6H_{10}O_5$ ) (ver **Figura 9**). Es una sustancia que se obtiene exclusivamente de los vegetales (usados como reserva alimenticia)<sup>12</sup> que lo sintetizan a partir del dióxido de carbono que toman de la atmósfera y del agua que toman del suelo. En el proceso se absorbe la energía del sol y se almacena en forma de glucosa y uniones entre estas moléculas para formar las largas cadenas del almidón, que pueden llegar a tener hasta 2000 o 3000 unidades de glucosa.

---

<sup>12</sup> <http://www.wikipedia.org/wiki/Almidón>

**Figura 9. Modelo tridimensional de la glucosa.**



**Fuente.** <http://eltamiz.com>.

El almidón se diferencia de todos los demás carbohidratos en que, en la naturaleza se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos de almidón son relativamente densos, insolubles y se hidratan muy mal en agua fría. Pueden dar suspensiones cuando se dispersan en agua, suspensiones que pueden variar en sus propiedades en función de su origen, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas, incluso a concentraciones mayores del 35%.

Los almidones comerciales se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz (*Zea mays*), trigo (*Triticum spp*), varios tipos de arroz (*Oryza sativa*), y de algunas raíces y tubérculos, particularmente de patata (*Solanum tuberosum*), batata (*Ipomoea batatas*) y mandioca (*Manihot esculenta*).

Tanto los almidones como los almidones modificados tienen un número enorme de posibles aplicaciones, en las que cabe destacar<sup>1314</sup>:

- Adhesivo

---

<sup>13</sup> <http://www.monografias.com/trabajos43/almidones.html>

<sup>14</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Almidón>

- Ligante
- Enturbiante
- Formador de películas
- Estabilizante de espumas
- Agente anti-envejecimiento de pan
- Gelificante
- Glaseante
- Aglutinante
- Humectante
- Estabilizante
- Texturizante
- Espesante.

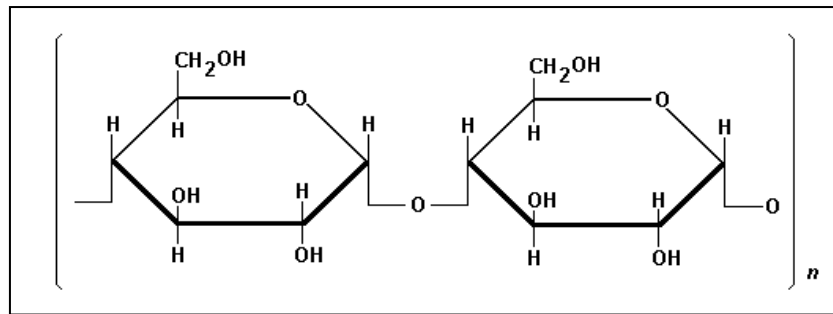
Los almidones se encuentran principalmente constituidos por amilosa y amilopectina, que solo se diferencian en su estructura, y contienen regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternadas<sup>15</sup>.

La amilosa es un polímero no ramificado de unos 100 a 1000 residuos de D-glucosa unidos por enlace glucosídicos a (1-4) (igual que el enlace de la maltosa) (ver **Figura 10**). No es soluble en agua, pero forma agregados hidratados en solución acuosa y puede adoptar una estructura helicoidal (ver **Figura 11**), en la que cada vuelta de hélice consta de 6 moléculas de glucosa. El interior de la hélice contiene sólo átomos de hidrógeno, y es por tanto lipofílico, mientras que los grupos hidroxilo están situados en el exterior de la hélice.

---

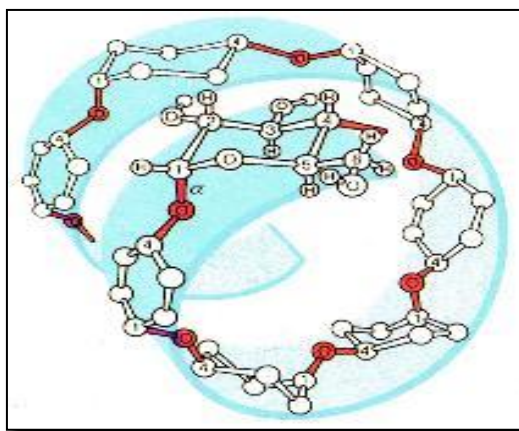
<sup>15</sup> <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucres/almidon.html>

**Figura 10. Estructura química de la amilosa<sup>16</sup>.**



Fuente. <http://www.bvsde.ops-oms.org>.

**Figura 11. Estructura helicoidal de la amilosa<sup>17</sup>.**



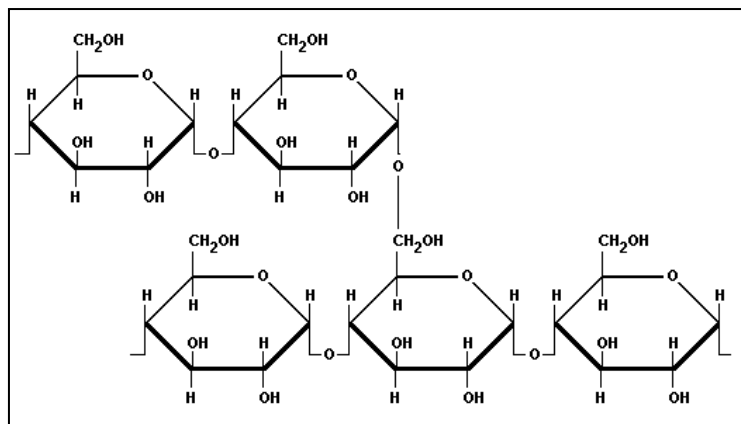
Fuente. <http://www.bvsde.ops-oms.org>.

La amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que le dan una forma molecular a la de un árbol (ver **Figura 12** y **Figura 13**); las ramas están unidas al tronco central (semejante a la amilosa) por enlaces  $\alpha$ -D-(1,6), localizadas cada 15-25 unidades lineales de glucosa. Su peso molecular es muy alto ya que algunas fracciones llegan a alcanzar hasta 200 millones de daltones.

<sup>16</sup> [www.cepis.ops-oms.org/impacto](http://www.cepis.ops-oms.org/impacto).

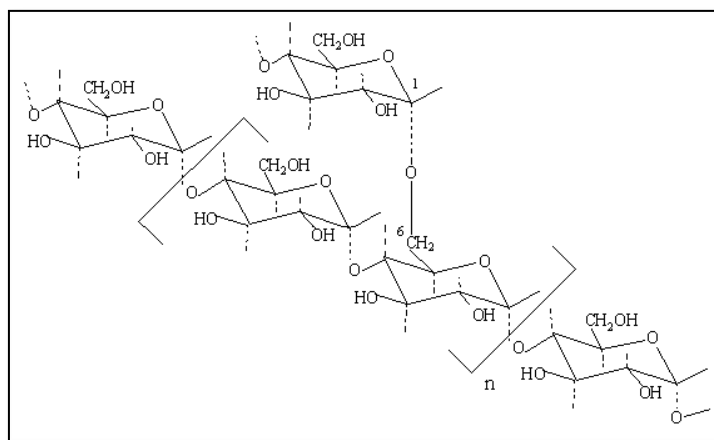
<sup>17</sup> [www.bolivar.udo.edu.ve/amilosa2d.jpg](http://www.bolivar.udo.edu.ve/amilosa2d.jpg)

**Figura 12. Estructura química de la amilopectina<sup>18</sup>.**



Fuente. <http://www.bvsde.ops-oms.org>.

**Figura 13. Estructura de árbol de la amilopectina.**



Fuente. <http://www.monografias.com>.

Las propiedades tecnológicas, industriales y físico-químicas del almidón dependen mucho del origen, peso molecular específico y de la relación amilosa / amilopectina (ver **Tabla 7**), tanto cuando forma parte de un material complejo (harina) como cuando se utiliza purificado, lo cual es muy frecuente<sup>19</sup>.

<sup>18</sup> [www.cepis.ops-oms.org/impacto](http://www.cepis.ops-oms.org/impacto)

<sup>19</sup> <http://milksci.unizar.es/bioquimica/temas/azucares/almidon.html>

**Tabla 7. Relación amilosa / amilopectina según la procedencia del almidón<sup>20</sup>.**

ALMIDON	CONTENIDO DE AMILOSA	CONTENIDO DE AMILOPECTINA
Arroz	19 %	81 %
Avena	16 %	84 %
Bellota	24 %	76 %
Cebada	22 %	78 %
Cebada waxy	0 %	100 %
Maíz	28 %	72 %
Manzana	19 %	81 %
Papa	20 %	80 %
Plátano	16 %	84 %
Tapioca	16 %	84 %
Trigo	26 %	74 %

**Fuente.** Modificado de: [www.cepis.ops-oms.org/impacto](http://www.cepis.ops-oms.org/impacto) y ALVIS, Armando, VÉLEZ, Carlos A., VILLADA, Héctor S. y RADA MENDOZA, Maite. Análisis físico-químico y morfológico de almidones. Disponible en: [www.scielo.cl/pdf/infotec](http://www.scielo.cl/pdf/infotec).

El almidón de la papa también es ampliamente utilizado por las industrias farmacéutica, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno. El almidón de papa es un sustituto 100% biodegradable del poliestireno y se utiliza, por ejemplo, para hacer platos y cubiertos desechables. Es un polvo fino y sin sabor, de excelente textura, da mayor viscosidad que los almidones de trigo o de maíz. En la **Tabla 8** se muestran algunas propiedades generales del almidón de papa.

---

<sup>20</sup> [www.cepis.ops-oms.org/impacto](http://www.cepis.ops-oms.org/impacto)

**Tabla 8. Propiedades generales del almidón de papa.**

<b>PROPIEDADES GENERALES DEL ALMIDÓN DE PAPA</b>	
<b>PROPIEDAD</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
Tamaño de granulo (eje mayor, $\mu\text{m}$ )	5 – 100
Amilosa (%)	20 – 25
Amilopectina (%)	70 – 75
Temperatura de gelatinización ( $^{\circ}\text{C}$ )	58 – 65
Viscosidad relativa	Alta
Tendencia a gelificar / Retrogradar	Media
Aspecto de la pasta	Muy Clara
Sabor	Neutro

Fuente. [www.alimentariaonline.com/media/MLC009\\_FABPSA.pdf](http://www.alimentariaonline.com/media/MLC009_FABPSA.pdf)

El almidón natural necesita de la aplicación de calor para que se hidrate. El grado de hidratación depende del pH, temperatura y tiempo. Cuando se hidrata y se dispersa en agua caliente se forma un compuesto de color claro que tiene un sabor suave; cuando se enfría puede formar un gel débil. Si se calienta por tiempo prolongado y en condiciones ácidas, el almidón pierde sus habilidades espesantes.

#### **4.3 PROCESO DE EXTRACCIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA**

La extracción de almidón puede realizarse en plantas artesanales con capacidad de unas pocas toneladas al mes y en enormes plantas con capacidades hasta de 400.000 toneladas por año.

El proceso de extracción de almidón de papa consiste en una serie de operaciones que por vía húmeda, logra la extracción del almidón que contienen las raíces de la papa obteniendo almidón fresco (dulce) o agrio.

El proceso es el siguiente<sup>21</sup>:

- Recepción de papa y almacenamiento.
- **Lavado y pelado:** Proceso se inicia con el lavado de las papas, que se rectifican.
- **Molienda:** Se trasladan a un molino las papas lavadas, y de ellas se obtiene una masa.
- **Extracción:** La masa se traslada a una zaranda vibratoria a la que se agrega agua para extraer el almidón, que pasa a las tinas de decantamiento.
- **Decantamiento:** Estas tinas, en reposo absoluto, permiten que el almidón descienda al fondo.
- **Extracción:** El agua es retirada de las tinas.
- **Secado:** El almidón es expuesto a un primer secado al sol y luego para disminuir aun más la humedad, pasa por un túnel de secado.
- **Molienda:** La molienda final le permite obtener la condición de polvo suave.

---

<sup>21</sup> <http://es.scribd.com/doc/20140514/Procesamiento-de-la-papa>.

- Empaque y almacenamiento del producto final.

En la **Figura 14** se muestra el proceso general para la extracción de almidón de papa.

**Figura 14. Diagrama del proceso general de extracción de almidón de papa.**



**Fuente.** Modificado de: <http://es.scribd.com/doc/20140514/Procesamiento-de-la-papa>

#### 4.4 PROCESO DE TRANSFORMACION DEL ALMIDON

El proceso de la transformación del almidón consiste en una técnica denominada Hidrólisis, que consiste en el rompimiento de las cadenas que conforman el almidón con el fin de permitir el paso de moléculas de agua y cambiar la tendencia del almidón para ser soluble en agua fría, ya que este parámetro es un factor importante en los lodos de perforación.

La hidrólisis del almidón se puede hacer por dos vías: ácida o enzimática.

- **Hidrólisis ácida:** Es una técnica empleada para el rompimiento de la cadena de almidón usando ácidos, pero esta tiene muchas desventajas, en las que destacan: formación de productos no deseables y flexibilidad muy pobre (el producto final sólo se puede modificar cambiando el grado de hidrólisis), por último es necesario que el equipo resista el ácido y las temperaturas requeridas durante el proceso.
- **Hidrólisis enzimática:** Esta técnica consiste en el rompimiento de la cadena de almidón usando enzimas en un proceso denominado “Licuefacción Enzimática” con el fin de permitir el paso de moléculas de agua (ver **Figura 15**). Esta técnica ha desplazado a la hidrólisis ácida debido a que dispone de nuevas enzimas, además de presentar ventajas como: control de formación de productos no deseables y mayor flexibilidad del producto.

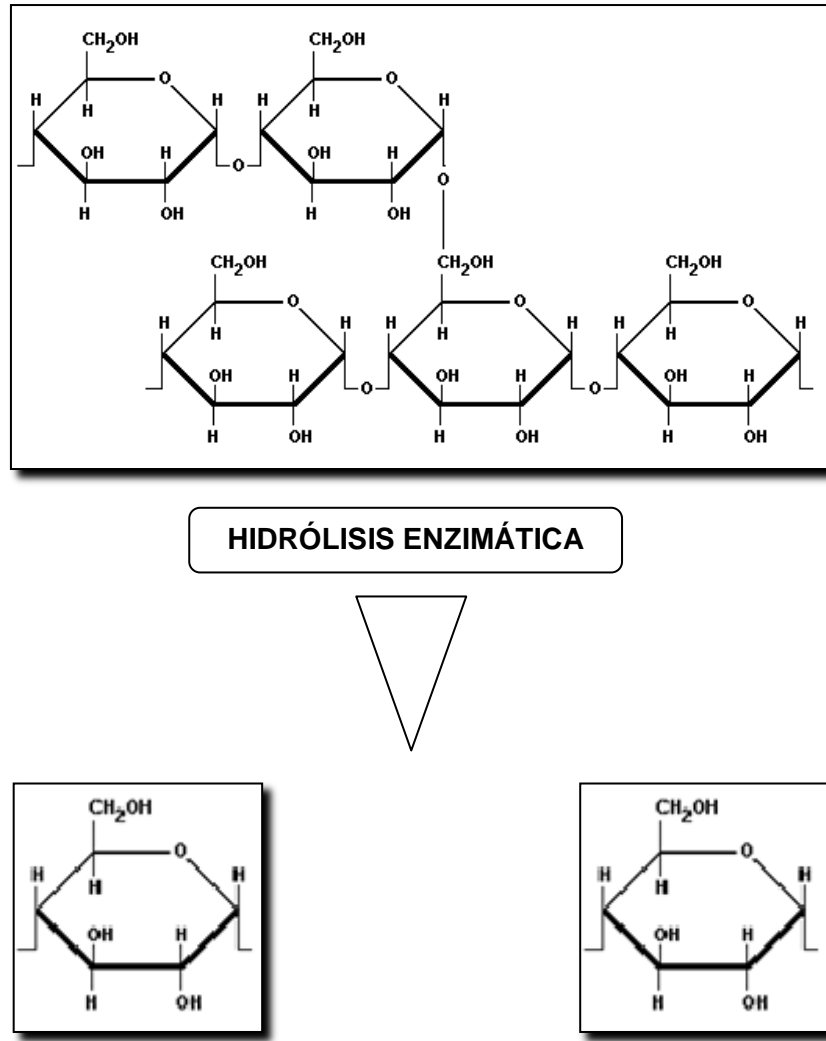
El diseño para la licuefacción es uno de los procesos más importantes. Hay diversas maneras para realizar licuefacciones eficientes, entre las que destacan<sup>22</sup>:

- Estufas a chorro a alta temperatura (120 – 150 °C) sin adición de enzimas.
- Jets a baja temperatura (105 °C) con dosis divididas de enzimas.
- Sistemas que rara vez van más de 85 °C.
- Tanques de mezclas que están tanto por encima como por debajo del punto de gelatinización.

---

<sup>22</sup>Indagado de Using Enzymes in Ethanol Production. Novozymes.

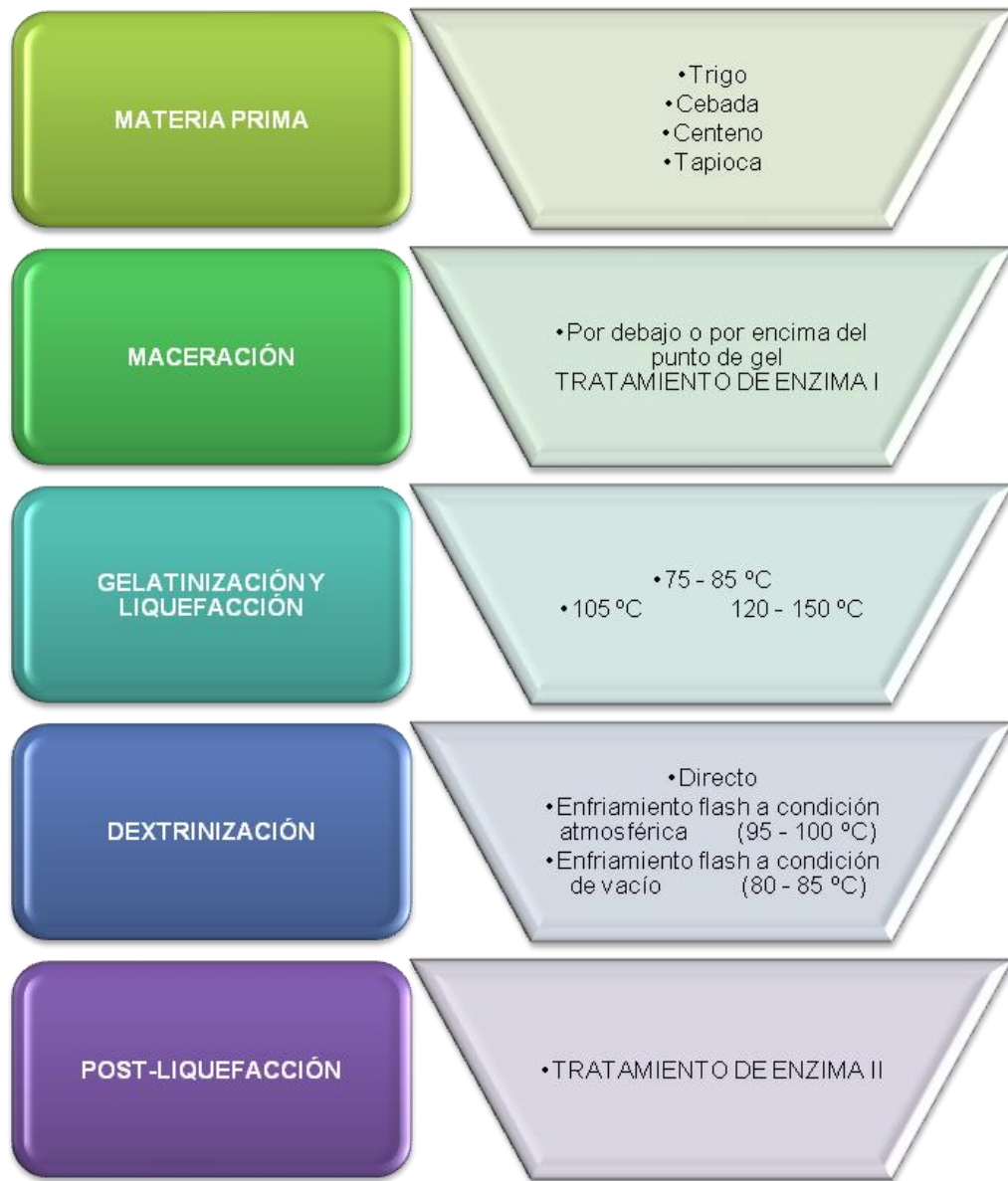
**Figura 15. Proceso de hidrólisis enzimática.**



**Fuente.** Indagado de Tesis determinar la factibilidad del uso de almidón de yuca como aditivo en fluidos de perforación. Autores: Andres F. Bautista. Elkin D. Florez.

Cada uno es diseñado con un propósito dado tal como reducción de energía, reducción de agua, maximización de la producción, retención de nutrientes, etc. Actualmente la licuefacción comprende de 2 o 3 etapas, llamadas: maceración, gelatinización y dextrinización (ver **Figura 16**).

**Figura 16. Principio del proceso de hidrólisis de los cereales distintos del maíz.**



**Fuente.** Modificado de Using Enzymes in Ethanol Production. Novozymes.

- **Maceración:** Es el proceso de mezclar grano molido u otros carbohidratos fermentables en agua. Esta técnica va desde las mezclas iniciales de la materia prima en agua hasta antes de la cocción y sacarificación con el fin de romper los granos de almidón en azúcares.

- **Gelatinización:** Es la cocción de las materias primas amiláceas. La gelatinización es la etapa en la que los gránulos de almidón absorben agua y pierden su estructura cristalina individual para convertirse en un gel líquido y viscoso. La gelatinización es importante ya que es el proceso preliminar que resulta necesario para hacer al almidón susceptible a la hidrólisis enzimática para la conversión de azúcares fermentables.
- **Dextrinización:** Técnica en la cual el almidón es sometido a calor seco con el objetivo de descomponerse y formar dextrinas, que son de color marrón y son solubles en agua.

#### **4.5 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA**

El almidón de la papa también es ampliamente utilizado por las industrias farmacéutica, textil, de la madera y del papel, como adhesivo, aglutinante, texturizador y relleno entre otros. Sin embargo, la mayoría de los almidones usados en estos sectores son modificados, los cuales han sido desarrollados para reducir una o más de las limitaciones que tiene el almidón nativo para uso industrial.

Las modificaciones en el almidón involucran el tratamiento del gránulo por medios físicos, químicos y bioquímicos que causan la ruptura de algunas o todas las moléculas, lo cual permite realzar o inhibir en el almidón propiedades como consistencia, poder aglutinante, estabilidad a cambios en el pH y temperatura, y mejorar su gelificación, dispersión o fluidez.

#### 4.6 PRODUCCIÓN DE PAPA EN COLOMBIA

La papa se caracteriza por su gran diversidad de usos. Además los productos de la papa también pueden ser utilizados por la industria, principalmente a partir de su almidón. En América, la producción de almidones se concentra principalmente en Brasil, Paraguay y Colombia.

En el ámbito de América Latina, según la FAO<sup>23</sup>, el principal productor es Perú, con 3,4 millones de toneladas; le sigue Brasil con 3,3 millones. Colombia y México, el cultivo ha aumentado en los últimos años impulsado por la producción en gran escala.

Los departamentos que tienen las mayores áreas sembradas son Cundinamarca y Boyacá (ver **Tabla 9** y **Figura 17**).

Las unidades productoras de papa por departamentos para uso industrial, fue de 101.112 toneladas (ver **Tabla 10** y **Figura 18**). Y el destino de la producción de papa para uso industrial (ver **Tabla 11** y **Figura 19**).

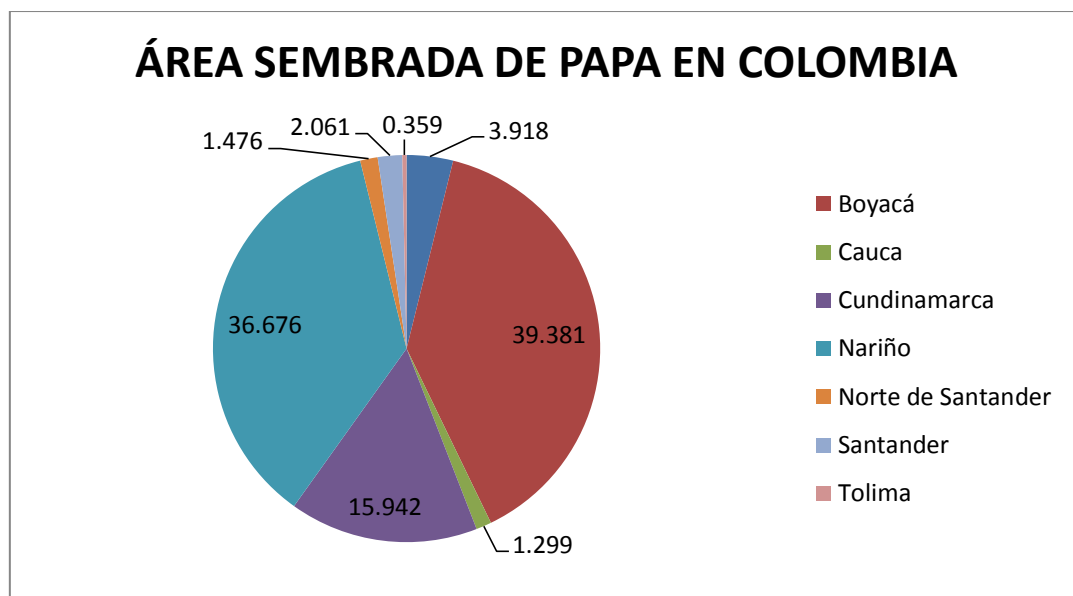
**Tabla 9. Área sembrada de papa por departamentos.**

Departamento	Área sembrada (Hectáreas)	%
Antioquia	4,350	6,70
Boyacá	19,522	30,10
Cauca	1,579	2,43
Cundinamarca	20,381	31,42
Nariño	16,408	25,30
Norte de Santander	0,753	1,16
Santander	1,205	1,85
Nacional	<b>64,854</b>	<b>100</b>

Fuente. DANE.

<sup>23</sup> Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**Figura 17. Área sembrada de papa por departamentos.**



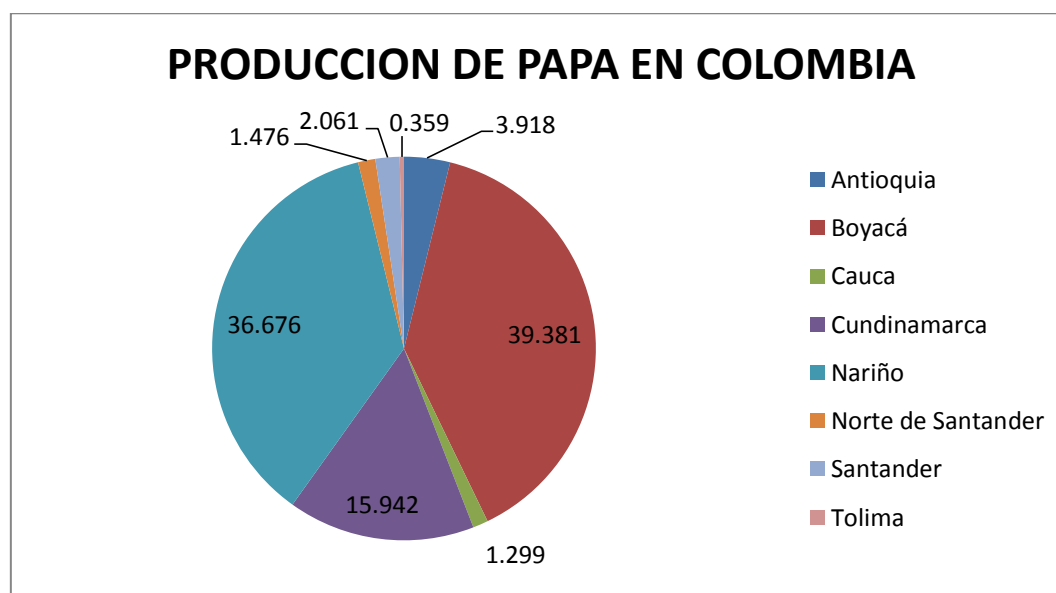
**Fuente.** Los autores, basados de los datos del DANE.

**Tabla 10. Unidades productoras de papa por departamentos para uso industrial.**

Departamento	Unidades productoras	%
Antioquia	3,918	3,87
Boyacá	39,381	38,94
Cauca	1,299	1,28
Cundinamarca	15,942	15,77
Nariño	36,676	36,27
Norte de Santander	1,476	1,459
Santander	2,061	2,04
Tolima	0,359	0,36
Nacional	<b>101,112</b>	100

**Fuente.** DANE.

**Figura 18. Unidades productoras de papa por departamentos para uso industrial.**



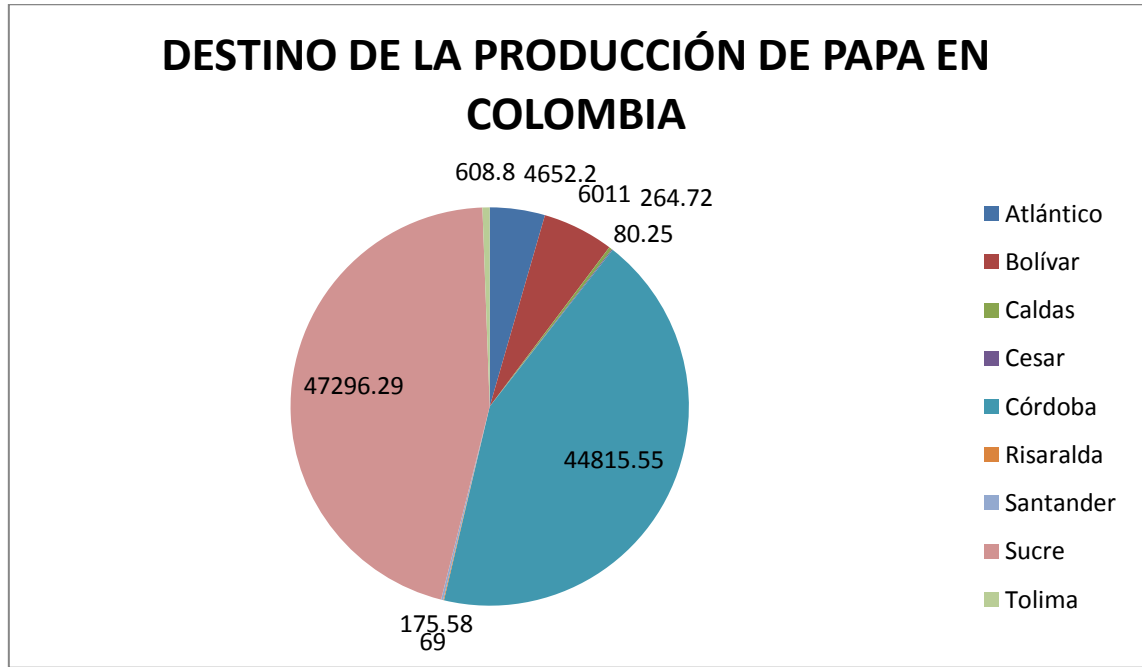
Fuente. Los autores, basados de los datos del DANE.

**Tabla 11. Destino de la producción de papa para uso industrial según el volumen producido por departamentos.**

Departamento	Destino de la producción			Total
	Industria	Consumo en fresco	Otro	
Atlántico	4652,20	81,80	0,00	4734,00
Bolívar	6011,00	750,51	11,95	6773,46
Caldas	264,72	3835,99	0,00	4100,71
Cesar	80,25	0,00	0,00	80,25
Córdoba	44815,55	2655,55	267,90	47739,00
Risaralda	69,00	66,00	0,00	135,00
Santander	175,58	0,00	0,00	175,58
Sucre	47296,29	7191,99	236,65	54724,93
Tolima	608,80	531,20	0,00	1140,00
<b>Nacional</b>	<b>103973,39</b>	<b>15113,04</b>	<b>516,50</b>	<b>119602,93</b>

Fuente. DANE.

**Figura 19. Destino de la producción de papa para uso industrial según el volumen producido por departamentos.**



**Fuente.** Los autores, basados de los datos del DANE.

#### 4.7 ANTECEDENTES EN INVESTIGACIÓN SOBRE ALMIDONES

Los lodos son fluidos esenciales dentro el proceso de perforación del pozo, de ello su importancia de obtener productos que cumplan con las características adecuadas y que además den una opción más económica y eficiente dentro del proceso de perforación.

Uno de los propósitos en este proyecto es realizar nuevos estudios enfocados en la implementación de productos biodegradables tales como los almidones, los cuales sean de amplia producción y puedan sustituir las funciones de ciertos productos sintéticos.

Como antecedentes se tienen varios trabajos realizados con las cuales se notó que el almidón de papa presentaba propiedades y/o características bastante eficientes con relación a otros aditivos. Pero se observó un inconveniente, que los almidones naturales no son solubles en agua fría, necesitan un proceso previo que consiste en la gelatinización del almidón, como fue empleado en el año 2010 durante la realización del trabajo de tesis de pregrado titulado **FACTIBILIDAD DEL USO DE ALMIDON DE PLATANO COMO ADITIVO PARA LODOS DE PERFORACION** de los estudiantes de Ingeniería de Petróleos Adrian Camilo Fajardo Molina y Carlos José Rodríguez Rodríguez y en el año 2011 durante la realización del trabajo de tesis de pregrado titulado **FACTIBILIDAD DEL USO DE ALMIDÓN DE YUCA COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACIÓN** de los estudiantes de Ingeniería de Petróleos Andrés Fernando Bautista Cuadros y Elkin Darío Flórez Barreto.

La empresa IPS que ha desarrollado diferentes productos utilizando como materia prima almidón de papa, suministró una muestra de almidón (tratado) PENPLUS49 y la segunda muestra de almidón (sin tratar) fue extraída por los autores de la investigación, para la realización del presente trabajo relacionado con el estudio de factibilidad de su uso como aditivo en fluidos de perforación.

Hay artículos científicos presentados ante la SPE, como son: **NEW VISCOSIFIER FOR WATER BASED MUDS BASED ON A GENETICALLY MODIFIED STARCH** y **ROLE OF STARCH IN DESIGNING NONDAMAGING COMPLETION AND DRILLING FLUIDS**, en los cuales se han modificado los almidones físicamente o químicamente lo cual ha traído consigo muy buenos resultados, entonces de aquí se parte para estudiar la posible eficiencia de los productos que serán evaluados dentro de esta investigación, teniendo en cuenta que hay un almidón (tratado) PENPLUS49 y un almidón (sin tratar) de papa.

## **5. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DEL ALMIDÓN DE PAPA COMO ADITIVO EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASE AGUA**

El Diseño de Experimentos tuvo su inicio teórico a partir de 1935 por Sir Ronald A. Fisher<sup>24</sup>, quién sentó la base de la teoría del Diseño Experimental y que a la fecha se encuentra bastante desarrollada y ampliada. Actualmente las aplicaciones son múltiples, especialmente en la investigación de las ciencias naturales, ingeniería, laboratorios y casi todas las ramas de las ciencias sociales.

La experimentación proporciona los datos experimentales, en contraste con los datos de la observación; los datos de la observación se representan como su nombre indica por observaciones de las unidades elementales de una población o de una muestra, y no deben ser cambiados ni modificados por ningún intento de parte de un investigador en el curso de la observación.

El diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un diseño experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tienen en otra variable de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas qué variables hay que manipular, de qué manera, cuántas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer con un grado de confianza predefinido a la necesidad de una presunta relación de causa-efecto.

---

<sup>24</sup> FISHER, Ronald Aylmer.(1890 –1962) Científico, matemático, estadístico, biólogo evolutivo y genetista inglés.

El propósito de un diseño experimental es proporcionar métodos que permitan obtener la mayor cantidad de información válida acerca de una investigación, teniendo en cuenta el factor costo y el uso adecuado del material disponible mediante métodos que permitan disminuir el error experimental.

Frecuentemente 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 similares se espera que ciertos tratamientos sean sustancialmente mejores que otros, aunque los resultados de un solo tratamiento no pueden ser establecidos exactamente. En tales campos de la experimentación, los experimentos tienden a ser comparativos y tienen un interés secundario dado por los resultados absolutos. Brownlee (1957) clasifica estos experimentos como ciencias aplicadas. La teoría estadística del diseño de experimentos se relaciona inicialmente con este tipo de experimentos.<sup>25</sup>

El objetivo de este tipo de experimentos es dar información clara necesaria para tomar decisiones 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 fijo 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 entre las medias del universo de objetos considerados. Para estos modelos, el interés primordial es probar varias hipótesis relacionadas con las medias de los tratamientos.

El experimento comparativo comienza con un planteamiento exacto del problema a ser resuelto. Esto es, se debe hacer una especificación detallada de los

---

<sup>25</sup> KUEHL, Robert O. Diseño de Experimentos. Editorial Thomson Learning, 2 edición.

objetivos del experimento con una formulación precisa de la hipótesis a probar. Es insuficiente solamente establecer en forma simple “comparar estos tratamientos”. Esta especificación define la población a la cual las conclusiones serán aplicadas, determina los factores, tratamientos y sus niveles, especifica las variables respuesta a ser medidas y establece las diferencias críticas a ser detectadas. Sin estas especificaciones, ningún experimento podrá ser diseñado adecuadamente. Como lo fundamental en la decisión sobre las hipótesis son los experimentos planeados, es necesario que se tenga en cuenta las siguientes características para estos ensayos.

## 5.1 IDENTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES

Los factores que pueden influir en el desarrollo del experimento son mostrados en la **Tabla 12**.

**Tabla 12. Factores influyentes.**

<b>Factor</b>	<b>Tipo</b>
Temperatura	Cuantitativo
pH	Cuantitativo
Tipo de lodo	Cualitativo
Agitación	Cuantitativo
Tipo de almidón	Cualitativo
Concentración del almidón	Cuantitativo
Operadores	Cualitativo

Fuente: Autores del Proyecto

- **Temperatura:** A falta de un laboratorio más completo todas las pruebas se dan a temperatura ambiente ( $T_{\text{AMBIENTE}} = 25,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), constante en todas las pruebas.

- **pH:** El pH de un fluido de perforación que contiene bentonita debe estar generalmente por encima de 8,5 y los aditivos del lodo requieren de una alta alcalinidad para que funcionen a niveles óptimos (pH = 10).
- **Tipo de lodo:** Se utilizará un lodo base agua.
- **Agitación:** Para buenos resultados todas las pruebas se realizaran en un tiempo de agitación de 3 minutos y con el mismo equipo para asegurar condiciones de prueba constantes.
- **Tipos de almidones:** Almidones de Papa, uno tratado PENPLUS49 (industrial) y un almidón de papa (sin tratar).
- **Concentración del almidón:** Se fijaran dependiendo del tipo de prueba a realizar.
- **Operadores:** Trabajarán los mismos operadores y realizarán labores a la misma hora del día.

En consecuencia, los factores (variables independientes) que se consideran para el experimento son las concentraciones de almidón de papa (lb / bbl). En la **Tabla 13** se identifican las diferentes variables involucradas en esta investigación.

**Tabla 13. Identificación y definición de variables.**

<b>Variables</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Descripción</b>
Independientes	1	Concentración de almidón de papa,
Dependientes	7	Densidad, Va, Vp, Yp, pH, Filtrado API, Cake
Criterio de comparación	5	Arcilla natural, Aquagel, Bentonita, PAC – L, X – TEND II

**Fuente.** Los autores.

## 5.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE DISEÑO EXPERIMENTAL

Debido a que se deben hacer comparaciones en las pruebas entre el producto evaluado y los de uso comercial, se hace necesario la selección de un diseño unifactorial, con el fin de observar el comportamiento de cada uno de estos productos. Cuando se habla de producto se hace referencia al almidón de papa.

Los experimentos comparativos son básicamente experimentos en los cuales los tratamientos se comparan por sus efectos medios sobre una variable respuesta con el objetivo principal de determinar cuál de ellos es mejor en algún sentido. El propósito de este tipo de experimento es proveer información necesaria para tomar decisiones satisfactorias.

Teniendo en cuenta que se hará una sola replica, además que se producirán de manera aleatoria, el diseño que mejor se adapta a estas condiciones es el diseño unifactorial.

Este modelo es el más sencillo del diseño de experimentos, en el cual la variable de respuesta puede depender de la influencia de un único factor, de forma que el resto de las causas de variación se engloban en el error experimental.

El análisis de varianza a usar será el ANOVA de clasificación simple (una vía), con grupos iguales para diseños balanceados y modelo tipo I, o más comúnmente llamado Efectos Fijos.

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 grupos iguales, el modelo matemático tiene la siguiente estructura:

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

Donde:

$y_{ij}$	=	Valor de respuesta
$i$	=	Número de tratamientos
$j$	=	Número de replicas
$\mu$	=	Es la media general
$T_j$	=	Es el efecto diferencial del tratamiento
$\varepsilon_{ij}$	=	Error experimental aleatorio

Cabe aclarar que los factores son las variables que afectan el diseño experimental, y las distintas categorías de un factor son sus niveles.

En esta investigación se utilizará el software Statgraphics Centurión XV con el objetivo de realizar un análisis estadístico de los datos involucrados.

### **5.2.1 Caracterización del almidón de papa.**

Se hará la respectiva caracterización del producto utilizando el laboratorio de lodos y cementos de la universidad industrial de Santander y si es necesario realizar consultas en la literatura.

### **5.2.2 Prueba de Degradación.**

Hay dos maneras de degradarse:

- Por microorganismos: Lo hidrolizan y/o fermentan en alcoholes u otros compuestos. Su tiempo depende de si se contamina con ellos.

- Por retrogradación: Se pierde solubilidad (en agua). Este se da con un tiempo de a 6 meses.

Para identificar el efecto de los productos al entrar en contacto con el medio y validar el tiempo en el cual, teóricamente no se alteren sus propiedades, se realizarán observaciones con respecto al tiempo en las pruebas de compatibilidad enunciando los cambios que pueden surgir sobre estos por el efecto de los microorganismos o la retrogradación de los productos.

### **5.3 PRUEBA DE COMPATIBILIDAD**

Antes de realizar las pruebas es necesario observar el comportamiento de cada uno de los aditivos básicos en un lodo base agua, al entrar en contacto o al ser mezclados con el almidón de Papa tratado (PENPLUS49) y sin tratar.

Las muestras de almidón de Papa serán colocadas en un recipiente de vidrio debidamente cerrado para hacerles seguimiento periódico y observar los cambios.

Estas pruebas serán llevadas a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Lodos y Cementos de la Escuela de Ingeniería de Petróleos en la Universidad Industrial de Santander (Sede Principal).

En la **Tabla 14** y **Tabla 15** se describen los formatos generales para cada uno de los productos a ser evaluados.

**Tabla 14. Formato para la prueba de compatibilidad del almidón de Papa.**

<b>Formato de prueba de compatibilidad para almidón de papa</b>				
<b>No.</b>	<b>Muestra</b>	<b>Cantidad de tipo de almidón de papa (gr)</b>	<b>Cantidad de otros aditivos (gr)</b>	<b>Fecha</b>
1	Tipo de almidón de papa	40	0	
2	Tipo de almidón de papa + Bentonita	40	5	
3	Tipo de almidón de papa + CaCO <sub>3</sub>	40	5	
4	Tipo de almidón de papa + SAPP	40	1,5	
5	Tipo de almidón de papa + NaOH	40	1	

Fuente. Los autores.

**Tabla 15. Formato de observaciones para el almidón de papa.**

<b>Formato de observaciones</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>

Fuente. Los autores.

#### **5.4 PRUEBA DE RENDIMIENTO**

Con esta serie de pruebas de laboratorio se busca conocer el comportamiento de la viscosidad aparente del lodo de acuerdo a la concentración de almidones de papa como aditivo en un sistema de agua dulce.

Se requiere hacer réplica de las pruebas para comparar la variabilidad de los datos, esto con el fin de realizar un análisis estadístico de los datos involucrados y obtener un polinomio que represente el comportamiento de la variable de respuesta. Para ello se utilizará el software Statgraphics Centurión XV.

Como no se sabe el rendimiento de los almidones, es posible que el rango en los productos llegue a ser diferente. En consecuencia es necesario realizar una prueba preliminar para definir bajo que patrón de adición se va a trabajar para cada producto; luego de definir el grado de adición, este se lleva de manera acumulativa hasta alcanzar una viscosidad aparente de 15 cP. De manera general el formato para reportar los resultados de cada uno de los productos y esta enunciado en la **Tabla 16**.

Con esta prueba se busca conocer el rendimiento de los almidones de papa en lodos base agua y también de otros viscosificantes para poder compararlos. A continuación se enuncian las formulaciones para el lodo base agua.

#### **Procedimiento 1 - almidón de Papa (tratado) PENPLUS 49**

- 1 bbl de agua dulce + 5 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 10 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 15 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 20 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 25 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 30 lb / bbl de almidon de Papa

#### **Procedimiento 2 - almidón de Papa (sin tratar)**

- 1 bbl de agua dulce + 5 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 10 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 15 lb / bbl de almidon de Papa
- 1 bbl de agua dulce + 20 lb / bbl de almidon de Papa

1 bbl de agua dulce + 25 lb / bbl de almidon de Papa

1 bbl de agua dulce + 30 lb / bbl de almidon de Papa

### Procedimiento 3 - Bentonita

1 bbl de agua dulce + 8 lb / bbl de Bentonita

1 bbl de agua dulce + 16 lb / bbl de Bentonita

1 bbl de agua dulce + 24 lb / bbl de Bentonita

1 bbl de agua dulce + 32 lb / bbl de Bentonita

1 bbl de agua dulce + 40 lb / bbl de Bentonita

**Tabla 14. Formato de la prueba de rendimiento del almidón de papa en agua dulce y bentonita.**

PRUEBA DE RENDIMIENTO EN AGUA DULCE			
PROCEDIMIENTO		Θ 600 RPM	Va(cp)
PRODUCTO	CONCENTRACION (lb/bbl)		
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	10		
	15		
	20		
	25		
	30		
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	10		
	15		
	20		
	25		
	30		
	40		
BENTONITA	8		
	16		
	24		
	32		
	40		

Fuente. Los autores.

## 5.5 PRUEBA DE EXTENSIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA

Se busca conocer la eficacia de los almidones de papa como producto extendedor de las propiedades de la bentonita y también de otro agente extendedor para poder realizar la comparación en la **Tabla 17** se muestra el formato general planteado para cada concentración de bentonita.

- **Lodo base con 30 Lb / bbl de Bentonita**

Viscosificante	30 lb / bbl de bentonita de Wyoming
Dispersante	1 lb / bbl de SAPP
Controlador de pH	0,5 lb / bbl de NaOH

**Procedimiento 1 – lodo base + almidón de Papa (tratado) PENPLUS 49 y con las mismas concentraciones realizar prueba con almidón de Papa (sin tratar).**

Lodo base + 1 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 1,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 2 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 2,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 3 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 3,5 lb / bbl de almidón de papa.

- **Lodo base con 25 Lb / bbl de Bentonita**

Viscosificante	25 lb / bbl de bentonita de Wyoming
Dispersante	1 lb / bbl de SAPP
Controlador de pH	0,5 lb / bbl de NaOH

**Procedimiento 2 – lodo base + almidón de Papa (tratado) PENPLUS 49 y con las mismas concentraciones realizar prueba con almidón de Papa (sin tratar).**

Lodo base + 0,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 1 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 1,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 2 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 2,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 3 lb / bbl de almidón de papa

- **Lodo base con 20 Lb / bbl de Bentonita**

Viscosificante 20 lb / bbl de bentonita de Wyoming

Dispersante 1 lb / bbl de SAPP

Controlador de pH 0,5 lb / bbl de NaOH

**Procedimiento 3 – lodo base + almidón de Papa (tratado) PENPLUS 49 y con las mismas concentraciones realizar prueba con almidón de Papa (sin tratar).**

Lodo base + 2 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 2,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 3 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 3,5 lb / bbl de almidón de papa.

- **Lodo base con 1,5 Lb / bbl de almidón de Papa (tratado) PENPLUS 49**

Viscosificante 1,5 lb / bbl de almidón de Papa (tratado) penplus  
49

Dispersante 1 lb / bbl de SAPP

Controlador de pH 0,5 lb / bbl de NaOH

**Procedimiento 4 – lodo base + Bentonita**

Lodo base + 10 lb / bbl de Bentonita.

Lodo base + 15 lb / bbl de Bentonita.

Lodo base + 20 lb / bbl de Bentonita.

Lodo base + 25 lb / bbl de Bentonita.

- **Lodo base con 1,5 Lb / bbl de almidón de Papa (sin tratar)**

Viscosificante 1,5 lb / bbl de almidón de Papa

Dispersante 1 lb / bbl de SAPP

Controlador de pH 0,5 lb / bbl de NaOH

### **Procedimiento 5 – lodo base + Bentonita**

Lodo base + 10 lb / bbl de Bentonita.

Lodo base + 15 lb / bbl de Bentonita.

Lodo base + 20 lb / bbl de Bentonita.

Lodo base + 25 lb / bbl de Bentonita.

- **Lodo base con 5 Lb / bbl de Bentonita**

Viscosificante 5 lb / bbl de bentonita de Wyoming

Dispersante 1 lb / bbl de SAPP

Controlador de pH 0,5 lb / bbl de NaOH

### **Procedimiento 6 – lodo base + X – TEND II.**

Lodo base + 0,2 lb / bbl de X – TEND II.

Lodo base + 0,4 lb / bbl de X – TEND II.

Lodo base + 0,6 lb / bbl de X – TEND II.

Lodo base + 0,8 lb / bbl de X – TEND II.

Lodo base + 1 lb / bbl de X – TEND II.

**Tabla 157. Formato de la prueba de extensión de las propiedades de la bentonita.**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	30	1										
		1,5										
		2										
		2,5										
		3										
		3,5										
	25	0,5										
		1										
		1,5										
		2										
		2,5										
		3										

Fuente. Los autores.

Formato de la prueba de extensión de las propiedades de la bentonita (continuación) **Tabla 167**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	⊖ 600 RPM	⊖ 300 RPM	⊖ 200 RPM	⊖ 100 RPM	⊖ 6 RPM	⊖ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	20	2									
		2,5									
		3									
		3,5									
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	30	1									
		1,5									
		2									
		2,5									
		3									
	25	3,5									
		0,5									
		1									
			1,5								

Formato de la prueba de extensión de las propiedades de la bentonita (continuación) **Tabla 177**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	25	2										
		2,5										
		3										
	20	2										
		2,5										
		3										
		3,5										
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	10	1.5										
	15											
	20											
	25											
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	10	1.5										
	15											

Formato de la prueba de extensión de las propiedades de la bentonita (continuación) **Tabla 187**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	20	1,5									
	25										
X – TEND II	5	0,2									
		0,4									
		0,6									
		0,8									
		1									

Fuente. Los autores.

## 5.6 PRUEBA DE PROPIEDADES DE FILTRADO

Con esta prueba se busca conocer el comportamiento del almidón de papa como controlador de filtrado. A continuación se enuncian las formulaciones para el lodo base agua.

- **Lodo base con 30 Lb / bbl de Bentonita**

Viscosificante	30 lb / bbl de bentonita de Wyoming
Dispersante	1 lb / bbl de SAPP
Controlador de pH	0,5 lb / bbl de NaOH

**Procedimiento 1 – lodo base + almidón de Papa (tratado) PENPLUS 49 y con las mismas concentraciones realizar prueba con almidón de Papa (sin tratar).**

Lodo base + 1 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 1,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 2 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 2,5 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 3 lb / bbl de almidón de papa.

Lodo base + 3,5 lb / bbl de almidón de papa.

- **Lodo base con 25 Lb / bbl de Bentonita**

Viscosificante	25 lb / bbl de bentonita de Wyoming
Dispersante	1 lb / bbl de SAPP
Controlador de pH	0,5 lb / bbl de NaOH



## 5.7 PRUEBAS PARA EL LODO BASE.

Tabla 18. Formato de las propiedades del lodo base.

<b>LODO BASE</b>			
<b>Θ 600 RPM</b>		<b>pH</b>	
<b>Θ 300 RPM</b>		<b>Fuerza de Gel</b>	
<b>Vp (cP)</b>		<b>Densidad del lodo (lb / bbl)</b>	
<b>Yp (lb / 100 ft<sup>2</sup>)</b>		<b>Filtrado API (ml) @ 30 min</b>	
<b>Va (cP)</b>		<b>Espesor (1 / 32 pulgada)</b>	

Fuente. Los autores.

Tabla 19. Formato de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado.

PRUEBA DE ALMIDON DE PAPA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO													
TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Ø 600 RPM	Ø 300 RPM	Ø 200 RPM	Ø 100 RPM	Ø 6 RPM	Ø 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	Filtrado (ml)	
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	30	1											
		1,5											
		2											
		2,5											
		3											
		3,5											
	25	0,5											
		1											
		1,5											
		2											
		2,5											
		3											
	20	2											

Formato de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado. (Continuación) **Tabla 19**

PRUEBA DE ALMIDON DE PAPA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO													
TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	Filtrado (ml)	
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	20	2,5											
		3											
		3,5											
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	30	1											
		1,5											
		2											
		2,5											
		3											
		3,5											
	25	0,5											
		1											
		1,5											

Formato de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado. (Continuación) **Tabla 19**

PRUEBA DE ALMIDON DE PAPA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO													
TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Ø 600 RPM	Ø 300 RPM	Ø 200 RPM	Ø 100 RPM	Ø 6 RPM	Ø 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	Filtrado (ml)	
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	25	2											
		2,5											
		3											
	20	2											
		2,5											
		3											
		3,5											

Fuente. Los autores.

## 6. DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANALISIS DE RESULTADOS

En el siguiente capítulo se podrá observar las diferentes pruebas realizadas hechas y sus resultados con su respectivo análisis.

### 6.1 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE PAPA

Los gránulos de almidón están compuestos por capas externas de amilopectina y capas internas de amilosa, cuya proporción es variable dependiendo de la fuente del almidón.

Su composición química es la de un polisacárido formado únicamente por unidades glucosídicas, es decir, es una macromolécula formada por gran cantidad de moléculas de glucosa que se repiten.

En el caso del almidón de papa, su tamaño puede variar de 5  $\mu\text{m}$  a 35  $\mu\text{m}$ , su forma es entre redonda y achatada y su contenido de amilosa es alrededor del 20%.

Para la realización de las pruebas, la empresa IPS, productor de almidones, suministró dos tipos de productos, uno industrial y el otro por hidrólisis enzimática, con los cuales se realizaron las pruebas de laboratorio.

Cada producto tiene características diferentes entre las cuales podemos destacar las mostradas en la **Tabla 20**.

**Tabla 20. Características de los almidones de papa.**

	<b>Almidón de papa PENPLUS 49</b>	<b>Almidón de papa sin tratar</b>
<b>Color</b>	Blanco	Claro Blancuzco
<b>Estado Físico</b>	Polvo fino	Líquido
<b>Densidad (gr/ml)</b>	1,36	1,648
<b>Contenido de agua (%)</b>	12	77
<b>pH</b>	6	5,8

**Fuente.** La empresa que suministro el producto I.P.S.

Estas propiedades fueron observadas y determinadas tan pronto se adquirieron los productos, en el Laboratorio de Lodos y Cementos de la Universidad Industrial de Santander.

## **6.2 PRUEBA DE DEGRADACIÓN**

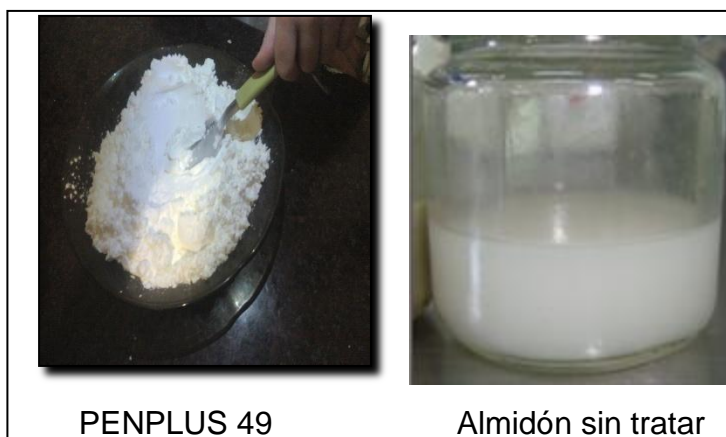
Los productos en su etapa inicial no tuvieron contacto directo con el medio, ya que estuvieron cerrados herméticamente y no se destaparon hasta el inicio de las pruebas, para evitar la contaminación de microorganismos por utensilios de laboratorio o por el ambiente del mismo.

Según referencias del proveedor el producto sin tratar a condiciones de presión y temperatura normales sufren degradación en un tiempo entre 5 y 6 meses. Luego de este periodo existe la alta posibilidad de que el producto entre en un proceso de degradación, esto por efecto de los factores enunciados en el diseño experimental.

En la **Figura 20** se observa los dos productos a utilizar en la prueba de degradación y en la **Tabla 21** y **Tabla 22**, se muestra el seguimiento realizado a cada uno de los productos para observar la acción de los microorganismos o la

retrogradación del producto a condiciones de presión y temperatura de laboratorio (ambiente).

**Figura 20. Almidón de papa PENPLUS 49 y almidón sin tratar para observación de degradación.**



Fuente. Los autores.

**Tabla 21. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49.**

Formato de observaciones del almidón de papa PENPLUS 49		
Fecha	pH	Observaciones
Noviembre 1 del 2011	5,60	Se mantiene igual.
Noviembre 4 del 2011	5,20	Se mantiene igual.
Noviembre 7 del 2011	5,40	Se mantiene igual.
Noviembre 10 del 2011	5,40	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	5,38	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	5,20	Se mantiene igual.
Noviembre 21 del 2011	5,47	Se mantiene igual.

Fuente. Los autores.

**Tabla 22. Formato de observación del almidón de papa sin tratar.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa sin tratar</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	5,06	Fluido acuoso de color blanco, consistente, de una sola fase sin formación de burbujas ni grumos.
Noviembre 4 del 2011	5	El fluido se mantiene igual.
Noviembre 7 del 2011	5	Se mantiene igual.
Noviembre 10 del 2011	4,99	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	4,87	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	4,78	Se mantiene igual.
Noviembre 21 del 2011	4,50	Se mantiene igual, con un olor fuerte.

**Fuente.** Los autores.

### **6.3 PRUEBA DE COMPATIBILIDAD**

La prueba de compatibilidad consistió en recoger 4 muestras de cada almidón de 40 ml cada una y se mezclaron con los aditivos más comúnmente usados en lodos de perforación, como se observa desde la **Tabla 23** a la **Tabla 26** para el almidón de papa PENPLUS 49 y desde la **Tabla 27** a la **Tabla 30**, para el almidón sin tratar.

**Tabla 23. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + Bentonita.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa PENPLUS 49 + Bentonita</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	5,60	Fluido muy viscoso de color blanco, además presenta una sola fase.
Noviembre 4 del 2011	5,20	El fluido se mantiene de igual manera a la lectura anterior.
Noviembre 7 del 2011	5,40	Se mantiene igual.
Noviembre 10 del 2011	5,40	Presenta un color más oscuro, del resto se mantuvo igual.
Noviembre 14 del 2011	5,38	Se mantuvo igual.
Noviembre 17 del 2011	5,20	Se mantiene igual.
Noviembre 21 del 2011	5,47	Se mantiene igual.

**Fuente.** Los autores.

**Tabla 24. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + CaCO<sub>3</sub>.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa PENPLUS 49 + CaCO<sub>3</sub></b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	6,60	Fluido poco viscoso de color crema opaco con poca formación de burbujas.
Noviembre 4 del 2011	6,79	Se observa precipitación del CaCO <sub>3</sub> , es decir dos fases en el fluido.
Noviembre 7 del 2011	6,97	Se observaron dos fases, la primera el almidón y la segunda el CaCO <sub>3</sub> , debido a precipitación.
Noviembre 10 del 2011	6,92	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	6,89	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	6,92	Presenta 3 fases, inferior CaCO <sub>3</sub> , intermedio de color miel claro y la parte superior de color miel.
Noviembre 21 del 2011	5,52	Se mantiene igual.

**Fuente.** Los autores.

**Tabla 25. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + SAPP.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa PENPLUS 49 + SAPP</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	5,75	Fluido de color curuba, y formación de grumos y burbujas.
Noviembre 4 del 2011	4,83	Se mantiene igual.
Noviembre 7 del 2011	4,83	Igual cantidad de burbujas en la superficie, no se evidencio cantidades de grumos.
Noviembre 10 del 2011	4,89	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	4,76	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	4,76	Dos fases, inferior de color blanco y la superior de color miel claro, no se evidencio burbujas ni hongos, con un olor poco fuerte.
Noviembre 21 del 2011	4,85	Se mantiene igual.

**Fuente.** Los autores.

**Tabla 26. Formato de observación del almidón de papa PENPLUS 49 + NaOH.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa PENPLUS 49 + NaOH</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	8,82	Debido a la agitación dada su color inicial opta por un curuba, de una sola fase.
Noviembre 4 del 2011	8,49	Se comporta de igual manera.
Noviembre 7 del 2011	8,46	Se mantiene de igual manera.
Noviembre 10 del 2011	8,52	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	8,47	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	8,37	Se mantiene igual.
Noviembre 21 del 2011	8,64	Se mantiene igual.

**Fuente.** Los autores.

**Tabla 27. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + Bentonita.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa sin tratar + Bentonita</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	5,06	Fluido viscoso de color blanco de una fase, presenta grumos.
Noviembre 4 del 2011	5	Se mantiene de igual manera.
Noviembre 7 del 2011	5	Se mantiene igual.
Noviembre 10 del 2011	4,99	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	4,87	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	4,78	Aun viscoso, olor fuerte con formación de burbujas.
Noviembre 21 del 2011	4,50	Se mantiene igual.

Fuente. Los autores.

**Tabla 28. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + CaCO<sub>3</sub>.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa sin tratar + CaCO<sub>3</sub></b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	6,47	Fluido acuoso de color crema de una sola fase.
Noviembre 4 del 2011	6,40	Se mantiene igual.
Noviembre 7 del 2011	5,82	Se conserva igual con poca precipitación.
Noviembre 10 del 2011	5,76	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	5,53	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	5,48	Tres fases, agua, almidón y CaCO <sub>3</sub> , presencia de burbujas.
Noviembre 21 del 2011	5,51	Se mantiene igual.

Fuente. Los autores.

**Tabla 29. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + SAPP.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa sin tratar + SAPP</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	5,48	Fluido acuoso de color blanco de una fase sin burbujas ni grumos.
Noviembre 4 del 2011	4,05	Se mantiene igual.
Noviembre 7 del 2011	4,04	Se mantiene igual.
Noviembre 10 del 2011	4,17	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	4,00	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	4,06	Se mantiene igual.
Noviembre 21 del 2011	4,10	Se mantiene igual.

**Fuente.** Los autores.

**Tabla 30. Formato de observación del almidón de papa sin tratar + NaOH.**

<b>Formato de observaciones del almidón de papa sin tratar + NaOH</b>		
<b>Fecha</b>	<b>pH</b>	<b>Observaciones</b>
Noviembre 1 del 2011	8,61	Fluido acuoso de una fase de color blanco, sin burbujas ni grumos.
Noviembre 4 del 2011	8,45	Se mantiene igual.
Noviembre 7 del 2011	8,11	Se mantiene igual.
Noviembre 10 del 2011	8,19	Se mantiene igual.
Noviembre 14 del 2011	8,00	Se mantiene igual.
Noviembre 17 del 2011	8,07	Se mantiene igual.
Noviembre 21 del 2011	8,87	Olor fuerte, del resto se mantiene igual.

**Fuente.** Los autores.

Se evidencia una diferencia de compatibilidad entre los almidones con los productos comerciales, ya que el PENPLUS 49 se mantiene sin mayores cambios.

## 6.4 PRUEBA DE RENDIMIENTO

Se realizó un análisis químico del agua dulce que se usó durante las pruebas de laboratorio. Los datos son reportados en la **Tabla 31**.

Temperatura promedio: 28 °C

Presión atmosférica: 13,4 psi

**Tabla 31. Análisis para el agua dulce.**

ANALISIS PARA EL AGUA DULCE								
T (°F)	Ø600 (RPM)	Va (cP)	Densidad (lb / gal)	pH	ppm Cl-	ppm Ca++	ppm NaCl	ppm CaCO <sub>3</sub>
76	3	1,5	8,33	6,81	63	30	111	82

Fuente. Los autores.

En la **Tabla 32**, se presentan los datos obtenidos en la pruebas de rendimiento para lo almidones PENPLUS 49, almidón sin tratar respectivamente y también el rendimiento de la bentonita, pudiéndose observar como el aumento de concentración genera un incremento en la Va.

En la **Figura 21** y **Figura 22**, **Figura 23** se puede observar las curvas de rendimiento respectivas para cada tipo de almidón y la bentonita, donde la línea azul representa el valor medio de las pruebas realizadas.

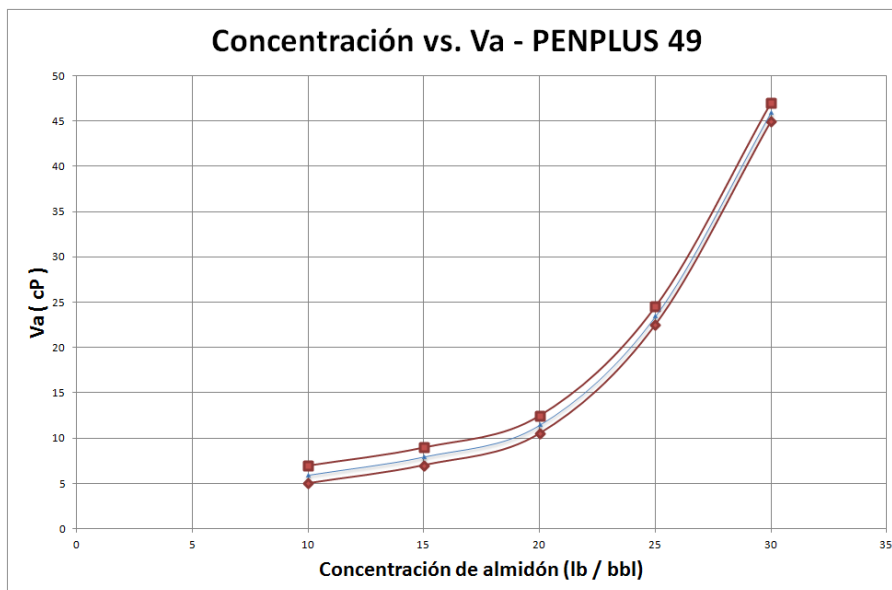
Con esta curva se busca obtener un polinomio que represente los datos obtenidos, donde el coeficiente  $R^2$  indica que el modelo matemático describe el porcentaje de variabilidad de la Va.

**Tabla 32. Prueba de rendimiento en agua dulce.**

<b>PRUEBA DE RENDIMIENTO EN AGUA DULCE</b>			
<b>PROCEDIMIENTO</b>		<b>Θ 600 RPM</b>	<b>Va(cp)</b>
<b>PRODUCTO</b>	<b>CONCENTRACION (lb/bbl)</b>		
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	10	10	5
	15	14	7
	20	21	10,5
	25	45	22,5
	30	90	45
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	10	5	2,5
	15	7	3,5
	20	10,6	5,3
	25	17,4	8,7
	30	28	14
	40	85	42,5
BENTONITA	8	3	1,5
	16	8	4
	24	16	8
	32	33	16,5
	40	81	40,5

**Fuente.** Los autores.

**Figura 21. Curva de rendimiento - Almidón de papa PENPLUS 49.**

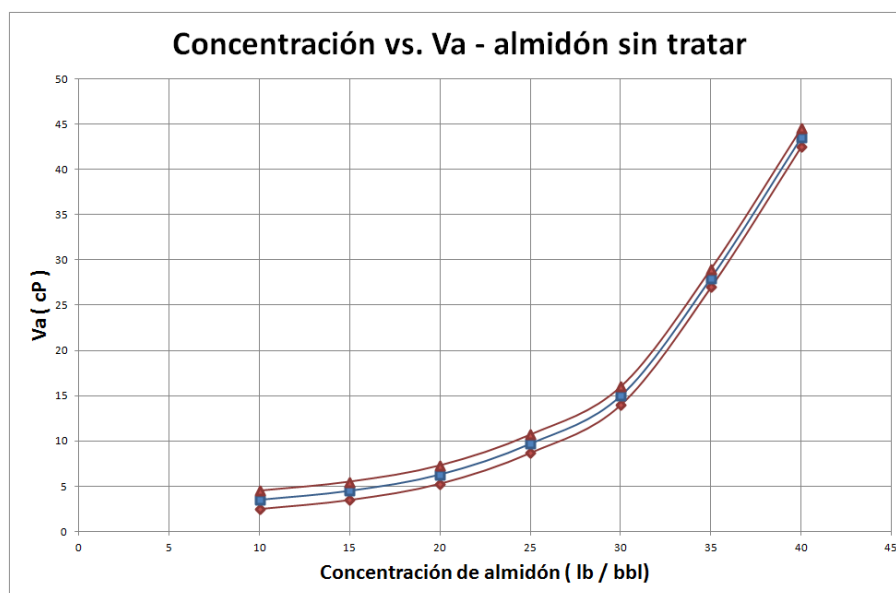


**Fuente.** Los autores.

$$Va = 0,0027909 \times C^3 - 0,0687779 \times C^2 + 1,11905 \times C - 3,5$$

$$R^2 = 0,9955$$

**Figura 22. Curva de rendimiento - Almidón de papa sin tratar.**

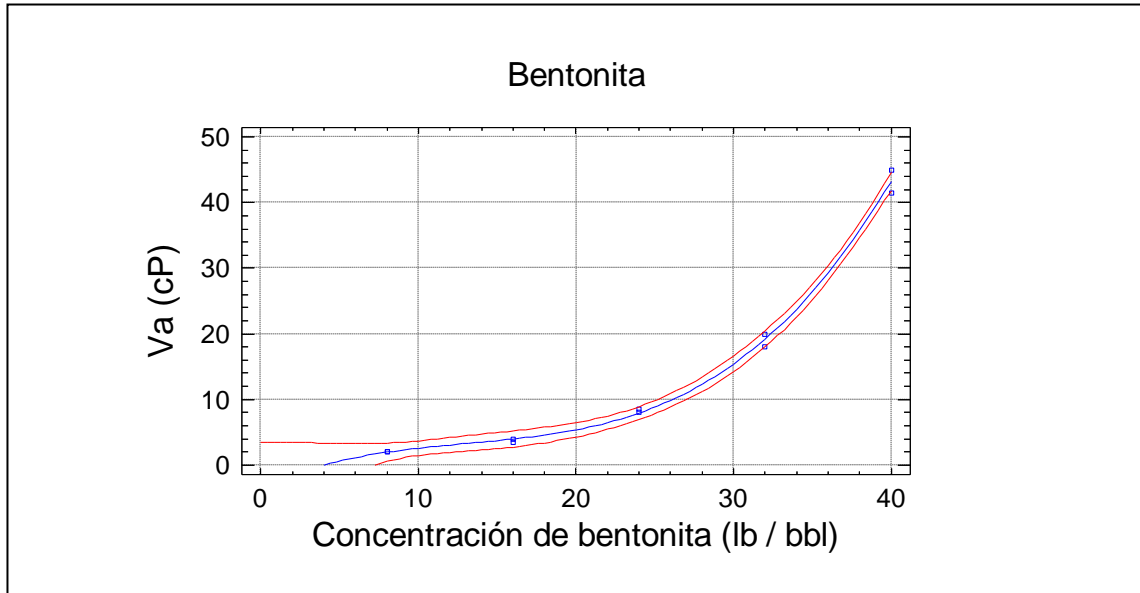


**Fuente.** Los autores.

$$Va = 0,001709 * C^3 - 0,0687779 * C^2 + 1,11905 * C - 3,5$$

$$R^2 = 0,9897$$

**Figura 23. Curva de rendimiento de la bentonita.**



**Fuente.** Los autores.

$$Va = 0,00174967 * B^3 - 0,0687779 * B^2 + 1,11905 * B - 3,5$$

$$R^2 = 0,9962$$

Donde:

- B = Concentración de bentonita (lb / bbl)
- C = Concentración de almidón (lb / bbl)
- Va = Viscosidad aparente (cP)

Con los polinomios establecidos se busca encontrar las concentraciones correspondientes para una viscosidad aparente de 15 cP. Luego se define un intervalo de confianza del 85% y se establecen rangos en los cuales es posible encontrar dichos valores.

Almidón de papa PENPLUS 49:

$$0,0027909 \times C^3 - 0,0687779 \times C^2 + 1,11905 \times C - 3,5 = 15$$

$$C = 21,1 \text{ lb}_{\text{bbl}}$$

Almidón de papa sin tratar:

$$0,001709 * C^3 - 0,0687779 * C^2 + 1,11905 * C - 3,5 = 15$$

$$C = 31 \text{ lb}_{\text{bbl}}$$

Bentonita:

$$0,00174967 * B^3 - 0,0687779 * B^2 + 1,11905 * B - 3,5 = 15$$

$$B = 29,76 \text{ lb}_{\text{bbl}}$$

En la **Tabla 33**, se encuentran los rangos de viscosidad y concentración en el cual es posible encontrar una viscosidad aparente de 15 cP definido para cada uno de los tipos de almidones y la bentonita con un nivel de confianza del 85 %.

Seguidamente en la **Tabla 34** y **Tabla 35**, se realiza un análisis estadístico de las viscosidades aparentes obtenidas de ambos bloques para cada uno de los almidones.

**Tabla 33. Variabilidad con un intervalo de confianza del 85 % para los almidones.**

<b>Intervalo de Confianza – PENPLUS 49 (85,00 %)</b>			
<b>Va = 15,1 (cP)</b>		<b>C = 22,5 (lb / bbl)</b>	
<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>
14,5	15,5	21,5	23,5

<b>Intervalo de Confianza – sin tratar (85,00 %)</b>			
<b>Va = 14,1 (cP)</b>		<b>C = 31 (lb / bbl)</b>	
<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>
14,1	15,3	30,5	31,5

<b>Intervalo de Confianza – Bentonita (85,00 %)</b>			
<b>Va = 15,4 (cP)</b>		<b>C = 29,76 (lb / bbl)</b>	
<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>	<b>Inferior</b>	<b>Superior</b>
14,2	16,6	29,3	30,7

Fuente. Los autores.

**Tabla 34. Análisis estadístico del rendimiento del almidón de papa PENPLUS 49 en agua dulce.**

<b>C (lb / bbl)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coficiente de Variación</b>
<b>10</b>	2	6	0,01	0,07	3,21%
<b>15</b>	2	8	0,03	0,18	4,56%
<b>20</b>	2	11,5	0,03	0,18	2,89%
<b>25</b>	2	23,5	0,03	0,18	2,05%
<b>30</b>	2	46	1,13	1,06	8,49%
<b>Total</b>	10	19	60,93	7,81	72,06%

Fuente. Los autores.

**Tabla 35. Análisis estadístico del rendimiento del almidón de papa sin tratar en agua dulce.**

<b>C (lb / bbl)</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coefficiente de Variación</b>
<b>10</b>	2	3,5	0,13	0,35	20,20%
<b>15</b>	2	4,5	0,13	0,35	14,14%
<b>20</b>	2	6,3	0,36	0,60	18,08%
<b>25</b>	2	9,7	0,78	0,88	21,43%
<b>30</b>	2	15	1,53	1,24	24,15%
<b>35</b>	2	28	1,13	1,06	18,45%
<b>40</b>	2	43,5	0,5	0,71	10,88%
<b>Total</b>	14	15,78	34,87	5,91	60,15%

Fuente. Los autores.

Con esta serie de pruebas se pudo evidenciar que los almidones de papa cumplieron como viscosificantes en lodos de perforación debido a su buen rendimiento, (datos arrojados por el software Statgraphics Centurión XV).

## **6.5 RENDIMIENTOS DE ALGUNOS VISCOSIFICANTES COMERCIALES**

En la **Figura 24** se observa el rendimiento de algunos agentes viscosificantes comerciales que se pueden encontrar en laboratorio, con el propósito de comparar los rendimientos con los productos evaluados.

Los datos mostrados en la **Tabla 36**, fueron tomados del proyecto de grado titulado “DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DEL USO DE ALMIDON DE YUCA COMO ADITIVO EN LODOS DE PERFORACION”, debido a que en el momento de realización de las pruebas no se encontraban estos productos dentro del inventario de laboratorio.

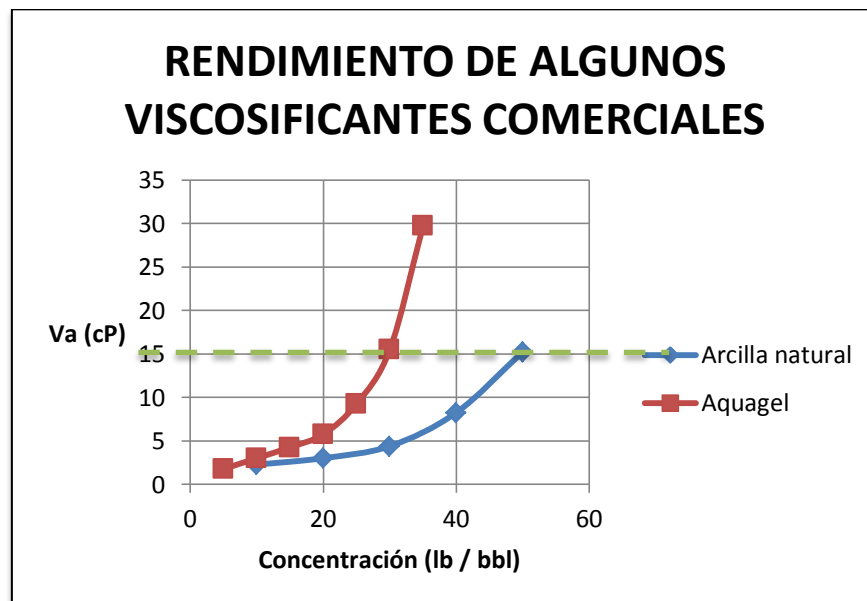
Las concentraciones para rendimientos óptimos para la arcilla natural y el aquagel son 49,65 lb / bbl y 30,23 lb / bbl respectivamente.

**Tabla 36. Propiedades de algunos viscosificantes comerciales.**

	Concentración (lb / bbl)	θ600 (RPM)	Va (cP)
<b>Arcilla natural</b>	10	4,5	2,25
	20	6	3
	30	8,75	4,38
	40	16,5	8,25
	50	30,5	15,25
<b>Aquagel</b>	5	4	1,75
	10	7,5	3
	15	16,5	4,25
	20	38	5,75
	25	86,5	9,25
	30	3,5	15,5
	35	6	29,75

Fuente. Los autores.

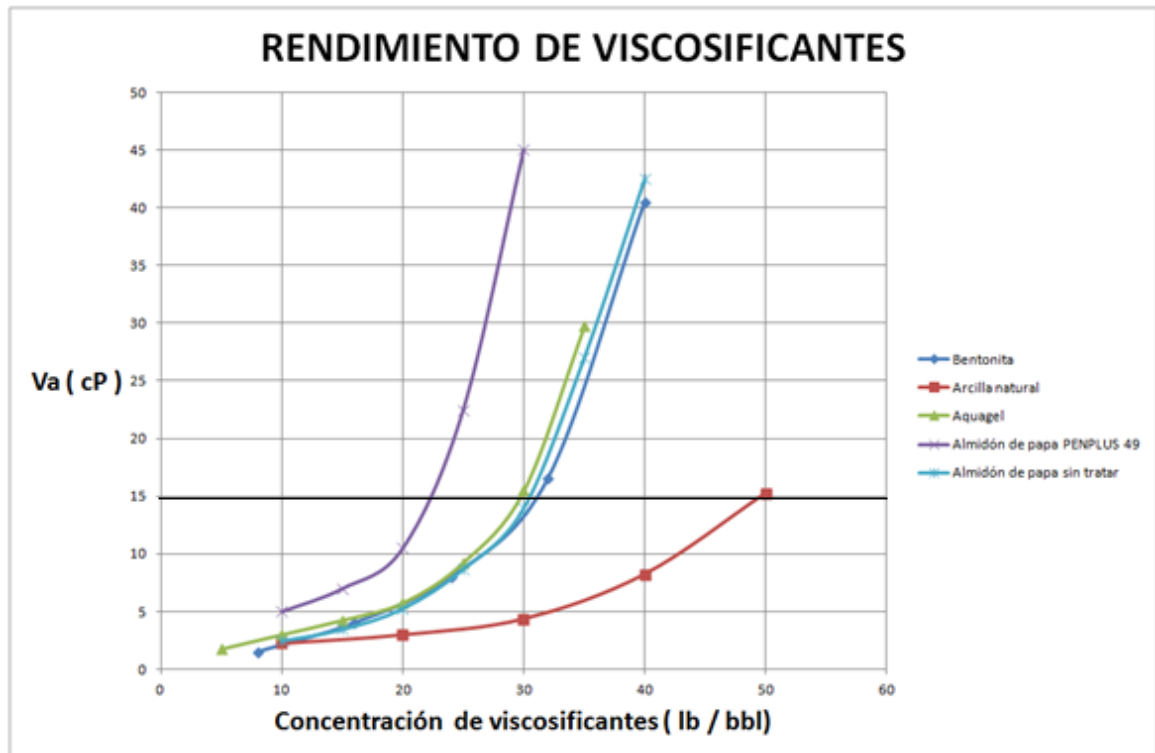
**Figura 24. Rendimiento de algunos viscosificantes comerciales.**



Fuente. Los autores.

En la **Figura 25**, se muestra las curvas de rendimiento de los almidones comparados con agentes viscosificantes comerciales.

**Figura 25. Comparación de algunos viscosificantes comerciales con los almidones.**



Fuente. Los autores.

Como se pudo observar en la **figura 25** el viscosificante con mejor rendimiento es el almidón de papa PENPLUS 49 por encima de los productos comerciales, también el almidón de papa sin tratar tiene un buen rendimiento.

## 6.6 PRUEBA DE EXTENSIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA

Los resultados son mostrados en la **Tabla 37**.

**Tabla 37. Prueba de extensión de las propiedades de la bentonita.**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )
ALMIDÓN DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	30	1	58	53	43	30	11	10	29	5	48
		1,5	59	43	36	26	11	10	29,5	16	27
		2	62	59	49	35	8	8	31	3	56
		2,5	77	54	45	32	9	9	38,5	23	31
		3	84	69	56	40	14	13	42	15	54
		3,5	90	62	51	36	14	13	45	28	34
	25	0,5	30	20	16	11	3	2	15	10	10
		1	35	24	20	14	3	3	17,5	11	13
		1,5	39	26	22	15	3	3	19,5	13	13
		2	43	29	23	16	4	4	21,5	14	16

Prueba de extensión de las propiedades de la bentonita. (Continuación). **Tabla 37**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	25	2,5	51	35	28	20	5	5	25,5	16	19
		3	60	41	34	24	7	7	30	19	22
	20	2	23	16	12	8	3	3	11,5	7	9
		2,5	26	17	14	9	3	3	13	9	8
		3	33	22	17	12	3	3	16,5	11	11
		3,5	38	26	22	15	3	3	19	12	14
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	30	1	35	28	23	16	6	5	17,5	7	21
		1,5	37	28	25	20	6	5	18,5	9	19
		2	38	27	24	20	6	5	19	11	16
		2,5	44	34	27	22	6	6	22	10	24
		3	45	34	28	21	6	5	22,5	11	23
		3,5	47	35	29	24	5	5	23,5	12	13

Prueba de extensión de las propiedades de la bentonita. (Continuación). **Tabla 37**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	25	0,5	23	15	13	8	3	2	11,5	8	7
		1	27	19	13	7	3	3	13,5	8	11
		1,5	29	22	15	8	4	3	14,5	7	15
		2	33	25	16	9	4	4	16,5	8	17
		2,5	39	29	18	11	5	5	19,5	10	19
		3	45	34	21	12	6	5	22,5	11	23
	20	2	19	14	12	8	3	3	9,5	5	9
		2,5	24	17	14	9	3	3	12	7	10
		3	25	19	15	12	3	3	12,5	6	13
		3,5	28	21	16	14	3	3	14	7	14
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	10	1.5	10	7	5	4	2	2	5	3	4
	15		14	9	7	5	2	2	7	5	4
	20		21	14	11	8	3	3	10,5	7	7

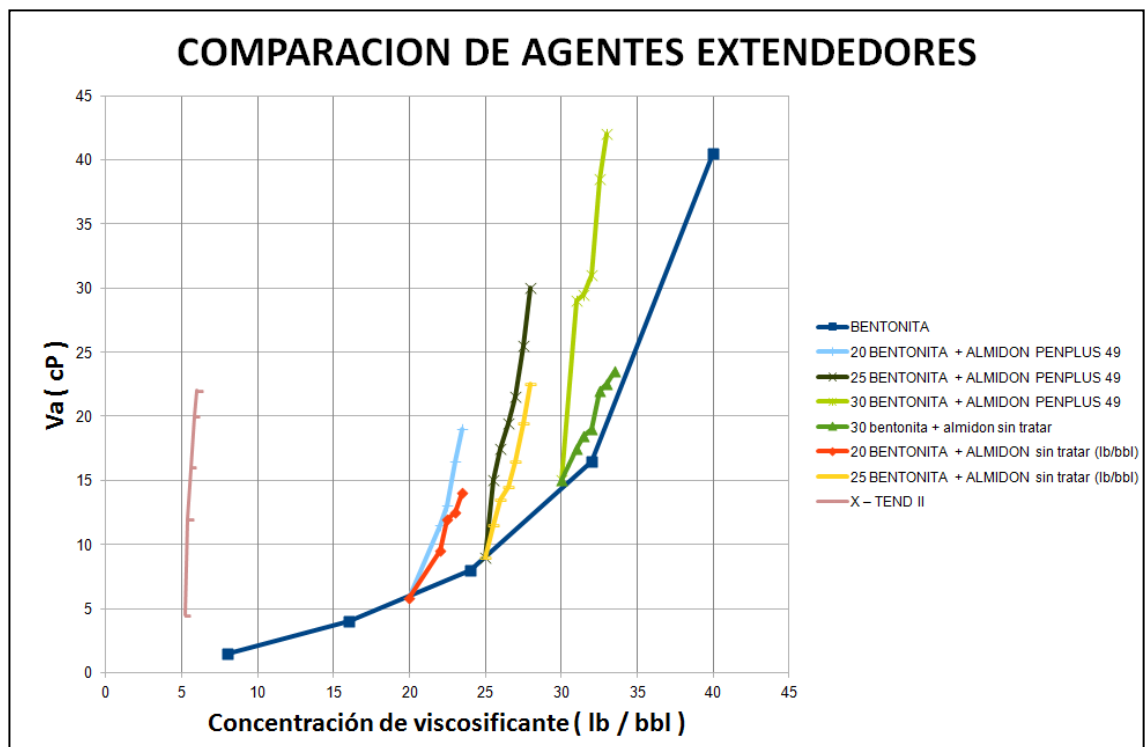
Prueba de extensión de las propiedades de la bentonita. (Continuación). **Tabla 37**

TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	25	1.5	41	29	24	17	5	5	20,5	12	17
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	10	1.5	8	6	4	3	2	2	4	2	4
	15		12	8	6	5	2	2	6	4	4
	20		20	12	10	7	3	3	8,5	8	4
	25		27	21	22	13	5	5	13,5	6	15
X – TEND II	5	0,2	9	7	5	4	2	2	4,5	2	5
		0,4	24	16	13	9	3	3	12	8	8
		0,6	32	20	16	12	3	3	16	12	8
		0,8	40	28	23	16	4	3	20	12	16
		1	44	31	25	16	3	2	22	13	18

Fuente. Los autores.

Ya evaluada la bentonita anteriormente sin la presencia de los almidones, ahora se procede a evaluar las diferentes combinaciones de bentonita y almidón, y poder observar el comportamiento individual de cada uno de los productos a diferentes concentraciones, y su influencia como agente extendedor de las propiedades de la bentonita. Esto se muestra en la **Figura 26** y **Figura 27**.

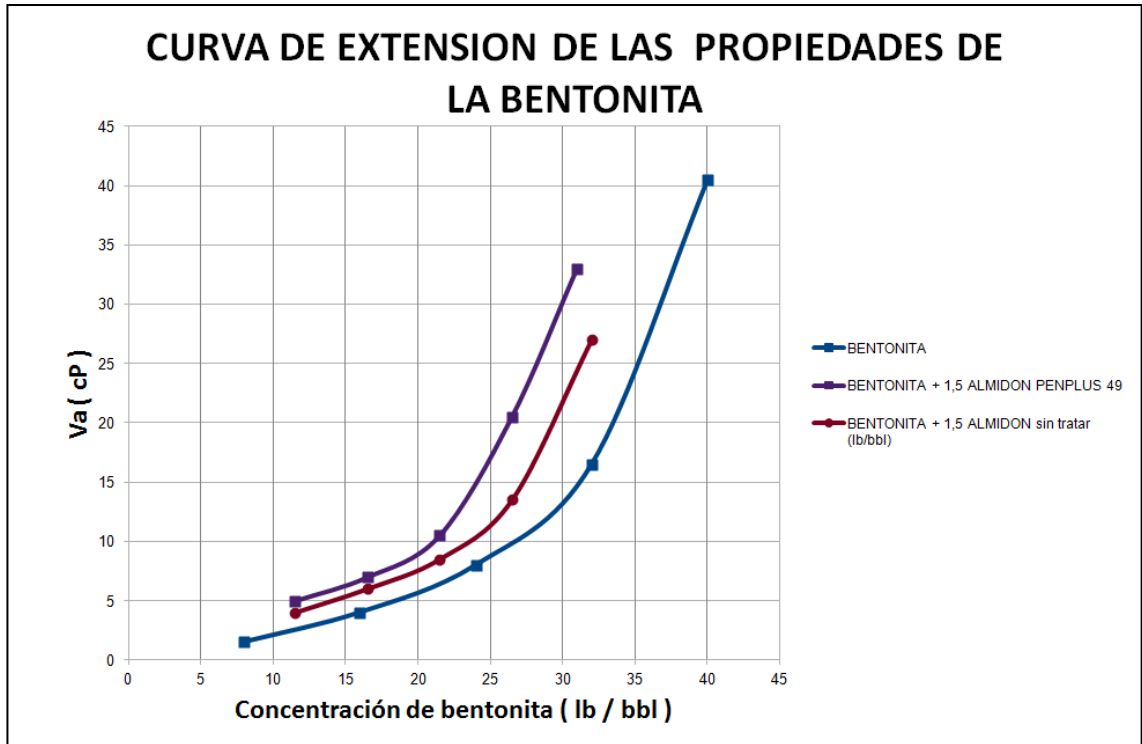
**Figura 26. Curva de rendimiento de la bentonita + viscosificantes.**



**Fuente.** Los autores.

Como se observó, los almidones presentan buen comportamiento en la mejora como extendedores de las propiedades de la bentonita, pero comparado con el agente extendedor comercial X – TEND II hay una gran diferencia. Este comportamiento será comparado con el rendimiento de la bentonita para poder observar la variación de la mejora, como se muestra en la **Figura 27**.

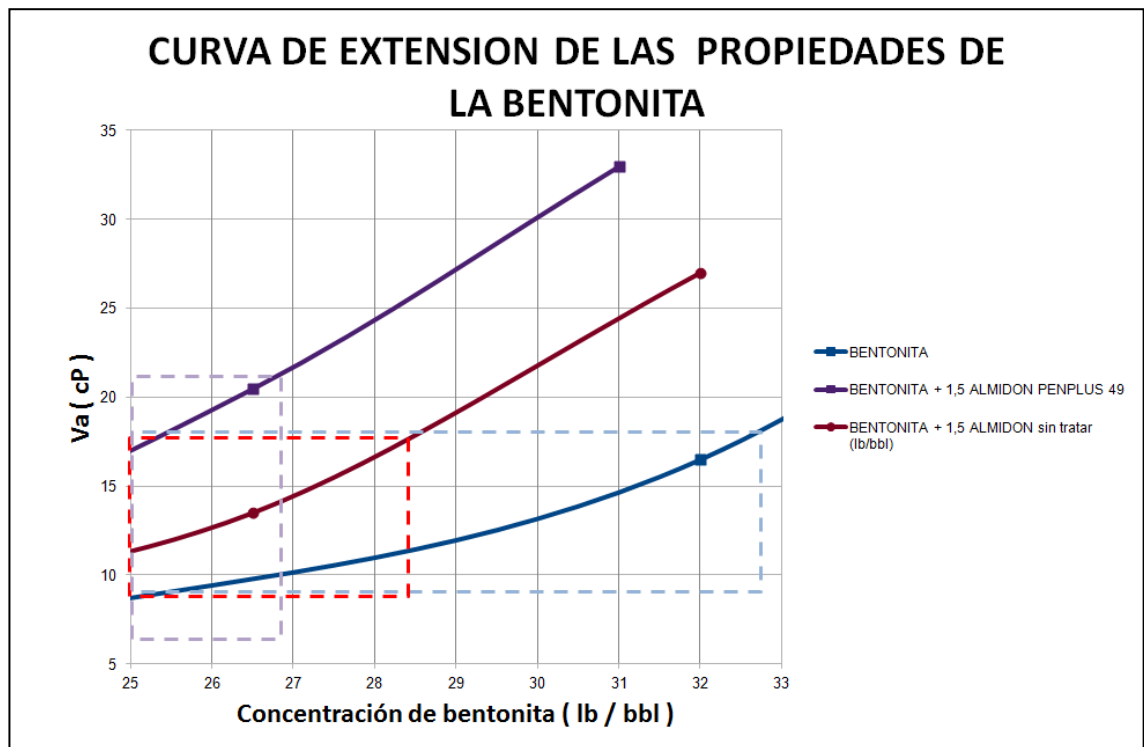
Figura 27. Curva de extensión de las propiedades de la bentonita.



Fuente. Los autores.

Ahora se hará un aumento en el área de interés, es decir a una viscosidad de 15 cP y una concentración alrededor de 30 lb / bbl para estudiar los rangos de confianza de cada comportamiento. Como se muestra en la **Figura 28**.

**Figura 28. Curva de extensión de las propiedades de la bentonita ampliada.**



**Fuente.** Los autores.

Como se pudo observar en la **Figura 28**, las propiedades de la bentonita demostraron mejor rendimiento con el almidón de papa PENPLUS 49 a la misma concentración en adiciones de 1,5 lb / bbl como agente extendedor comparado con el otro tipo de almidón.

En la **Tabla 38** se resumen los valores de rendimiento para los diferentes sistemas evaluados.

**Tabla 38. Rendimientos de los productos.**

<b>Producto</b>	<b>Concentración a 15 cP (lb / bbl)</b>	<b>C (% en peso)</b>	<b>Rendimiento (bbl / Ton)</b>
<b>Aquagel</b>	49,65	12,42	42,44
<b>Arcilla natural</b>	30,23	7,95	68,32
<b>Bentonita</b>	29,76	7,84	69,36
<b>Almidón de papa PENPLUS 49</b>	22,5	44,08	82,08
<b>Almidón de papa sin tratar</b>	31	67,38	68,4
<b>Bentonita + 1,5 lpb PENPLUS 49</b>	24	7,65	71,12
<b>Bentonita + 1,5 lpb de almidón sin tratar</b>	27,5	6,92	65,3

Fuente. Los autores.

Como se evidencia en la tabla anterior, el mejor rendimiento es de 82,08 bbl / Ton, obtenido de almidón PENPLUS 49.

## **6.7 PRUEBAS DEL ALMIDÓN COMO CONTROLADOR DE FILTRADO**

### **6.7.1 Pruebas para el lodo base.**

Para el lodo base se realizaron las pruebas correspondientes y se evaluaron sus propiedades, como se muestra en la **Figura 29** y **Tabla 39**, además se evaluó con un intervalo de confianza del 85%, como se observa en la **Tabla 40**.

**Figura 29. Torta o Cake del lodo base.**



Consistente  
Plástica  
< 1 / 32 "

Fuente. Los autores.

**Tabla 39. Resultados de las propiedades del lodo base.**

LODO BASE			
Θ 600 RPM	30	pH	10,5
Θ 300 RPM	21	Fuerza de Gel	4
Vp (cP)	9	Densidad del lodo (lb / bbl)	8,71
Yp (lb / 100 ft <sup>2</sup> )	3	Filtrado API (ml) @ 30 min	16
Va (cP)	15	Espesor (1 / 32 pulgada)	< 1 / 32 "

Fuente. Los autores.

**Tabla 40. Análisis estadístico de las propiedades del lodo base.**

Propiedad	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
Vp	2	9	0,4	0,70	3,81%
Yp	2	3,24	0,12	0,34	10,87%
Fuerza gel	2	3,4	0,4	0,70	20,19%
Filtrado	2	7,04	0,03	0,20	3,00%

Fuente. Los autores.

### **6.7.2 Prueba del almidón de papa como controlador de filtrado.**

Los resultados de las pruebas de control de filtrado para los lodos, se observan en la **Tabla 41**.

Tabla 41. Resultados de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado.

PRUEBA DE ALMIDON DE PAPA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO												
TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	Filtrado (ml)
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	30	1	58	53	43	30	11	10	29	5	48	14
		1,5	59	43	36	26	11	10	29,5	16	27	13
		2	62	59	49	35	8	8	31	3	56	13
		2,5	77	54	45	32	9	9	38,5	23	31	12,8
		3	84	69	56	40	14	13	42	15	54	12
		3,5	90	62	51	36	14	13	45	28	34	11
	25	0,5	30	20	16	11	3	2	15	10	10	14,7
		1	35	24	20	14	3	3	17,5	11	13	14
		1,5	39	26	22	15	3	3	19,5	13	13	13,4
		2	43	29	23	16	4	4	21,5	14	16	13,2
		2,5	51	35	28	20	5	5	25,5	16	19	12,4
		3	60	41	34	24	7	7	30	19	22	12,2
	20	2	23	16	12	8	3	3	11,5	7	9	15

Resultados de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado. (Continuación) **Tabla 41.**

PRUEBA DE ALMIDON DE PAPA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO												
TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Θ 600 RPM	Θ 300 RPM	Θ 200 RPM	Θ 100 RPM	Θ 6 RPM	Θ 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	Filtrado (ml)
ALMIDON DE PAPA (tratado) PENPLUS 49	20	2,5	26	17	14	9	3	3	13	9	8	15
		3	33	22	17	12	3	3	16,5	11	11	13,5
		3,5	38	26	22	15	3	3	19	12	14	12,5
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	30	1	35	28	23	16	6	5	17,5	7	21	15,5
		1,5	37	28	25	20	6	5	18,5	9	19	15
		2	38	27	24	20	6	5	19	11	16	14,5
		2,5	44	34	27	22	6	6	22	10	24	14
		3	45	34	28	21	6	5	22,5	11	23	13,8
		3,5	47	35	29	24	5	5	23,5	12	13	12,9
	25	0,5	23	15	13	8	3	2	11,5	8	7	15,8
		1	27	19	13	7	3	3	13,5	8	11	15,6
		1,5	29	22	15	8	4	3	14,5	7	15	15,4
		2	33	25	16	9	4	4	16,5	8	17	15,4

Resultados de la prueba del almidón de papa como controlador de filtrado. (Continuación) **Tabla 41.**

PRUEBA DE ALMIDON DE PAPA COMO CONTROLADOR DE FILTRADO												
TIPO DE ALMIDÓN	BENTONITA (lb/bbl)	CONCENTRACIÓN (lb/bbl)	Ø 600 RPM	Ø 300 RPM	Ø 200 RPM	Ø 100 RPM	Ø 6 RPM	Ø 3 RPM	Va(cp)	Vp(cp)	Yp(lb/100ft <sup>2</sup> )	Filtrado (ml)
ALMIDON DE PAPA (sin tratar)	25	2,5	39	29	18	11	5	5	19,5	10	19	15,2
		3	45	34	21	12	6	5	22,5	11	23	14
	20	2	19	14	12	8	3	3	9,5	5	9	15
		2,5	24	17	14	9	3	3	12	7	10	14,5
		3	25	19	15	12	3	3	12,5	6	13	13,5
		3,5	28	21	16	14	3	3	14	7	14	13

Fuente. Los autores.

Con los datos obtenidos es necesario realizar un análisis estadístico para algunas propiedades obtenidas para cada una de las diferentes concentraciones en la prueba de control de filtrado. Estos datos son mostrados desde la **Tabla 42** a la **Tabla 44** para el almidón de papa PENPLUS 49 y de la **Tabla 45** a la **Tabla 47** para el almidón sin tratar.

## PRUEBA DE CONTROL DE FILTRADO – ALMIDON DE PAPA PENPLUS 49

Para la prueba de control de filtrado de un lodo con concentración 30, 25 y 20 (lb/bbl) de bentonita mas adiciones de almidón PENPLUS 49 se comparo con el Aditivo comercial PAC – L,(ver **Figura 30**), también se genera un cuadro comparativo (ver **Figura 31**) donde se ilustra las diferentes tortas de lodo.

**Tabla 42. Análisis estadístico para el lodo con 30 bentonita + PENPLUS 49.**

Propiedad	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación estándar	Coficiente de Variación
Vp	2	14,75	6,13	2,47	16,78%
Yp	2	41,67	43,13	13,08	11,81%
Filtrado	2	10,75	0,13	0,35	3,29%

Fuente. Los autores.

**Tabla 43. Análisis estadístico para el lodo con 25 bentonita + PENPLUS 49.**

Propiedad	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación estándar	Coficiente de Variación
Vp	2	13,83	3,13	1,77	28,28%
Yp	2	15,5	72,0	8,49	13,91%
Filtrado	2	13,31	0,32	0,57	6,58%

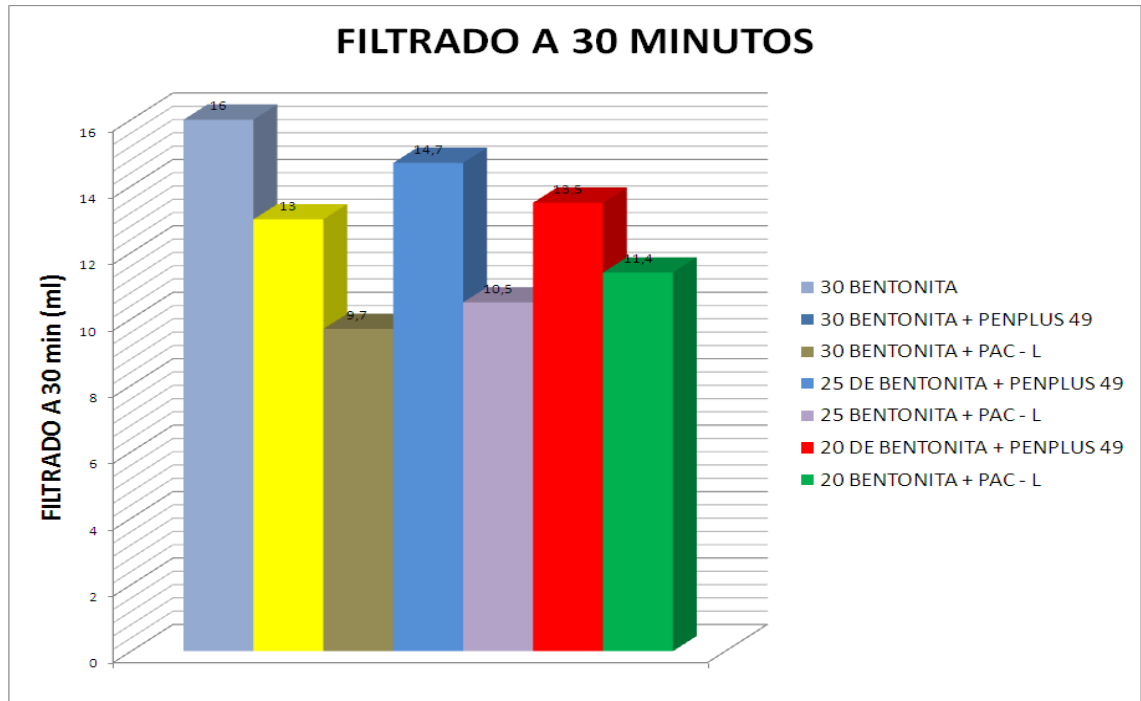
Fuente. Los autores.

**Tabla 44. Análisis estadístico para el lodo con 20 bentonita + PENPLUS 49.**

Propiedad	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación estándar	Coficiente de Variación
Vp	2	9,75	4,5	2,12	22,33%
Yp	2	10,5	2,0	1,41	3,14%
Filtrado	2	14	0,08	0,28	1,99%

Fuente. Los autores.

**Figura 30. Filtrado a 30 minutos para un lodo bentonita + PENPLUS 49.**



Fuente. Los autores.

Como se observa en la **Figura 30** las mejores combinaciones para controlar el filtrado son 20 Lb / bbl de bentonita + PENPLUS 49 o 20 Lb / bbl de bentonita + PAC-L.

En la **Figura 31** se puede observar las propiedades obtenidas para las tortas del lodo.

**Figura 31. Retorta del lodo almidón de papa PENPLUS 49.**



**Fuente.** Los autores.

### **PRUEBA DE CONTROL DE FILTRADO – ALMIDON DE PAPA SIN TRATAR**

Para la prueba de control de filtrado de un lodo con concentración de 30, 25 y 20 (lb/bbl), de bentonita mas adiciones de almidón de papa sin tratar se comparo con

el Aditivo comercial PAC – L,(ver **Figura 32**), se genera un cuadro comparativo (ver **Figura 33**) donde se ilustra las diferentes tortas de lodo.

**Tabla 45. Análisis estadístico para el lodo con 30 bentonita + almidón sin tratar.**

Propiedad	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
<b>Vp</b>	2	10	6,13	2,47	16,78%
<b>Yp</b>	2	19,33	43,13	13,08	11,81%
<b>Filtrado</b>	2	14,28	0,13	0,35	3,29%

Fuente. Los autores.

**Tabla 46. Análisis estadístico para el lodo con 25 bentonita + almidón sin tratar.**

Propiedad	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
<b>Vp</b>	2	8,66	3,13	1,77	28,28%
<b>Yp</b>	2	15,33	72,0	8,49	13,91%
<b>Filtrado</b>	2	15,2	0,32	0,57	6,58%

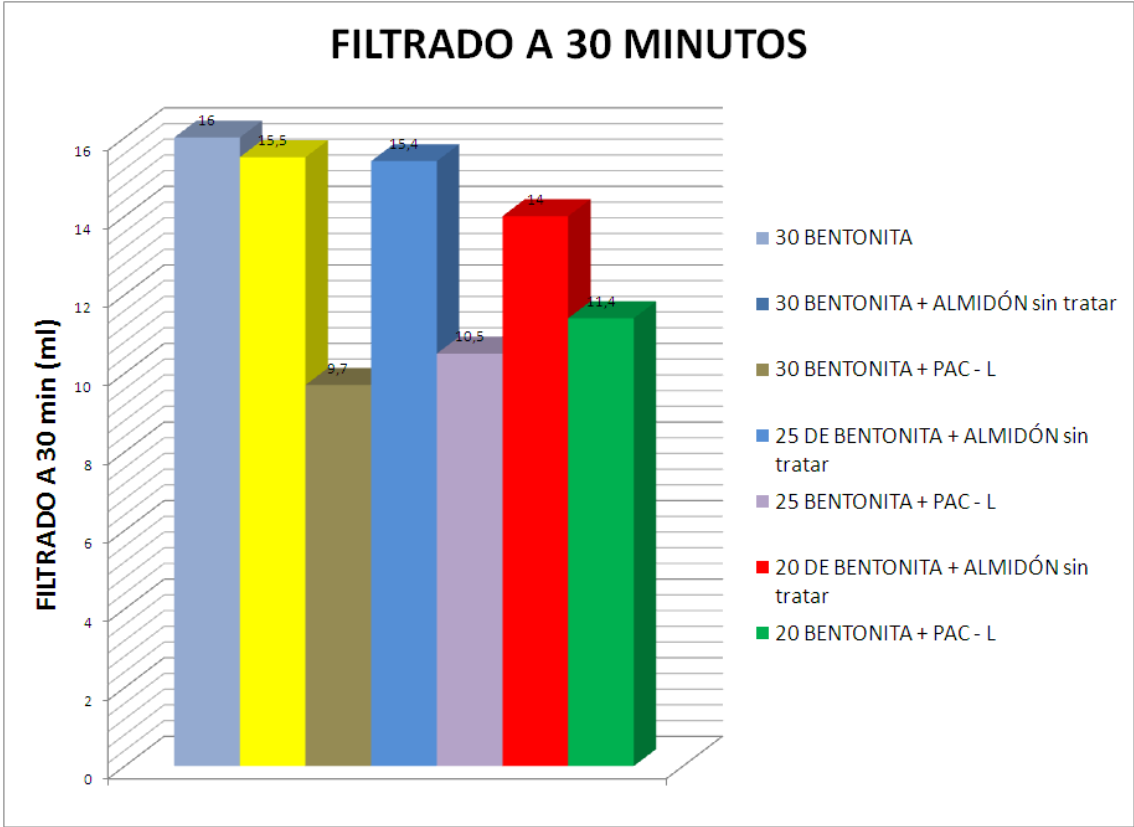
Fuente. Los autores.

**Tabla 47. Análisis estadístico para el lodo con 20 bentonita + almidón sin tratar.**

Propiedad	Frecuencia	Media	Varianza	Desviación estándar	Coefficiente de Variación
<b>Vp</b>	2	6,25	4,5	2,12	22,33%
<b>Yp</b>	2	11,5	2,0	1,41	3,14%
<b>Filtrado</b>	2	14	0,08	0,28	1,99%

Fuente. Los autores.

Figura 32. Filtrado a 30 minutos para un lodo bentonita + almidón sin tratar.



Fuente. Los autores.

Como se observa en la **Figura 32** el almidón de papa sin tratar no es tan efectivo comparado con el controlador de filtrado comercial PAC – L.

En la **Figura 33** se puede observar las propiedades obtenidas para las tortas del lodo.

**Figura 33. Retorta del lodo almidón de papa almidón sin tratar.**



**LODO CON 30 BENTONITA +  
ALMIDON SIN TRATAR**

Consistente

Plástica

1 / 32 "



**LODO CON 25 BENTONITA +  
ALMIDON SIN TRATAR**

Consistente

Plástica

1 / 32 "



**LODO CON 20 BENTONITA +  
ALMIDON SIN TRATAR**

Consistente

Plástica

1 / 32 "

**Fuente.** Los autores.

## 6.8 ANÁLISIS DE COSTOS

### Principales aspectos a tener en cuenta para seleccionar el aditivo.

- Costo del material.
- Disponibilidad del material.
- Otros problemas relacionados con la complicación que puede generar dicho material.
- Sector donde se está trabajando.
- Aspecto ambiental.

### Costos del material.

Según datos del proveedor el costo aproximado para el almidón de papa PENPLUS 49 es US\$ 2,5 y el amildón sin tratar es US\$ 1,5 por kilo respectivamente.

#### 6.8.1 Precios de agentes viscosificantes y controladores de filtrado.

En la **Tabla 48** se señalan los precios equivalentes de una cantidad de 50 lb para cada uno de los aditivos.

**Tabla 48. Precio de viscosificantes y controladores de filtrado.**

Producto	US\$	Peso(lb)
Almidón de papa PENPLUS 49	62,70	50
Almidón de papa sin tratar	35,70	50
Pac-L	114	50
Aquagel	16,8	50
Bentonita de Wyoming	15,52	50
Arcilla natural	9,94	50

Fuente. Los autores.

De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas para el rendimiento de los almidones de papa comparado con varios productos viscosificantes se realiza un análisis de costos como se muestra en la **Tabla 49** para los productos evaluados que presentan un buen rendimiento.

### 6.8.2 Costos comparativos de viscosificantes.

La concentración en la **Tabla 49** tomando 15 cP como punto de comparación.

**Tabla 49. Costos para la prueba de rendimiento.**

Producto	Concentración (lb/bbl)	Costo (US\$ / bbl)
Almidón de papa PENPLUS 49 agua dulce	22,2	27,75
Almidón de papa sin tratar en agua dulce	30,2	22,65
Bentonita de Wyoming	30	9,31
Aquagel	30	16,8
Arcilla natural	50	5,96

Fuente. Los autores.

### 6.8.3 Costos comparativos de los agentes extendedores.

En la **Tabla 50**, se muestran los costos correspondientes para cada una de las cantidades utilizadas en la evaluación de agentes extendedores.

El punto de referencia utilizado para realizar el análisis de costos fue, de 15 cP.

**Tabla 50. Costos para la prueba como agente extendedor.**

<b>Producto</b>	<b>Cantidad como agente extendedor (lb/bbl)</b>	<b>Costo (US\$ / bbl)</b>
Almidón de papa PENPLUS 49	1,5	1,87
Almidón de papa Sin tratar	1,5	1,12
X – TEND II	0,2	4,1

Fuente. Los autores.

#### **6.8.4 Costos comparativos de los controladores de filtrado.**

En la **Tabla 51**, se muestran los costos correspondientes para cada una de las cantidades utilizadas en la evaluación de control de filtrado.

El criterio para señalar que fue mejor, es la cantidad de filtrado que se obtuvo.

**Tabla 51. Costos para la prueba de control de filtrado.**

<b>Producto</b>	<b>Cantidad como controlador de filtrado (lb/bbl)</b>	<b>Costo (US\$ / bbl)</b>
Pac - L	1	2,28
Almidón de papa PENPLUS 49	1,5	0,625
Almidón de papa Sin tratar	1,5	0,375

Según los costos enunciados anteriormente, es factible el uso de los 2 almidones como controlador de filtrado en lodos base agua, y también es bueno al generar una retorta con buenas características y disminución del filtrado.

## 7. CONCLUSIONES

- Es viable el uso del almidón de papa como agente extendedor de las propiedades viscosificantes de la bentonita.
- El rendimiento de la bentonita mejoró con el almidón de papa como agente extendedor con adiciones de 1,5 lb / bbl.
- Es factible el uso de almidón de papa como agente controlador de filtrado en lodos base agua.
- El diseño del experimento, con llevó a una mejor organización e interpretación de los datos como también a analizar estadísticamente las diferencias entre los diferentes aditivos comerciales y los aditivos utilizados en esta investigación.
- Los almidones de papa son excelentes extedendedores de las propiedades de la bentonita, aumentado su viscosidad en gran medida utilizando pequeñas cantidades del producto
- los extendedores comerciales tiene mejor rendimiento que el almidón de papa pero su precio es elevado en comparación con los almidones lo que hace factible su uso, como extendedores de propiedades de bentonita.
- el almidón de papa PENPLUS 49 presento un mejor rendimiento que el almidón de papa sin tratar en las pruebas de rendimiento, viscosidad y control de filtrado, debido a los diversos tratamientos por los que paso en su elaboración.

- Los almidones de papa tienen mejor rendimiento que la bentonita, Arcilla natural y aquagel y se necesita una menor concentración de los mismos para lograr una viscosidad requerida.
- los almidones de papa funcionan como controladores de filtrado, pero su eficiencia no es tan significativa comparada con controladores industriales como el pac-L haciendo que se requieran concentraciones elevadas para lograr una disminución en las pérdidas de filtrado.

## 8. RECOMENDACIONES

- Seguir con las investigaciones del uso de productos naturales en lodos de perforación, como sustituto de productos comerciales poco amigables con el medio ambiente.
- Evaluar otros tipos de modificaciones para el almidón de papa (sin tratar) ya sean físicas o químicas con el fin de obtener un producto con excelentes propiedades.
- Realizar una modificación genética del almidón de papa (sin tratar) para aumentar el porcentaje de amilosa y de esta manera incrementar su eficacia, para posteriormente evaluarlo como aditivo en lodos de perforación.
- Realizar un análisis económico completo para determinar las posibles limitaciones a la hora de aplicar el almidón en la industria.

## BIBLIOGRAFIA

**ACOSTA HERNANDEZ, Pedro León y OCHOA BAÑOS, Carlos Alberto.** Estudio de la factibilidad del uso del extracto de fique como viscosificante y controlador de filtrado en lodos de perforación. Tesis de Pregrado. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, 2002.

**ALMIDON.** Wikipedia – La Enciclopedia Libre. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Almidón>.

**ALVIS, Armando, VELEZ, Carlos A., VILLADA, Héctor S. y RADA MENDOZA, Maite.** Análisis físico-químico y morfológico de almidones. Disponible en: [www.scielo.cl/pdf/infotec](http://www.scielo.cl/pdf/infotec).

**ALVAREZ HERNANDEZ, Ricardo y SARMIENTO CELIS, Gabriel.** Utilización del almidón de yuca en lodos de completamiento y reparación de pozos de petróleo. Tesis de grado. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander – UIS, 1982.

**BEMILLER, James y WHISTLER, Roy.** Starch: Chemistry and Technology. Third Edition. Copyright ©1984, 2009 Elsevier Inc.

**CARDENAS PARDO, Jhins Ledys y CHAUSTRE GALLO, Greis Nataly.** Estudio de la factibilidad del uso de mucílago de fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación. Tesis de grado. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander – UIS, 2009.

**CENSO DE PLANTAS PROCESADORES DE PAPA PARA USO INDUSTRIAL RESULTADOS 2003.** Fuente DIAN. Disponible en: <http://www.dian.gov.co>.

**CENSO DE PLANTAS PROCESADORES DE PAPA PARA USO INDUSTRIAL RESULTADOS 2004.** Fuente: DIAN. Disponible en: <http://www.dian.gov.co>.

**CHAPMAN, J.W., WARD, I. y WILIAMSON, R.** New Viscosifier for Water Based Muds Based on a Genetically Modified Starch. Society of Petroleum Engineers. SPE 50723. 1999.

**FAJARDO MOLINA, Adrian Camilo y RODRIGUEZ RODRIGUEZ, Carlos José.** Factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación. Tesis de Grado. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander – UIS, 2010.

**ICA.** Manual Técnico de la papa. INIAP – Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. Disponible en: <http://www.ica.gov.co>.

**IMPACTO AMBIENTAL DE PRODUCTOS QUÍMICOS AUXILIARES USADOS EN LA INDUSTRIA TEXTIL ARGENTINA.** Anexo IV – Productos de acabados. REPAMAR. Auspiciado por GTZ. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org>.

**LUMMUS, James L. y AZAR, J.J.** Drilling fluids optimization. Copyright ©1986 by Penn Well Publishing Company.

**OKUMO, I. y ISEHUNWA, S.O.** Prediction of the viscosity of a water-base mud treated with cassava starch and potash at varying temperatures using factorial design. Society of Petroleum Engineers. SPE 111886. 2007.

**PDVSA.** Manual de fluidos de perforación. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED), 2002.

**RODRIGUEZ BERMUDEZ, Eliserio.** Reestructuración teórico – práctica de la guía de laboratorio de lodos y cementos. Tesis de Pregrado, Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander, 2007.

**SANCHEZ LOPEZ, Alberto.** Obtención de jarabes de glucosa por hidrólisis enzimática de almidón extraída de tres variedades de yuca (Amarga, Armenia y Chile), cultivadas en la provincia Guanenta (Santander). Tesis de Pregrado, Escuela de Química. Universidad Industrial de Santander, 2002.

**SIMONIDES, Hylke, SCHURINGA, Gerhard y GHALAMBOR, Ali.** Role of starch in designing nondamaging completion and drilling fluids. Society of Petroleum Engineers. SPE 73768. 2002.