

**FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO ADITIVO PARA  
Lodos DE PERFORACIÓN**

**ADRIAN CAMILO FAJARDO MOLINA  
CARLOS JOSE RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ**

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

**2010**

**FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO ADITIVO PARA  
Lodos DE PERFORACIÓN**

**ADRIAN CAMILO FAJARDO MOLINA  
CARLOS JOSE RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ**

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

**Director**

**M. Sc. EMILIANO ARIZA LEON  
Ingeniero de petróleos**

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

**2010**

*Dedicado a todas aquellas personas especiales que nunca han dejado de creer que todo en esta vida es posible, en especial a mi familia. Nada de esto hubiese sido posible sin su ayuda y sin su apoyo.*

*To Miss Lynn Fynn, thank you for always being there for me.*

Adrian Camilo Fajardo Molina

*Este es un logro magnífico el cual toda persona desea, pero que cuando lo realiza, no sabe el significado de lo que ha logrado, quizás porque no hay palabras que permitan definir con claridad a la superación, por eso agradezco infinitamente a DIOS nuestro creador y fuente de bendición que a diario permite nuestra existencia.*

*A EMMITA mi linda madre y a CARLOS mi padre, quienes me dieron la vida, me educaron y me forjaron con valores y principios, agradecerle también a mis hermanos (JIMMY, ALEX, OSMAN, JHONSON Y NELFY) que con voluntad, sacrificio y entusiasmo me colaboraron.*

*Al ingeniero Emiliano Ariza León, que con su experiencia y curiosidad por la investigación permitió la realización de este proyecto.*

Carlos José Rodríguez Rodríguez

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresamos nuestros agradecimientos a:

Al ingeniero Edelberto Hernández por ayudarnos con la idea inicial de este proyecto.

Al Ingeniero Emiliano Ariza León y al grupo de investigación de tratamientos alternativos de hidrocarburos (GITAH), quienes desde el comienzo de la realización de la investigación, estuvieron presentes dándonos apoyo, guiándonos con sus valiosos aportes y muy buenos consejos. También por permitirnos elaborar este tipo de investigación que tiene un valor agregado y es el poder contribuir con proyectos de interés que proporcionan avances científicos a nuestro país.

Al Dr. Daniel Molina Velasco por guiarnos y proporcionarnos información acerca de nuestro material de investigación (almidón de plátano), y compartir su gran conocimiento.

A la escuela de ingeniería de petróleos de la Universidad Industrial De Santander, por permitirnos utilizar el laboratorio de lodos y cementos, especialmente a Alex, por compartir con nosotros su experiencia y brindarnos su colaboración en el uso del laboratorio, como también en el préstamo de equipos e instrumentos.

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	21
1. GENERALIDADES SOBRE LA INGENIERÍA DE LODOS	23
1.1 OPTIMIZACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN	23
1.2 FUNCIONES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN	26
1.3 VISCOSIDAD EN LODOS DE PERFORACIÓN Y AGENTES VISCOSIFICANTES	30
1.4 FILTRACIÓN Y AGENTES DE CONTROL DE FILTRADO	39
1.5 USO DE ALMIDONES EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN	47
2. GENERALIDADES SOBRE EL ALMIDÓN DE PLÁTANO	52
2.1 CARACTERISTICAS DEL PLÁTANO	52
2.1.1 Ecología del cultivo	56
2.2 INDUSTRIA DEL PLÁTANO EN COLOMBIA	58
2.3 QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO	67
3. FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO ADITIVO PARA LODOS DE PERFORACIÓN	69
3.1 OBTENCION DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO	69
3.2 PROCEDIMIENTO DE GELATINIZACION DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO	73
3.3 APLICACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO VISCOSIFICANTE	78
3.4 APLICACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO CONTROLADOR DE FILTRADO	81
3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	82
3.5.1 Caracterización	84
3.5.2 Depuración y optimización	85

3.5.2.1 Prueba de rendimiento:	85
3.5.2.2 Prueba del almidón de plátano como controlador de filtrado:	88
3.6 DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	94
3.6.1 Pruebas de viscosidad	94
3.6.2 Prueba De Control De Filtrado	120
3.7 ANÁLISIS DE COSTOS	134
4. CONCLUSIONES	137
5. RECOMENDACIONES	139
BIBLIOGRAFÍA	140

## LISTA DE FIGURAS

	<b>PAG.</b>
Figura 1. Planta De Plátano.....	53
Figura 2. Cultivo De Plátano.....	60
Figura 3. Molino Industrial.....	70
Figura 4. Tamiz Filtro Tyler Sieve Micrometer De Laboratorio.....	71
Figura 5. Filtros Para Tamiz.....	71
Figura 6. Producto Final: Almidón De Plátano.....	73
Figura 7. Almidón De Plátano Homogeneizado.....	74
Figura 8. Horno Eléctrico.....	75
Figura 9. Premezclado Del Almidón De Plátano.....	76
Figura 10. Activación Del Almidón De Plátano.....	77
Figura 11. Preparación De Solución Polimérica.....	77
Figura 12. Almidón De Plátano Activado.....	78
Figura 13. Granos De Almidón.....	81
Figura 14. Retorta Del Lodo Base.....	123
Figura 15. Retorta Del Lodo + Sal.....	125
Figura 16. Retorta Del Lodo Base + Cal.....	128
Figura 17. Retorta Del Lodo Base + Yeso.....	130
Figura 18. Retorta Del Lodo Base + CaCl <sub>2</sub> .....	133

## LISTA DE TABLAS

	<b>PAG.</b>
Tabla 1. Clasificación General De Polímeros Por Su Acción .....	37
Tabla 2. Agentes Viscosificantes Comerciales .....	38
Tabla 3. Agentes Comerciales De Control De Filtrado .....	46
Tabla 4. Características De Algunos ALMIDÓNes.....	49
Tabla 5. Propiedades Reologicas De Los Sistemas Duovis .....	50
Tabla 6. Clasificación.....	54
Tabla 7. Distribución Regional De La Producción De Plátano En Colombia.....	62
Tabla 8. Rendimiento De Almidón A Partir De Pulpa De Plátano A Nivel Laboratorio.....	72
Tabla 9. Identificación Y Definición De Variables.....	85
Tabla 10. Formato De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Agua Dulce .....	86
Tabla 11. Formato De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Salmueras.....	86
Tabla 12. Formato De La Prueba Efecto Del pH Sobre La Viscosidad.....	87
Tabla 13. Formato De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita.....	87
Tabla 14. Formato De la Prueba De Rendimiento De Algunos Viscosificantes .....	88
Tabla 15. Formato De La Prueba Del Almidón De Plátano Como Controlador De Filtrado.....	93
Tabla 16. Análisis del agua dulce de prueba .....	94
Tabla 17. Resultados de la prueba de rendimiento del almidón de plátano en agua dulce .....	95
Tabla 18. Resultados de la prueba de rendimiento del almidón de plátano en agua dulce (replica) .....	95

Tabla 19. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Agua Dulce.....	96
Tabla 20. Resultados De La Prueba De Efecto De La Sal Sobre La Viscosidad ...	98
Tabla 21. Resultados De La Prueba De Efecto De La Sal Sobre La Viscosidad (Replica) .....	98
Tabla 22. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Salmueras (35 Lb/Bbl) .....	100
Tabla 23. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Salmueras (125 Lb/Bbl) .....	100
Tabla 24. Resultados De La Prueba Efecto Del Ph Sobre La Viscosidad .....	102
Tabla 25. Resultados De La Prueba Efecto Del pH Sobre La Viscosidad (Replica) .....	103
Tabla 26. Análisis Probabilístico Del pH Sobre La Viscosidad .....	103
Tabla 28. Resultados De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita.....	105
Tabla 29. Resultados De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita (Replica) .....	105
Tabla 30. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita .....	105
Tabla 31. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita .....	106
Tabla 32. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita Con ALMIDÓN De Plátano (0,5 Lb/Bbl).....	106
Tabla 33. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita Con ALMIDÓN De Plátano (1 Lb/Bbl).....	106
Tabla 34. Resultados De La Prueba De Viscosidad Para Algunos Viscosificantes Comerciales.....	109
Tabla 35. Resultados De La Prueba De Viscosidad Para Algunos Viscosificantes Comerciales (replica).....	110
Tabla 36. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Arcilla Natural .....	111

Tabla 37. Análisis Probabilístico Del Rendimiento Del Aquagel .....	113
Tabla 38. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Bentonita En Salmuera (35 Lb/bbl NaCl).....	116
Tabla 39. Resultados De La Prueba De Almidón De Plátano Como Controlador De Filtrado.....	120
Tabla 40. Resultados De La Prueba De Almidón De Plátano Como Controlador De Filtrado (Replica) .....	121
Tabla 41. Resultados Análisis Probabilístico De La Prueba De Control De Filtrado- Lodo Base.....	122
Tabla 42. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado - Contaminación Con Sal .....	123
Tabla 43. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado - Contaminación Con Cal .....	126
Tabla 44. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado - Contaminación Con Yeso .....	129
Tabla 45. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado - Contaminación Con CaCl <sub>2</sub> .....	131
Tabla 46. Costo De Siembre, Establecimiento Y Sostenimiento Del Plátano Hartón Dominicano 2009. (Zonas Bucaramanga – Ocaña – San Gil – Cúcuta).....	134
Tabla 47. Precios De Agentes Viscosificantes Y Controladores De Filtrado .....	135
Tabla 48: Costos Para Pruebas De Rendimiento .....	136
Tabla49: Análisis Costos Para Pruebas De Control De Filtrado .....	136

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>PAG.</b>
Grafica 1. Estructura Molecular De La Celulosa	33
Grafica 2. Estructura Molecular De La Goma Guar	34
Grafica 3. Estructura Molecular De La Goma Xanthan	35
Grafica 4. Estructura Molecular De La Acrilamida	36
Grafica 5. Estructuras Moleculares De Ester Acrílico, Ester Metacrilico Y Anhídrido Maleico.	37
Grafica 6. Estructura Molécula Del Almidón	49
Grafica 7. Distribución De La Producción Nacional De Plátano En Colombia 2009	60
Grafica 8. Estructura Del Almidón.	68
Grafica 9. Estructura Molecular De La Amilosa	79
Grafica 10. Estructura Molecular De La Amilopectina	80
Grafica 11. Resultados De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Agua Dulce	96
Grafica 12: Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Agua Dulce	97
Grafica 13. Resultados De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Salmueras	99
Grafica 14 Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Agua Salada	101
Grafica 15. Resultados De La Prueba Efecto Del pH Sobre La Viscosidad	104
Grafica 16. Resultados De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita	107
Grafica 17: Análisis Probabilístico De La Prueba De Extensión De La Bentonita	108
Grafica 18. Resultados De Prueba De Rendimiento De La Arcilla Natural	111
Grafica 19: Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Arcilla natural	112

Grafica 20. Resultados De Prueba De Rendimiento Del Aquagel	113
Grafica 21: Análisis Probabilístico Del Rendimiento Del Aquagel	114
Grafica 22. Resultados De Prueba De Rendimiento De La Bentonita En Salmuera (35 lb/bbl) NaCl	115
Grafica 23: Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Bentonita En Salmuera (35 Lb/bbl Nacl)	116
Grafica 24. Rendimiento De Agentes Viscosificantes	117
Grafica 24-b. Rendimiento De Agentes Viscosificantes	118
Grafica 24-c. Rendimiento De Agentes Viscosificantes	119
Grafico 25. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con Sal	125
Grafico 26. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con Cal	127
Grafico 27. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con Yeso	130
Grafico 28. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con CaCl <sub>2</sub>	132

## LISTA DE ESQUEMAS

	<b>PÁG.</b>
Esquema 1. Diagrama De Flujo Para Un Programa De Optimización De Perforación	26
Esquema 2. Genealogía Del Plátano.	55

## RESUMEN

**TITULO: FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO ADITIVO PARA LODOS DE PERFORACIÓN\*.**

**AUTORES:**

Adrian Camilo Fajardo Molina

Carlos José Rodríguez Rodríguez\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Agentes viscosificantes, agentes controladores de filtrado, almidón, plátano, prueba de rendimiento, prueba de control de filtrado.

**DESCRIPCION:**

El plátano hartón dominico (*Musa Paradisiaca* L) es un fruto de producción masiva en Colombia, también su producción está subsidiada por el estado colombiano, lo cual trae ventajas de tipo económico a la hora de adquirir el producto en cualquier parte del territorio nacional. El almidón de plátano está formado por una fracción molecular lineal (amilosa) y por una fracción molecular ramificada (amilopectina), componentes que a nivel práctico han demostrado funcionalidad y características interesantes relacionadas a la optimización de fluidos tanto en perforación como en completamiento. Con este proyecto se comprobó que el almidón de plátano puede ser utilizado como un nuevo aditivo para lodos de perforación basándose tanto en el rendimiento de este, su valor comercial y biodegradabilidad.

El proyecto está estructurado en tres capítulos, el primero describe las generalidades de los lodos de perforación y de algunos aditivos encargados de controlar la viscosidad, la pérdida de filtrado entre otras propiedades. El segundo capítulo realiza una detallada descripción de las características, la obtención y la adecuación tanto del plátano en si como del almidón de plátano para su uso experimental en el laboratorio. El tercer capítulo contiene información concerniente con el diseño experimental del proyecto, el análisis estadístico y económico de los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio.

---

\* Trabajo De Grado

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

## ABSTRACT

**TITLE: FEASIBILITY OF USING PLANTAIN STARCH AS A DRILLING FLUID ADDITIVE\***

**AUTHORS:**

Adrian Camilo Fajardo Molina

Carlos José Rodríguez Rodríguez\*\*

**KEYWORDS:** Viscosifiers, Fluid Loss Control Agents, Starch, Plantain, Viscosity Yield Test, Fluid Loss Control Test.

**DESCRIPTION:**

Hartón dominico Plantain (*Musa Paradisiaca* L) is a massive production commodity in Colombia. This remarks special reachibility of source material. Also Colombian government provides financial assistance for its production and this brings lots of economical advantages in order to purchase the product anywhere in the national territory. Plantain starch is composed by a linear molecular fraction (amylose) and by a branched molecular fraction (amylopectin). In order to activate amylose (viscosifier agent), the amylopectin molecular branched chain must be teared apart; this component has shown in practice quite interesting functionality and characteristics which could upgrade drilling fluids programs, these characteristics are: drilling fluids viscosifiers, fluid loss control agent and bentonite extender. This project has assured the feasibility of using the plantain starch as a brand new drilling mud additive due its viscosity yield, cost, and biodegradability.

This project is highly structured in three main chapters; the first one describes drilling muds, viscosifiers, fluid loss control agents and some other properties generalities. Second chapter makes a meticulous plantain starch characteristics, extraction and preparation description quite necessary for its use in the laboratory. Chapter number three contains information related to project experimental design, statistical and economical analysis of data obtained from laboratory tests.

---

\*Thesis of Grade

\*\*Faculty Of Physical-Chemical Engineering, Petroleum Engineering School, Director M. Sc Emiliano Ariza Leon

## INTRODUCCIÓN

La perforación de pozos ha evolucionado de manera vertiginosa en el desarrollo tecnológico de los equipos utilizados para perforar y en los fluidos que usamos para hacer esta actividad posible de acuerdo con la profundidad proyectada del pozo, las formaciones que se van a atravesar y las condiciones propias del subsuelo.

Actualmente se busca la optimización de los lodos, sin importar su base o características iniciales, el proceso de optimización consta de un objetivo general claramente identificable: reducción de costos, esta se puede conseguir de distintas maneras, pero para efecto de este proyecto solo se tendrá en cuenta, el uso de un nuevo producto de origen natural que es de amplia producción en el territorio nacional y evita la contaminación del medio ambiente.

Por consiguiente, la factibilidad del uso del almidón de plátano como aditivo para lodos de perforación, representaría una reducción de costos que beneficia principalmente a las empresas prestadoras de servicios de perforación ya que pueden redirigir el excedente de presupuesto a desarrollar nuevas tecnologías o nuevos productos que realimentan el proceso, a su vez generando estabilidad económica frente al escenario financiero. Este proyecto, además de beneficiar a los cultivadores del plátano que muchas veces pierden sus cosechas por sobreproducción o mal manejo del producto, también pretende beneficiar al medio ambiente mediante porque es biodegradable, teniendo en cuenta que la industria petrolera aporta gran parte de la contaminación industrial que ha desencadenado procesos como el efecto invernadero que amenaza la estabilidad del medio ambiente de manera radical, lo cual perjudica nuestra existencia y posiblemente evitara la llegada de futuras generaciones.

La razón de este proyecto es crear conciencia tanto en la industria como en la población universitaria y dar a conocer la importancia de usar recursos naturales de una manera eficiente e inteligente para poder disminuir los efectos negativos de la industria sobre el medio ambiente; además de servir como punto de partida para otros proyectos concernientes a esta área de la ingeniería de petróleos y en general a todas las industrias que lleguen a estar relacionadas.

## **1. GENERALIDADES SOBRE LA INGENIERÍA DE LODOS**

La ingeniería de lodos busca a diario aumentar la calidad y optimización de los fluidos que circulan en los pozos, indispensables para realizar el proceso de perforación de pozos de carácter petrolífero.

### **1.1 OPTIMIZACIÓN DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN<sup>1</sup>**

La optimización de perforación es el proceso lógico de analizar efectos e interacciones de las variables pertenecientes a la perforación a través de modelamiento matemático con el fin de lograr la mayor eficiencia de perforación, la cual se ve reflejada en una reducción de costos significativos. El proceso involucra el post-avalúo de los registros de perforación para determinar la efectividad de costo de las variables de control seleccionadas, las cuales incluyen tipo de lodo, hidráulica, tipo de broca, peso sobre la broca, y velocidad de rotación. También se debe crear cierta flexibilidad en el programa con el fin de permitir cambios técnicos a la hora de encontrar ciertos problemas no esperados.

En la década de los 40, los investigadores se concentraron sobre la composición y el control del lodo de perforación. Muy poca atención se prestó a la tasa de penetración. El objetivo simplemente se remitía a la perforación, al completamiento y la puesta en producción del pozo.

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 para producir una viscosidad y unas propiedades de control de pérdidas de filtrado

---

<sup>1</sup> Indagado de: Drilling Fluids Optimization. James L. Lummus And J.J. Azar

deseadas con el fin de establecer la menor cantidad de materias primas para producir el sistema de lodo determinado. También trataron de relacionar las propiedades del lodo con la estabilidad del pozo y la efectividad en la limpieza del pozo.

A finales de los 50 la química del lodo había avanzado hacia la etapa donde las propiedades del lodo podrían ser controladas entre cierto límite específico mediante el uso de una variedad de productos disponibles en la torre de perforación. Sin embargo, los investigadores en la ingeniería de fluidos se dieron cuenta que, aún teniendo un efectivo control de las propiedades del lodo, las condiciones del mismo casi siempre se veían afectadas de manera negativa en vez de verse afectadas de manera positiva. Se supuso que ciertas formaciones, principalmente shales, serían inestables aun teniendo propiedades de lodo dentro de los parámetros de guía. La idea que “lodos perfectos no necesariamente significan pozos perfectos” impulso a los ingenieros a desarrollar un mejor entendimiento de la relación de la química de los lodos y el comportamiento del pozo.

Los elementos más importantes en una optimización de perforación son:

- Avalúo de los registros del pozo de control
- Planeación y preparación de un programa
- Implementación de unas directivas a seguir durante la perforación del pozo optimizado
- Análisis de resultados obtenidos en el pozo optimizado

El programa que se suministra al personal de campo para su posterior implementación debe reflejar cuidadosamente un estudio de los problemas encontrados en los pozos de control y sugiere posibles soluciones a estos. Las directivas de este programa deben ser lo más sólidas y concisas posible, pero a su

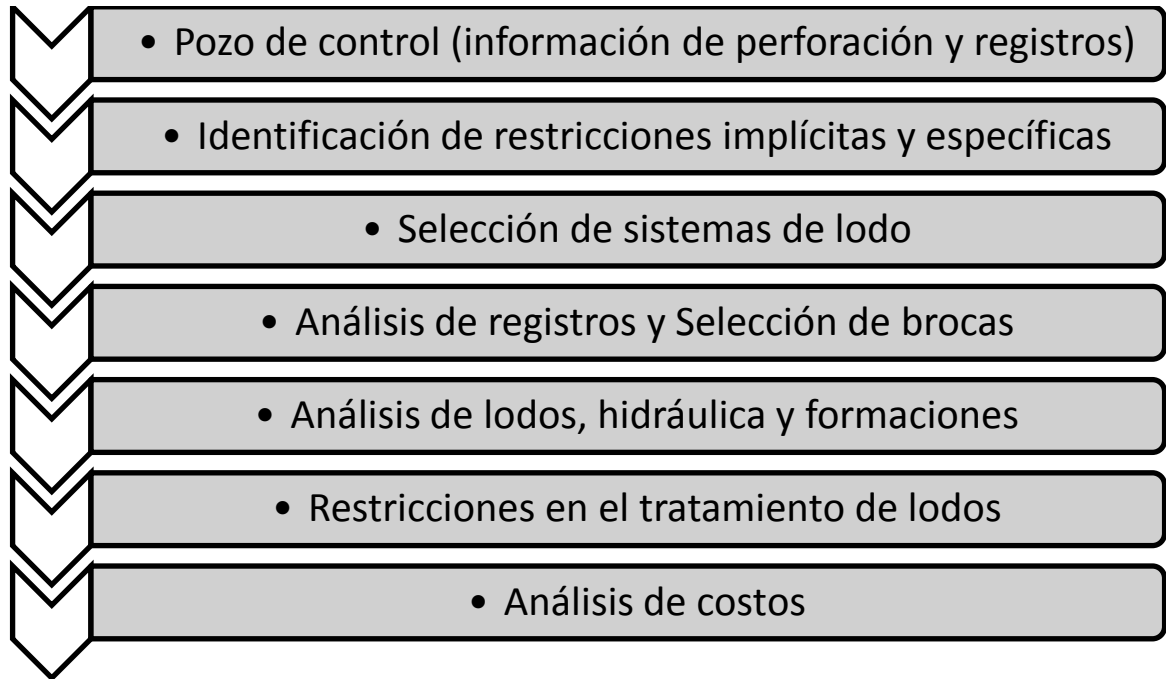
vez deben ser lo suficientemente flexibles con el fin de permitir una fusión entre la planeación realizada con varios meses de anticipación y la improvisación llevada a cabo por los encargados de ejecutar el programa fundamentada en años de experiencia.

La filosofía del programa de optimización de perforación dice que este se debe abordar de la siguiente forma:

- Lodo de perforación: estabilidad del pozo, limpieza del pozo y capacidad de perforación.
- Hidráulica: limpieza de la broca, limpieza del pozo, estabilidad de pozo.
- Tipo de broca: énfasis especial en la selección de la broca apropiada para una formación específica.
- Peso óptimo sobre la broca y velocidad de rotación óptima para la broca seleccionada.
- Anticipación de problemas y soluciones recomendadas.
- Ahorros anticipados.

El programa de optimización de perforación (Esquema 1) debe estar construido de tal forma que sea de fácil entendimiento para las personas que lo van a llevar a cabo, también debe estar seccionado en partes que resuman toda la información necesaria para la optimización con el fin de agilizar la búsqueda de las variables críticas que van a ser reevaluadas durante el programa, de esta manera se establece un diagrama de flujo donde se simplifica todo el proceso.

## Esquema 1. Diagrama De Flujo Para Un Programa De Optimización De Perforación



Fuente: Drilling Fluids Optimization. James L. Lummus and J.J. Azar. Pag.14

Como se puede observar en el Esquema 1, aproximadamente el 40% del proceso de optimización de perforación recae sobre el control y el desarrollo de los lodos de perforación.

### 1.2 FUNCIONES DE LOS LODOS DE PERFORACIÓN

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. Esto quiere decir que ninguna operación de perforación se puede llevar a cabo sin un fluido de perforación, también se puede inferir que esta definición aunque no está mal, no es muy descriptiva con respecto a las funciones que cumple un fluido de perforación, de acuerdo con 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 apropiado 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”.

Las principales funciones de un fluido de perforación son:

- **Remoción de ripios de perforación.** El flujo a través de las boquillas de la broca ejerce una acción en forma de jet sobre la formación que está a punto de ser procesada por la broca en movimiento. El fluido en circulación se eleva desde el fondo del pozo llevando todos los cortes de roca hechos por la broca hacia la superficie a pesar del efecto de la gravedad que intenta devolver estos cortes hacia el fondo del pozo, situación que no permitiría el proceso de perforación; para contrarrestar este problema, se debe utilizar cierto volumen de fluido lo suficientemente rápido teniendo en cuenta algunos factores claves tales como:

*Velocidad*, es la tasa a la cual el lodo circula, y la velocidad anular es un factor importante en el transporte de los cortes hacia la superficie. Usualmente se usan velocidades anulares entre 100 y 200 ft/min, estas dependen de la capacidad de la bomba, velocidad de la bomba, tamaño del pozo, y tamaño de la tubería de perforación.

Densidad, masa por unidad de volumen de lodo y tienen un efecto boyante sobre las partículas. Incrementando la densidad del lodo se aumenta su capacidad de carga debido al efecto boyante y la interferencia con otros sólidos.

*Yield point* y *fuerza de gel*, estas variables controlables deben mantenerse dentro de un nivel aceptable para maximizar la remoción de cortes, estas propiedades se pueden controlar mediante el uso de aditivos. A pesar que las ecuaciones de transporte de cortes son bastante complejas existen varias reglas de la mano derecha tales como para pozos verticales usar un yield point entre 3 y 15 lb/100sqft con el fin de asegurar un perfil de flujo laminar en la tubería de perforación y fuerzas de gel inicial entre 2 y 8 para mantener en suspensión a los cortes de perforación y al material que le da consistencia al lodo.

- **Refrigeración y lubricación de la broca.** Durante la perforación se genera bastante calor debido a la fricción entre la broca y la formación que está siendo perforada. El fluido de perforación ayuda a conducir este calor producido hacia la superficie. El fluido de perforación también puede lubricar la broca, ya que reduce la fricción que esta tiene con la formación gracias a la presencia de varios aditivos emulsificantes tales como la bentonita, estos aditivos también disminuyen el torque, incrementando así la vida útil de la broca y reduciendo la presión en las bombas.
- **Estabilización de la cara del pozo y control de presión de las formaciones adyacentes.** Un buen lodo de perforación debe crear una retorta de filtrado lo suficientemente eficiente como para consolidar la formación y retardar el paso de fluidos hacia la formación. Usualmente la presión ejercida por una columna de agua mas algunos sólidos en suspensión suele ser suficiente para contrarrestar las presiones normales de las formaciones, pero existen ciertos casos donde se presentan presiones anormales que pueden poner en riesgo la integridad de las operaciones de perforación, con el fin de evitar esto se debe crear un fluido de perforación con la suficiente densidad capaz de generar la presión necesaria para controlar el exceso de presión de la formación que se está perforando.

$$\text{Presión Hidrostática} = (0,052)(\text{Densidad del lodo})(\text{Profundidad})$$

*Presión hidrostática (psi)*

*Densidad del lodo (lb/gal)*

*Profundidad (ft)*

Ecuación. Presión hidrostática en unidades de campo

- **Soporte del peso de la sarta de perforación y del casing.** Al aumentar la profundidad de perforación, el peso que tienen que soportar la torre de perforación adquiere un tono crítico a la hora de realizar cualquier actividad. Teniendo en cuenta que tanto la sarta de perforación como el casing son mantenidos a flote gracias a una fuerza igual al peso del fluido desplazado, esto quiere decir que un aumento en la densidad del lodo usado en la perforación disminuirá la cantidad de peso que la torre de perforación debe soportar en superficie.
- **Permitir una adecuada evaluación de la formación.** Usualmente solo se prestaba atención a la optimización de la tasa de perforación y a la estabilidad del pozo, sin contar con un parámetro base en la producción de hidrocarburos: análisis válido de la capacidad del yacimiento para producir hidrocarburos. Al usar ciertos aditivos base aceite en los fluidos de perforación se perdía cierta capacidad para interpretar los registros obtenidos de cada pozo, desencadenando así falsa información acerca de la capacidad real de producción de estos. Con el fin de evitar que esto suceda se debe recurrir a una optimización en otros parámetros anteriormente mencionados con el fin de asegurar una adecuada evaluación de la formación, la cual finalmente dictará si un yacimiento es económicamente atractivo o no. <sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Indagado de:

Drilling Fluids Optimization. James L. Lummus and J.J. Azar.  
Drilling Fluid Engineering Manual. Magco bar division oilfield products group  
dresser industries, inc

### 1.3 VISCOSIDAD EN LODOS DE PERFORACIÓN Y AGENTES VISCOSIFICANTES

#### VISCOSIDAD

La viscosidad es un término usado en la ingeniería de petróleos para definir la fricción interna generada por un fluido cuando este es forzado a fluir. Mayor resistencia a fluir indica una mayor viscosidad del líquido. Esta fricción interna conocida como esfuerzo de corte ( $\tau$ ) es el resultado de la atracción entre las moléculas de un líquido, y se expresa en unidades de lb-f/100 ft<sup>2</sup>. Cuando se aplica una fuerza a un fluido con el fin de que este fluya, se genera un efecto resultante conocido como tasa de corte ( $\gamma$ ), la cual se define como el gradiente de velocidad a lo largo de las capas de fluido adyacentes cuando se presenta un flujo laminar. La tasa de corte tiene dimensiones de  $\text{seg}^{-1}$ .

La viscosidad se relaciona directamente a la remoción de ripios, suspensión de ripios y material que adiciona peso cuando no se está circulando el fluido de perforación, reducción de los efectos adversos sobre la cara del pozo y a la adquisición de información acerca de las formaciones perforadas; en caso que la viscosidad no sea controlada durante la perforación debido a la adición de sólidos tanto activos como inertes provenientes de las formaciones que fueron perforadas, se pueden acarrear problemas operacionales tales como:

- Aumento de la presión en las bombas de lodo
- Pérdida de circulación
- Patadas de gas
- Exceso de arena y otros materiales pueden corroer los equipos de perforación

**Viscosidad aparente:**

Se define como la viscosidad de un fluido en caso que este estuviese regido por un modelo newtoniano, 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.

**Viscosidad plástica:**

Se define como la medida de la resistencia interna al flujo debido a la interacción de los sólidos en un fluido de perforación, también se da en centipoises. Se reconoce como un indicativo del número, tipo y tamaño de las partículas. Un aumento en el contenido de sólidos se verá reflejado en un aumento en la fricción interna de las partículas resultando en una mayor viscosidad plástica.

**Fuerza de gel:**

Se define como la medida de las fuerzas eléctricas de atracción dentro del fluido de perforación durante condiciones estáticas, esta medición se hace a los 10 segundos.<sup>3</sup>

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

**Bentonita:**

Principalmente compuesta por montmorillonita 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 que presentan sus gránulos. 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.

**Attapulgita:**

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:**

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.

**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.

**Carboximetilcelulosa (CMC):** Se crea mediante la adición de una cadena carboximetil a una espina celulósica. Este proceso cambia el status de no solubilidad de la celulosa en agua, a un status de solubilidad en agua de la CMC. 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.

**Grafica 1. Estructura Molecular De La Celulosa**

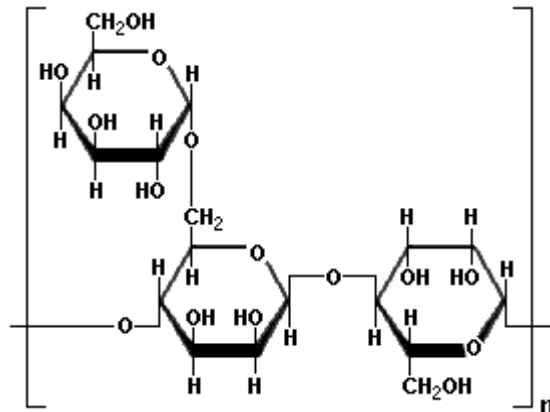


Fuente: [www.scientificpsychic.com](http://www.scientificpsychic.com)

**Celulosa carboximetil de sodio:** Posee acción doble, es controlador de filtrado y viscosificante; esta propiedad viscosificante puede ser ajustada de acuerdo al grado de polimerización usado para aumentar el peso molecular de este, no necesita protección antibacteriana y puede funcionar hasta los 250°F

**Goma Guar:** Es un polisacárido de alto peso molecular no anionico, derivado de la semilla de la planta Guar. El proceso de manufactura se remite a remover el endosperma de la semilla de la planta y luego molerlo hasta un tamaño adecuado. 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.

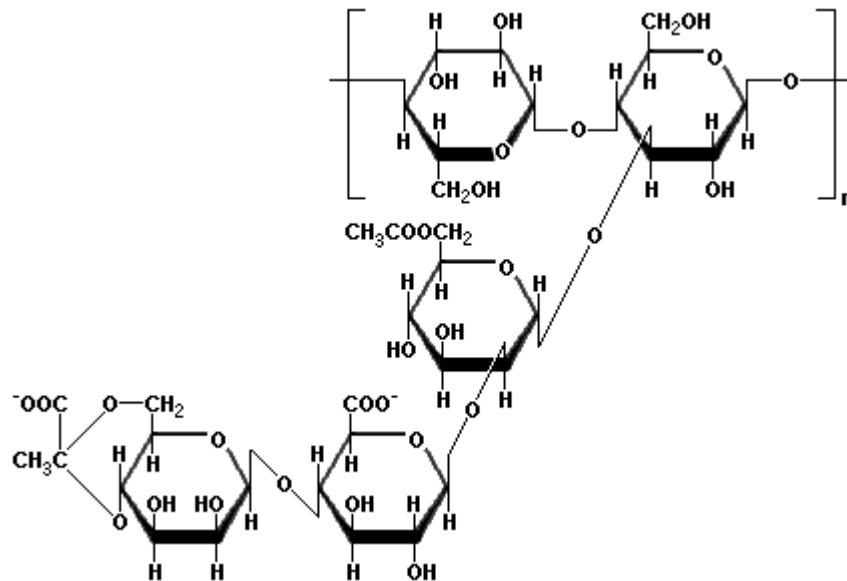
**Grafica 2. Estructura Molecular De La Goma Guar**



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 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.

**Grafica 3. Estructura Molecular De La Goma Xanthan**

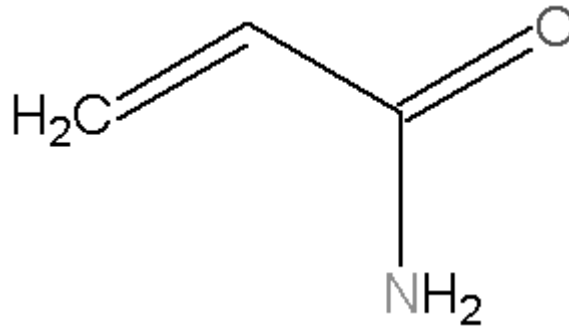


Fuente: [www.scientificpsychic.com](http://www.scientificpsychic.com)

**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.

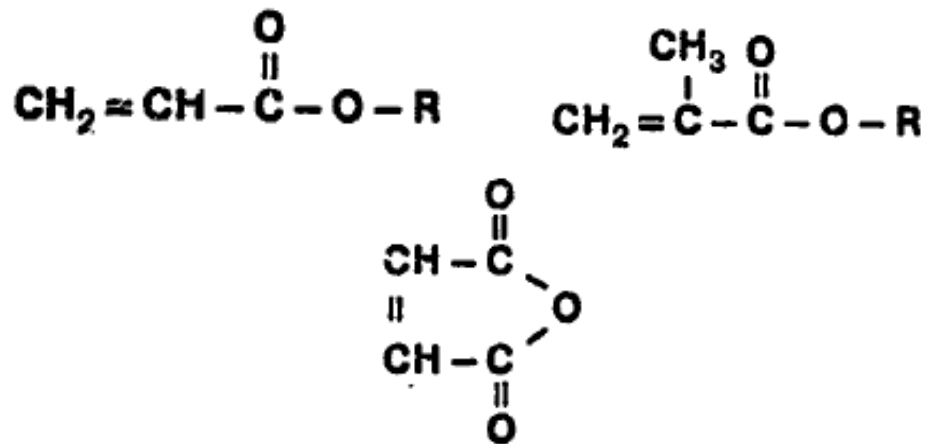
**Grafica 4. Estructura Molecular De La Acrilamida**



Fuente: [www.uprm.edu/biology/profs/velez/acrilamida.htm](http://www.uprm.edu/biology/profs/velez/acrilamida.htm)

**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 extensores de las propiedades de la bentonita.

**Grafica 5. Estructuras Moleculares De Ester Acrílico, Ester Metacrílico Y Anhídrido Maleico.**



Fuente: Description and use of polymers used in drilling, workovers, and completions pag 9.

**Tabla 1. Clasificación General De Polímeros Por Su Acción**

ADSORBENTES (FLOCULACIÓN)	VISCOSIFICANTES
Ben-Ex	Duovis
Rapidrill	XC-Polymer
Lo-Sol	H.E.C.
Drillaid 421	My-Lo-Jel
MF-1	Magco-Poly-Sal
Separan 273	Drispac
WL-100	
Cypan	
Drillaid 425	

Fuente: Magco-bar Division Oilfield Products Group

Los adsorbentes trabajan en las arcillas mientras que los viscosificantes trabajan sobre la fase líquida; ambos resultan en un incremento de la viscosidad.

El agua es prácticamente un fluido de perforación ideal, sin embargo cuando se perfora con agua, se incorporan sólidos provenientes de las formaciones perforadas los cuales no se asientan sino que permanecen en suspensión. 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.

En la tabla 1, podemos observar los diferentes tipos de viscosificantes usados en la industria petrolera, su descripción funcional primaria y su nombre de acuerdo a la empresa que los comercia.<sup>4</sup>

**Tabla 2. Agentes Viscosificantes Comerciales**

<b>AGENTES COMERCIALES VISCOSIFICANTES</b>					
<b>Descripción</b>	<b>MAGCOBAR</b>	<b>IMC</b>	<b>BAROID</b>	<b>MILCHEM</b>	<b>APLICACIÓN PRIMARIA</b>
<b>Bentonita</b>	Magcogel	Imcogel	Aquagel	Milgel	Viscosificante y controlador de filtrado para lodos base agua
<b>Bentonita beneficiada</b>	Kwik Thik	HYB	Quickgel	Supercol	Viscosificante rápido en lodos base agua
<b>Attapulgita</b>	Salt Gel	BrineGel	ZeoGel	Salt water Gel	Viscosificante en lodos salados
<b>Fibras de asbesto</b>	Visbestos	Super best	Flosal	Flosal	Viscosificante tanto en lodos base agua fresca como salados
<b>Fibras de</b>	Super	Super	Super	Super	Viscosificante

<sup>4</sup> Thermal stability of starch and carboxymethyl cellulose based polymers used in drilling fluids. David C. Thomas

<b>AGENTES COMERCIALES VISCOSIFICANTES</b>					
<b>Descripción</b>	<b>MAGCOBAR</b>	<b>IMC</b>	<b>BAROID</b>	<b>MILCHEM</b>	<b>APLICACIÓN PRIMARIA</b>
<b>asbesto mejoradas</b>	Visbestos	Visbestos	Visbestos	Visbestos	tanto en lodos base agua fresca como salados
<b>Polímero producido por acción bacteriana</b>	Duovis	XC	XCPolymer	XCPolymer	Viscosificante y controlador de filtrado para lodos con bajo contenido de sólidos
<b>Goma Guar</b>	Lo Loss				Viscosificante y aditivo para perdidas de fluido en lodos con bajo contenido de sólidos

Fuente: Drilling Fluid Engineering Manual, Magcobar Division.

## 1.4 FILTRACIÓN Y AGENTES DE CONTROL DE FILTRADO

### FILTRACIÓN

Se define la pérdida de fluidos como la acción del paso de fluidos del lodo hacia la formación debido a la presencia de una permeabilidad lo suficientemente alta como para permitirlo. Si la permeabilidad es demasiado alta, inicialmente el lodo tenderá a llenar estos espacios vacíos en la cara del pozo. Posterior a este suceso, se empieza a formar un paquete de sólidos pertenecientes al lodo mejor conocido como retorta; esta retorta se forma en la pared del pozo y tiene como función disminuir la permeabilidad de la formación con el fin de disminuir la pérdida de lodo hacia la formación.

Las leyes 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 en que estas están distribuidas.

Por medio de la experiencia se ha desarrollado un conocimiento acerca del valor estándar mínimo de pérdida de agua que se debe mantener con el fin de ejecutar operaciones sin ningún tipo de problemas o contratiempos. Las pruebas a baja Presión y a baja temperatura, solo sirven como una guía para ciertos casos de prueba ya que actualmente las presiones y las temperaturas que se manejan durante la perforación de un pozo son varios grados más altas conllevando así a malinterpretaciones en los resultados, por lo tanto se deben ejecutar pruebas a condiciones más acordes a las condiciones reales como por ejemplo presiones de 500 psi y temperaturas de 300 °F.

Existen dos tipos de filtración, la filtración dinámica ocurre cuando el lodo está circulando a diferencia de la filtración estática la cual actúa cuando el lodo de perforación se encuentra detenido.

La filtración dinámica difiere de la estática en el hecho que el flujo de lodo en 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 se iguala 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 de 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.

## **Problemas relacionados al control de filtración**

Existe cierto número de problemas que ocurren durante las operaciones de perforación y completamiento debido a lodos con características defectuosas de filtración. Altas tasas de filtración y retortas con demasiado pueden ser causadas y/o causar los siguientes inconvenientes técnicos:

- Zonas apretadas en el pozo que causan arrastre excesivo.
- Aumentos en la Presión debido al movimiento de la sarta de perforación a través de un diámetro reducido.
- Diferencial de Presión debido a la incrementada área de contacto entre la tubería y la retorta.
- Problemas de cementación debido al pobre desplazamiento del lodo deshidratado y a retortas demasiado espesas.
- Problemas de evaluación de la formación debido a la excesiva invasión del filtrado y retortas demasiado gruesas.
- Daño a la formación en exceso debido al filtrado.

La mayoría de estos problemas no son causados por la cantidad de filtrado que se pierde hacia la formación, pero si son causados por la retorta de lodo que es dejada en las paredes del pozo. Los únicos problemas causados por una excesiva pérdida de fluidos son concernientes a la evaluación de la formación y al daño de la formación. Cuando entran grandes volúmenes de filtrado a la formación, los fluidos de la formación pueden ser desplazados de la zona cerca a la cara del pozo y así de esta manera engañar a las herramientas de registros de pozos. Las herramientas de evaluación de la formación también pueden recuperar algo del filtrado, haciendo aun más difícil la identificación del verdadero fluido presente en la formación.

## Factores que afectan la filtración

- Tiempo

La pérdida de fluidos de acuerdo con las especificaciones API, se ha tomado a un tiempo de referencia igual a 30 minutos. En caso que no se cuente con el suficiente tiempo para realizar la prueba a 30 minutos, se puede utilizar la siguiente relación.

$$Q2 = Q1 \sqrt{\frac{T2}{T1}}$$

Donde:

Q2 = Cantidad de filtrado a 30 minutos (cm<sup>3</sup>)

Q1 = Cantidad de filtrado a 7 ½ minutos (cm<sup>3</sup>)

T2 = Duración de la prueba API (30 minutos)

T1 = Duración de la prueba a (7 ½ minutos)

- Presión

En el caso que el medio de filtración fuese homogéneo, la cantidad de filtrado variaría proporcionalmente a la raíz cuadrada de la Presión. Esto no existe en la realidad ya que la retorta está sujeta a compresibilidad y la continúa deposición de material; por lo tanto cambia tanto en porosidad como en permeabilidad. Si el aumento de presión deforma las partículas en una retorta o las fuerza a juntarse, esto podría repercutir en disminución de la permeabilidad. Si la permeabilidad disminuye entonces el efecto del aumento de presión sobre la pérdida de fluido debería también disminuir en la misma cantidad, esto quiere decir que la presión de filtración sobre la pérdida de fluidos es función de la compresibilidad de la retorta.

- Efecto de la permeabilidad de la torta

La manera más eficiente de controlar la pérdida de fluidos es el control de la permeabilidad de la torta de lodo. El tamaño, la forma y la habilidad de las partículas para deformarse bajo la presión son factores esenciales en el control de la permeabilidad. Partículas pequeñas tienden a formar tortas aun menos permeables que aquellas formadas por partículas grandes. Por lo tanto se puede afirmar que un producto diseñado para ofrecer un excelente control de permeabilidad debe poseer partículas menores a 1 micrón.

Las partículas planas son más efectivas que las esféricas y que las partículas de forma irregular, ya que pueden formar una torta mejor empacada; si las partículas pueden ser deformadas por la Presión, la torta estaría aun mejor empacada. Las partículas de bentonita parecen cumplir con todos los requisitos, estas son pequeñas (menores a 0,05 micrones), también son de forma plana y bastante delgada en comparación a sus dimensiones planares. Estas partículas también forman tortas bastante compresibles; a medida que el grado de hidratación de las partículas se incrementa, la permeabilidad de la torta resultante disminuye. Las tortas de bentonita en agua fresca tienen permeabilidades cercanas a 1 milidarcy.

- Temperatura

Un aumento en la temperatura usualmente repercutirá en un incremento en las tasas de filtración. Un aumento en la temperatura disminuirá la viscosidad de la fase líquida lo cual se convertirá en un aumento de la pérdida de fluidos si y solo si los otros factores permanecen constante; en este caso la cantidad de filtrado variara proporcionalmente con la raíz cuadrada de la viscosidad de la viscosidad del fluido.

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

Donde:

Q2 = Cantidad de filtrado desconocida a  $\mu_2$  (cm<sup>3</sup>)

Q1 = Cantidad de filtrado conocida a  $\mu_1$  (cm<sup>3</sup>)

- Dispersión

También es necesaria una apropiada dispersión de las arcillas en forma coloidal en el lodo. Cuando las partículas están bien dispersas, se alcanza unas muy buenas características filtración, en un lodo floculado el filtrado fácilmente pasa entre los agregados del lodo resultando en una mayor cantidad de fluido perdido.<sup>5</sup>

## **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.

### **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 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>5</sup> Indagado de: Drilling Fluids Optimization. James L. Lummus And J.J. Azar

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, y la capacidad de hidratarse además de comprimirse bajo Presión.

### **ALMIDÓNes:**

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 ALMIDÓNes. En lodos base agua, la adición de ALMIDÓNes no solo disminuye la cantidad de fluido perdido sino que también estabiliza el lodo. La mayoría de los ALMIDÓNes usados en la industria petrolera son hechos de maíz. El almidón se separa del maíz y es especialmente procesado para incrementar rápidamente su capacidad de hinchamiento y de gelatinización para asegurar una máxima reducción en la pérdida de fluido. 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:**

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.

### Dispersantes químicos

Una dispersión mejorada generalmente resulta en un decremento en la cantidad de filtrado. Esto es un resultado de la distribución homogénea de los tamaños de las partículas sólidas presentes en el fluido. La habilidad de los dispersantes para reducir la pérdida 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.

**Tabla 3. Agentes Comerciales De Control De Filtrado**

AGENTES COMERCIALES DE CONTROL DE FILTRADO					
Descripción	MAGCOBAR	IMC	BAROID	MILCHEM	APLICACIÓN PRIMARIA
Polímero orgánico	Resinex	PolyRX			Control de filtrado y estabilización de lodos base agua a altas temperaturas
Almidón pre-gelatinizado	My-Lo-Jel	ImcoLoid	Impermex	Milstarch	Control de filtrado en lodos base agua, lignosulfonatados y con presencia de durezas
Celulosa carboximetil	Magco-CMC	ImcoCMC	Cellex	CMC-MV	Control de filtrado y suspensión de barita en lodos base agua
Celulosa polianionica	Drispac	Sure-Trol	Drispac	Drispac	Control de filtrado y viscosificante en lodos salados
Poliacrilato de sodio	Cypan WL-100	Cypan WL-100	Cypan WL-100	Cypan WL-100	Control de fluidos en lodos no dispersos, con bajo contenido de sólidos y libres de calcio
Bentonita	Magcogel	Imcogel	Aquagel	Milgel	Viscosificante y controlador de filtrado para lodos

AGENTES COMERCIALES DE CONTROL DE FILTRADO					
Descripción	MAGCOBAR	IMC	BAROID	MILCHEM	APLICACIÓN PRIMARIA
					base agua
Goma Guar	Lo Loss				Viscosificante y aditivo para perdidas de fluido en lodos con bajo contenido de sólidos
Lignosulfonato modificado	Spersene	VC-10	Q-Broxin	Uni-Cal	Desfloculante y coloide protectivo
Tanino modificado	Desco	Desco	Desco	Desco	Adelgazante y coloide protectivo
Lignito	TannAthin	Imco Lig	Carbonox	Ligco	Desfloculante, emulsificante y aditivo suplementario para control de filtrado
Lignito modificado	XP-20	ImcoThin	CC-16	Ligcon	Lignito modificado como aditivo suplementario al Lignosulfonato modificado
Extracto de tanino	MC-Quebracho	ImcoQBT	Tannex	Tanco	Adelgazante y coloide protectivo

Fuente: Drilling Fluid Engineering Manual, Magcobar Division.

## 1.5 USO DE ALMIDÓNES EN FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Existen muchas áreas donde la perforación con agua dulce es de amplio uso. Solo la perforación con aire, espumas u otros fluidos neumáticos puede ofrecer tasas de perforación más altas que la perforación con agua dulce. Estos fluidos de perforación de baja densidad también reducen los riesgos de la pérdida de circulación. La perforación con agua dulce se aplica a áreas de presión de formación normal y a áreas donde las arcillas no sean gran problema.

El uso más común de los polímeros es como controlador de filtrado, usualmente como un aditivo suplementario a la bentonita o a otros químicos. La cantidad de material usado para el control de filtrado es mucho mayor que la usada para la modificación de la viscosidad, la floculación y la estabilización de arcillas.

La mayoría de los fluidos de perforación con bajo contenido de sólidos están compuestos por agua con cantidades variables de bentonita y un polímero. Los polímeros se adicionan al sistema para aumentar la viscosidad mediante la floculación o por medio de la viscosificación del agua. En algunos casos se obtiene control de pérdida de fluidos. Los polímeros se pueden clasificar de acuerdo a su estructura molecular o por su acción o función sobre un lodo.

La mayor diferencia en los polímeros se remite a la definición de si son materiales sintéticos o naturales. En general, las gomas son materiales más complejos y por lo tanto más estables bajo condiciones adversas. Esta complejidad estructural también se refleja en una complejidad reológica, dando características menos Newtonianas. Los derivados celulósicos, a pesar de ser una combinación de materiales sintéticos y naturales poseen características muy parecidas a las de los materiales sintéticos, los cuales realizan su función mediante la acción de sus cargas ya sean positivas o negativas además de su peso molecular.

## **Clasificación De Polímeros De Acuerdo A Su Origen**

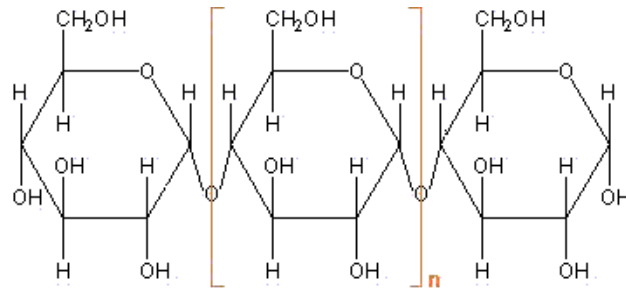
### **Polímeros Naturales**

#### ALMIDÓNes.

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 usó el almidón de maíz, pero últimamente el uso del almidón de papa se ha incrementado dramáticamente. Ambos ALMIDÓNes deben ser

procesados con el fin de hacerlos solubles en agua fría. También ambos ALMIDÓNes son susceptibles a la degradación bacteriana. Sin embargo casi siempre vienen mezclados con preservativos.

**Grafica 6. Estructura Molécula Del Almidón**



Fuente: Alternative environmental testing of drilling fluids: an international perspective. F.V. Jones and A.J.J.Leuterman, M-1Drilling Fluids

**Tabla 4. Características De Algunos ALMIDÓNes**

TIPO DE ALMIDÓN	Maíz	Trigo
Amilosa	27%	24%
Forma del granulo	Angular poligonal, esférico	Esférico o lenticular
Tamaño	5 – 25 micras	11 – 41 micras
Temperatura de gelatinización	62 - 72 °C	58 – 64 °C
Características del gel	Viscosidad media, muy alta tendencia a gelificar	Viscosidad baja, alta tendencia a gelificar

Fuente: Starch grain evidence for the preceramic dispersals of maize and root crops into tropical dry and humid forests of Panamá. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. Dickau, R., A.J. Ranere y R.G. Cooke (2007).

## Polímeros Sintéticos

## **Duovis**

Es un polímero de cadena larga de polisacáridos producido por bacterias. Cuando este se hidrata produce viscosidad, fuerza de gel y control de filtrado tanto en agua fresca como en agua salada. Los sistemas Duovis son únicos ya que poseen baja viscosidad a altas tasas de corte y altas viscosidades a bajas tasas de corte. Esto resulta en viscosidades más bajas en la sarta de perforación, a través de las boquillas de la broca, y debajo de la broca provocando una mejor eficiencia hidráulica. A medida que la tasa de corte disminuye, como en el anulo, la viscosidad aumenta. Esta viscosidad aumentada brinda una excelente capacidad de transporte.

El sistema Duovis también es compatible con la mayoría de aditivos y trabaja en presencia de todos los contaminantes comunes, trabaja a temperaturas menores a los 250°F, temperaturas mayores podrían degradar el sistema.

La principal aplicación de Duovis es como viscosificante de fluidos de perforación base agua, pero también trabaja muy bien como viscosificante en sistemas base salmuera.

**Tabla 5. Propiedades Reologicas De Los Sistemas Duovis**

CONCENTRACIÓN DE DUOVIS	VISCOSIDAD APARENTE (CP)	VISCOSIDAD PLÁSTICA (CP)	YIELD POINT (LB/100 FT2)
<b>Agua Fresca</b>			
0,5 lb/bbl	6,9	3,8	6,2
1 lb/bbl	9,9	4,7	10,4
1,5 lb/bbl	16	6,5	19
<b>Agua de Mar</b>			
0,5 lb/bbl	5,6	3,1	5
1 lb/bbl	9	4	8
1,5 lb/bbl	15	6	18
<b>Salmuera Saturada</b>			
0,5 lb/bbl	6,8	3,9	5,8
1 lb/bbl	11,6	6,5	10,2
1,5 lb/bbl	17,25	6,5	21,5

Fuente: Drilling Fluid Engineering Manual, Magcoabar Division Oilfield Products Group

### **Benex**

Es un polímero en polvo soluble en agua usado para flocular ripios de perforación y para incrementar el rendimiento de la bentonita. La adición 0,05 lb/bbl de Benex doblara aproximadamente el rendimiento de la bentonita.

La aplicación de Benex para aumentar el rendimiento de la bentonita está limitada a sistemas de fluidos base agua con contenido de sal menores a 30000 ppm.

Benex también actúa como floculante para arcillas no bentoníticas.

### **Sistema KCl-Polímero**

Este sistema está diseñado exclusivamente para perforación de formaciones sensibles al agua. El uso del polímero y la correcta concentración de cloruro de potasio brindan cierta inhibición de las arcillas y lutitas sensibles al agua concediendo así una mayor estabilidad de pozo que los sistemas base agua fresca. El sistema KCL-polímero utiliza el polímero en perforación con lodos base agua como estabilizador de arcillas, como depurador de ripios en el pozo, y como floculador de estos; con la adición de bentonita al sistema, se puede alcanzar una mayor estabilidad de pozo y una mayor limpieza de este.

## **2. GENERALIDADES SOBRE EL ALMIDÓN DE PLÁTANO**

Al realizar un estudio novedoso sobre las características que podría ofrecer de un producto en bajo ciertos ambientes de prueba, se debe realizar un análisis detallado de la composición y de las propiedades pertenecientes al producto en este caso el almidón de plátano.

### **2.1 CARACTERÍSTICAS DEL PLÁTANO**

El plátano no es un árbol, sino una megafobia, una hierba perenne de gran tamaño. Como las demás especies de Musa, carece de verdadero tronco. En su lugar, posee vainas foliares que se desarrollan formando estructuras llamadas pseudotallos, similares a fustes verticales de hasta 30 cm de diámetro basal que no son leñosos, y alcanzan los 7 m de altura.

Las hojas de plátano se cuentan entre las más grandes del reino vegetal; son de color verde o amarillo verdoso claro, con los márgenes lisos y las nervaduras pinnadas. Las hojas tienden a romperse espontáneamente a lo largo de las nervaduras, dándoles un aspecto desaliñado. Cada planta tiene normalmente entre 5 y 15 hojas, siendo 10 el mínimo para considerarla madura; las hojas viven no más de dos meses, y en los trópicos se renuevan a razón de una por semana en la temporada de crecimiento. Son lisas, tiernas, oblongas, con el ápice trunco y la base redonda o ligeramente cordiforme, verdes por el haz y más claras y normalmente glaucas por el envés, con las nervaduras amarillentas o verdes. Dispuestas en espiral, se despliegan hasta alcanzar 3 m de largo y 60 cm de ancho; el pecíolo tiene hasta 60 cm. En las variedades con mayor componente genético de *M. balbisiana* éste es cóncavo por la parte superior, con los extremos

casi tocándose por encima del canal adaxial. De la genética depende también que sea glabro o pubescente.

El elemento perenne es el rizoma, superficial o subterráneo, que posee meristemas a partir de los cuales nacen entre 200 y 500 raíces fibrosas, que pueden alcanzar una profundidad de 1,5 m y cubrir 5 m de superficie. Del rizoma también brotan vástagos o "chupones" que reemplazan al tallo principal después de florecer y morir éste. En los ejemplares cultivados sólo se deja normalmente uno para evitar debilitar la planta, pero en estado silvestre aparecen en gran cantidad; son la principal forma de difusión en las variedades estériles, que son la mayoría.

**Figura 1. Planta De Plátano.**



Fuente: [http://www.botany.hawaii.edu/FACULTY/CARR/images/musa\\_x.jpg](http://www.botany.hawaii.edu/FACULTY/CARR/images/musa_x.jpg)

El fruto tarda entre 80 y 180 días en desarrollarse por completo. En condiciones ideales fructifican todas las flores femeninas, adoptando una apariencia dactiliforme que lleva a que se denomine "manos" a las hileras en las que se disponen. Puede haber entre 5 y 20 manos por espiga, aunque normalmente se trunca la misma parcialmente para evitar el desarrollo de frutos imperfectos y

evitar que el capullo terminal insuma las energías de la planta. El punto de corte se fija normalmente en la "falsa mano", una en la que aparecen frutos enanos. En total puede producir unos 300 a 400 frutos por espiga, pesando más de 50 kg.

El fruto es una falsa baya epígina de 7 a 30 cm de largo y hasta 5 de diámetro, que forma un racimo compacto. Está cubierta por un pericarpo coriáceo verde en el ejemplar inmaduro y amarillo intenso, rojo o bandeado verde y blanco al madurar. Es de forma lineal o falcada, entre cilíndrica y marcadamente angulosa según la variedad. El extremo basal se estrecha abruptamente hacia un pedicelo e 1 a 2 cm. La pulpa es blanca a amarilla, rica en almidón y dulce; en los plátanos puede resultar algo astringente o gomosa por su contenido en látex. Muy rara vez las variedades diploides o tetraploides producen semillas, negras, globosas o irregulares, con la superficie rugosa, de hasta 16 x 3 mm de tamaño, incrustadas en la pulpa.

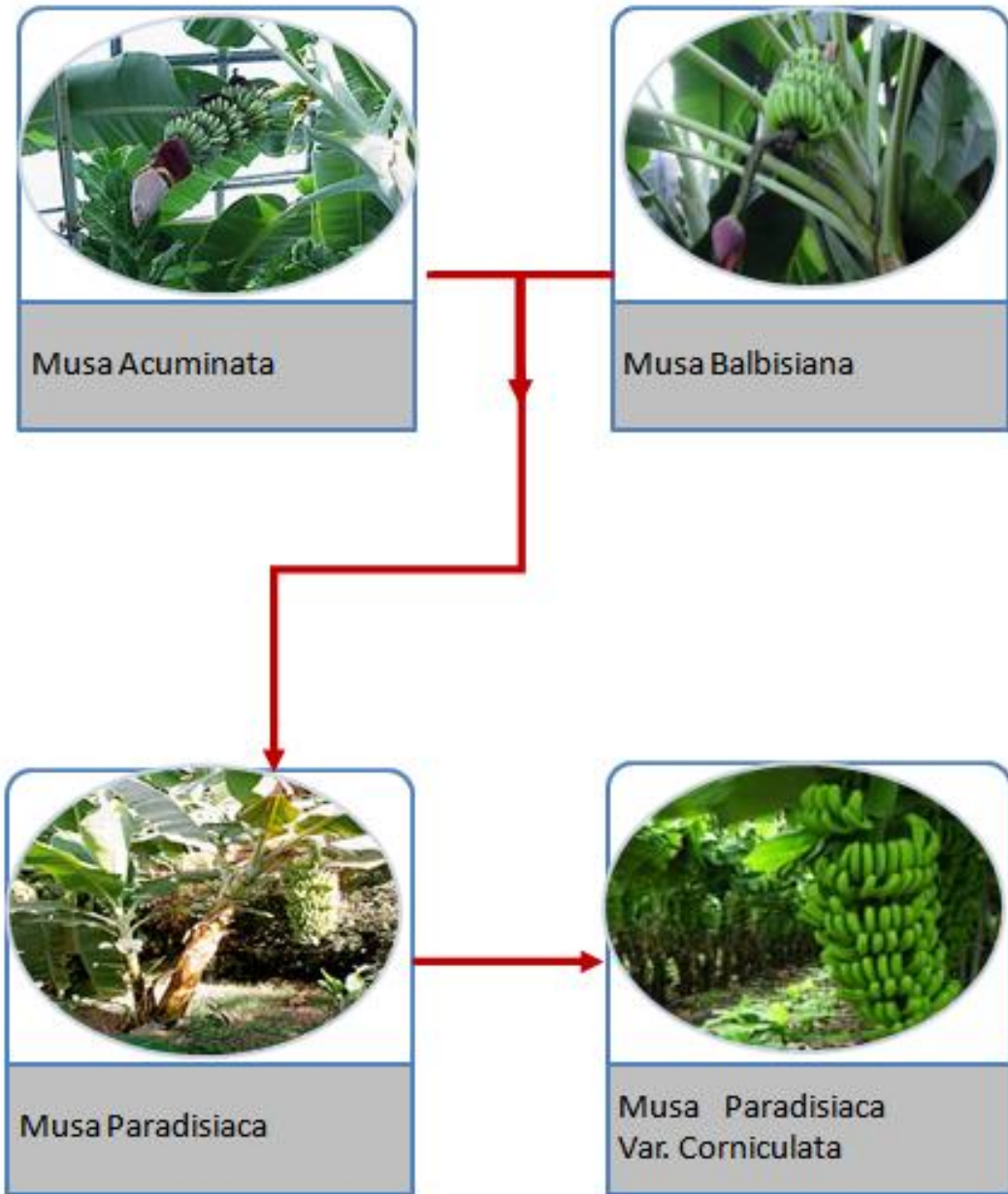
El plátano es una planta monocotiledónea y pertenece al orden Escitamineales, a la familia Musaceae, subfamilia Musoideae y el nombre científico es *Musa AAB*. El género *Musa* contiene entre 30 y 40 especies diploides ( $2n=14, 18, 20, 22$ ) y proviene de los cruces triploides de *Musa acuminata* (A) y *Musa balbisiana* (B) dando origen a los tipos: Horn Plantain (currare), French Plantain (Dominico) y otros clones. En la actualidad, solo dos especies tienen importancia comercial: *Musa acuminata* (plátano) y *Musa balbisiana* (banano).

**Tabla 6. Clasificación**

CLASIFICACIÓN BOTÁNICA DEL PLÁTANO	
Reino	Vegetal
División	Angiosperma
Clase	Monocotiledonea
Orden	Zingiberales
Genero	Musa
Especies	Musa Paradisiaca

Fuente: Botánica Del Plátano.

Esquema 2. Genealogía Del Plátano.



### **2.1.1 Ecología del cultivo**

#### **Clima**

Las zonas tropicales son óptimas para el desarrollo del cultivo de plátano, ya que son húmedas y cálidas. Las condiciones climáticas donde se encuentran ubicadas las zonas de producción, afectan el crecimiento y desarrollo del cultivo. En Colombia se encuentran plantas de plátano en todas las regiones.

La altitud influye sobre la duración del período vegetativo, sin embargo la altitud adecuada para la siembra de plátano está desde el nivel del mar hasta los 2.000 msnm. Para las condiciones ecológicas de Colombia, el período vegetativo del plátano se prolonga 10 días por cada 100 metros de altura sobre el nivel del mar.

La temperatura óptima para el cultivo de plátano es de 26°C. Este factor es el que más afecta la frecuencia de emisión de las hojas y puede alargar o acortar el ciclo vegetativo.

El cultivo de plátano requiere para su normal crecimiento y buena producción de 120 a 150 mm de lluvia mensual o 1.800 mm anuales, bien distribuidos. Las raíces del plátano son superficiales, por lo cual la planta se afecta con el más leve déficit de agua. No obstante, el fenómeno de inundación puede ser más grave que el mínimo déficit de agua, dado que se destruyen las raíces y se reduce el número de hojas y la actividad floral.

Cuando el viento excede los 20 km/hora, produce ruptura o rasgado de las hojas, este fenómeno es común en los cultivos de plátano; el daño que involucra el doblamiento de las hojas activas es un riesgo para la producción de la planta.

La luz existente en el trópico es suficiente para el cultivo, pero es factor importante, entre otros, para el desarrollo de las yemas o brotes laterales, por lo que cortas distancias de siembra afectan el crecimiento de éstas y prolonga el ciclo vegetativo. Las musáceas, en su hábitat natural, crecen y se desarrollan satisfactoriamente en condiciones de semipenumbra, esto las protege de algunos problemas fitosanitarios como la sigatoka.

## **Suelo**

El suelo tiene influencia sobre el cultivo de plátano a través de sus características físicas y del suministro oportuno y balanceado de los elementos minerales esenciales requeridos para el metabolismo, crecimiento y producción de las plantas. El suelo, como recurso básico de todo ecosistema, debe cumplir, además de su función de soporte y espacio vital de las plantas, determinados requisitos de carácter fisicoquímico indispensables para éstas. No obstante el plátano se adapta a una variedad amplia de suelos, esto no significa que todos los suelos sean aptos para su desarrollo equilibrado. La selección de suelos adecuados es un factor fundamental para que el cultivo sea rentable. Para el crecimiento y desarrollo normal del plátano se necesita que el suelo tenga disponibles, en cantidades óptimas y balanceadas, ciertos elementos nutritivos; de lo contrario se deben suministrar a partir de fuentes alternativas orgánicas y químicas. Es importante, por tanto, conocer las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mediante un muestreo y su análisis de fertilidad natural, ellos son la base de los planes de fertilización a aplicar en las fases de establecimiento, crecimiento y producción, con lo cual se aseguran los buenos resultados económicos.

La materia orgánica contenida en el suelo junto con el aire, agua y minerales, constituyen el conjunto de componentes orgánicos, de origen animal o vegetal, que se encuentran en diferentes estados de descomposición o transformación en la producción de humus. Éste actúa como acondicionador físico y activador de

microorganismos a nivel de la rizosfera. El manejo orgánico del suelo es la alternativa sostenible que permite vivir en armonía con la tierra, ya que mantiene la productividad del suelo y mejora sus características físicas, químicas y microbiológicas. El efecto de la materia orgánica es latente y residual, su facultad de entregar progresivamente los nutrientes requeridos por la planta, contribuye a la sostenibilidad del suelo y le da importancia al uso de subproductos de origen orgánico como el lombricompost, compost, microorganismos benéficos, entre otros.

## **2.2 INDUSTRIA DEL PLÁTANO EN COLOMBIA**

El plátano es originario del suroeste asiático, desde donde se extendió hasta casi todas las regiones tropicales del mundo. Los portugueses lo llevaron a las islas canarias, y al continente americano fue traído a la isla de Santo Domingo, por los padres dominicos en 1516, y de allí se distribuyó a los demás países latinoamericanos, constituyéndose en algunos de ellos en parte fundamental de su desarrollo y economía.

Con motivo de la llegada del plátano a Colombia existen dos teorías:

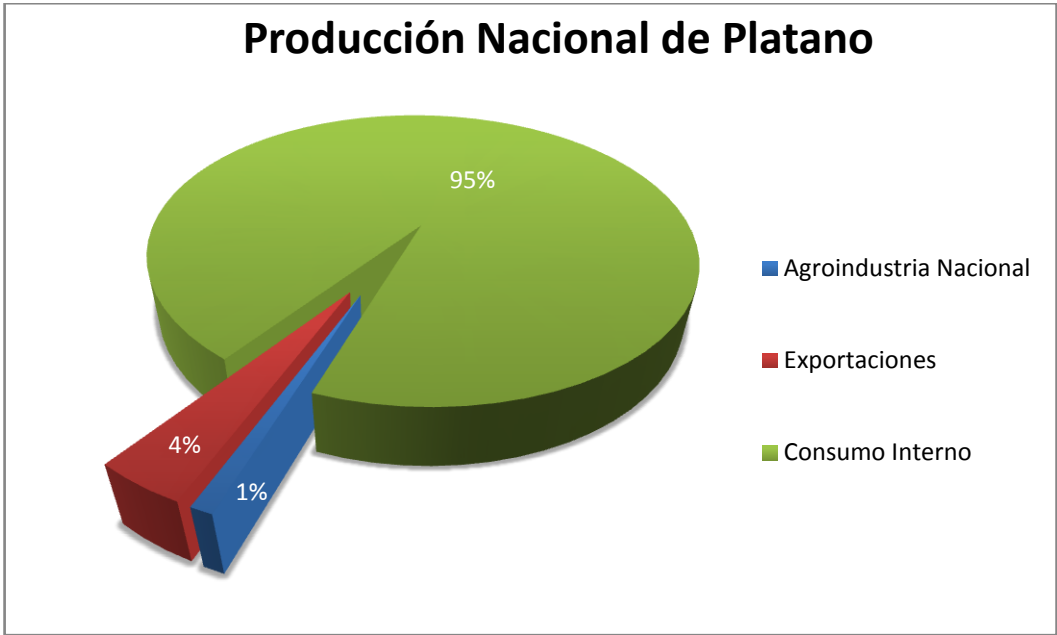
- Fue traído a la zona del Darién de donde se difundió por toda la costa pacífica.
- Fue traído por los Padres Dominicos por el Orinoco y sembrado inicialmente en el municipio de San Martín, en los Llanos Orientales de Colombia.

El cultivo de plátano en Colombia, ha sido un sector tradicional de economía campesina, de subsistencia para pequeños productores, de alta dispersión geográfica y de gran importancia socioeconómica desde el punto de vista de seguridad alimentaria y de generación de empleo. Se estima que del área

cultivada en plátano en Colombia, un 87% se encuentra como cultivo tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13% está como monocultivo tecnificado.

Actualmente cerca de un 4% de la producción nacional de plátano se destina al mercado de exportación, el restante se destina para el consumo interno en fresco y una muy pequeña proporción, menos del 1%, se destina como materia prima para la agroindustria nacional (Grafica). Las regiones del Golfo de Urabá y el nororiente del departamento del Magdalena, sobresalen por el grado de especializado que han alcanzado en la producción y exportación de banano y plátano con altos niveles de productividad e integración de los productores y comercializadores, entre otras razones, gracias a las ventajas comparativas de localización y calidad de los suelos con respecto a otras zonas productoras del mundo; Sin embargo, los problemas fitosanitarios y los bajos niveles de inversión en el cultivo, en labores como la adecuación de fincas, renovación, fertilización, y drenaje, son las principales causas de pérdida competitiva en los mercados internacionales, pues han afectado seriamente la productividad de los cultivos y la calidad de la producción para exportación.

**Grafica 7. Distribución De La Producción Nacional De Plátano En Colombia  
2009**



**Figura 2. Cultivo De Plátano.**



Fuente: [Www.Chiquitoy.Org](http://www.Chiquitoy.Org)

En el mercado nacional ha habido una recuperación importante del nivel de producción de plátano para consumo interno en los últimos años. Sin embargo, el crecimiento desordenado de la producción para el mercado nacional, lo satura y golpea seriamente la rentabilidad del cultivo; En relación a la actividad agroindustrial, se registran significativos índices de crecimiento en los últimos años aunque con una incidencia muy pequeña como consumidora de materia prima. Se estima que el mercado industrial absorbe alrededor de 12 mil toneladas, que se destinan principalmente a la preparación de comestibles (snacks), harinas, productos procesados para consumo humano y alimentos concentrados para consumo animal. Aunque la gran diversidad de condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo, la alta dispersión geográfica de la oferta y la variedad de sistemas de producción, hacen complejo el análisis de los factores que conforman la problemática del cultivo.

Para el año 2004, la producción de plátano representó el 12,5% del valor de la producción agrícola sin café, y el 20% del total de cultivos permanentes. El plátano de exportación ocupa el 0.4% del área agrícola total y el 0.4% de la producción del país, mientras que el plátano de consumo interno lo hace con el 9.9% del área y el 12.8% de la producción. Mientras que el plátano (consumo interno y exportación) obtuvo un área total de cultivo 397.378 hectáreas y un nivel de producción de 3.348.334 toneladas en el 2004, el banano (exportación y consumo interno) alcanzó una superficie cultivada de 62.370 hectáreas y una producción de 1.573.252 toneladas.

**Tabla 7. Distribución Regional De La Producción De Plátano En Colombia**

REGION NATURAL	AREA (ha)	PRODUCCION (ton/año)	RENDIMIENTO (ton/ha*año)	PARTICIPACION (%)
Caribe	42843	326103	7.6	11.2
Pacifica	47263	264072	5.6	9.4
Andina	239754	1698750	7.1	60.2
Orinoquia	29216	358832	12.3	12.7
Amazonia	31699	175389	5.5	6.2
San Andrés y Providencias	19	133	7	0
<b>Total</b>	<b>390794</b>	<b>2823279</b>	<b>7.2</b>	<b>100</b>

Fuente: Acuerdo de competitividad de la cadena productiva de plátano en la región centro-occidente de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002.

De la anterior grafica se puede observar que la región Caribe es aquella que tiene una mayor producción de plátano en Colombia.

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, de un total de 397,377 hectáreas de plátano en el año 2004, 17.124 (4.3%) correspondían fundamentalmente a cultivo para exportación, y 380,253 (95.6%%) para el consumo doméstico, este último con un rendimiento promedio de 8.2 Tonelada/Hectárea, y un total de producción de 3.154.886 toneladas de fruto. El cultivo para consumo interno ha decrecido, aunque de forma marginal en -0.2% en el área cultivada y crecido en 3% en la producción, entre 2000-2004, mientras que el plátano de exportación muestra un aumento de 6.1% en el área de cultivo y de 10.1% en la producción.

Los tres grandes sectores que consumen más del 80% de la producción nacional son, en orden de importancia, los hogares rurales, los hogares urbanos y los restaurantes; menos del 1% es consumido por la industria y las pérdidas por comercialización y transporte se estiman en 12,2%. Se estima que del área cultivada en plátano total en Colombia, un 87% se encuentra como cultivo

tradicional asociado con café, cacao, yuca y frutales, y el restante 13% está como monocultivo tecnificados.

Las variedades dominico hartón y hartón son las que presentan el mayor potencial para un adecuado procesamiento debido, principalmente, a que el clima cálido en el que se producen favorece el desprendimiento de la cáscara, labor que resulta bastante dispendiosa en el proceso industrial.

El cultivo genera cerca de 286 mil empleos directos permanentes por año, es decir, unas 57 mil familias se dedican a las labores del cultivo en todo el país. Se estimaría que el valor de la producción aportaría US\$566 millones al Producto Interno Bruto Agrícola a precios promedio del año 2002; Las exportaciones de plátano crecieron en volumen 2.6%, en el periodo 1995-2004, pasando de 95.651 toneladas a 126.102 toneladas, y se dan para abastecer la demanda de comunidades étnicas de origen latinoamericano y caribeño, y en menor medida africanos, establecidas en Estados Unidos y Europa. Las importaciones colombianas de plátano son marginales en cuanto a su valor, aunque son crecientes y se han presentado coyunturalmente desde Ecuador y Venezuela.

En la cadena productiva, se destacan cuatro eslabones básicos: los agricultores o productores primarios, los comercializadores que abastecen el mercado interno, los industriales y los exportadores. A si mismo alrededor de la actividad productiva o comercial desempeñada por cada uno de estos eslabones, existen diversas actividades económicas conexas, que se sustentan en la prestación de servicios de apoyo o en el suministro de materiales e insumos necesarios para el desarrollo de las actividades de la cadena productiva platanera, tales como proveedores de insumos, empresas prestadoras de servicios y actores de la institucionalidad estatal y paraestatal que suministran servicios de apoyo tecnológico, comercial, etc.

El plátano es cultivado en diferentes zonas agroecológicas, desde el nivel del mar hasta los 2.000 metros de altura, y dentro de un rango de temperatura de 17 a 35 grados centígrados. De acuerdo con AUGURA (Asociación de bananeros de Colombia), en Colombia se cultivan y cosechan cinco variedades de plátano: Dominico, Dominico Hartón, Hartón, Cachaco o Popocho, y Pelipita, predominando la variedad hartón.

Los principales centros productores de plátano que se dirige al consumo interno se encuentran concentrados en las Zonas Cafeteras de la Región Andina, donde se tienen 234 mil hectáreas. (61% del área cosechada) que aportan el 59% de la producción nacional. Otras regiones de importancia para el cultivo son la Orinoquía, la Región Pacífica, Caribe y la Amazonía. Por su parte el plátano de exportación se cultiva principalmente en la zona de Urabá, en donde se siembra fundamentalmente la variedad Hartón, cuyo cultivo se inició como alternativa de pan coger y para el mercado interior, pero debido a la baja rentabilidad de cultivos como maíz, arroz y cacao, muchos agricultores de la zona vieron en el cultivo de plátano una alternativa para sus ingresos. Sólo a partir de 1974 con UNIBAN, y de 1976 con BANACOL, se hicieron las primeras exportaciones del producto a los Estados Unidos. En aquel entonces, se crean ASPLATU Y COOPAUURABA como asociaciones impulsoras de su desarrollo. Desde 1988 se exporta plátano de Urabá también hacia Europa. La compañía SUNISA participa en la comercialización de este producto.

El comercio exterior de plátano en fresco se ha desarrollado con base en la logística e infraestructura del banano de exportación. El 94% de las exportaciones se lleva a cabo a través de Urabá. Así mismo la comercialización del plátano se ha beneficiado de la integración vertical de la industria bananera. Las comercializadoras a través de las cuales se exporta plátano, cuentan con sus propias fábricas de empaques, plásticos y sellos, además contratan el transporte en buques para que descargue el producto en sus bodegas en Estados Unidos

(principal destino de las exportaciones de plátano colombiano) y sea distribuido por empresas filiales.

La mayoría de productores de plátano de exportación tienen contratos de suministro con las comercializadoras quienes les proveen asistencia técnica. En la finca el productor se encarga de asegurar la calidad del producto para exportación. A diferencia de otras frutas la cadena de comercialización del plátano es muy corta. Las empresas importadoras tienen estrecha relación con las comercializadoras colombianas que exportan plátano, y estas a su vez distribuyen directamente la fruta a los supermercados y mayoristas, lo que permite eliminar intermediarios en la cadena.

La demanda total de plátano en el ámbito nacional indica que Bogotá presenta el consumo más alto del país, que corresponde al 29% del total; este consumo corresponde a un 70% de plátano hartón (*Musa Corniculata*) y 30% de plátano hartón dominico (*Musa Paradisiaca* L). Le siguen en importancia los mercados de Medellín y Cali, que participan con 17% y 14% respectivamente, y en los cuales el 80% del consumo es de plátano hartón dominico (*Musa Paradisiaca* L) y el 20% es de plátano hartón (*Musa Corniculata*). En el país e incluso al interior de cada una de las regiones productoras, la calidad del plátano producido es muy variable, por la diversidad de tecnologías y de sistemas de producción.

El manejo de cosecha y pos cosecha es uno de los aspectos que más incide en la calidad del plátano cuyo destino es el consumidor final. En el país, el mal manejo en el corte, acopio inadecuado en la finca, transporte inapropiado a los centros de distribución, e inexistencia de tecnologías de manejo y conservación, se han identificado como las causas de las pérdidas en la producción, las cuales se podrían disminuir en la medida en que se cuente con tecnologías apropiadas. La calidad exigida para el producto en fresco difiere según el agente que compra el producto. En general, se exige su presentación en dedos y que el producto esté

fresco, entero, sano, limpio, de color verde uniforme, bien formado y con desarrollo normal, de textura firme al tacto y ligeramente convexo, de acuerdo con las características de la variedad. Adicionalmente, la fruta no debe presentar aristas muy pronunciadas, manchas, magulladuras, cicatrices, impurezas, pudriciones o huellas notorias de lesiones causadas por enfermedades o insectos. Cuando se habla de primera calidad, se exige una longitud mínima de 19 centímetros en pulpa con un diámetro mínimo de 4.5 centímetros en la mitad del plátano, incluyendo la corteza, y un peso mínimo de 300 gramos. Las cadenas especializadas identifican dos categorías de calidad. El plátano selecto o de primera calidad corresponde a un producto fresco, sano y con un porcentaje de daños (físicos, químicos y mecánicos) inferior a 5%. El producto se entrega en cajas plásticas de 18 kilogramos. El plátano corriente o de segunda calidad puede presentar defectos de formación y un porcentaje de daños menor a 25%. Se empaqueta en canastillas plásticas de 16 kilogramos. La diferencia en el precio por razones de calidad fluctúa entre 15% y 20%. Eventualmente, el plátano se almacena como máximo por una semana en bodegas con una buena circulación del aire a temperatura ambiente.

En las plazas mayoristas, el plátano se clasifica en dos categorías. La primera, agrupa el producto que presenta pequeños defectos de forma, coloración, y daños inferiores a 10%. La segunda categoría corresponde a producto de menor calidad, con daños que pueden alcanzar hasta 50%. En relación con la forma de presentación, el plátano proveniente de la zona cafetera se comercializa en racimos de 8 a 15 kilogramos y en guacal de madera con 100 unidades recubiertas en polietileno, y el plátano proveniente de los Llanos Orientales se comercializa en pachas (dos racimos) y en sacos de fique o polietileno con capacidad para 60 kilogramos.<sup>6 7</sup>

---

<sup>6</sup> Extraído de: Acuerdo de competitividad de la cadena productiva de plátano en la región centro-occidente de Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural

### 2.3 QUÍMICA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO

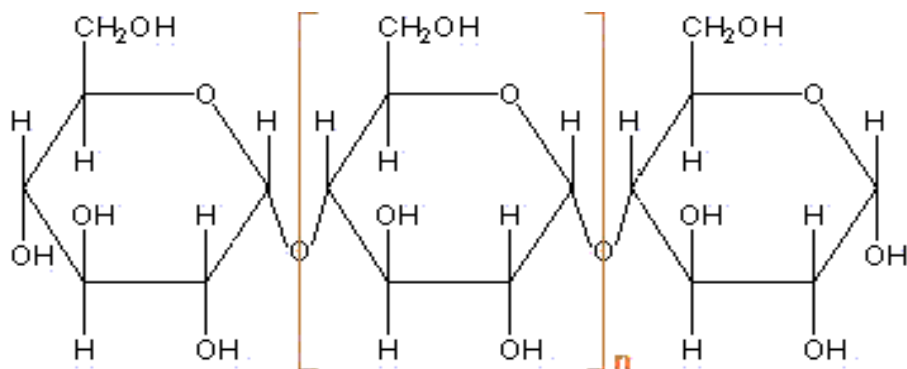
El almidón es una fracción importante de un gran número de productos agrícolas, como los cereales (maíz, trigo, arroz), cuyo contenido de este carbohidrato es de 30 a 80%, las leguminosas (frijol, chícharo, haba), con 25 a 50%, los tubérculos (papa, yuca), en los que el almidón representa entre 60 y 90%, y algunas frutas, como el plátano, que en su estado verde o inmaduro alcanza contenidos de almidón de hasta 70% en base seca, cantidad que es comparable con la que presentan algunos cereales, leguminosas y tubérculos que se han usado tradicionalmente para el aislamiento de este polisacárido. El almidón está formado por una fracción lineal (amilosa) y por una ramificada (amilopectina), ambas compuestas por moléculas de D-glucosa. En los frutos el almidón es una reserva energética y su concentración varía con el estado de madurez; el plátano (*Musa paradisiaca*), es un ejemplo de este comportamiento, ya que en su estado verde o inmaduro, el almidón constituye la fracción mayoritaria (70% en el plátano, base seca) y los carbohidratos simples (glucosa, fructosa, sacarosa, etc.) son muy escasos.

Los polisacáridos son monosacáridos unidos entre sí por uniones glucosídicas en largas cadenas. Pueden o no tener el mismo tipo de monosacárido como eslabón en esas cadenas. Los principales son: almidón, celulosa y glucógeno.

---

<sup>7</sup> Extraído de: Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. Corporación Colombia internacional

**Grafica 8. Estructura Del Almidón.**



Fuente: <http://www.biologia.edu.ar/macromoleculas/azucar.htm>

El almidón es la forma principal de almacenamiento de glucosa en la mayoría de las plantas. Es fabricado por las plantas verdes durante la fotosíntesis. Forma parte de las paredes celulares de las plantas y de las fibras de las plantas rígidas. A su vez sirve de almacén de energía en las plantas, liberando energía durante el proceso de oxidación en dióxido de carbono y agua. Los gránulos de almidón de las plantas presentan un tamaño, forma y características específicas del tipo de planta en que se ha formado el almidón. Existe en dos formas: En el primero, la amilosa, que constituye el 20 % del almidón ordinario, los grupos están dispuestos en forma de cadena continua y rizada, semejante a un rollo de cuerda; en el segundo tipo, la amilopectina, se produce una importante ramificación lateral de la molécula, pero ambas están formadas por unidades de glucosa unidas entre sí por enlaces glicosídicos.

### **3. FACTIBILIDAD DEL USO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO ADITIVO PARA LODOS DE PERFORACIÓN**

Para el correcto desarrollo de este proyecto se realizaron las siguientes etapas:

#### **3.1 OBTENCION DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO**

##### **Aislamiento del almidón**

Los frutos de plátano (banano de cocción; *Musa paradisiaca*) fueron adquiridos directamente de las plantaciones, una vez que el productor consideró que tenía la condición adecuada para su comercialización, la cual corresponde aún al estado verde o inmaduro.

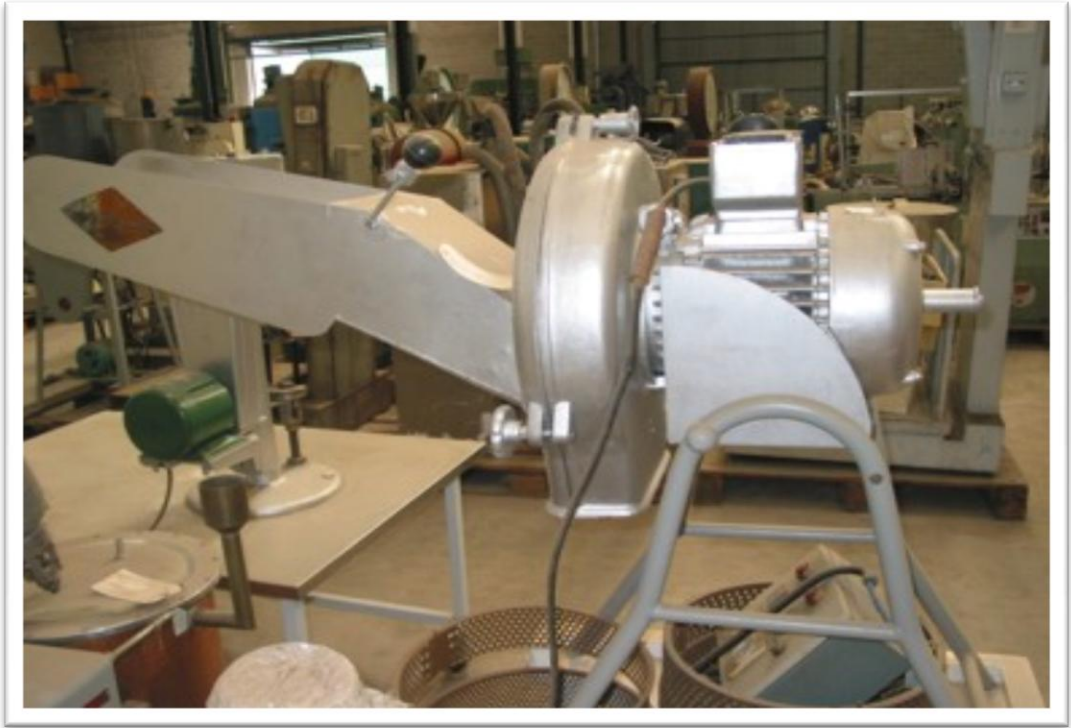
La selección se hizo de esta manera debido a que el fruto en ese momento ya tiene el tamaño y peso adecuado para su comercialización y es como el productor requiere se pague el precio de su materia prima; Se pesaron lotes entre 2,4 y 3,1kg del fruto, se pelaron manualmente (con cuchillos), es decir se despojan de la corteza exterior (cascara), dicha pulpa se corto en trozos de 2-3 cm de largo y se llevo al molino (evitando que la muestra estuviera en contacto con el oxigeno lo cual produce oxidación de la pulpa (oscurecimiento) lo que podría ocasionar la aparición de puntos o manchas negras en el almidón aislado), Para la molienda seca se utilizó un molino industrial (Marca: Corona. Velocidad de molido: 390 rpm. Motor: 1Hp, eléctrico. Productividad de Moler: 80 kilos por hora) a velocidad máxima hasta procesar la totalidad de la pulpa, dicho proceso se realizó desde la pulpa sin ningún tipo de reducción de tamaño hasta la triple molienda ajustando progresivamente el rodillo de la maquina y así obteniendo un almidón más fino.

**Figura 3. Molino Industrial**



Posteriormente el almidón es secado , operación en la cual se deshidrata el producto mediante exposición al calor (sol), para facilitar el secado hay que desmenuzar el almidón (evitar formación de grumos ) y colocarlo sobre polietileno de espesor # 6 de color negro(que capta por ello mayor radiación solar y facilita el secado rápido y uniforme) y se extiende en capas que tengan una densidad de 1 a 2 kg/m<sup>2</sup>, después de obtener un buen secado, el almidón es pasado por tamices de 50,100, 200 y 325 mesh.

**Figura 4. Tamiz Filtro Tyler Sieve Micrometer De Laboratorio**



**Figura 5. Filtros Para Tamiz**



Experimentalmente se obtuvieron los valores resumidos en la siguiente tabla:

**Tabla 8. Rendimiento De Almidón A Partir De Pulpa De Plátano A Nivel Laboratorio**

LOTE	PLÁTANO ENTERO (Kg)	PULPA (Kg)	SÓLIDOS (Kg)	ALMIDÓN (Kg)	ALMIDÓN RECUPERADO (Kg)
1	1,4	0,9	0,27	0,2	0,16
2	2,4	1,5	0,41	0,3	0,25
3	2,5	1,5	0,42	0,29	0,23
4	3,1	1,8	0,4	0,29	0,22
5	3,4	1,9	0,42	0,28	0,24

Después de la eliminación de la cáscara del fruto se obtuvo entre 0,9 y 1,9 kg de pulpa, la cual contenía entre 0,27 y 0,42 kg de sólidos, esto representa un contenido de humedad en la pulpa entre 22 y 30% (Tabla de datos 4). Cuando se determinó el contenido de almidón en la pulpa, este se encontró entre un 67 y 74%, valores que son similares al reportado por otros autores en pulpa de plátano. Los valores de almidón recuperado del proceso de aislamiento en relación a la cantidad de sólidos de la pulpa estuvieron entre 55 y 61%, y cuando el cálculo se realizó en relación al almidón presente en la pulpa, se obtuvo una recuperación entre el 76 y 86%, demuestra que el proceso de aislamiento recuperó una buena cantidad del almidón potencialmente extraíble, ya que durante las diferentes operaciones unitarias se va perdiendo cierta cantidad de sólidos.

Los valores de almidón recuperados pueden considerarse adecuados al comparar las cantidades de almidón obtenidos en los diferentes lotes procesados, se encontraron valores similares, por lo que se puede considerar que el método de aislamiento es reproducible, y las ligeras variaciones se deben a que las operaciones son manuales y se introducen variaciones entre lote y lote, así como también se pueden considerar variaciones en la materia prima, como sería el tamaño o grado de madurez de los frutos.

**Figura 6. Producto Final: Almidón De Plátano**



En la anterior figura se puede observar el producto final, después de haber realizado el proceso anteriormente descrito.

### **3.2 PROCEDIMIENTO DE GELATINIZACION DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO**

El procedimiento de gelatinización del almidón de plátano a seguir se describe a continuación y fue tomado a partir de las recomendaciones sugeridas en el trabajo PROPIEDADES QUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL ALMIDÓN NATIVO Y MODIFICADO DE ÑAME (*Dioscorea alata*). Emperatriz Pacheco de Delahaye, Nora Techeira y en el trabajo THERMAL STABILITY OF STARCH AND CARBOXYMETHYL CELLULOSE BASED POLYMERS USED IN DRILLING FLUIDS. David C. Thomas, SPE, Amoco Production Co.

## **Gelatinización en el laboratorio**

- a)** Selección de la cantidad deseada para la prueba: Se debe garantizar la homogeneidad de la muestra.

**Figura 7. Almidón De Plátano Homogeneizado.**



- b)** Calentamiento del agua necesaria para llevar a cabo la activación del almidón: Se debe alcanzar una temperatura similar a los 212°F.

**Figura 8. Horno Eléctrico**



- c)** Premezclado del almidón de plátano con agua a temperatura ambiente: Se debe agitar la mezcla con el fin de evitar la formación de grumos impermeables de almidón de plátano, el premezclado se debe realizar en menos de la tercera parte ( $1/3$ ) del volumen total utilizado para la activación del almidón de plátano.

**Figura 9. Premezclado Del Almidón De Plátano**



- d)** Mezclado del (almidón de plátano + agua temperatura ambiente) + (agua a temperatura de ebullición): Se debe verter rápidamente el almidón sobre el agua a temperatura de ebullición, asegurándose que no quede nada de almidón en el recipiente donde se realizó el premezclado, se debe seguir agitando continuamente esta nueva mezcla con el fin de alcanzar una activación exitosa.

**Figura 10. Activación Del Almidón De Plátano**



- e) Etapa de activación: Se debe seguir calentando la mezcla por otros 20 minutos a partir del momento de la mezcla con el agua caliente; en ningún momento se debe dejar de agitar la muestra, esto podría originar grumos que afectan la calidad de la solución polimérica.

**Figura 11. Preparación De Solución Polimérica**



- f) Enfriamiento de la mezcla: Se debe retirar calor hasta alcanzar nuevamente temperatura ambiente, a medida que se va enfriando la mezcla esta va aumentando viscosidad y empieza a formar grumos a una tasa mayor que previamente por lo tanto se debe seguir agitando continuamente la mezcla.

**Figura 12. Almidón De Plátano Activado**



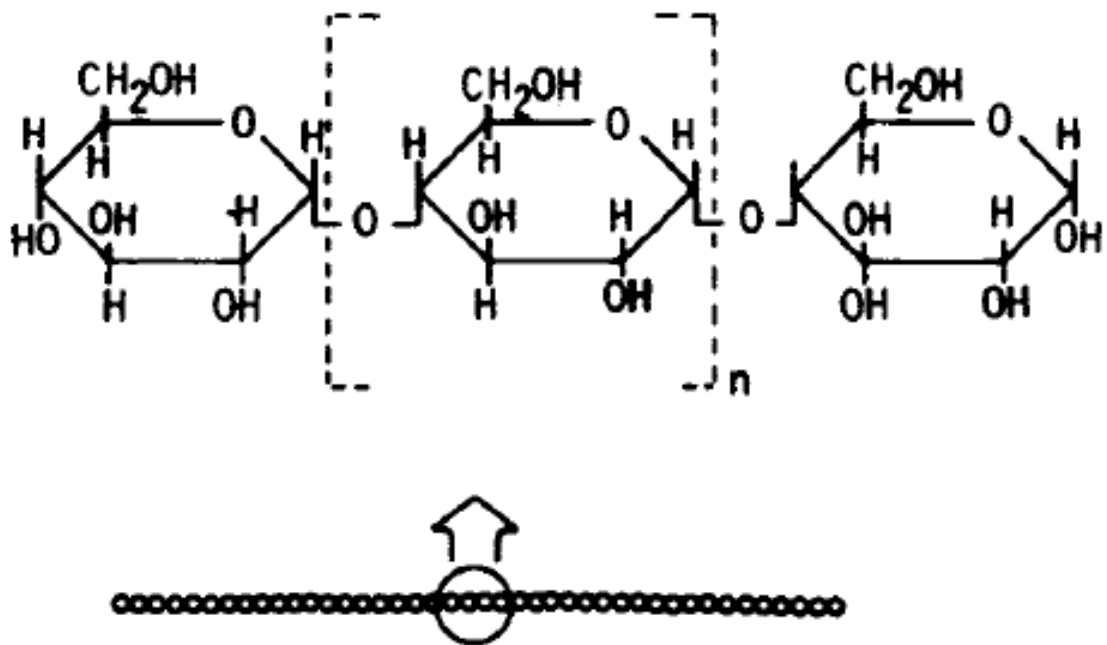
- g) Obtención del almidón de plátano activado: Tan pronto se logra de nuevo la temperatura ambiente la activación del almidón de plátano ha concluido.

### **3.3 APLICACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO VISCOSIFICANTE**

La viscosidad que proporciona un almidón a un sistema de lodos depende de la relación amilosa/amilopectina y del peso molecular de estas cadenas poliméricas, en el caso del almidón de plátano esta relación varía entre 20/80 a 30/70.

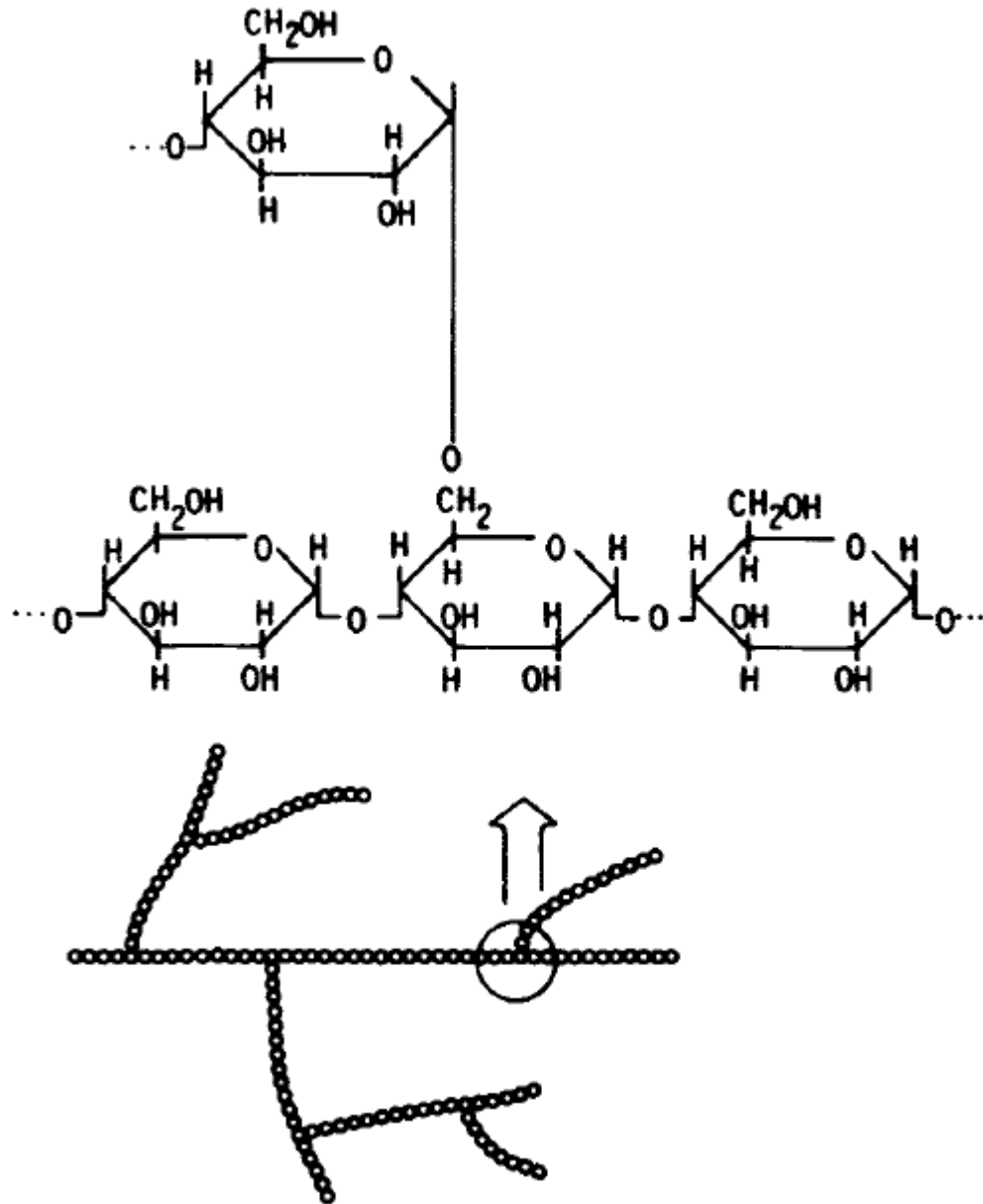
Al aplicar calor al almidón (Temperaturas entre 140°F y 212°F) se rompen las cadenas ramificadas de amilopectina permitiendo a las cadenas de amilosa agruparse y de esta manera formar una cadena lineal de mayor peso molecular; este proceso se conoce con el nombre de retrogradación, posterior a la retrogradación las moléculas se enfrían y se gelatinizan provocando un aumento drástico en la viscosidad del fluido.

**Grafica 9. Estructura Molecular De La Amilosa**



Fuente: Thermal stability of starch and carboxymethyl cellulose based polymers used in drilling fluids. THOMAS David. SPE

Grafica 10. Estructura Molecular De La Amilopectina

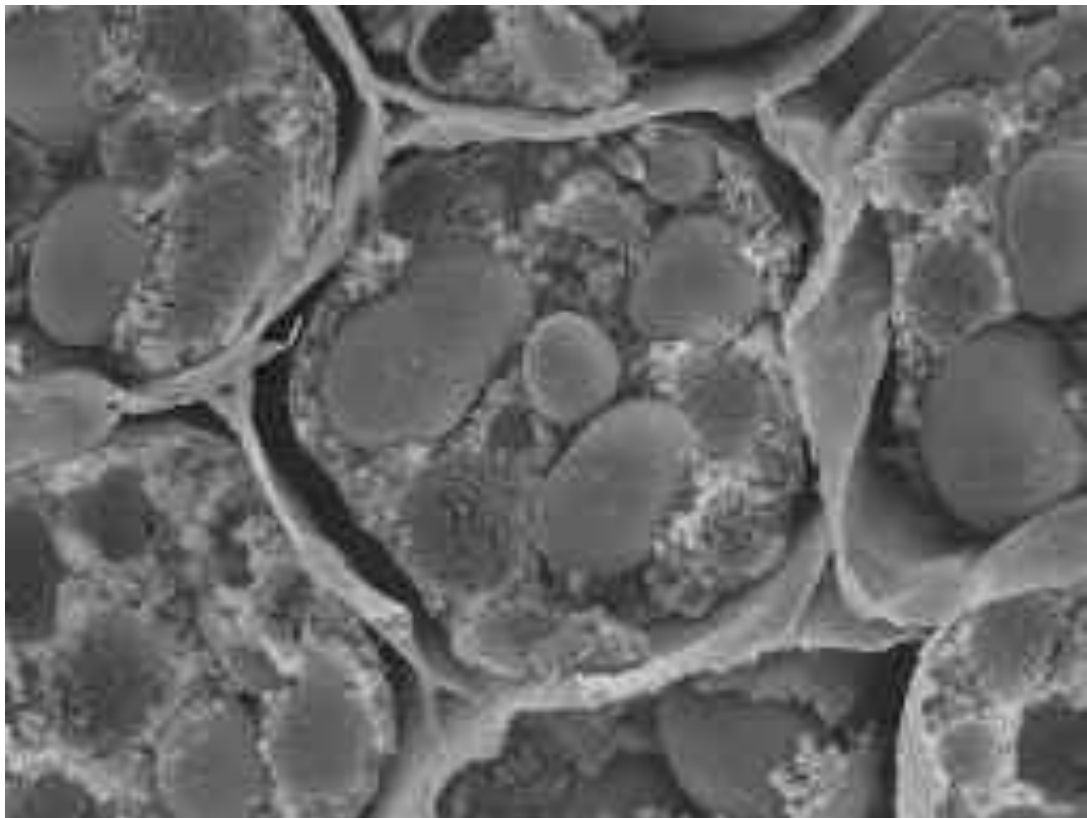


Fuente: Thermal stability of starch and carboxymethyl cellulose based polymers used in drilling fluids. THOMAS David. SPE

### 3.4 APLICACIÓN DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO CONTROLADOR DE FILTRADO

El control de filtrado proporcionado por el almidón de plátano se basa en el proceso de pre gelatinización donde se liberan las cadenas de amilosa las cuales se retrogradan, durante este proceso las cadenas de amilosa se hinchan al absorber el agua libre en el sistema, de acuerdo con la teoría propuesta en esta tesis, es uno de los ítems necesarios para la reducción de la cantidad de filtrado, además las moléculas de amilosa retrogradadas al estar agrupadas pueden formar puentes moleculares que taponen tanto las retortas formadas por los sistemas bentonita – agua como las micro fracturas en las formaciones por donde se puede perder una considerable cantidad de lodo.

**Figura 13. Granos De Almidón.**



Fuente: <http://www.biologia.edu.ar/macromoleculas/azucar.htm>

### 3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseñar un experimento, es llevar a cabo una prueba o una serie de pruebas con el fin de caracterizar las variables explicativas que influyen significativamente en un sistema de interés, evaluado a través de algunas variables dependientes tal que, si deliberada o sistemáticamente se introducen alteraciones controladas en algunas de las variables críticas del proceso solo si permiten observar o cuantificar los cambios que estos generan en las variables dependientes, garantizando un efecto mínimo de las variables que no se pueden controlar.

Caracterización de un proceso. En esta fase, se busca determinar los rangos de las variables o factores controlables de mayor influencia en las variables respuesta que a la vez minimizan el efecto de las variables no controlables.

Depuración y optimización de un proceso ya caracterizado. En esta fase se hallan los niveles de los factores estudiados que proporcionan la respuesta óptima a la solución del proceso caracterizado en la fase anterior.

Experimento comparativo. 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.

Los experimentos comparativos son sencillamente experimentos en los cuales los tratamientos se comparan por sus efectos sobre una variable dependiente con el objeto principal de determinar cuál de ellos es mejor en algún sentido. 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 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:

- Simplicidad: se debe tener en cuenta que tanto la selección de los tratamientos como la disposición experimental deberá hacerse de la manera más simple posible.

- Grado de precisión: el experimento deberá tener la capacidad de medir diferencias entre tratamientos con los grados de precisión que desee el investigador. Para cumplir con este propósito se deberá tener entonces un diseño apropiado y un número de repeticiones adecuado.
- Ausencia de error sistemático: se debe planear un experimento con el propósito de asegurar que las unidades experimentales que reciban un tratamiento no difieran sistemáticamente de aquellas que reciben otro, procurando de esta manera obtener una estimación no sujeta al efecto de los tratamientos.
- Rango de validez de las conclusiones: las conclusiones deberán tener un rango de validez tan amplio como sea posible. Los experimentos que contribuyen a aumentar este rango son los experimentos replicados y los experimentos con estructuras factoriales.
- Calculo del grado de incertidumbre: en todo experimento existe algún grado de incertidumbre en cuanto a la validación de las conclusiones. El experimento deberá ser concebido de modo que sea posible calcular la posibilidad de obtener los resultados observados debido únicamente al azar.

### **3.5.1 Caracterización**

- a) Se seleccionó un diseño experimental completamente aleatorizado con una sola réplica (balanceado) debido a la disponibilidad del laboratorio para realizar la evaluación y las limitaciones en la obtención del almidón de plátano. Se tomó un grado de libertad de 1, una frecuencia de 2, y una desviación estandar correspondiente a una probabilidad del 85% de que los resultados entren en el rango de selección determinado para cada prueba.

El ANÁLISIS de varianza ANOVA en un modelo a una vía de clasificación (Diseño de experimentos. Kuehl, R) y la ecuación de Análisis de varianza tipo I como se presenta a continuación.

$$y_{ij} = \mu_i + \epsilon_{ij}$$

$y_{ij}$  = valor respuesta

$i$  = numero de tratamientos = 1

$j$  = número de repeticiones = 2

$\mu$  = media global de las poblaciones combinadas

$\epsilon_{ij}$  = error experimental

**Tabla 9. Identificación Y Definición De Variables**

VARIABLES	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
Independiente	1	Concentración del almidón de plátano
Dependientes	8	Va, Vp, Yp, Densidad, pH, Filtrado API, Cake.
Criterio de comparación	7	Arcilla natural, Bentonita, Aquagel, Cal, Yeso, Anhidrita, Sal.

### 3.5.2 Depuración y optimización

**3.5.2.1 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 almidón de plátano activado como aditivo tanto en un sistema de agua dulce como en un sistema de agua salada, también el comportamiento del rendimiento del almidón de plátano con respecto al pH del medio donde se está evaluando. Además se busca conocer la eficacia del almidón de plátano como producto extendedor de bentonita.

**Tabla 10. Formato De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Agua Dulce**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN AGUA DULCE					
PROCEDIMIENTO	600 rpm	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)	Concentración % Peso	PH
Almidón de plátano (lb/bbl)	2,5				
	5				
	10				
	15				
	20				

**Tabla 11. Formato De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Salmueras**

PRUEBA DE EFECTO DE LA SAL SOBRE LA VISCOSIDAD							
		600 rpm			Va (cP)		
		0,04lpb Nacl	35 Lpb Nacl	125 Lpb Nacl	0,04 Lpb Nacl	35 Lpb Nacl	125 Lpb Nacl
	2,5 Lpb Almidón P.						
	5 Lpb Almidón P.						
	10 Lpb Almidón P.						
	15 Lpb Almidón P.						
	20 Lpb Almidón P.						

**Tabla 12. Formato De La Prueba Efecto Del pH Sobre La Viscosidad**

PRUEBA DE EFECTO DEL PH SOBRE LA VISCOSIDAD			
PROCEDIMIENTO	600 rpm	Va (cP)	PH
(10 lb/bbl) Almidón de plátano (lb/bbl) + (mL) NaOH			

**Tabla 13. Formato De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita**

PRUEBA DE EXTENSION DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA							
PROCEDIMIENTO		600 rpm			Va (cP)		
		0 lb/bbl	0,5 lb/bbl	1 lb/bbl	0 lb/bbl	0,5 lb/bbl	1 lb/bbl
Bentonita (lb/bbl) + Almidón de plátano							
	8						
	16						
	24						
	32						
	40						

**Tabla 14. Formato De la Prueba De Rendimiento De Algunos Viscosificantes**

RENDIMIENTO DE ALGUNOS VISCOSIFICANTES				
PROCEDIMIENTO		600 rpm	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)
Arcilla Natural (lb/bbl)	10			
	20			
	30			
	40			
Bentonita (lb/bbl)	8			
	16			
	24			
	32			
	40			
Aquagel (lb/bbl)	3			
	6			
	9			
	12			
Bentonita (lb/bbl) + 35 (lb/bbl) NaCl	7			
	14			
	21			
	28			
	35			

**3.5.2.2 Prueba del almidón de plátano como controlador de filtrado:** Con esta prueba se busca conocer el funcionamiento del almidón de plátano como controlador de filtrado en presencia de algunos contaminantes comunes encontrados durante la perforación de pozos y comparar este funcionamiento contra el funcionamiento de un controlador de filtrado usado comúnmente en la industria.

**PROCEDIMIENTO 1 – LODO BASE**

*Viscosificante*                      31 lb/bbl de bentonita de Wyoming  
*Controlador de filtrado*        1 lb/bbl de Pac-L  
*Dispersante*                        1,5 lb/bbl de Termathin

*Controlador de pH*            0,5 lb/bbl de NaOH

## PROCEDIMIENTO 2 – LODO BASE CONTAMINADO CON SAL (NaCl)

1bbl Lodo base + 40 lb/bbl de NaCl

### PROCEDIMIENTO 2.1 – Tratamiento con Pac-L del lodo contaminado

1 bbl de lodo base contaminado con sal

+ 10% v/v de agua

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de Pac-L

+ NaOH    Ajustar el pH al del lodo base original

### PROCEDIMIENTO 2.2 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

1 bbl de lodo base contaminado con sal

+ 10% v/v de agua

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de Almidón de plátano

+ NaOH    Ajustar el pH al del lodo base original

### PROCEDIMIENTO 2.3 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

1 bbl de lodo base contaminado con sal

+ 10% v/v de agua

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 2 lb/bbl de Almidón de plátano

+ NaOH    Ajustar el pH al del lodo base original

### PROCEDIMIENTO 3 – LODO BASE CONTAMINADO CON CAL

1 bbl de lodo base + 1 lb/bbl cal

#### PROCEDIMIENTO 3.1 – Tratamiento con Pac-L del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de Pac-L

#### PROCEDIMIENTO 3.2 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de almidón de plátano

#### PROCEDIMIENTO 3.3 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 2 lb/bbl de almidón de plátano

## PROCEDIMIENTO 4 – LODO BASE CONTAMINADO CON YESO

Lodo base + 1 lb/bbl de yeso

### PROCEDIMIENTO 4.1 – Tratamiento con Pac-L del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de Pac-L

### PROCEDIMIENTO 4.2 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de almidón de plátano

### PROCEDIMIENTO 4.3 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 2 lb/bbl de almidón de plátano

## PROCEDIMIENTO 5 – LODO CONTAMINADO CON CLORURO DE CALCIO

Lodo base + 1 lb/bbl de cloruro de calcio

### PROCEDIMIENTO 5.1 – Tratamiento con Pac-L del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de Pac-L

### PROCEDIMIENTO 5.2 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 1 lb/bbl de almidón de plátano

### PROCEDIMIENTO 5.3 – Tratamiento con almidón de plátano del lodo contaminado

Si pH > 9 agregar 0,5 lb/bbl de bicarbonato de sodio

Si pH < 9 agregar 0,5 lb/bbl de carbonato de sodio

Ajustar el pH al del lodo base original

+ 1 lb/bbl de Termathin

+ 2 lb/bbl de almidón de plátano

En cada procedimiento se debe realizar un análisis detallado de la retorta (cake) detallando su espesor, plasticidad y consistencia.

**Tabla 15. Formato De La Prueba Del Almidón De Plátano Como Controlador De Filtrado**

PRUEBA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO CONTROLADOR DE FILTRADO											
PROCEDIMIENTO		600 rpm	300 rpm	Vp (cP)	Y p	Va (cP)	PH	Fuerza de gel	Densidad del lodo (lb/gal)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32pulgadas)
1	Base										
2	Base+40 Lpb Sal										
2.1	+1 Pac-L										
2.2	+1 Lpb Almidón										
2.3	+2 Lpb Almidón										
3	Base +1 Lpb Cal										
3.1	+1 Lpb Pac-L										
3.2	+ 1lpb Almidón										
3.3	+ 2 Lpb Almidón										
4	Base+1 Lpb Yeso										
4.1	+1 Lpb Pac-L										
4.2	+ 1lpb Almidón										
4.3	+ 2 Lpb Almidón										
5	Base+1lpb Cacl2										
5.1	+ 1 Lpb Pac-L										
5.2	+ 1lpb Almidón										
5.3	+ 2lpb Almidón										

### 3.6 DESARROLLO DE PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Estas pruebas se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de lodos y cementos pertenecientes a la escuela de ingeniería de petróleos, UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER (seccional Bucaramanga).

Altitud: 959 metros sobre el nivel del mar.

Longitud y latitud: 7°08'N 73°08'O de latitud norte con respecto al meridiano de Bogotá y de longitud al oeste de Greenwich.

Temperatura promedio: 80°F

Presión atmosférica: 13,4 psi

#### 3.6.1 Pruebas de viscosidad

### RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN AGUA DULCE

Los resultados de las pruebas de rendimiento del almidón de plátano en agua dulce se muestran en las tablas 17,18 y graficas 11,12.

**Tabla 16. Análisis del agua dulce de prueba**

ANÁLISIS DEL AGUA DULCE DE PRUEBA								
Temperatura (°F)	600 rpm	Va (cP)	Densidad (lb/gal)	pH	ppm Cl-	ppm Ca++	ppm NaCl	ppm CaCO3
77	2	1	8,34	7,14	66	33	110	83

**Tabla 17. Resultados de la prueba de rendimiento del almidón de plátano en agua dulce**

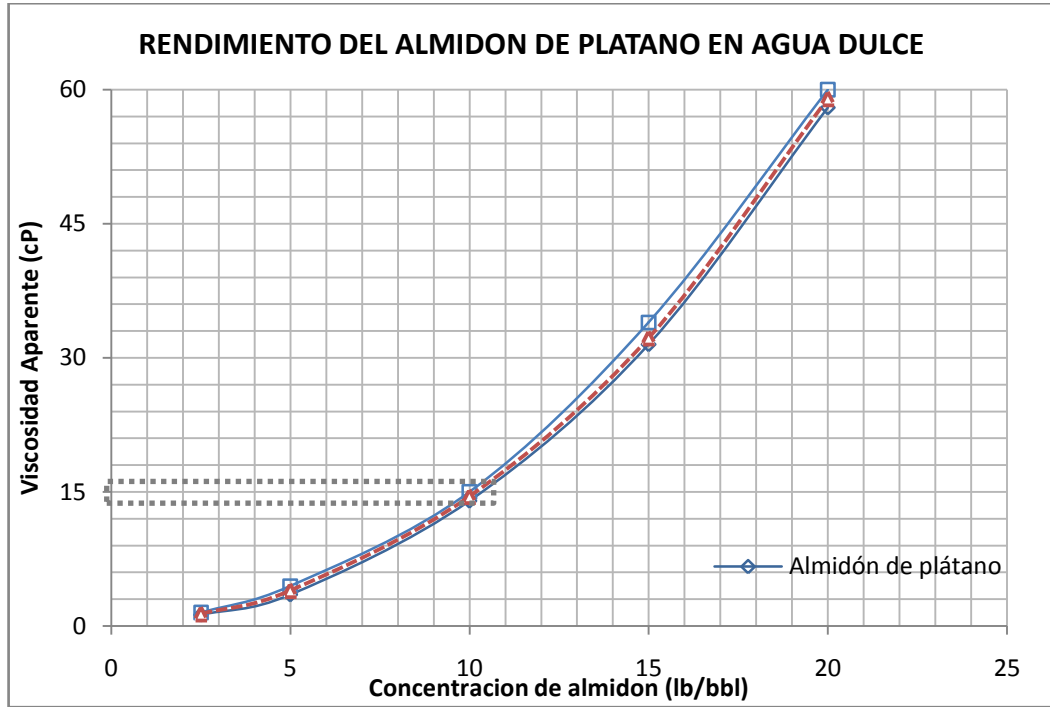
PRUEBA DE RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN AGUA DULCE						
PROCEDIMIENTO	600 rpm	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)	Concentración % Peso	PH	
Almidón de plátano (lb/bbl)	2,5	2,5	1,25	8,39	0,7	8,4
	5	7	3,5	8,41	1,4	8,3
	10	28	14	8,44	2,8	7,82
	15	63	31,5	8,48	4,2	7,29
	20	116	58	8,55	5,6	6,81

**Tabla 18. Resultados de la prueba de rendimiento del almidón de plátano en agua dulce (replica)**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN AGUA DULCE (replica)						
PROCEDIMIENTO	600 rpm	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)	Concentración % Peso	PH	
Almidón de plátano (lb/bbl)	2,5	3	1,5	8,39	0,7	8,42
	5	9	4,5	8,41	1,4	8,35
	10	30	15	8,44	2,8	7,65
	15	66	33	8,48	4,2	7,18
	20	120	60	8,55	5,6	6,71

En la grafica 12 se puede observar el rendimiento del almidón de plátano de acuerdo a los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio

**Grafica 11. Resultados De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Agua Dulce**

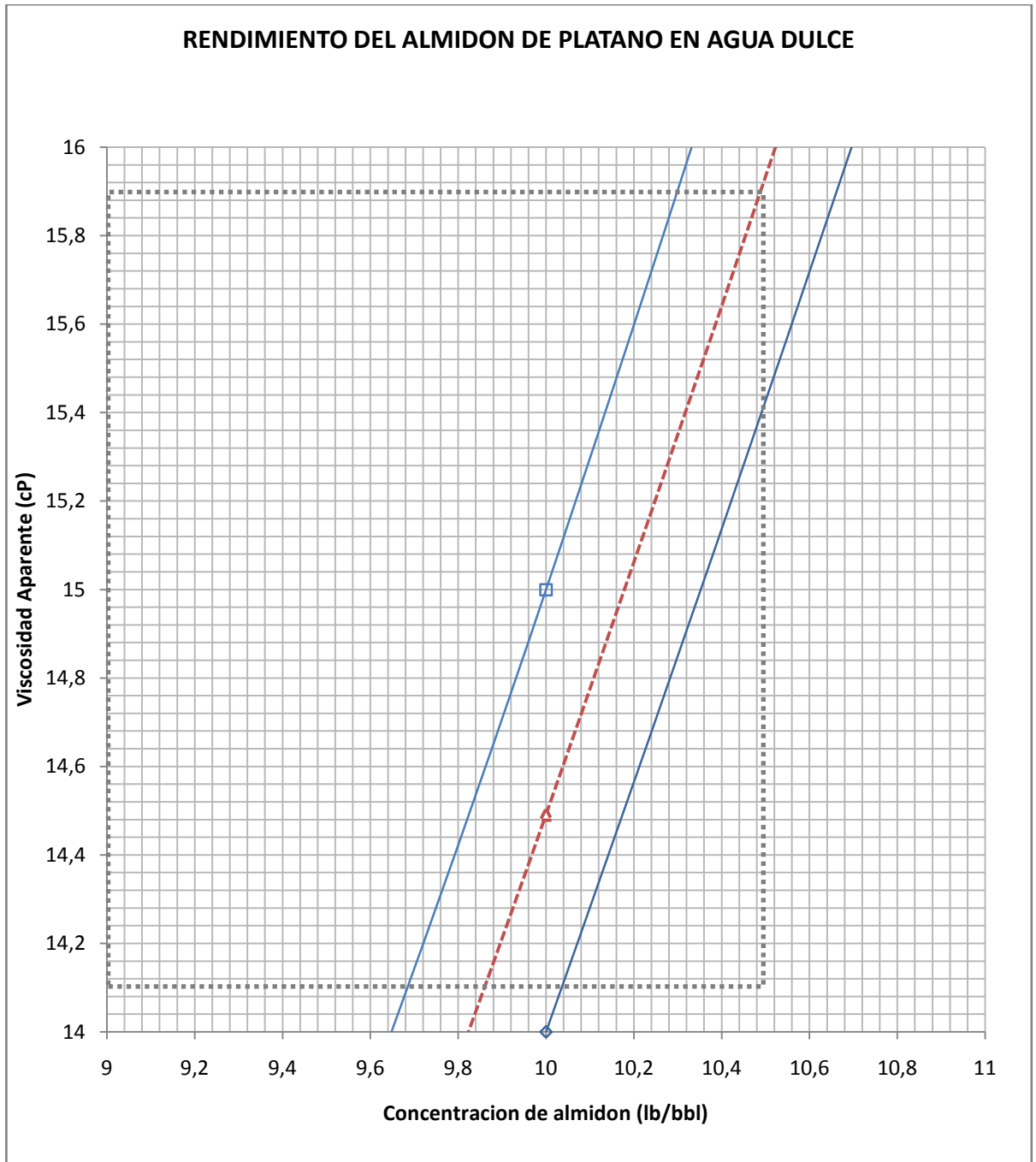


Al realizar un análisis probabilístico con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el Stat graphics plus 5, se obtienen los resultados expresados en la tabla 19 y grafica 12.

**Tabla 19. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Agua Dulce**

ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN AGUA DULCE						
Almidón de plátano (lb/bbl)		2,5	5	10	15	20
Va (cP)	Original	1,25	3,5	14	31,5	58
	Replica	1,5	4,5	15	33	60
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	Gl	1	1	1	1	1
	Media	1,37	3,97	14,49	32,24	58,99
	Desv. Standar	0,18	0,71	0,71	1,06	1,41
	Varianza	0,031	0,5	0,5	1,125	2

**Grafica 12: Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Agua Dulce**



DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,91 cP

RANGO P 85% = (9,85 – 10,5) lb/bbl

RENDIMIENTO = 10,16 lb/bbl

## RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN AGUA SALADA

Los resultados se muestran en la tabla 20, 21 y grafica 13,14

**Tabla 20. Resultados De La Prueba De Efecto De La Sal Sobre La Viscosidad**

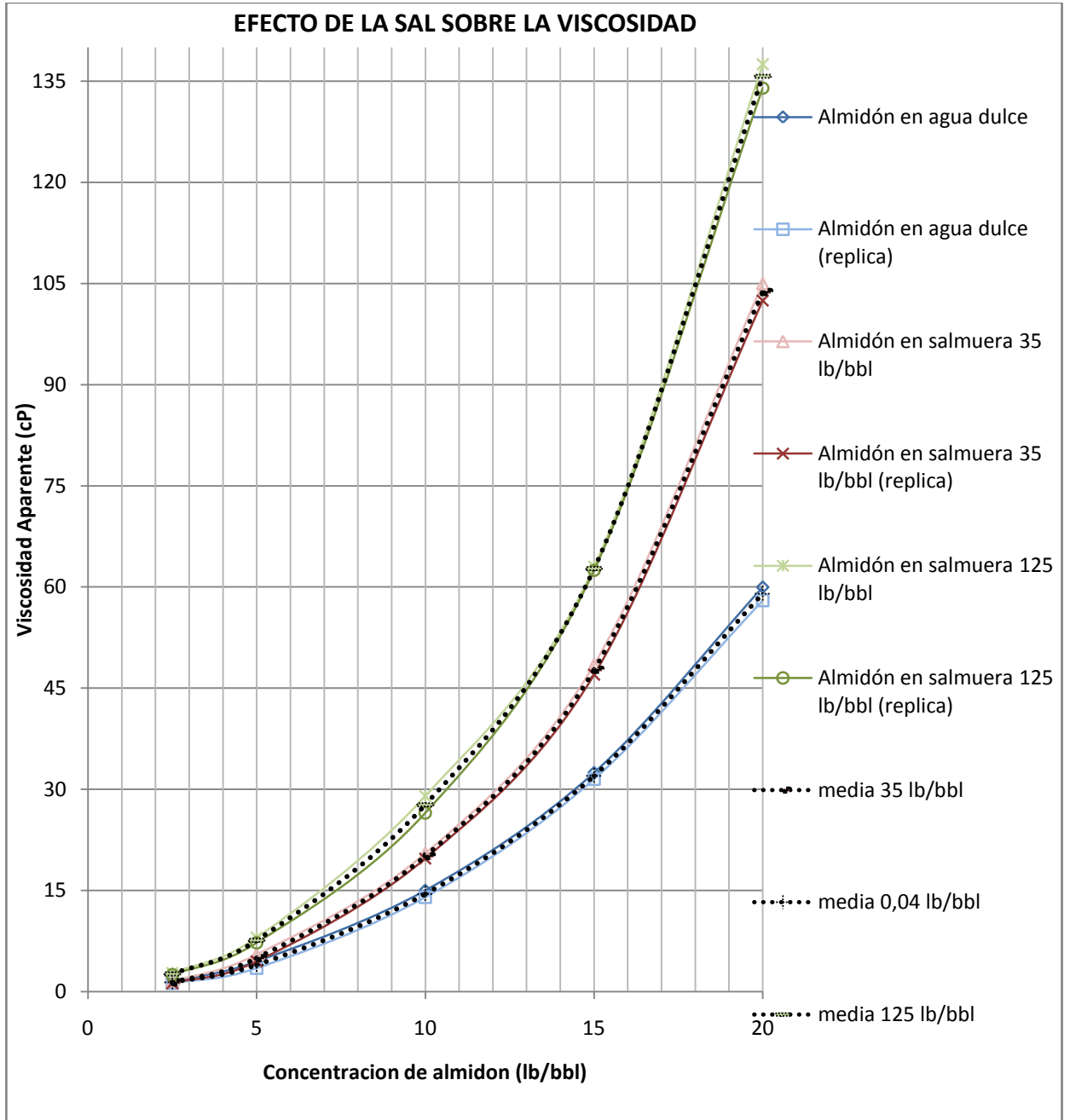
PRUEBA DE EFECTO DE LA SAL SOBRE LA VISCOSIDAD						
	600 rpm	600 rpm	600 rpm	Va (cP)	Va (cP)	Va (cP)
	0,04lpb Nacl	35 Lpb Nacl	125 Lpb Nacl	0,04 Lpb Nacl	35 Lpb Nacl	125 Lpb Nacl
2,5 Lpb Almidón P.	3	3	5,5	1,5	1,5	2,75
5 Lpb Almidón P.	9	11	16	4,5	5,5	8
10 Lpb Almidón P.	30	41	58	15	20,5	29
15 Lpb Almidón P.	65	97	126	32,5	48,5	63
20 Lpb Almidón P.	120	210	275	60	105	137,5

**Tabla 21. Resultados de la Prueba De Efecto De La Sal Sobre La Viscosidad (Replica)**

PRUEBA DE EFECTO DE LA SAL SOBRE LA VISCOSIDAD (replica)						
	600 rpm	600 rpm	600 rpm	Va (cP)	Va (cP)	Va (cP)
	0,04lpb Nacl	35 Lpb Nacl	125 Lpb Nacl	0,04 Lpb Nacl	35 Lpb Nacl	125 Lpb Nacl
2,5 Lpb Almidón P.	2,5	2,5	5	1,25	1,25	2,5
5 Lpb Almidón P.	7	9	14,5	3,5	4,5	7,25
10 Lpb Almidón P.	28	39,5	57	14	19,75	26,5
15 Lpb Almidón P.	63	94	125	31,5	47	62,5
20 Lpb Almidón P.	116	205	268	58	102,5	134

Al realizar un análisis probabilístico con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados (tabla 22, 23 y grafica 14).

**Grafica 13. Resultados De La Prueba De Rendimiento Del Almidón De Plátano En Salmueras**



De la grafica 13 se puede inferir que existe una relación inversa entre la concentración de sal en el sistema y el rendimiento del almidón de plátano. A mayor concentración de sal, menor rendimiento del sistema de fluidos.

**Tabla 22. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Salmueras (35 Lb/Bbl)**

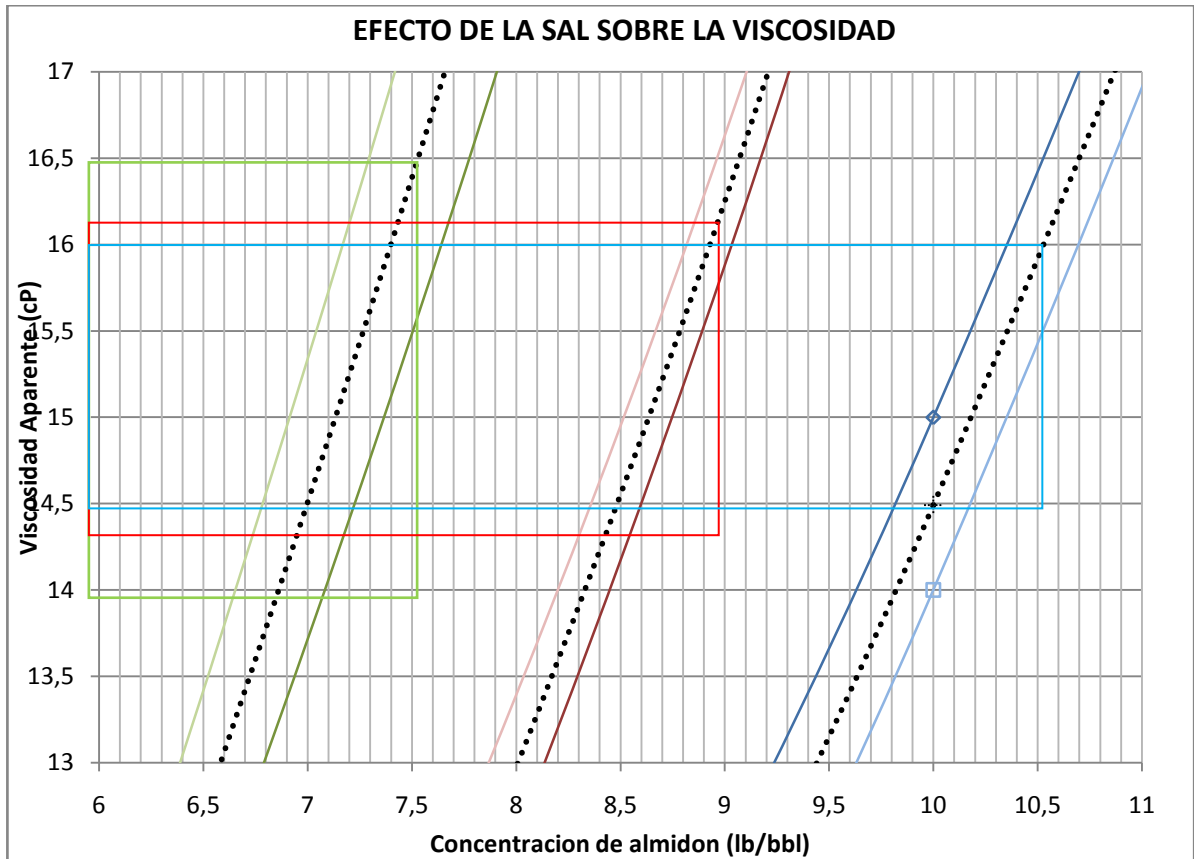
ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DEL RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN SALMUERA (35 LB/BBL)						
Almidón de plátano (lb/bbl)		2,5	5	10	15	20
<b>Va (cP)</b>	Original	1,5	5,5	20,5	48,5	105
	Replica	1,25	4,5	19,75	47	102,5
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1
	Media	1,37	4,97	20,12	47,74	103,74
	Desv.Standar	0,18	0,71	0,53	1,06	1,77
	Varianza	0,031	0,500	0,281	1,125	3,125

**Tabla 23. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano En Salmueras (125 Lb/Bbl)**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO EN SALMUERA (125 LB/BBL)						
Almidón de plátano (lb/bbl)		2,5	5	10	15	20
<b>Va (cP)</b>	Original	2,75	8	29	63	137,5
	Replica	2,5	7,25	26,5	62,5	134
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1
	Media	2,62	7,62	27,72	62,75	135,74
	Desv.Standar	0,18	0,53	1,77	0,35	2,47
	Varianza	0,031	0,281	3,125	0,125	6,125

Los resultados de la prueba de rendimiento del almidón de plátano con diferentes concentraciones de salmueras están representados en la tabla 23 y grafica 14.

**Grafica 14 Análisis Probabilístico Del Rendimiento De Almidón De Plátano  
En Agua Salada**



RENDIMIENTO AGUA DULCE = 10,2 lb/bbl RANGO P85% = (9,9 – 10,5) lb/bbl  
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,84 cP

RENDIMIENTO SALMUERA 35 lb/bbl = 8,62 lb/bbl RANGO P85% = (8,34 – 8,84)  
lb/bbl  
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 1 cP

RENDIMIENTO SALMUERA 125 lb/bbl = 7,12 lb/bbl RANGO P85% = (6,67 – 7,5)  
lb/bbl  
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 1,39 cP

Al realizar un análisis probabilístico de los resultados para la prueba de rendimiento de almidón de plátano en agua salada (125 lb/bbl), con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el Stat graphics plus 5, se obtuvo un rendimiento de 7,12lb/bbl.

## EFFECTO DEL PH SOBRE LA VISCOSIDAD

Los resultados se muestran en las tablas 24,25 y grafica 15

**Tabla 24. Resultados De La Prueba Efecto Del Ph Sobre La Viscosidad**

PRUEBA DE EFECTO DEL PH SOBRE LA VISCOSIDAD				
PROCEDIMIENTO		600 rpm	Va (cP)	PH
(10 lb/bbl) Almidón de plátano (lb/bbl) + (mL) NaOH en solución (35 lb/bbl)	0	30	15	7,57
	0,05	30	15	7,9
	0,1	29	14,5	8,11
	0,15	28	14	8,34
	0,2	28	14	8,75
	0,25	28	14	9,03
	0,3	27	13,5	9,33
	0,4	27	13,5	9,81
	0,5	27	13,5	10,22
	0,6	27	13,5	10,39
	0,7	27	13,5	10,59
	0,85	26	13	11,01
	1,15	26	13	11,39
	1,4	28	14	11,69
	1,65	32	16	11,91
1,95	36	18	12,13	

**Tabla 25. Resultados De La Prueba Efecto Del pH Sobre La Viscosidad  
(Replica)**

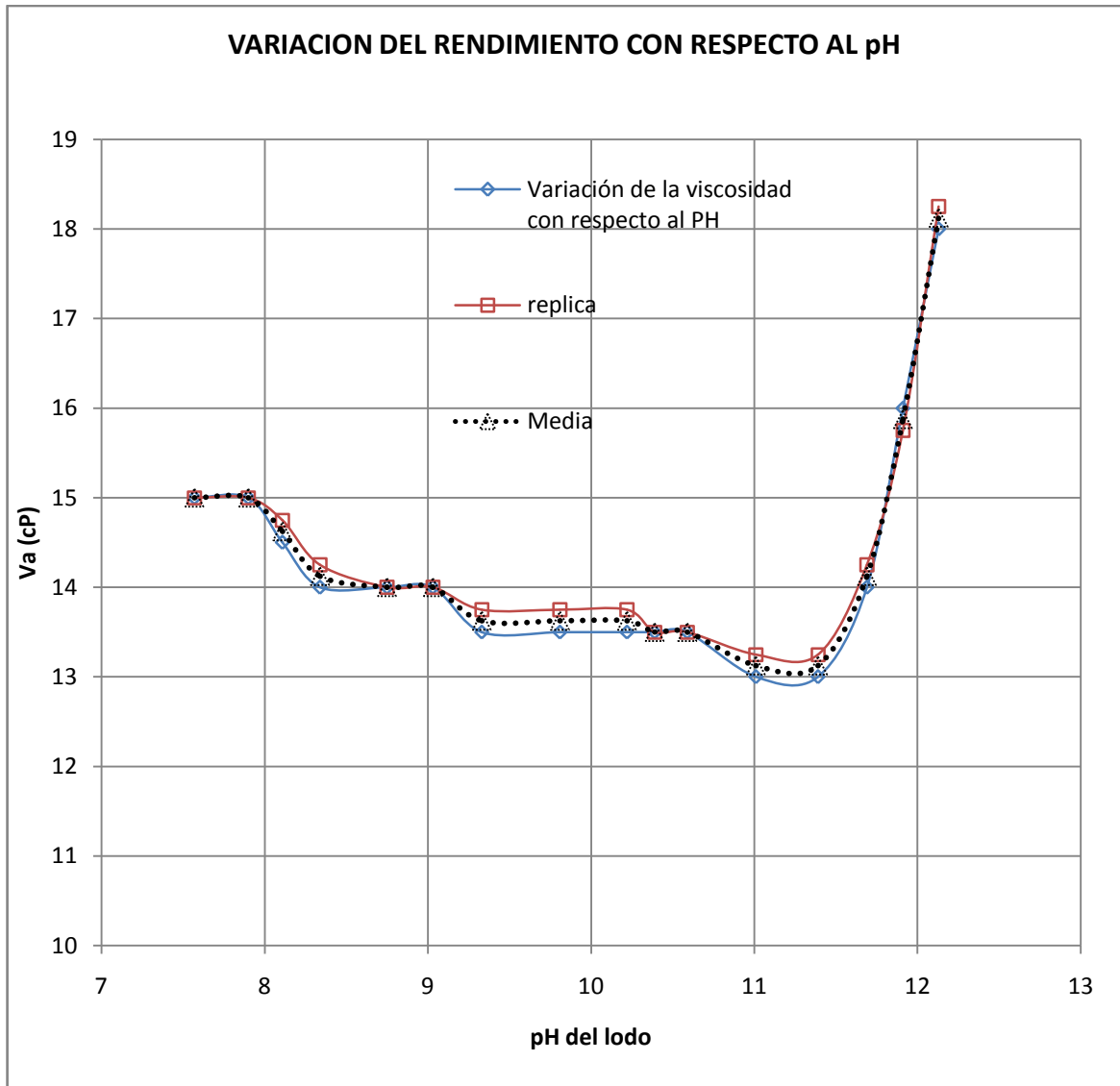
PRUEBA DE EFECTO DEL PH SOBRE LA VISCOSIDAD (replica)				
PROCEDIMIENTO		600 rpm	Va (cP)	PH
(10 lb/bbl) Almidón de plátano (lb/bbl) + (mL) NaOH en solución (35 lb/bbl)	0	30	15	7,57
	0,05	30	15	7,9
	0,1	29,5	14,75	8,11
	0,15	28,5	14,25	8,34
	0,2	28,5	14	8,75
	0,25	28,5	14	9,03
	0,3	27,5	13,75	9,33
	0,4	27,5	13,75	9,81
	0,5	27,5	13,75	10,22
	0,6	27,5	13,5	10,39
	0,7	27,5	13,5	10,59
	0,85	26,5	13,25	11,01
	1,15	26,5	13,25	11,39
	1,4	28,5	14,25	11,69
	1,65	31,5	15,75	11,91
1,95	36,5	18,25	12,13	

Al realizar un análisis probabilístico con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados de la tabla 26.

**Tabla 26. Análisis Probabilístico Del pH Sobre La Viscosidad**

PRUEBA DEL PH SOBRE LA VISCOSIDAD																
Almidón de plátano (10 lb/bbl)																
PH	7,57	7,9	8,11	8,34	8,75	9,03	9,33	9,81	10,22	10,39	10,59	11,01	11,39	11,69	11,91	12,13
Original	15	15	14,5	14	14	14	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	13	13	14	16	18
Replica	15	15	14,75	14,25	14	14	13,75	13,75	13,75	13,5	13,5	13,25	13,25	14,25	15,75	18,25
Frecuencia	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
gl	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Media	15,00	15,00	14,62	14,12	14,00	14,00	13,62	13,62	13,62	13,50	13,50	13,12	13,12	14,12	15,87	18,12
Desv. Standar	0,00	0,00	0,18	0,18	0,00	0,00	0,18	0,18	0,18	0,00	0,00	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Varianza	0,000	0,000	0,031	0,031	0,000	0,000	0,031	0,031	0,031	0,000	0,000	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031

**Grafica 15. Resultados De La Prueba Efecto Del pH Sobre La Viscosidad**



**DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,14 CP**

Estos resultados muestran un rendimiento estable durante todo el recorrido del pH descartando el rango comprendido entre (10,5 - 11,5), donde ocurre una leve pero significativa caída en la lectura de la viscosidad.

## EXTENSIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA

Los resultados se muestran en las tablas 28, 29 y grafica 16.

**Tabla 28. Resultados De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita**

PRUEBA DE EXTENSION DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA							
PROCEDIMIENTO	600 rpm			Va (cP)			
	Almidón	0 lb/bbl	0,5 lb/bbl	1 lb/bbl	0 lb/bbl	0,5 lb/bbl	1 lb/bbl
Bentonita (lb/bbl) + Almidón de plátano		X	2	2	X	1	1
	8	4	3	4	2	1,5	2
	16	7	8	11	3,5	4	5,5
	24	16	19	46	8	9,5	23
	32	34	39	93	17	19,5	46,5
	40	79	86	X	39,5	43	X

**Tabla 29. Resultados De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita (Replica)**

PRUEBA DE EXTENSION DE LAS PROPIEDADES DE LA BENTONITA (replica)							
PROCEDIMIENTO	600 rpm			Va (cP)			
	almidón	0 lb/bbl	0,5 lb/bbl	1 lb/bbl	0 lb/bbl	0,5 lb/bbl	1 lb/bbl
Bentonita (lb/bbl) + Almidón de plátano		X	2	2	X	1	1
	8	3	3	4	1,5	1,5	2
	16	8	8,5	12	4	4,25	6
	24	16	20	46	8	10	23
	32	33	39	93,5	16,5	19,5	46,75
	40	81	87	X	40,5	43,5	X

**Tabla 30. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA BENTONITA						
Bentonita (lb/bbl)		8	16	24	32	40
Va (cP)	Original	2	3,5	8	17	39,5
	Replica	1,5	4	8	16,5	40,5
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1
	Media	1,73	3,74	8,00	16,75	40,00
	Desv. Standar	0,35	0,35	0,00	0,35	0,71
	Varianza	0,125	0,125	0,000	0,125	0,500

Al realizar un análisis utilizando el software Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados de las tablas 30, 31, 32, 33 y en la grafica 17.

**Tabla 31. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA BENTONITA						
Bentonita (lb/bbl)		8 Va (cP)	16 Va (cP)	24 Va (cP)	32 Va (cP)	40 Va (cP)
	Original	2	3,5	8	17	39,5
	Replica	1,5	4	8	16,5	40,5
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1
	Media	1,73	3,74	8,00	16,75	40,00
	Desv. Standar	0,35	0,35	0,00	0,35	0,71
	Varianza	0,125	0,125	0,000	0,125	0,500

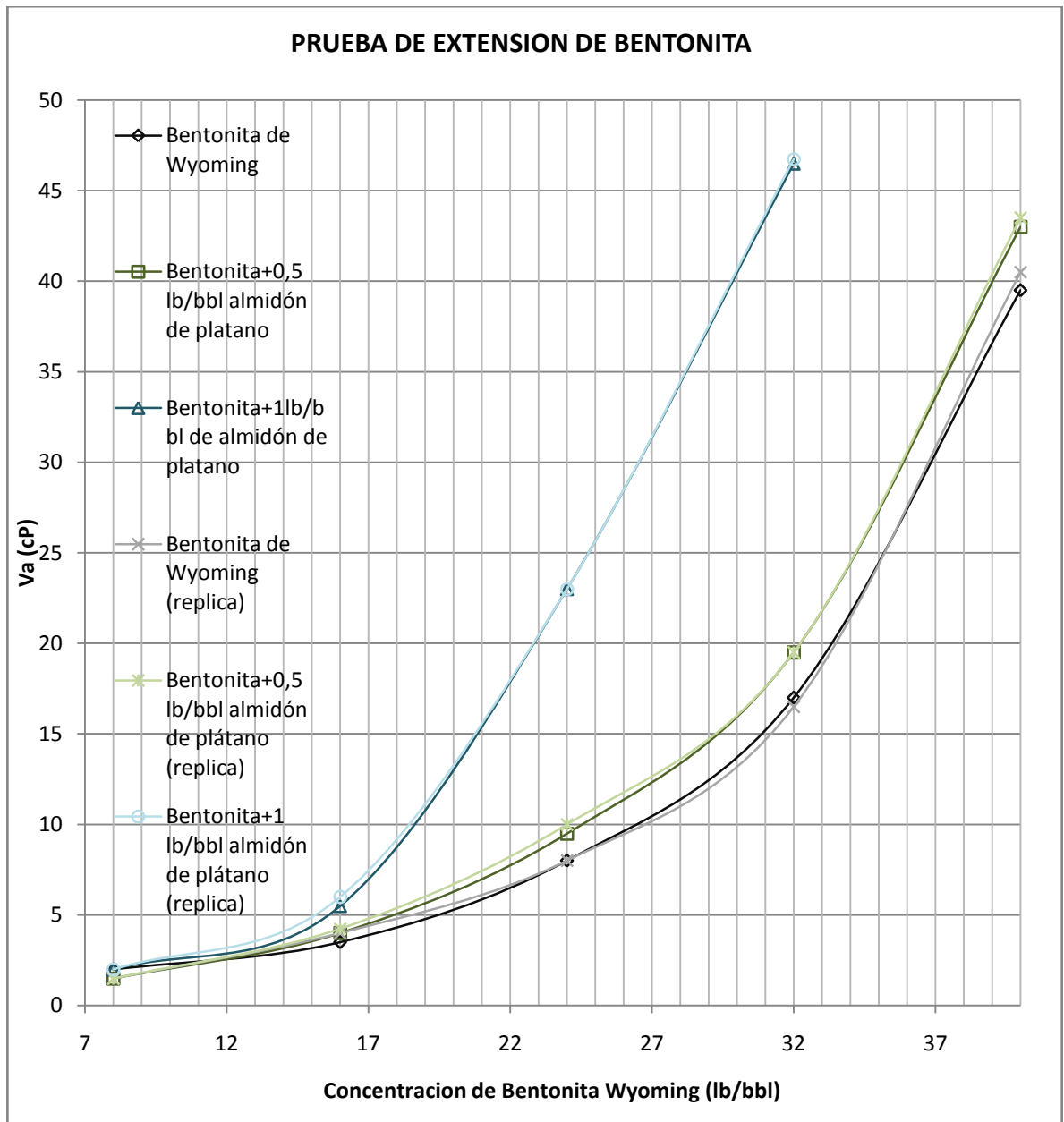
**Tabla 32. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita Con Almidón De Plátano (0,5 Lb/Bbl)**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA BENTONITA CON ALMIDÓN DE PLÁTANO (0,5 lb/bbl)						
Bentonita (lb/bbl)		8	16	24	32	40
<b>Va (cP)</b>	Original	1,5	4	9,5	19,5	43
	Replica	1,5	4,25	10	19,5	43,5
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1
	Media	1,50	4,12	9,75	19,50	43,25
	Desv. Standar	0,00	0,18	0,35	0,00	0,35
	Varianza	0,000	0,031	0,125	0,000	0,125

**Tabla 33. Análisis Probabilístico De La Prueba De Rendimiento De La Bentonita Con Almidón De Plátano (1 Lb/Bbl)**

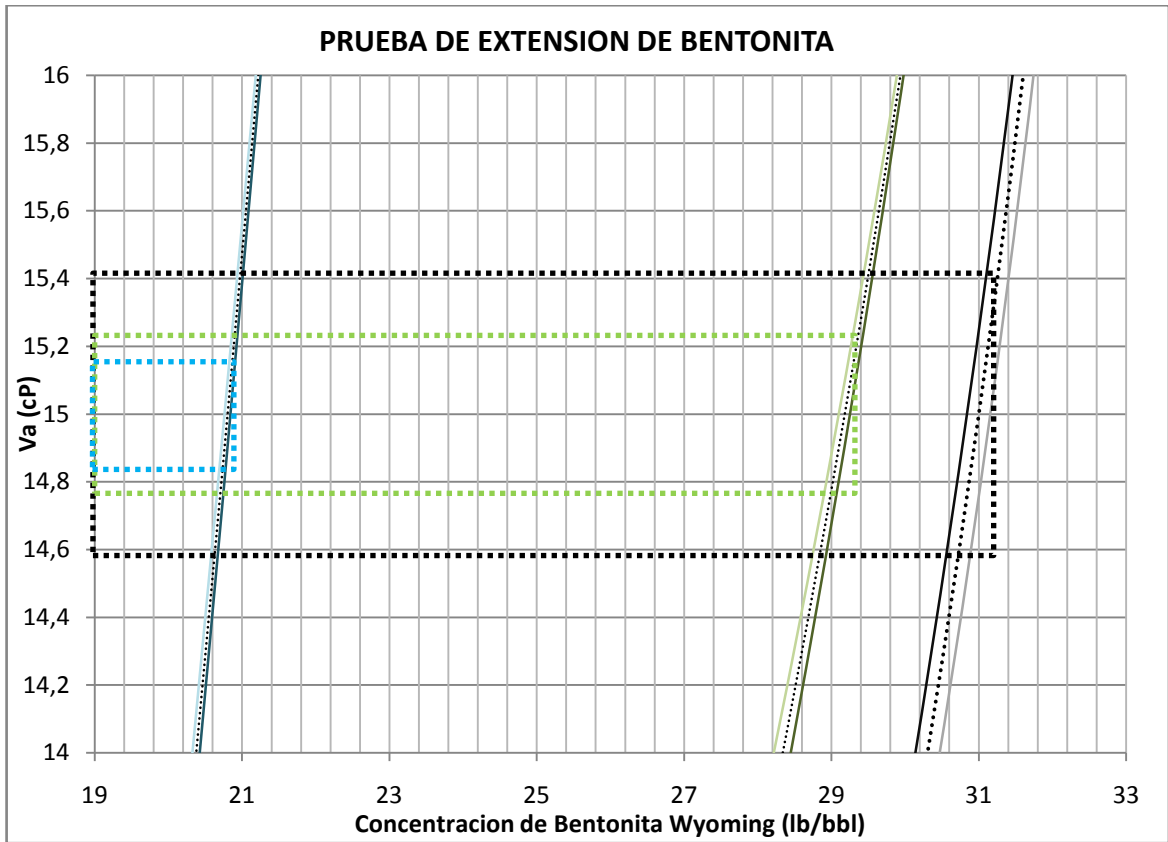
PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA BENTONITA CON ALMIDÓN DE PLÁTANO (1 lb/bbl)					
Bentonita (lb/bbl)		8	16	24	32
<b>Va (cP)</b>	Original	2	5,5	23	46,5
	Replica	2	6	23	46,75
	Frecuencia	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1
	Media	2,00	5,74	23,00	46,62
	Desv. Standar	0,00	0,35	0,00	0,18
	Varianza	0,000	0,125	0,000	0,031

**Grafica 16. Resultados De La Prueba De Extensión De Las Propiedades De La Bentonita**



Al observar los resultados de la grafica 17, se puede definir al almidón de plátano (0,5 lb/bbl y 1 lb/bbl), como un buen extendedor de las propiedades de la bentonita.

**Grafica 17: Análisis Probabilístico De La Prueba De Extensión De La Bentonita**



RENDIMIENTO BENTONITA = 31 lb/bbl

RANGO P85% = (30,7 – 31,3) lb/bbl

DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,42 cP

RENDIMIENTO BENTONITA + ALMIDÓN (0,5 lb/bbl) = 29,1 lb/bbl

RANGO P85% = (28,9 – 29,3) lb/bbl

DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,24 cP

RENDIMIENTO BENTONITA + ALMIDÓN (1 lb/bbl) = 20,8 lb/bbl

RANGO P85% = (20,7 – 20,9) lb/bbl

DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,17 cP

La adición del almidón de plátano (1 lb/bbl) mejoro el rendimiento de la bentonita, hasta tal punto que se llega a ahorrar 10,2 libras de bentonita por cada barril de agua en la preparación del lodo.

## RENDIMIENTO DE ALGUNOS AGENTES VISCOCIFICANTES

Los resultados se muestran en las tablas 34, 35 y en las grafica 19.

**Tabla 34. Resultados De La Prueba De Viscosidad Para Algunos Viscosificantes Comerciales**

RENDIMIENTO DE ALGUNOS VISCOSIFICANTES				
PROCEDIMIENTO		600 rpm	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)
Arcilla Natural (lb/bbl)	10	4	2	<b>8,55</b>
	20	6	3	8,8
	30	9	4,5	9
	40	16	8	9,4
	50	30	15	9,9
Bentonita (lb/bbl)	8	4	2	8,4
	16	5	3,5	8,5
	24	9	8	8,55
	32	19	17	8,6
	40	79	39,5	8,8
Aquagel (lb/bbl)	5	4	2	8,5
	10	7	3,5	8,5
	20	11	5,5	8,5
	25	19	9,5	8,55
	30	28	14	8,55
	35	58	29	8,6
Bentonita (lb/bbl) + 35 (lb/bbl) NaCl	7	4	2	8,6
	14	5	2,5	8,75
	21	7,5	3,75	8,8
	28	18	9	9,1
	34	48	24	9,25

**Tabla 35. Resultados De La Prueba De Viscosidad Para Algunos Viscosificantes Comerciales (replica)**

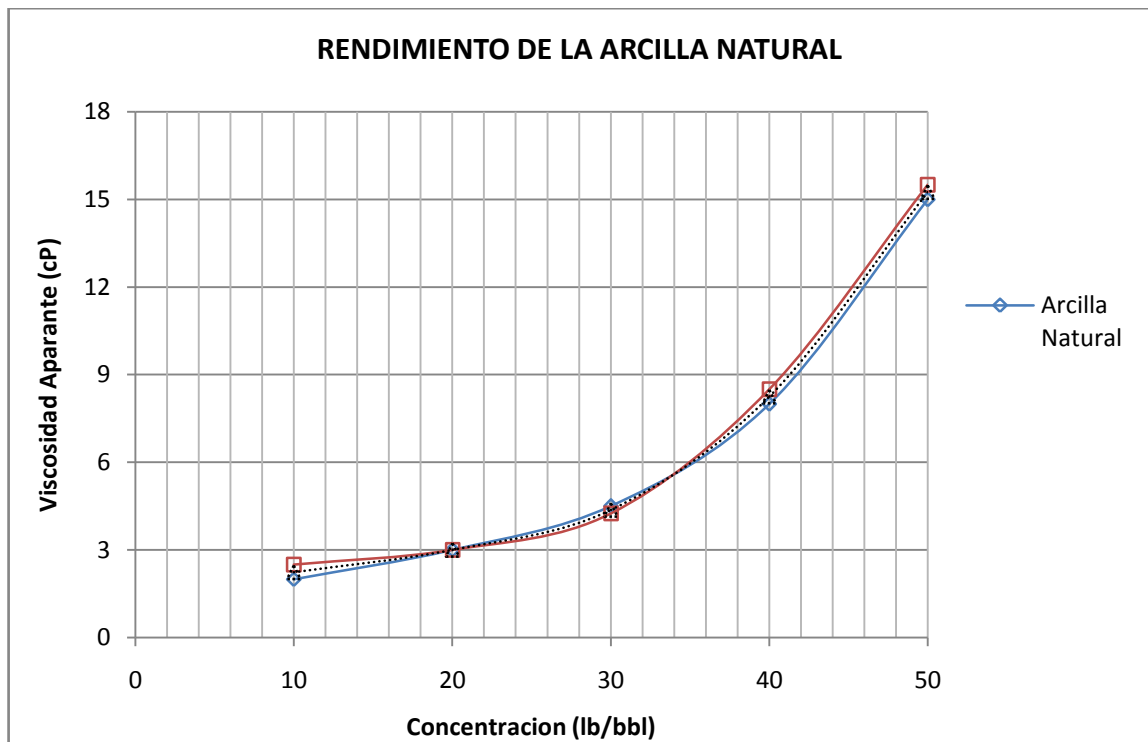
RENDIMIENTO DE ALGUNOS VISCOSIFICANTES (replica)				
PROCEDIMIENTO		600 rpm	Va (cP)	Densidad del lodo (lb/gal)
Arcilla Natural (lb/bbl)	10	5	2,5	8,55
	20	6	3	8,8
	30	8,5	4,25	9
	40	17	8,5	9,4
	50	31	15,5	9,8
Bentonita (lb/bbl)	8	3	1,5	8,4
	16	8	4	8,5
	24	16	8	8,55
	32	33	16,5	8,6
	40	81	40,5	8,8
Aquagel (lb/bbl)	5	3	1,5	8,5
	10	5	2,5	8,5
	20	10	5	8,5
	25	18	9	8,55
	30	30	15	8,6
	35	61	30,5	8,6
Bentonita (lb/bbl) + 35 (lb/bbl) NaCl	7	4	2	8,6
	14	6	3	8,75
	21	8	4	8,8
	28	16	8	9,1
	35	48	24	9,25

Al realizar un análisis probabilístico para los anteriores agentes viscosificantes, con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el software Stat graphics plus 5, se obtienen los resultados de las tablas 36,37, 38 y las graficas 19,21,23,24(a,b,c)

## ARCILLA NATURAL

En la grafica 18 se puede observar los resultados de la prueba de rendimiento de viscosidad para la prueba de rendimiento de la arcilla natural.

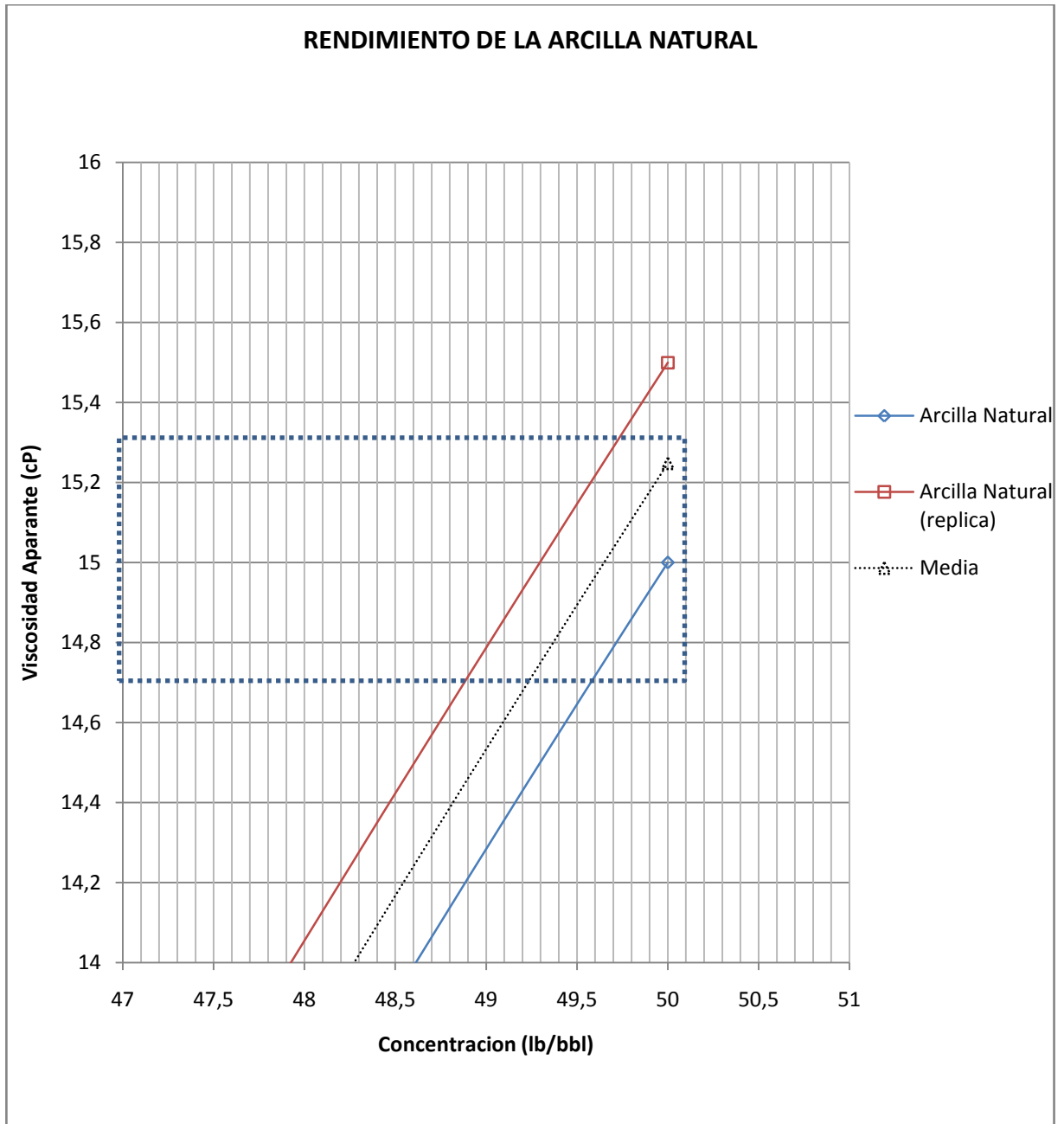
**Grafica 18. Resultados De Prueba De Rendimiento De La Arcilla Natural**



**Tabla 36. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Arcilla Natural**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA ARCILLA NATURAL						
(lb/bbl)		10	20	30	40	50
<b>Va (cP)</b>	Original	2	3	4,5	8	15
	Replica	2,5	3	4,25	8,5	15,5
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1
	Media	2,24	3,00	4,37	8,25	15,25
	Desv. Standar	0,35	0,00	0,18	0,35	0,35
	Varianza	0,125	0,000	0,031	0,125	0,125

**Grafica 19: Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Arcilla natural**



RENDIMIENTO ARCILLA NATURAL = 49,65 lb/bbl RANGO P85% = (50,1 – 49,25) lb/bbl

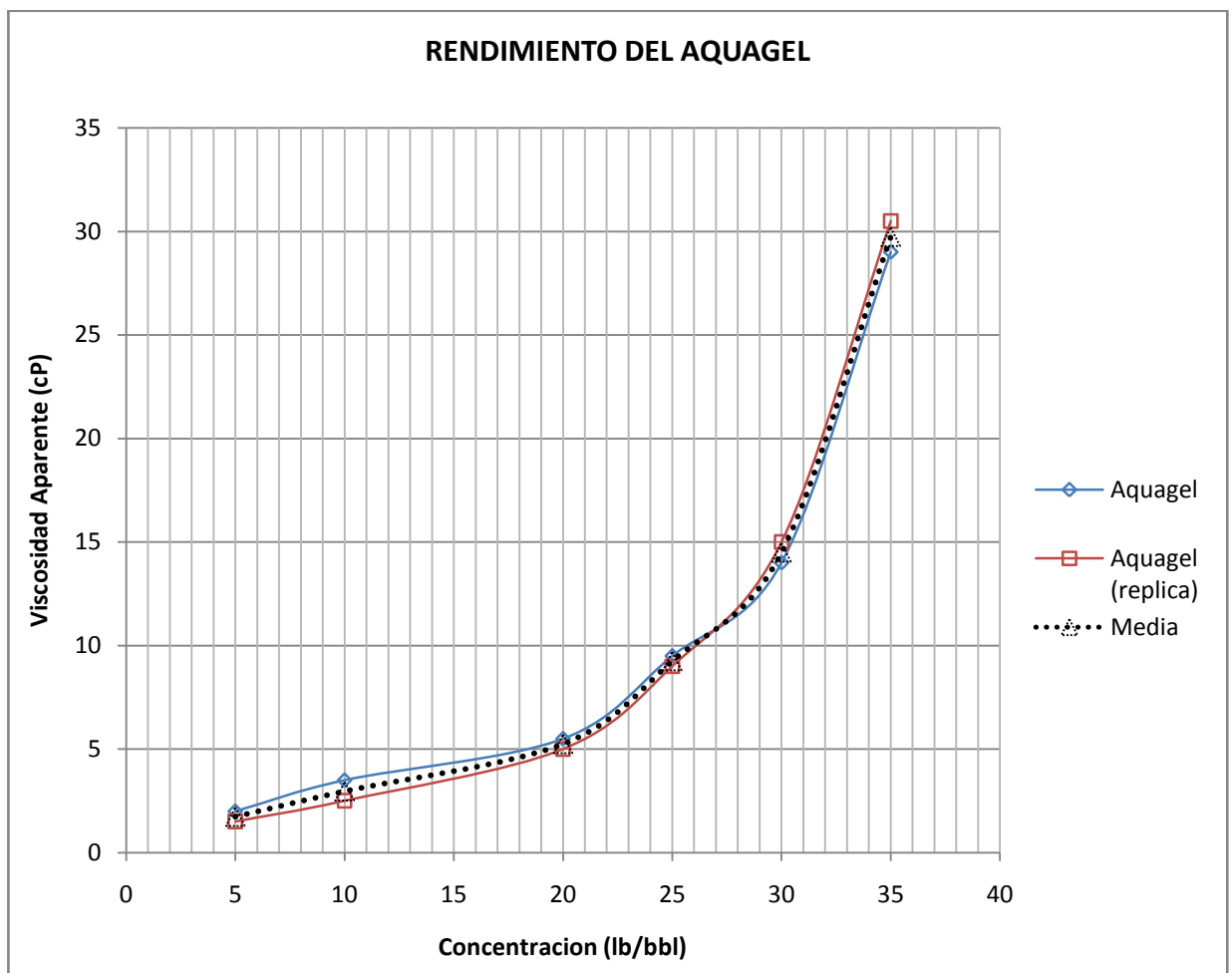
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,28 cP

De la información anterior se puede deducir que el rendimiento de la arcilla natural (49,65 lb/bbl) está muy alejado del valor del rendimiento que se alcanzó con el almidón de plátano.

## AQUAGEL

En la grafica 20 se puede observar los resultados de la prueba de rendimiento de viscosidad para la prueba de rendimiento de aquagel.

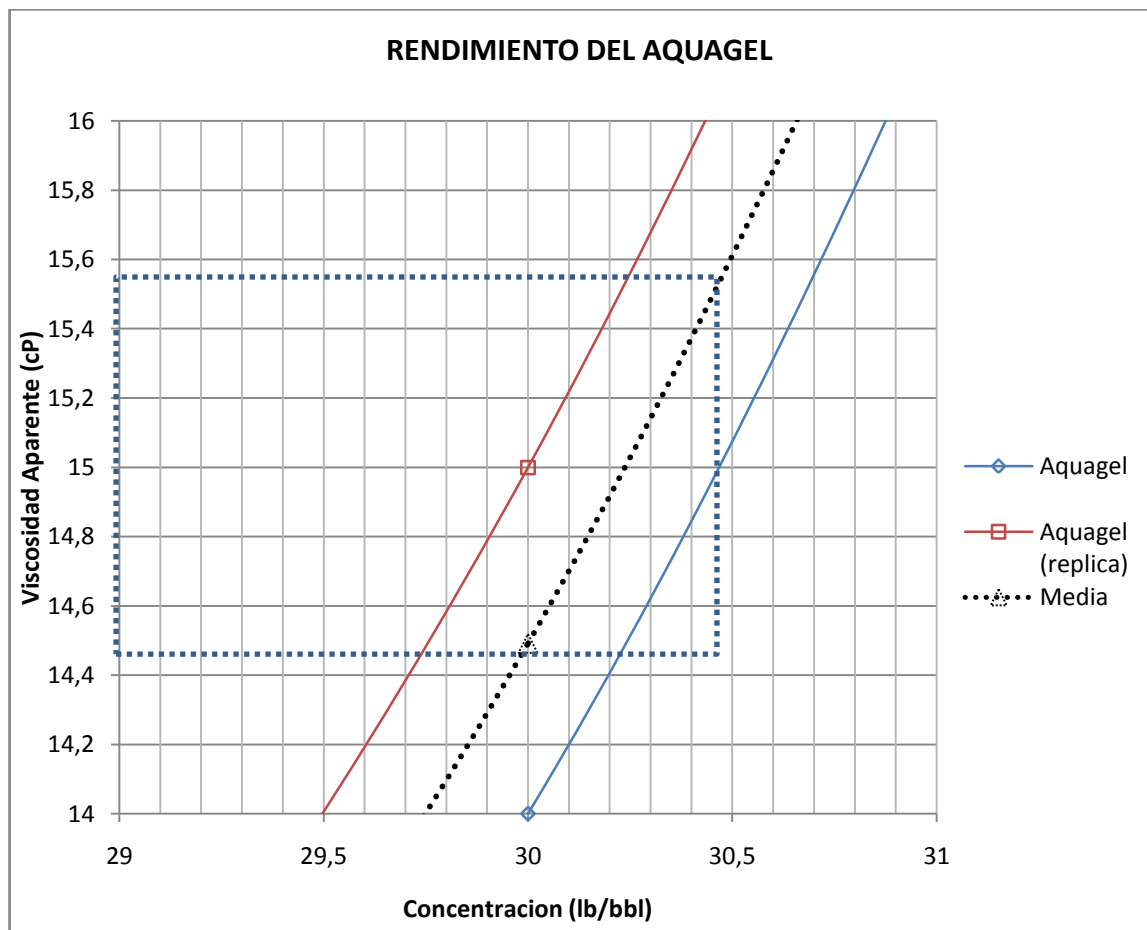
**Grafica 20. Resultados De Prueba De Rendimiento Del Aquagel**



**Tabla 37. Análisis Probabilístico Del Rendimiento Del Aquagel**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DEL AQUAGEL							
(lb/bbl)		5	10	20	25	30	35
Va (cP)	Original	2	3,5	5,5	9,5	14	29
	Replica	1,5	2,5	5	9	15	30,5
	Frecuencia	2	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1	1
	Media	1,73	2,96	5,24	9,25	14,49	29,74
	Desv. Standar	0,35	0,71	0,35	0,35	0,71	1,06
	Varianza	0,125	0,500	0,125	0,125	0,500	1,125

**Grafica 21: Análisis Probabilístico Del Rendimiento Del Aquagel**



RENDIMIENTO AQUAGEL = 30,23 lb/bbl RANGO P85% = (29,98 – 31,3) lb/bbl

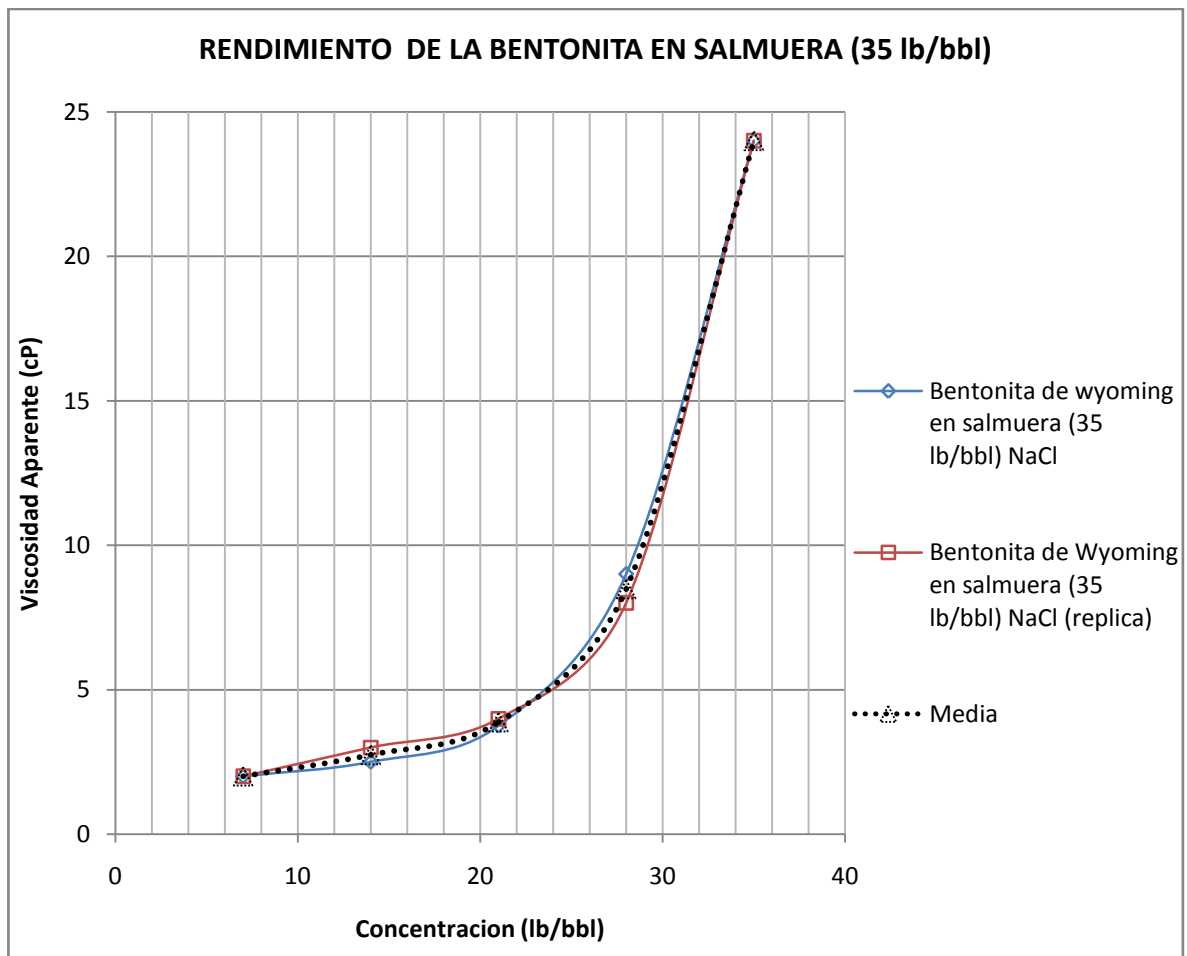
DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,53 cP

Al realizar un análisis probabilístico de los resultados para la prueba de rendimiento del aquagel, con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el software Stat graphics plus 5, se obtuvo un rendimiento de 30,23 lb/bbl.

### BENTONITA EN SALMUERA (35 LB/BBL)

En la grafica 22 se puede observar los resultados de la prueba de rendimiento de viscosidad para la prueba de rendimiento de la bentonita en salmuera.

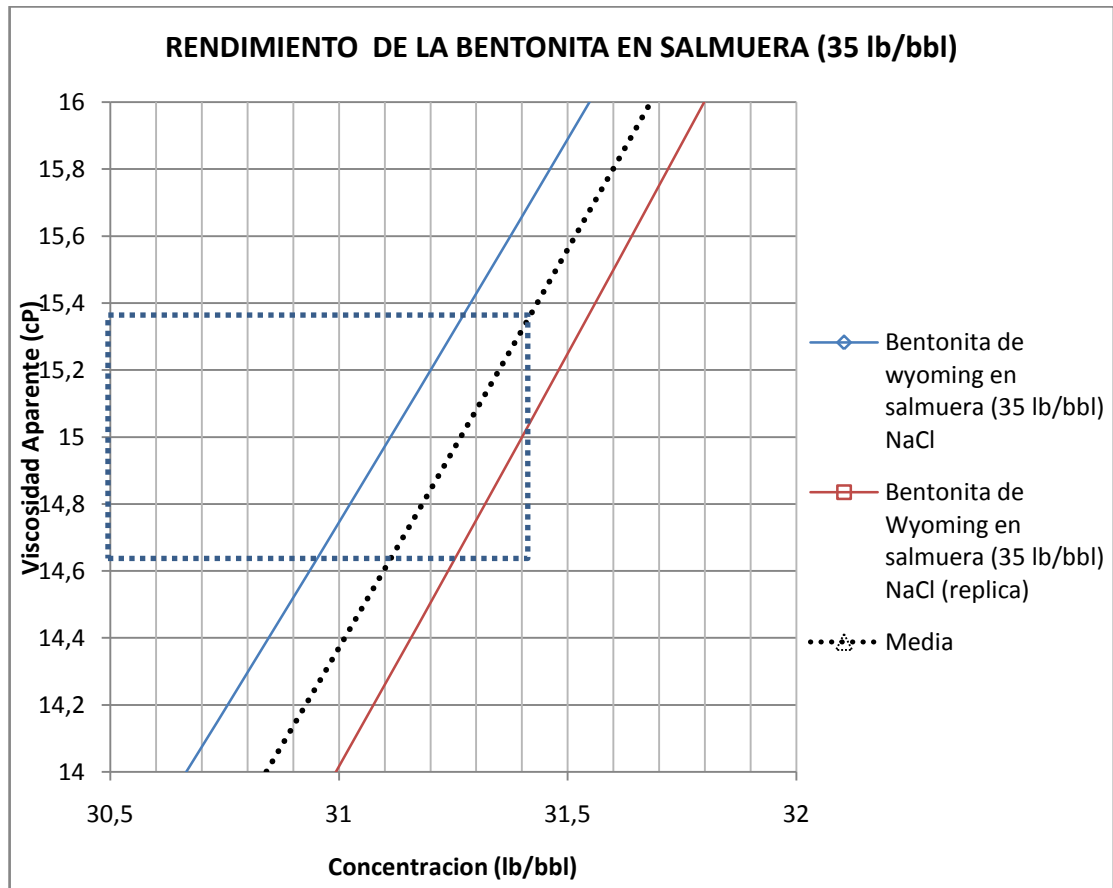
**Grafica 22. Resultados De Prueba De Rendimiento De La Bentonita En Salmuera (35 lb/bbl) NaCl**



**Tabla 38. Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Bentonita En Salmuera (35 Lb/bbl NaCl)**

PRUEBA DE RENDIMIENTO DE LA BENTONITA EN SALMUERA (35 lb/bbl NaCl)						
(lb/bbl)		7	14	21	28	35
<b>Va (cP)</b>	Original	2	2,5	3,75	9	24
	Replica	2	3	4	8	24
	Frecuencia	2	2	2	2	2
	gl	1	1	1	1	1
	Media	2,00	2,74	3,87	8,49	24,00
	Desv.Standar	0,00	0,35	0,18	0,71	0,00
	Varianza	0,000	0,125	0,031	0,500	0,000

**Grafica 23: Análisis Probabilístico Del Rendimiento De La Bentonita En Salmuera (35 Lb/bbl NaCl)**



RENDIMIENTO BENTONITA EN SALMUERA (35 LB/ BBL NAACL) = 31,26 LB/BBL

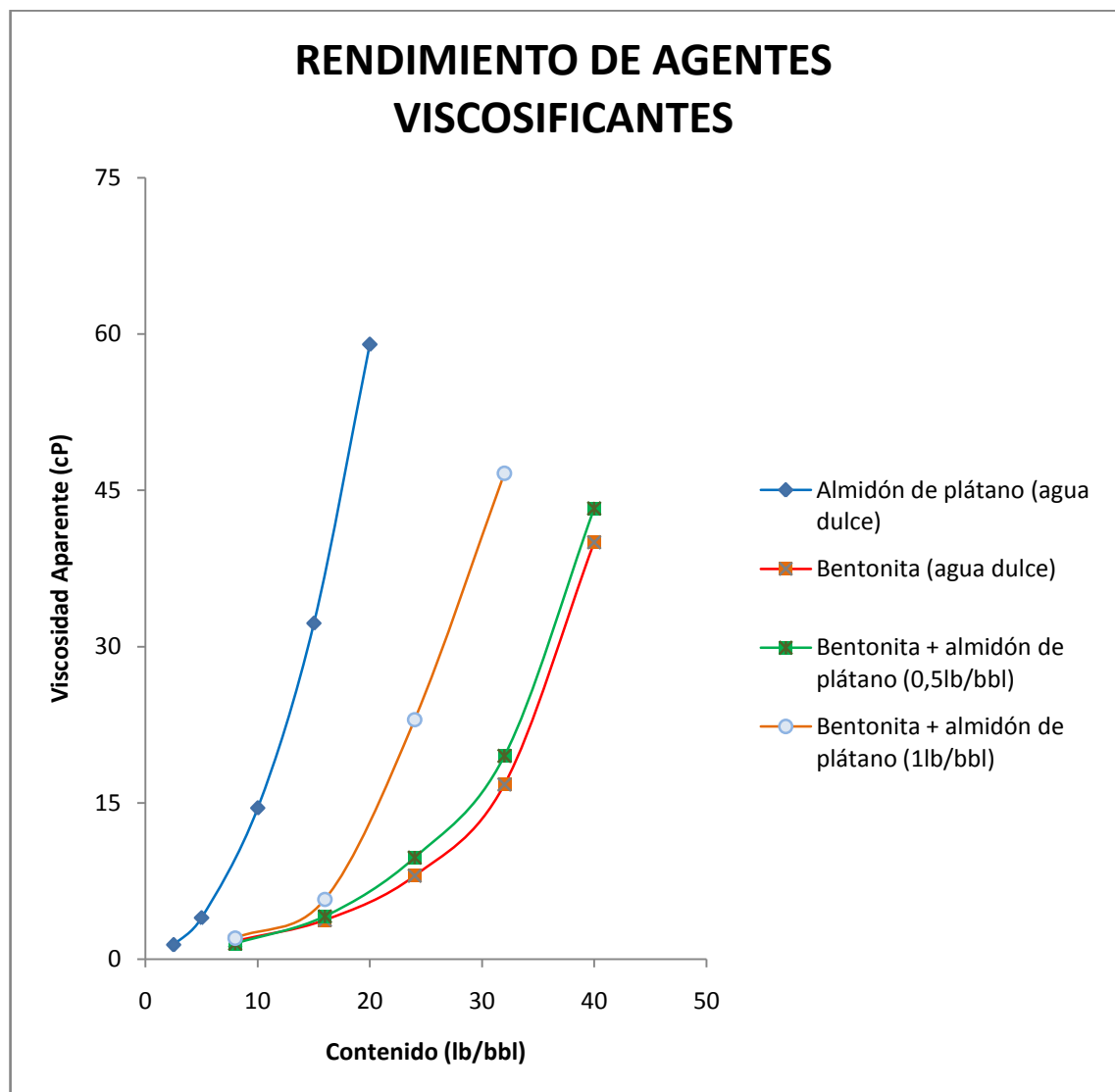
RANGO P85% = (31,12 – 31,42) LB/BBL

DESVIACIÓN ESTÁNDAR MEDIA = 0,36 CP

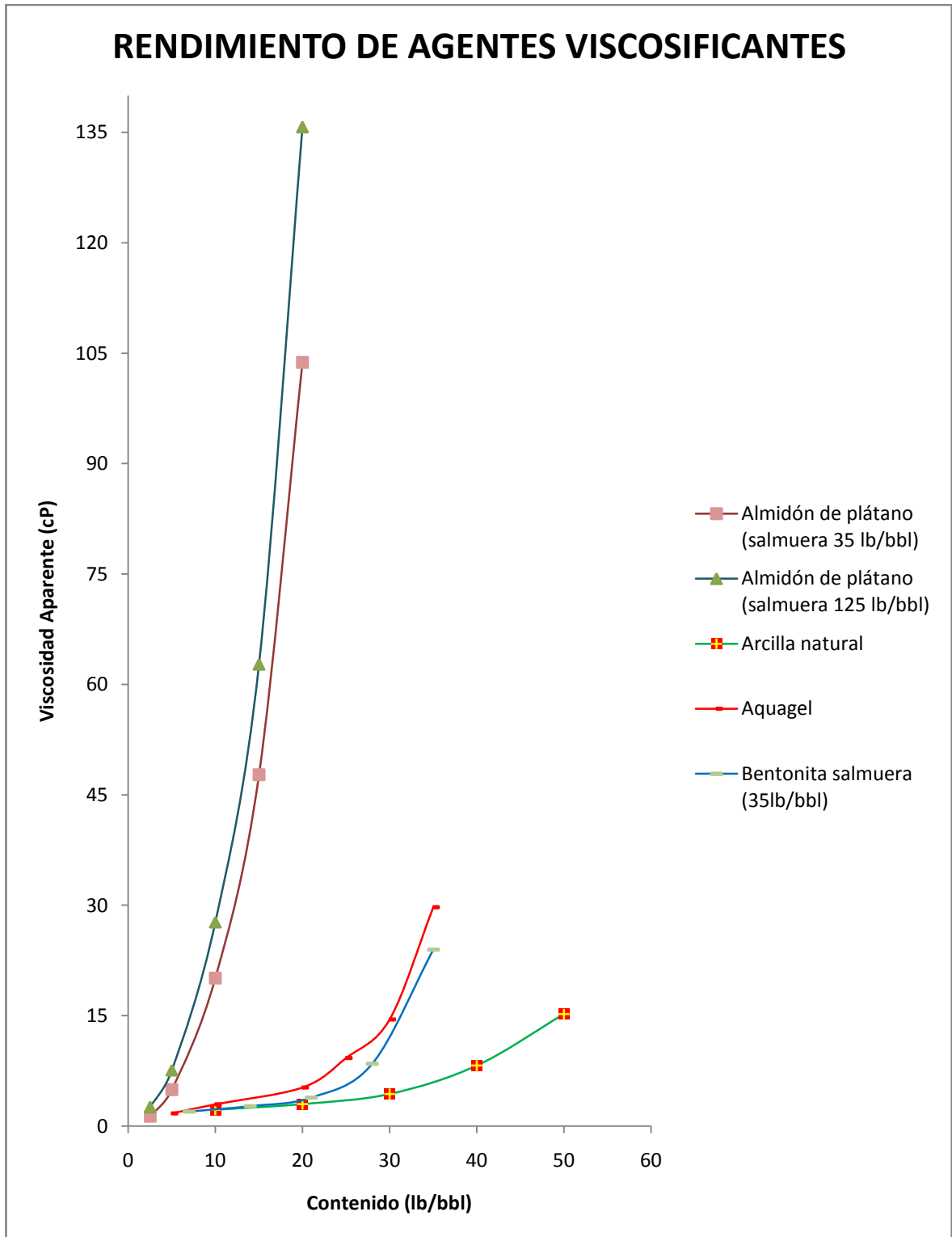
Al realizar un análisis probabilístico de los resultados para la prueba de rendimiento de la bentonita en salmuera (35 lb/bbl), con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el Stat graphics plus 5, se obtuvo un rendimiento de 31,26 lb/bbl.

En las siguientes graficas se resumen todas las pruebas de rendimiento efectuadas en este proyecto.

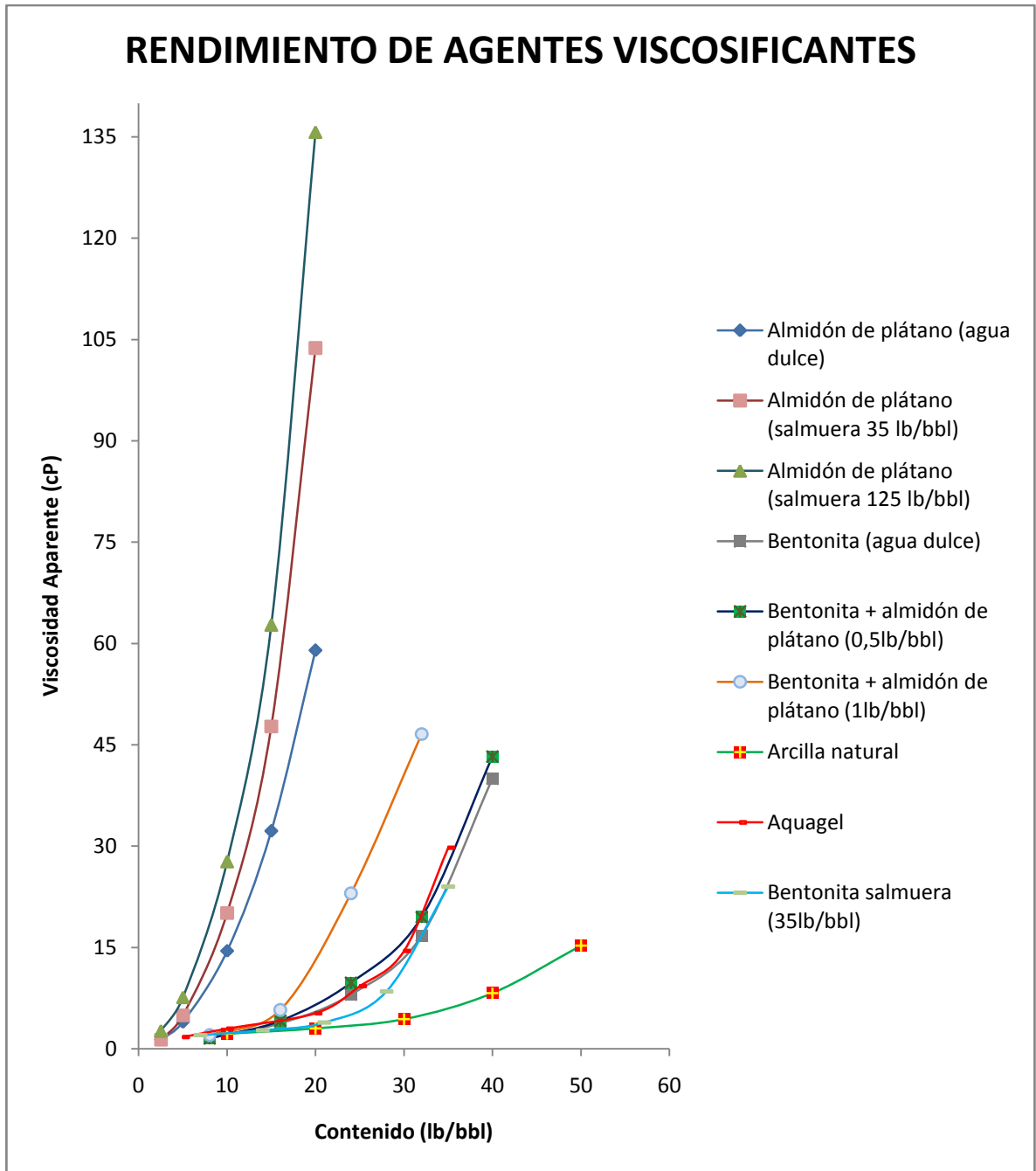
**Grafica 24. Rendimiento De Agentes Viscosificantes**



Grafica 24-b. Rendimiento De Agentes Viscosificantes



Grafica 24-c. Rendimiento De Agentes Viscosificantes



De las graficas 25, 25b y 25c se puede observar que el mejor rendimiento comparado contra otros productos viscosificantes tanto en ambiente salino como no salino, pertenece al sistema con almidón de plátano.

### 3.6.2 Prueba De Control De Filtrado

Los resultados de la prueba de control de filtrado se muestran en las tablas 39 y 40.

**Tabla 39. Resultados De La Prueba De Almidón De Plátano Como Controlador De Filtrado**

PRUEBA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO CONTROLADOR DE FILTRADO											
PROCEDIMIENTO	600 rpm	300 rpm	Vp (cP)	Yp	Va (cP)	PH	Fuerza de gel	Densidad del lodo (lb/gal)	Filtrado API @ 30 min (ml)	Espesor (1/32pulgadas)	
1	Base	46	29	17	12	23	10,41	4	8,75	4,3	<<1/32
2	Base+40 Lpb Sal	145	122	23	99	72,5	8,44	5	8,95	11,8	<1/32
2.1	+1 Pac-L	37	27	10	17	18,5	10,16	8	9,15	8,2	<1/32
2.2	+1 Lpb Almidón	59	45	14	31	29,5	10,25	11	8,8	16,2	1/32
2.3	+2 Lpb Almidón	70	65	5	60	35	10,34	14	8,85	12,9	1/32
3	Base +1 Lpb Cal	87	58	29	29	43,5	12,41	54	8,6	6,3	1/32
3.1	+1 Lpb Pac-L	66	51	15	36	33	10,53	21	8,9	3,4	<<1/32
3.2	+ 1lpb Almidón	67	43	24	19	33,5	10,41	22	8,7	3,9	Película
3.3	+ 2 Lpb Almidón	83,5	54	29,5	24,5	41,7	10,53	23	8,9	3,6	Película
4	Base+1Lpb Yeso	79	51	28	23	39,5	12,61	25	8,5	6,4	1/32
4.1	+1 Lpb Pac-L	62	41	21	20	31	10,23	11	8,6	2	<<1/32
4.2	+ 1lpb Almidón	69,5	46	23,5	22,5	34,7	10,06	19	8,7	6,5	Película
4.3	+ 2 Lpb Almidón	69	50	19	31	34,5	10,03	26	8,9	5,7	Película
5	Base+1lpb Cacl2	60	43	17	26	30	9,17	31	8,9	6,1	1/32
5.1	+ 1 Lpb Pac-L	76	51	25	26	38	10,2	17	8,95	4,5	1/32
5.2	+ 1lpb Almidón	66,5	48	18,5	29,5	33,2	10,23	21	8,8	5,5	Película
5.3	+ 2lpb Almidón	73,5	50	23,5	26,5	36,7	10,16	24	8,9	5,2	Película

**Tabla 40. Resultados De La Prueba De Almidón De Plátano Como Controlador De Filtrado (Replica)**

<b>PRUEBA DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO CONTROLADOR DE FILTRADO</b>											
<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>600 rpm</b>	<b>300 rpm</b>	<b>Vp (cP)</b>	<b>Yp</b>	<b>Va (cP)</b>	<b>PH</b>	<b>Fuerza de gel</b>	<b>Densidad del lodo (lb/gal)</b>	<b>Filtrado API @ 30 min (ml)</b>	<b>Espesor (1/32pulgadas)</b>	
1	Base	46	29	17	12	23	10,4	4	8,75	4,1	<<1/32
2	Base+40 Lpb Sal	139	118	21	97	69,5	8,45	7	8,9	12,2	<1/32
2.1	+1 Pac-L	31	23	8	15	15,5	10,12	8	9,1	7,8	<1/32
2.2	+1 Lpb Almidón	59	45	14	31	29,5	10,21	13	8,85	16,6	1/32
2.3	+2 Lpb Almidón	70	65	5	60	35	10,35	16	8,8	12,3	1/32
3	Base +1 Lpb Cal	87	58	29	29	43,5	12,42	50	8,6	6,5	1/32
3.1	+1 Lpb Pac-L	60	47	13	34	35	10,54	17	8,9	3,8	<<1/32
3.2	+ 1lpb Almidón	61	39	22	17	30,5	10,4	21	8,75	3,7	Película
3.3	+ 2 Lpb Almidón	80,5	52	28,5	23,5	40,2	10,55	24	8,9	3,6	Película
4	Base+1 Lpb Yeso	79	51	28	23	39,5	12,62	25	8,5	6,4	1/32
4.1	+1 Lpb Pac-L	62	41	21	20	31	10,21	11	8,65	2	<<1/32
4.2	+ 1lpb Almidón	66,5	44	22,5	21,5	33,2	10,07	19	8,7	6,3	Película
4.3	+ 2 Lpb Almidón	75	54	21	33	37,5	10,08	24	8,9	5,5	Película
5	Base+11 pb Cacl2	66	47	19	33	31,5	9,13	29	8,9	5,9	1/32
5.1	+ 1 Lpb Pac-L	76	51	25	38	39,5	10,5	17	8,95	4,3	<<1/32
5.2	+ 1lpb Almidón	63,1	46	17,5	31,5	32,5	10,26	19	8,85	5,7	Película
5.3	+ 2lpb Almidón	72	49	23	36	30	10,14	25	8,9	5,2	Película

Los resultados obtenidos en la prueba de almidón de plátano como controlador de filtrado indican que el mejor resultado de filtrado API se presentan en el tratamiento de un lodo contaminado con cal.

## PRUEBA DE CONTROL DE FILTRADO DEL LODO BASE

Al realizar un análisis probabilístico para la prueba de control de filtrado del lodo base con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el software Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados de la tabla 41. El siguiente análisis de propiedades tanto reológicas como de control de filtrado fue extraído de DRILLING FLUID ENGINEERING MANUAL. Magcobar division oilfield products group dresser industries.

**Tabla 41. Resultados Análisis Probabilístico De La Prueba De Control De Filtrado-Lodo Base**

PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - LODO BASE				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	17	12	4	4,3
Replica	19	14	4	4,1
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	18	13	4	4,2
Desv. Standar	1,41	1,41	0	0,14

Se puede observar que el lodo bentonítico ofrece un muy buen control de filtrado. Estas propiedades de la torta del lodo base están relacionadas directamente con las características de la bentonita, la cual posee partículas planas menores a (0,05 micrones) y bastante delgadas que facilitan el grado de hidratación de estas.

**Figura 14. Retorta Del Lodo Base**



**PRUEBA DE CONTROL DE FILTRADO – CONTAMINACIÓN CON SAL**

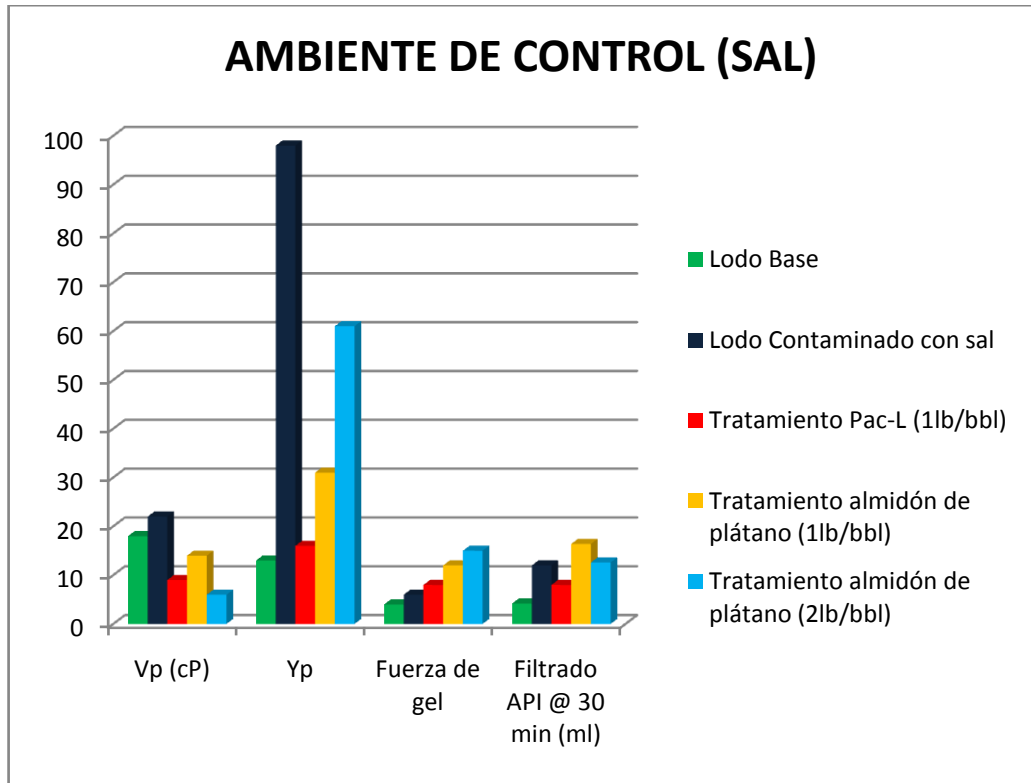
Al realizar un análisis probabilístico para la prueba de control de filtrado contaminación con sal, con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el software Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados de la tabla 42.

**Tabla 42. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado - Contaminación Con Sal**

PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON SAL				
	Vp (cP)	Yp (lb/100 ft2)	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	23	99	5	11,8
Replica	21	97	7	12,2
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	22	98	6	12
Desv. Standar	1,41	1,41	1,41	0,28

PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON SAL - 1 lb/bbl PacL				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	10	17	8	8,2
Replica	8	15	8	7,8
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	9	16	8	8
Desv. Standar	1,41	1,41	0	0,28
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON SAL - 1 lb/bbl Almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	14	31	11	16,2
Replica	14	31	13	16,6
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	14	31	12	16,4
Desv. Standar	0	0	1,41	0,28
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON SAL - 2 lb/bbl Almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	7	62	14	12,9
Replica	5	60	16	12,3
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	6	61	15	12,6
Desv. Standar	1,41	1,41	1,41	0,42

**Grafico 25. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con Sal**



**Figura 15. Retorta Del Lodo + Sal**



Los resultados obtenidos anteriormente demuestran que el ALMIDÓN DE PLÁTANO (2 lb/bbl) disminuye el control de filtrado en ambientes salinos.

### PRUEBA DE CONTROL DE FILTRADO – CONTAMINACIÓN CON CAL

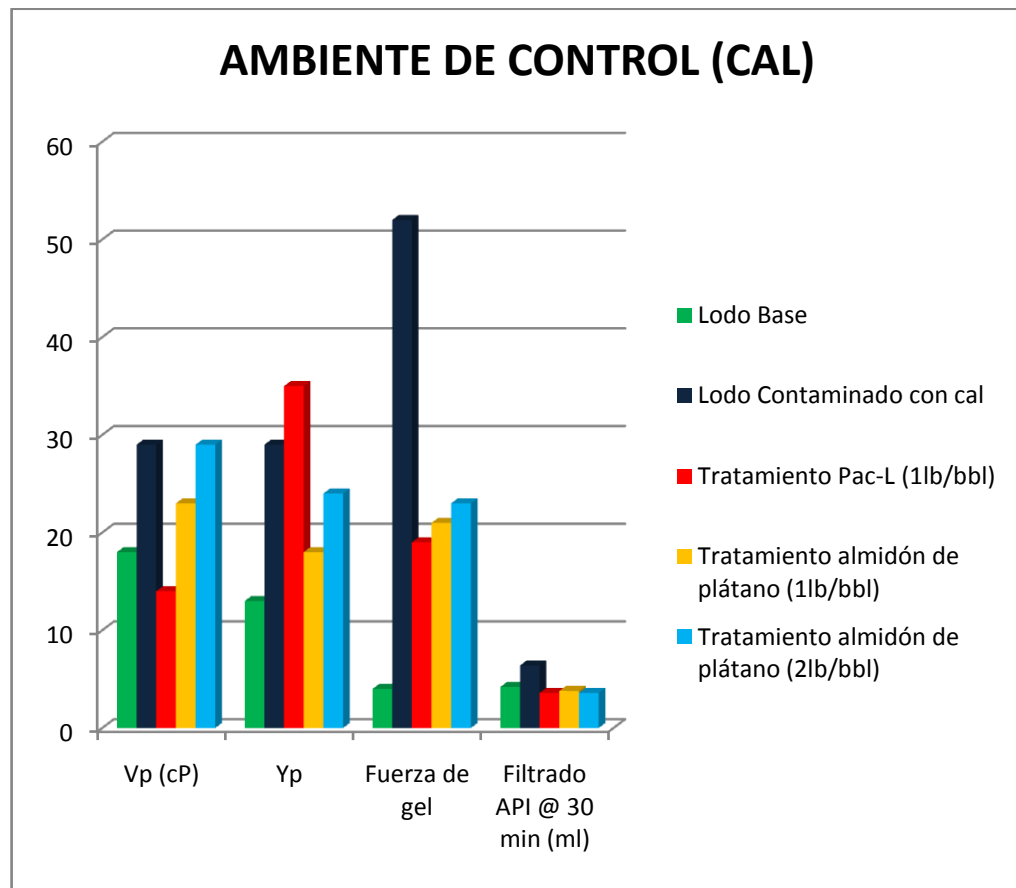
Al realizar un análisis probabilístico para la prueba de control de filtrado contaminación con cal, con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el software Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados de la tabla 43.

**Tabla 43. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado - Contaminación Con Cal**

PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CAL				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	29	29	54	6,3
Replica	29	29	50	6,5
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	29	29	52	6,4
Desv.Standar	0	0	2,83	0,14
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CAL - 1lb/bbl PacL				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	15	36	21	3,4
Replica	13	34	17	3,8
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	14	35	19	3,6
Desv.Standar	1,41	1,41	2,83	0,28
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CAL - 1lb/bbl Almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	24	19	21	3,9
Replica	22	17	21	3,7
Frecuencia	2	2	2	2

gl	1	1	1	1
Media	23	18	21	3,8
Desv.Standar	1,41	1,41	0	0,14
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CAL - 2lb/bbl Almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	29,5	24,5	22	3,6
Replica	28,5	23,5	24	3,6
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	29	24	23	3,6
Desv.Standar	0,70	0,70	1,41	0

**Grafico 26. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con Cal**



**Figura 16. Retorta Del Lodo Base + Cal**



Los resultados obtenidos demuestran que el almidón de plátano (2 lb/bbl) mejora considerablemente las propiedades del lodo contaminado con cal, dicho mejoramiento llega a igualar el filtrado API obtenido por un agente controlador de filtrado (Pac-I) de uso comercial, también se puede observar que controla las propiedades reológicas del lodo.

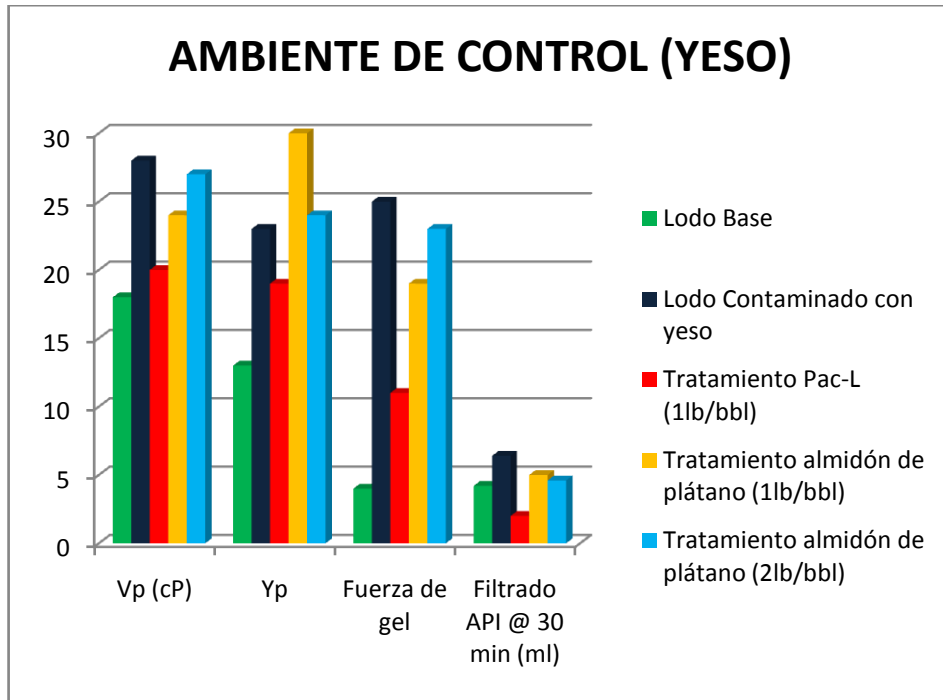
#### **PRUEBA DE CONTROL DE FILTRADO – CONTAMINACIÓN CON YESO**

Al realizar un análisis probabilístico para la prueba de control de filtrado contaminación con yeso, con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el software Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados de la tabla 44.

**Tabla 44. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado -  
Contaminación Con Yeso**

PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON YESO				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	28	23	25	6,4
Replica	28	23	25	6,4
Frecuencia	2	2	2	2
Gl	1	1	1	1
Media	28	23	25	6,4
Desv.Standar	0	0	0	0
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON YESO - 1 lb/bbl PacL				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	19	18	11	2
Replica	21	20	11	2
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	20	19	11	2
Desv.Standar	1,41	1,41	0	0
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON YESO - 1 lb/bbl almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	23,5	22,5	19	6,5
Replica	22,5	21,5	19	6,3
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	23	22	19	6,4
Desv.Standar	0,70	0,70	0	0,14
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON YESO - 2 lb/bbl almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	19	31	26	5,7
Replica	21	33	24	5,5
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	20	32	25	5,6
Desv.Standar	1,41	1,41	1,41	0,14

**Grafico 27. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con Yeso**



**Figura 17. Retorta Del Lodo Base + Yeso**



Los resultados anteriores indican que el **ALMIDÓN DE PLÁTANO (2 lb/bbl)** no mejora de manera considerada las propiedades del lodo contaminado con yeso,

razón por la cual se determina que no funciona como un agente controlador de filtrado para este tipo de lodo.

### PRUEBA DE CONTROL DE FILTRADO – CONTAMINACIÓN CON CaCl<sub>2</sub>

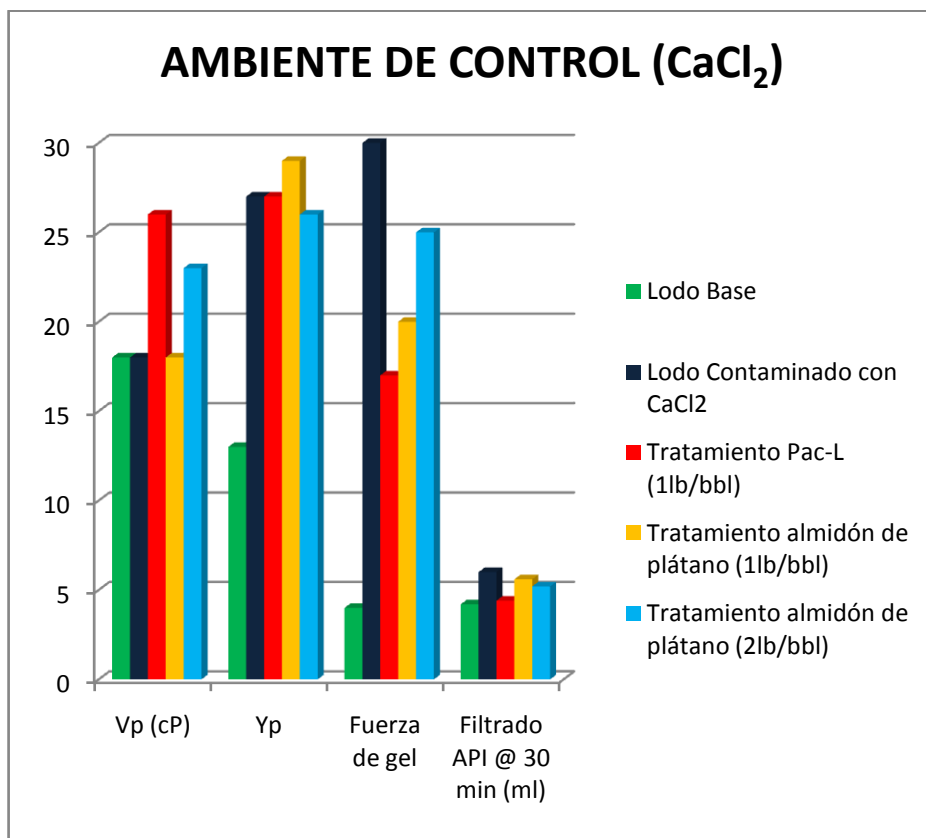
Al realizar un análisis probabilístico para la prueba de control de filtrado con contaminación con CaCl<sub>2</sub>, con un margen de confiabilidad del 85% utilizando el software Stat graphics plus 5 se obtienen los resultados de la tabla 45.

**Tabla 45. Análisis Probabilístico De La Prueba Control De Filtrado - Contaminación Con Cacl<sub>2</sub>**

PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CaCl <sub>2</sub>				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	17	26	31	6,1
Replica	19	28	29	5,9
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	18	27	30	6
Desv.Standar	1,41	1,41	1,41	0,14
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CaCl <sub>2</sub> + 1 lb/bbl PacL				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	27	28	17	4,5
Replica	25	26	17	4,3
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	26	27	17	4,4
Desv.Standar	1,41	1,41	0	0,14
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CaCl <sub>2</sub> + 1 lb/bbl Almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	18,5	29,5	21	5,5
Replica	17,5	28,5	19	5,7
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1

Media	18	29	20	5,6
Desv.Standar	0,70	0,70	1,41	0,14
PRUEBA CONTROL DE FILTRADO - CONTAMINACIÓN CON CaCl <sub>2</sub> +2 lb/bbl Almidón de plátano				
	Vp (cP)	Yp	Fuerza de gel	Filtrado API @ 30 min (ml)
Original	23,5	26,5	24	5,2
Replica	22,5	25,5	26	5,
Frecuencia	2	2	2	2
gl	1	1	1	1
Media	23	26	25	5,2
Desv.Standar	0,70	0,70	1,41	0

**Grafico 28. Cuadro Comparativo Entre Propiedades Para Un Ambiente De Control Con CaCl<sub>2</sub>**



**Figura 18. Retorta Del Lodo Base + CaCl<sub>2</sub>**



Los anteriores resultados indican que el almidón de plátano mejora pero no de manera considerada las propiedades del lodo contaminado con CaCl<sub>2</sub>, razón por la cual se determina que no funciona como un agente controlador de filtrado en este tipo de lodos.

### 3.7 ANÁLISIS DE COSTOS

**Tabla 46. Costo De Siembre, Establecimiento Y Sostenimiento Del Plátano  
Hartón Dominicó 2009. (Zonas Bucaramanga – Ocaña – San Gil – Cúcuta)**

P A T R O N			PRECIO/ UNIDAD	VALOR TOTAL				
UNIDAD	CANTIDAD			AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
<b>PREPARACION TERRENO</b>								
Arada	Hora	7	25.000	175.000				
Rastrillada	Hora	5	25.000	125.000				
<b>SUBTOTAL</b>				<b>300.000</b>				
<b>SIEMBRA</b>								
Arreglo y desinfección colinos	Jornal	3	21.000	63.000				
Trazado y ahoyado	Jornal	15	21.000	315.000				
Aplicación Correctivos	Jornal	2	21.000	42.000				
Siembra	Jornal	12	21.000	252.000				
<b>SUBTOTAL</b>				<b>672.000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>OTRAS LABORES</b>								
Desyerbos y plateos	Jornal	20	21.000	420.000	420.000	420.000	420.000	420.000
Aplicación fertilizantes	Jornal	10	21.000	210.000	210.000	210.000	210.000	210.000
Aplicación Insecticidas	Jornal	2	21.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000
Aplicación fungicidas	Jornal	2	21.000	42.000	42.000	42.000	42.000	42.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>714.000</b>	<b>714.000</b>	<b>714.000</b>	<b>714.000</b>	<b>714.000</b>
<b>COSECHA</b>								
Deshije	Jornal	2	21.000	42.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Destronque	Jornal	2	21.000	42.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Transporte	Viaje	1	150.000	150.000	180.000	180.000	180.000	180.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>234.000</b>	<b>240.000</b>	<b>240.000</b>	<b>240.000</b>	<b>240.000</b>
<b>INSUMOS</b>								
Semilla	Colino	1.100	750	825.000				
Gallinaza	Bulto	90	4.000	360.000				
Compuesto 17-6-18-2	Bulto	4	90.000	360.000	12.000	12.000	12.000	12.000
Simple Urea	Bulto	4	90.000	360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
Insecticida	Litro	2	20.000	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000
Fungicida	Kg	4	20.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>2.025.000</b>	<b>492.000</b>	<b>492.000</b>	<b>492.000</b>	<b>492.000</b>
ASISTENCIA TECNICA	Año	2,0	78.900	78.900	78.900	78.900	78.900	78.900
<b>TOTAL COSTOS DIRECTOS</b>				<b>4.023.900</b>	<b>1.446.000</b>	<b>1.446.000</b>	<b>1.446.000</b>	<b>1.446.000</b>
<b>FINANCIACION 80% POR BANCO</b>								
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>								
Arrendamiento	Año	10,0	402.390,0	402.390,0	402.390	402.390	402.390	402.390
Administración	Año	5,0	201.195,0	201.195,0	201.195	201.195	201.195	201.195
Imprevistos	Año	10,0	402.390,0	402.390,0	402.390	402.390	402.390	402.390
<b>Subtotal</b>				<b>1.005.975,0</b>	<b>1.005.975,0</b>	<b>1.005.975,0</b>	<b>1.005.975,0</b>	<b>1.005.975,0</b>
<b>OTROS COSTOS INDIRECTOS</b>								
Comisión F.A.G	Año	1,0	43.759,2	43.759,2	43.759	43.759	43.759	43.759
I.V.A sobre comisión	Año	16,0	7.001,5	7.001,5	7.001	7.001	7.001	7.001
Costos financieros	Año	15,0	656.388,0	656.388,0	656.388	656.388	656.388	656.388
<b>Subtotal</b>				<b>707.148,7</b>	<b>707.148,7</b>	<b>707.148,7</b>	<b>707.148,7</b>	<b>707.148,7</b>
<b>TOTAL COSTOS SIN F.A.G NI TASA DE INT</b>				<b>5.029.875,0</b>	<b>2.451.975,0</b>	<b>2.451.975,0</b>	<b>2.451.975,0</b>	<b>2.451.975,0</b>
<b>TOTAL COSTOS CON F.A.G Y TASA DE INT.</b>				<b>5.737.023,7</b>	<b>3.159.123,7</b>	<b>3.159.123,7</b>	<b>3.159.123,7</b>	<b>3.159.123,7</b>
<b>PRODUCCION</b>								
PRECIO	KG	350		10.000	18000	18000	18000	18000
Producción Promedio				350	350	350	350	350
Ingreso Neto				3.500.000	6.300.000	6.300.000	6.300.000	6.300.000
FLUJO CAJA ACUMULADO				-2.237.024	3.140.876	3.140.876	3.140.876	3.140.876
Punto de equilibrio ton/ha				-2.237.024	903.853	4.044.729	7.185.605	10.326.482
				1,6	0,5	0,5	0,5	0,5

Fuente: Banco Agrario de Colombia

## **ANÁLISIS DE COSTOS DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO VISCOSIFICANTE**

De acuerdo con los datos obtenidos para precios de la tesis de grado Factibilidad para la creación de una empresa procesadora y comercializadora de un complemento alimenticio a base de cascara de plátano y plátano de tercera para el ganado de doble propósito en la región de Calarcá, Quindío. Se selecciono un punto de equilibrio igual a \$ 2000 por Kilogramo el cual trae un mayor ingreso a una mínima cantidad producida de almidón de plátano.

## **PRECIOS DE AGENTES VISCOCIFICANTES Y CONTROLADORES DE FILTRADO**

**Tabla 47. Precios De Agentes Viscosificantes Y Controladores De Filtrado**

PRECIOS DE AGENTES		
producto	US	peso
Almidón de plátano	23,72	50 lb
Pac-L	114	50 lb
Aquagel	16,8	50 lb
Bentonita de Wyoming	15,52	50 lb

De acuerdo con los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas para el rendimiento de varios productos viscosificantes comparado con el del almidón de plátano se realiza un análisis de costos como se muestra en la tabla (48)

## COSTOS PARA PRUEBAS DE RENDIMIENTO

**Tabla 48: Costos Para Pruebas De Rendimiento**

COSTOS PARA PRUEBAS DE RENDIMIENTO		
Producto	Rendimiento (lb/bbl)	Costo (USD/barril)
Almidón de plátano en agua dulce	10,16	4,82
Almidón de plátano salmuera (35 lb/bbl)	8,62	4,09
Almidón de plátano salmuera (125 lb/bbl)	7,12	3,38
Bentonita de Wyoming	31	9,62
29.1 lb/bbl Bentonita + Almidón de plátano (0,5 lb/bbl)	29,1	9,26
20.8 lb/bbl Bentonita + Almidón de plátano (1 lb/bbl)	20,8	6,93
Arcilla natural	49,65	9,88
Aquagel	30,23	10,16

## ANÁLISIS DE COSTOS DEL ALMIDÓN DE PLÁTANO COMO CONTROLADOR DE FILTRADO

**Tabla 49: Análisis Costos Para Pruebas De Control De Filtrado**

ANÁLISIS DE COSTOS PARA PRUEBAS DE CONTROL DE FILTRADO		
Producto	Cantidad de filtrado (ml)	Costo Extra (USD/barril)
Lodo base	4,2	
Contaminación con cal	6,4	
Tratamiento 1lb/bbl PacL	3,6	2,28
Tratamiento 1lb/bbl Almidón de plátano	3,8	0,4744
Tratamiento 2lb/bbl Almidón de plátano	3,6	0,9488

Esta tabla muestra los costos del tratamiento del lodo contaminado con cal utilizando el almidón de plátano, ya que este fue el único tratamiento que dio resultados técnicos satisfactorios.

#### 4. CONCLUSIONES

- El Almidón de plátano como agente viscosificante en agua dulce, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis estadístico de las pruebas de rendimiento para varios agentes viscosificantes, se puede afirmar que es factible el uso del almidón de plátano como agente viscosificante ya que este obtuvo el mejor rendimiento con una concentración 10,16 libras/barril. Sin embargo, es importante aclarar que para solubilizar el almidón se requirió de un proceso de gelatinización el cual se debe someter a un proceso de calentamiento.
- En cuanto a costos, el precio como viscosificante en agua dulce es 4,82 USD/barril, disminuyendo así el costo aproximado en *4,8 USD/barril* con respecto al uso de la bentonita de Wyoming como agente viscosificante.
- El almidón de plátano también es apto para trabajar como agente viscosificante en agua salada y saturada.
- En cuanto a costos, el precio como viscosificante en agua salada es 3,38 USD/barril, disminuyendo así el costo aproximado en *6,24 USD/barril* con respecto al uso de la bentonita de Wyoming como agente viscosificante.
- Es factible el uso de almidón de plátano como extendedor de arcillas (bentonita de Wyoming) al reducir el costo del uso de bentonita de Wyoming en *2,69 USD/barril* tan solo con la adición de 1 libra/barril.
- El rendimiento es óptimo en el rango de PH mayor a 11,5.

- El almidón de plátano a pesar de que presenta buenos resultados a nivel de laboratorio, para ser utilizado en pozo requiere de un proceso industrial previo para mejorar su solubilidad en agua a temperatura ambiente.
- **Almidón de plátano como agente controlador de filtrado**, de acuerdo con los resultados obtenidos del análisis estadístico para las pruebas de rendimiento para varios agentes de control de filtrado, se puede afirmar que es factible el uso del almidón de plátano como agente controlador de filtrado para lodos contaminados con cal (1 USD/barril extra) *ahorro de 1,28 USD/barril*, y posiblemente para lodos contaminados con  $\text{CaCl}_2$  (1,9 USD/barril extra) *ahorro de 0,38 USD/bbl*, definitivamente no es factible usarlo en lodos con contaminación de yeso y con sal en donde se presentaron pérdidas de filtrado mayores a las del lodo contaminado. La factibilidad radica en el bajo precio del producto con respecto al precio del agente de control contra el cual se comparó (Pac-L – 2,28 USD/barril extra), a pesar de necesitar una mayor concentración del producto.

## 5. RECOMENDACIONES

- Para que el almidón de plátano pueda ser utilizado como viscosificante, extendedor de bentonita y controlador de filtrado (para lodos contaminados con cal) a nivel industrial, se recomienda realizar una investigación en el laboratorio para solubilizar el almidón en agua a temperatura ambiente, lo cual se puede lograr con el proceso de hidrólisis.
- Realizar pruebas con mayor concentración de almidón de plátano como agente controlador de filtrado en lodos contaminados con sal, yeso y cloruro de calcio para determinar las concentraciones efectivas comparadas técnica y económicamente con los controladores de filtrado comerciales.
- Probar el almidón de plátano como controlador de filtrado en varios tipos de lodos tales como dispersos, base calcio y no dispersos.
- Evaluar las propiedades reológicas a condiciones de alta presión y temperatura del lodo preparado con almidón de plátano como viscosificante, como controlador de filtrado en lodos contaminados con cal y en lodos calados.

## BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, R., SARMIENTO G., Utilización del almidón de yuca en lodos de completamiento y reparación de pozos de petróleo. Tesis de Pregrado. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, 1982.
- CÁRDENAS, J., CHAUSTRE, G., Estudio de factibilidad del uso del mucilago de fique como dispersante biodegradable en lodos de perforación. Tesis de Pregrado. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, 2009.
- CARICO, R., BAGSHAW, F., Description and use of polymers used in drilling, workovers, and completions SPE 7747. Kelco Div. Merck & Co. Inc.1978.
- DICKAU, R., RANERE, A., COOKE, R., Grain evidence for the preceramic dispersals of maize and root crops into tropical dry and humid forests of panamá. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2007.
- FLORES, E., GARCIA, F., FLORES, E., NUÑEZ, M., GONZALEZ, R., BELLO, LUIS., Rendimiento del proceso de extracción de almidón a partir de frutos de plátano (*musa paradisiaca*). estudio en planta piloto. 2004.
- GARCIA, E., Factibilidad para la creación de una empresa procesadora y comercializadora de un complemento alimenticio a base de cascara de plátano y plátano de tercera para el ganado de doble propósito en la región de Calarcá,

Quindío. Tesis de Pregrado. INSED, Universidad Industrial de Santander, 2004.

- ICA: Acuerdo de competitividad de la cadena productiva del plátano en Colombia. corporación Colombia internacional, CCI. Secretaria técnica. Colección documentos ICA, serie competitividad No.18. año 2000.
- ICA: Acuerdo de competitividad de la cadena productiva de plátano en la región centro-occidente de Colombia. ministerio de agricultura y desarrollo rural, Secretaria técnica. Colección documentos ICA, serie competitividad No.28. año 2002.
- LUMMUS, James., AZAR Jamal., Drilling Fluids Optimization: A Practical Field Approach. California.: Pennwell Corporation, 1986. 286p.
- Magcohar Division Oilfield Products Group Dresser Industries, inc. Drilling Fluid Engineering Manual. Houston, Texas, 1977.
- PACHECO, E., TECHEIRA, N., Propiedades químicas y funcionales del almidón nativo y modificado de ñame (dioscorea alata). Universidad Central de Venezuela (UCV) Maracay, Venezuela. 2009.
- RESTAN, L., OSPINA, G., Estudio de factibilidad para el uso del mucilago de fique como estabilizador de arcillas. Tesis de Pregrado. Escuela de Ingeniería de Petróleos, Universidad Industrial de Santander, 2005.
- RODRÍGUEZ, E., 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.

- SIMONIDES, H., SCHURINGA, G., GHALAMBOR, A., Role of starch in designing non-damaging completion and drilling fluids. U. of Louisiana at Lafayette. 2002.
- THOMAS, D., Thermal stability of starch and carboxymethyl cellulose based polymers used in drilling fluids. SPE, Amoco Production Co.1982.