



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN MONAGAS VENEZUELA**

**DESARROLLO DE UN ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A  
BASE DE FIBRA DE TUNA REAL (*Opuntia ficus indica*) PARA LA  
FORMULACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN POLIMÉRICOS**

**REALIZADO POR:  
DANIEL EDUARDO BERMÚDEZ ROJAS**

**HAWARI LIBERTAD HARIAN PEREIRA NAVARRO**

**Trabajo Especial de Grado Presentado como Requisito Parcial  
para Optar al Título de**

**INGENIERO DE PETRÓLEO  
MATURÍN, MARZO 2012**



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN MONAGAS VENEZUELA

DESARROLLO DE UN ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A  
BASE DE FIBRA DE TUNA REAL (*Opuntia ficus indica*) PARA LA  
FORMULACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN POLIMÉRICOS

REALIZADO POR:

DANIEL EDUARDO BERMÚDEZ ROJAS

C.I 17.957.723

HAWARI LIBERTAD HARIAN PEREIRA NAVARRO

C.I 18.237.596

REVISADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
ING. JESÚS OTÁHOLA

Asesor Académico

MATURÍN MAYO DE 2012

# ACTA DE APROBACION



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN MONAGAS VENEZUELA

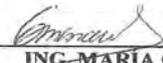
DESARROLLO DE UN ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A  
BASE DE FIBRA DE TUNA REAL (*Opuntia ficus indica*) PARA LA  
FORMULACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN POLIMÉRICOS

REALIZADO POR:  
DANIEL EDUARDO BERMÚDEZ ROJAS  
C.I 17.957.723  
HAWARI LIBERTAD HARIAN PEREIRA NAVARRO  
C.I 18.237.596

APROBADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
ING. JESÚS OTAHOLA  
Asesor Académico

  
\_\_\_\_\_  
ING. HORTENSIA CALZADILLA  
Jurado Principal

  
\_\_\_\_\_  
ING. MARÍA GARCÍA  
Jurado Principal

MATURÍN, MAYO DE 2012

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización”



## AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a dios por darme el regalo de vida y salud para vivirla.

A mis padres Sara Rojas y Aníbal Rodríguez mil gracias por confiar en mí y darme la posibilidad de cursar estudios universitarios, mamá no me cansare nunca de agradecerte todo lo que has hecho por mí, 9 meses en tu vientre y darme la vida que me has dado y todas las enseñanzas recibidas repito eres la mejor y tu mereces lo mejor TE AMO, Javier Bermúdez también gracias a ti por todo tu apoyo hermano. A Rosangel Gonzales por ser ese puente que me permitió llevar a cabó esta etapa y gracias a ella conocer a dos personas que fueron parte fundamental en mi vida como estudiante universitario José Alejandro González y Yulemi González gracias por su apoyo.

A mis amigos que conocí en la casa más alta y ojala la amistad siempre perdure con el tiempo Estefanía la más carismática de todas te quiero amiga bella, Luis Cherani, Marielena eres única siempre te recordare por el Fantasma, Yaniceth ya casi lo logramos adelante siempre gracias por tu amistad, Carmen amiga hermosa gracias por todos los momentos compartidos durante esta gran trayectoria, Luis José ya pronto te toca a ti, María José, Milexis siempre tu positivismo por delante gracias amiga, Rory, Verónica, Crucelis, Mauris, Ana Sofía, Mercileidy, Leydis Camacho gracias por esa buenas compañía durante la realización del servicio comunitario fuiste la mejor cero estrés, son excelentes personas.

A Jesús Otahola gracias por todos los conocimientos impartidos, y por siempre querer que fuéramos los mejores y de todas las experiencias siempre nos queda una gran enseñanza.

A la Universidad de Oriente mi vida universitaria fue muy satisfactoria salgo lleno de conocimientos y el crecer como persona como ser humano fue lo mejor conocí personas con un valor humano incalculable gracias mi UDO.

A mis amigos Ranly Betancourt por ser como mi hermano y Enrique Cabrera por su apoyo incondicional, a mis comadres Cinthia Mirabal y Claire Del Tour por ser excelentes personas y brindarme su amistad y su apoyo siempre que lo necesitaba, a Pedro Malavé por sus palabras tan acertadas en momentos determinados.

A Hawari mi compañera de tesis a pesar de todos los acontecimientos suscitados llevamos adelante esta investigación gracias por tu apoyo colega. A la señora de la residencia Carmen Mejías por su atención mientras estuve en su casa y a Hilda Conde gracias por todo.

A mis compañeros con los cuales compartí el laboratorio y la realización de esta investigación Anarosa Ratti, Jose Miguel Rodríguez, Thaelis gracias muchachos por sus ánimos, apoyo y las ganas de siempre salir adelante.

A mi prima hermosa hasta el último momento dándome ánimos, gracias por confiar en mí y por esas palabras de que en tu corazón siempre seré tu gran orgullo y tu adoración eres mi prima, mi hermana, mi amiga. Te quiero!  
Gracias a todas aquellas personas que de una manera u otra estuvieron conmigo en los momentos más difíciles y las más felices gracias familia, amigos, profesores, compañeros y colegas.

**Daniel Eduardo Bermúdez Rojas**

## AGRADECIMIENTOS

A mi Dios por darme la salud, fortaleza y la fuerza para levantarme cuando creía que ya no podía más un ser único y maravilloso Gracias padre.

A mi papi que me apoyo durante todo este andar soportando mi mal carácter pero que sabía ubicarme cuando me perdía en este transitar Gracias Papi.

A mi mami por TODO ese amor que me demuestra cada día eres única mujer me encanta tu forma de ser somos iguales y cuando chocamos se prende una bomba pero que va tu me ganas ese carácter me domina mamita hermosa gracias mil gracias. A mis hermanos Bilita bella mi amiga incondicional mi niña ojala esto te sirva de inspiración faltas tú y Howar que odioso muchacho pero como lo quiero infinitamente el mejor hermano que dios me pudo mandar te Readero.

A mi negro por soportarme como él dice por APOYARME durante todo este tiempo por darme momentos de satisfacción tan maravillosos y levantarme cuando me caía por ser mi mejor amigo aparte de mis padres siempre estar ahí en el momento en que más te necesitaba solo AMOR de ti he recibido y mucho respeto GRACIAS.

A mi familia maravillosa Navarro que somos muchos verdad se que también están orgullosos de este logro que hoy obtengo los nombro a los mas resaltantes Mi AMA bella y única mi vieja la ADORO, mi tío Moncho que desde el cielo me cuida ya las llamadas los viernes no me las haces pero me proteges todos los días, a mi tía molina tu bondad me ha tocado sentirla gracias tía , mi tía manche siempre pendiente cada vez que voy se sienta conmigo y me pregunta hija como estas cuéntame como va todo, a Cristi gracias prima por creer en mi y decirme ahí prima tu eres inteligente tu lo vas a lograr, y así muchos Luis, Johnny, Lowis, Jhon, Gabisita primita linda, Yoeli mami toma esto como ejemplo para que le des ese logro a mi tía también que se lo merece a mis morochos bellos dios los bendiga siempre los amo, a la niña por su

cariño siempre a mis primitas lindas Soismar, Eurismar y la peluita loca, a Olga por todo gracias, mi tío chichi, kino, Rene tía tibi, Iris, Mariano la yuyi todos Familia son muchos sorry los que se me pasaron, este triunfo es de todos nosotros.

De los Pereira a mi Abuelito que está en el cielo y cuanta falta me ha hecho mi guaro loco cuando te ponías a pelear conmigo y a Yaneth siempre pendiente de mi y demostrándome un cariño sincero como el que le tiene a mi papi gracias.

A mi Yani amigaaaa lo logre gracias vale me demostraste durante todo este tiempo el verdadero significado de la palabra amistad incondicionalmente se que puedo contar contigo como tu conmigo TQM mi Yani y mi familia es tuya hermanita.

Al señor Ike Galindo ni hablar un personaje único gran apoyo a mi persona, a la familia cunzo gracias por aceptarme y abrirme las puertas de su maravillosa familia muy peculiar y unida sobre todo la familia Galindo Cunzo ni hablar un ejemplo de unión hermandad cariño incondicional comprensión, gracias por su apoyos todos y cada uno se han portado excelente conmigo Rosa, María, Alondra ojala te sirva de ejemplo mami, merbita Mi angelita hermosa y no podía faltar mi gordo Merbin a quien quiero muchísimo demasiado inteligente mi gordo ojala lo logres todo de esa familia falta mi negro pero ya tiene su párrafo especial te AMO mi amor Mi Lori.

Hay mucha gente que quisiera agradecerle pero solo los nombrare, Amelia, María, José Jiménez el Ciego, Daniel Gutiérrez, Carmen Salamanca, Yoseigi Valderrey, Ance Rodríguez, Cesar paredes por mi cambio de carrera, a Yudithsai a Keilyn Acosta, María Roca, Natalia y Dayana Valle Crismar profe Mantilla.

Ahora quisiera agradecerles a todos mis amigos que hicieron de mi vida Universitaria una etapa inolvidable en especial a `Pedro, Mercileidys, Anita, Noris, Yosmeri, mi Kalila, Romerito, a mi José Camino, Luisana, María José, cruz palacios, el Enano jaja Enelin, Mi negra Malenita jaja y los que me faltaron GRACIAS.

A Daniel Bermudez por confiar en mi Tqm amigo compañero de tesis jajaj solo nosotros dos sabemos cuánto sufrimos para obtener este resultado Gracias dani.

Al profesor Otahola y a la Universidad de Oriente la casa más alta la cual me siento Orgullosísima gracias por sus conocimientos brindados.

**Hawari Libertad Harían Pereira Navarro**



## DEDICATORIA

Siempre he tenido la certeza que el privilegio más grande que tengo es ser hijo de una mujer símbolo de nobleza, esperanza, positivismo, amor, amistad, lucha, sacrificio son tantas las palabras con las cuales puedo describirte y siempre me faltarían algunas a ti SARA ROJAS mi madre, mi amiga, mi ejemplo te dedico este logro nuestro logro con en el cual muchas veces soñamos, a pesar de todos los obstáculos presentes en nuestro camino jamás nos dimos por vencidos eres un ser humano invaluable, con esto se cumple uno de las tantas metas que siempre te propusiste Te Amo. Mil gracias por creer en mí por darme la oportunidad de llegar de brindarte esta felicidad y de ser quien soy. A mi hermano Javier Bermúdez por su apoyo incondicional tú también eres parte principal en este logro. Acuérdate siempre que en la vida nada es difícil todo tiene su sacrificio y recompensa.

A mi padre Aníbal Rodríguez aunque no soy tu hijo de sangre, lo soy de crianza te dedico este triunfo siendo tu un el pilar importante de mis estudios universitarios gracias a dios por ponerte en nuestros caminos y espero poder disfrutarlo mucho tiempo más.

A prima Dian elys por ser mi amiga, por confiar en mí, por darme ánimos cuando los necesitaba, por siempre estar allí, no me olvido de mi sobrino José Luis León Bermúdez que siempre contara con tu tío ¡Lo Logre! ¡Lo Logramos!

A mi abuela y mi hermana que llevan el mismo nombre y no por casualidad Esperanza Bermúdez abuela te quiero, hermana que esto sirva de inspiración en tu vida y llegues a ser una gran profesional y recuerde que todo sacrificio en la vida tiene su recompensa.

Por último y no menos importante a una persona que estoy seguro que algún día la volveré a ver como siempre fue a mi tía Janeth ojala dios te diera la fortaleza para seguir adelante.

**Daniel Eduardo Bermúdez Rojas**



## DEDICATORIA

Primero que nada a mis padres que desde pequeña con sus consejos me brindaron una educación basada en amor de familia, buenos modales respeto y me dijeron que la única manera que hay de salir adelante era estudiando siendo un profesional independiente que cuando ellos me faltaran iban a estar tranquilos porque habían hecho un excelente trabajo como padres. A ti HENRY PEREIRA hombre luchador incansable que día a día das lo mejor de ti por tus tres hijos despiertas cada mañana con un fin y es no defraudar a tu familia vales oro padre TE AMO muchísimo me guiaste por ese camino tan maravilloso del Voleibol jamás dejare de agradecerlo como también depositaste toda tu confianza al enviarme a estudiar recuerdo tu consejo de siempre tienes un carácter fuertísimo hija si lo sabes llevar por el camino del bien serás una gran persona en un futuro no soy una gran persona pero lo que soy hoy es gracias a ti papi te amo. A ti mamita bella como siempre te digo soy privilegiada de tener una mujer tan grande de alma y corazón única que con sus cosas me rio muchísimo mi amiga MIRIAN NAVARRO me enseñaste que tenía que salir adelante hija estudia que tu eres muy inteligente me dices siempre tu puedes hacer eso y mucho mas recuerdo que cuando me pasaba algo lo primero que hacía era llamarte por que con solo escucharte y tus palabras se me calmaba mi problema te amo mami eres increíblemente maravillosa.

A ti mi NEGRO por creer en mí siempre como tú me dices eres una triunfadora yo confié en ti esas palabras que siempre han representado muchísimo hoy llego el momento de agradecerte mi amor infinitas son mis palabras de amor para ti eres un ser maravilloso y especial que siempre ha creído en mi este logro también es tuyo mi vida. Y a mis dos hermanos Howar y mi Bili que desde pequeños nos criamos llenos de amor cada una de esas peleas no era mas que amor que nos demostramos este triunfo es de ustedes también los amo hermanitos gracias por su gran apoyo. **Hawari**

**Libertad Harian Pereira Navarro.**

# ÍNDICE

<b>ACTA DE APROBACION .....</b>	<b>iii</b>
<b>RESOLUCIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>x</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>xiii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>xv</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>xvi</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>2</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.2.1 Objetivo general .....	3
1.2.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES.....	5
2.2 BASES TEÓRICAS .....	6
2.2.1 Fluidos de perforación.....	6
2.2.2 Funciones de los fluidos de perforación.....	7
2.2.3 Tipos de fluidos de perforación .....	8
2.2.3.1 Fluido base aceite .....	9
2.2.3.2 Fluidos neumáticos.....	9
2.2.3.3 Fluidos base agua.....	9
2.2.4 Propiedades de los fluidos de perforación.....	9
2.2.4.1 Propiedades físicas.....	10
2.2.4.2 Propiedades químicas .....	12
2.2.5 Causas de daño a la formación durante la perforación.....	12
2.2.6 Consecuencia de invasión por filtrado del fluido de perforación.....	13
2.2.7 Aditivos controladores de filtrado .....	14
2.2.8 Polímeros.....	15
2.2.9 Origen de la tuna real ( <i>Opuntia ficus- indica</i> ).....	16
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	17
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>19</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>19</b>
3.1 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN .....	19

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	20
3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO .....	20
3.4.1 Etapa I: caracterización de un aditivo controlador de filtrado derivado de fibra de tuna real ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	20
3.4.2 Etapa II: determinación del efecto de agentes contaminantes sobre las propiedades físicas y químicas de fluidos de perforación a base de polímeros formulados con controlador de filtrado derivado fibra de tuna real .....	22
3.4.3 Etapa III: estimación del costo por barril de fluidos de perforación formulados con aditivos controladores de filtrado a base de fibra de tuna real ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	25
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	26
3.5.1 Instrumentos .....	26
3.5.2 Recursos humanos .....	27
3.5.3 Recursos económicos .....	27
3.5.4 Recursos materiales y bibliográficos .....	28
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>29</b>
<b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO DERIVADO DE FIBRA DE TUNA REAL ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	29
4.2 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE AGENTES CONTAMINANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN POLIMÉRICOS FORMULADOS CON CONTROLADOR DE FILTRADO DERIVADO DE LA FIBRA DE TUNA REAL .....	30
4.3 ESTIMACIÓN DEL COSTO POR BARRIL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN FORMULADOS CON ADITIVOS CONTROLADORES DE FILTRADO A BASE DE FIBRA DE TUNA REAL ( <i>Opuntia ficus indica</i> ).....	46
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>50</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>50</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	50
5.2 RECOMENDACIONES .....	51
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>52</b>
<b>APÉNDICES.....</b>	<b>58</b>
<b>HOJAS METADATOS.....</b>	<b>95</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1. Tipos de fluidos de perforación.....	8
Figura N° 2.2. Tuna de tallo sin espinas.....	17



## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Consecuencia de la invasión del filtrado .....	14
Tabla N° 3.1. Formulaciones de los fluidos de perforación para determinar los efectos sobre las pruebas físicas y químicas de los agentes contaminantes. ....	22
Tabla N° 3.2 Aditivos para la formulación de fluido de perforación polimérico con fibra de tuna real (Opuntia ficus indica).....	23
Tabla N° 3.3 Aditivos para la formulación de fluido de perforación polimérico con el controlador comercial.....	23
Tabla N° 4.1. Especificaciones que posee el aditivo de tuna real (Opuntia ficus indica) .....	29
Tabla N° 4.2. Resultados de la determinación de la prueba de calidad de la fibra de tuna real como controlador de filtrado .....	29
Tabla N° 4.3. Identificación de los diferentes tratamientos utilizados durante las formulaciones .....	30
Tabla N° 4.4. Peso de la tuna real antes y luego de procesar .....	46
Tabla N° 4.5 Comparación de los costos del controlador a base de tuna real y el controlador comercial.....	47
Tabla N° 4.6 Costo de total de la formulación con controlador de filtrado comercial	47
Tabla N° 4.7 Costo de total de la formulación con controlador de filtrado a base de tuna real .....	48

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico N° 4.1 Comportamiento de la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	31
Gráfico N° 4.2 Comportamiento del punto cedente de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	32
Gráfico N° 4.3 Comportamiento del esfuerzo de gel de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y tuna real con su efecto al ser contaminado .....	33
Gráfico N° 4.4 Comportamiento del esfuerzo de gel de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	34
Gráfico N° 4.5 Comportamiento de la densidad de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	35
Gráfico N° 4.6 Comportamiento del contenido de sólidos presentes en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	36
Gráfico N° 4.7 Comportamiento del contenido de líquidos presentes en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	37
Gráfico N° 4.8 Comportamiento del revoque presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	38
Gráfico N° 4.9 Comportamiento del volumen de filtrado presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	39
Gráfico N° 4.10 Comportamiento de la alcalinidad a la fenolftaleína (Pm) presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	41
Gráfico N° 4.11 Comportamiento de la alcalinidad del filtrado al naranja de metilo (Mf) presente en fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	42
Gráfico N° 4.12 Comportamiento del bicarbonato presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	43
Gráfico N° 4.13. Comportamiento del cloruro presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	44
Gráfico N° 4.14 Comportamiento de la dureza presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado .....	45



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE MONAGAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEO  
MATURÍN / MONAGAS / VENEZUELA**

**DESARROLLO DE UN ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A  
BASE DE FIBRA DE TUNA REAL (*Opuntia ficus indica*) PARA LA  
FORMULACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN POLIMÉRICOS**

**Autor:**

**Daniel Eduardo Bermúdez Rojas  
C.I. 17.957.723**

**Hawari Libertad Harían Pereira Navarro  
C.I. 18.237.596**

**Mayo 2012**

**Asesor:**

**Ing. Jesús Otahola**

**RESUMEN**

En Venezuela es difícil la adquisición de aditivos utilizados en la perforación por este motivo se busca desarrollar un aditivos para fluidos de perforación generan beneficios tanto a las empresas como al país, en esta investigación tuvo como propósito sustituir aditivos comerciales por aditivos nacionales de fácil obtención; a nivel de laboratorio se realizó este estudio con la fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*) partiendo de la caracterización de este aditivo determinando su pH, solubilidad y gravedad específica se procedió a realizar una prueba de calidad basada en la normativa de la empresa Scomi. Se formularon tratamientos con controlador comercial y otro a base de tuna real contaminándose con 2 y 4% v/v de  $\text{CaCl}_2$  y 2 y 4% v/v de crudo extra pesado de 9 °API respectivamente para luego determinar sus propiedades de acuerdo a los procedimientos establecidos por el Instituto Americano de Petróleo en su norma API 13-B1: viscosidad plástica, punto cedente, resistencia de gel a los 10seg y 10 min, volumen de filtrado y espesor de revoque, la alcalinidad del fluido y del filtrado, contenido de calcio, cloruros y bicarbonatos, donde se aplica un análisis de varianza y la prueba de diferencia mínima significativa (DMS;  $P \leq 0,05$ ), considerando el fluido base comercial como el fluido patrón. Se concluyó que para los fluidos con controlador a base de tuna real el volumen de filtrado disminuye en presencia de agentes contaminantes, manteniéndose el espesor del revoque. Los costos del controlado a base de tuna real con respecto al controlador comercial en unidad de saco son más económicos por lo tanto más rentable que el comercial, sin embargo por su baja gravedad específica se necesitan mayor cantidad de carbonato de calcio para densificar.

## INTRODUCCIÓN

En la industria petrolera la búsqueda de nuevos yacimientos productores de petróleo es una actividad que tiene distintas características a considerar. En el proceso de perforación de pozos se requiere de muchas tecnologías y de varios parámetros difíciles de evitar como la variación de la temperatura y presión, pero que pueden ser contrarrestados por medio de los fluidos de perforación el cual presenta características físicas y químicas adecuadas para garantizar el buen desarrollo de la perforación y controlar de forma efectiva la invasión de filtrado hacia las formaciones productoras. La selección de un fluido de perforación constituye una de las tareas más importantes en lo que se refiere a las operaciones de perforación de pozos de petróleo, gas o agua, debido a que la productividad del yacimiento a perforar es proporcional entre otros factores al éxito que se obtenga con el fluido de perforación utilizado, siendo las zonas productoras las áreas que por su característica deben ser perforadas con fluidos que puedan tener un mayor control del filtrado.

La formulación del fluido se hizo de manera que este pudiera controlar la tasa de filtrado a la formación mediante el desarrollo de un aditivo a base de materia prima autóctona de fácil obtención y en búsqueda de una mejor calidad del fluido y permitiendo un excelente control de filtrado, debido a que durante las operaciones de perforación este tiende a invadir las formaciones permeables, todo esto producto de la presión hidrostática que ejerce la columna de fluido de perforación para contener los fluidos propios de la zona que es perforada dentro de los poros de dicha formación. Debido a lo antes expuesto, en términos generales el aditivo desarrollado debe cumplir con todas las funciones que exige la perforación de acuerdo a la zona a ser perforada; la remoción de los recortes del pozo, el control de las presiones de la formación, una filtración mínima y otras características que van a permitir mantener niveles de productividad y generar un mayor rentabilidad.

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El proceso de explotación de yacimientos productores de hidrocarburos comprende complejas etapas que requieren la aplicación de tecnologías adecuadas para obtener resultados favorables. La selección del tipo y concentración de aditivos controladores de filtrado requeridos para la formulación de los fluidos de perforación a ser utilizados para atravesar una formación productora representa uno de los factores de gran importancia durante el proceso de construcción de pozos petroleros.

El volumen de filtrado del fluido de perforación que invade las arenas atravesadas, debe ser estrictamente controlado para evitar posibles cambios en las propiedades de las rocas reservorio que puedan afectar la productividad de los pozos, (PDVSA CIED, 2002 P. 10) por lo que en nuestro país se han aplicado una serie de productos importados a base de almidones naturales con gran demanda a nivel nacional y que por ser fabricados en otros países se ve limitada la rápida disponibilidad de estos aditivos, incrementando los costo por barril de formulación de los fluidos de perforación utilizados por la diferentes empresas de servicio que son contratadas por la empresa petrolera nacional.

La tasa de filtrado es uno de los factores que afecta en gran medida la productividad de la formación, provocando el taponamiento del medio poroso, alteración de la mojabilidad, bloqueos por agua, formación de emulsiones y en algunos casos hinchamiento de las arcillas (PDVSA CIED 1997 P .37). Es importante que los fluidos de perforación presenten un mínimo valor de filtrado posible, para minimizar la invasión hacia la formación. Se debe considerar que la tasa de filtración

depende en gran parte de la capacidad que posee el fluido de perforación para formar un revoque en las secciones de hoyo, razón principal por la que se busca desarrollar un aditivo que al ser adicionado o incorporado a un fluido de perforación polimérico que pueda controlar significativamente la pérdida de filtrado.

## 1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1 Objetivo general

- Desarrollo de un aditivo controlador de filtrado a base de fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*) para la formulación de fluidos de perforación poliméricos.

### 1.2.2 Objetivos específicos

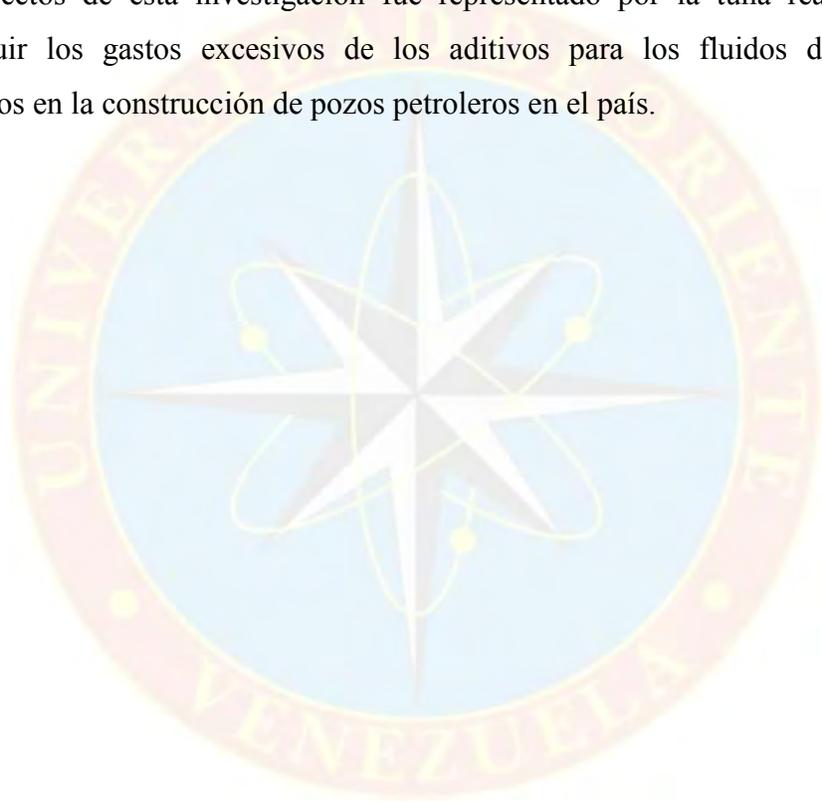
- Caracterizar el aditivo controlador de filtrado elaborado a base de la fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*).
- Determinar el efecto de agentes contaminantes sobre las propiedades físicas y químicas de fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador de filtrado derivado de la fibra de tuna real.
- Estimar costo por barril de fluidos de perforación formulados con aditivo controlador de filtrado a base de fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*).

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

Tradicionalmente en la industria petrolera nacional, se han utilizado aditivos controladores de filtrado que son en su gran mayoría importados y su demanda superan la disponibilidad del material a nivel de mercado, razón por la cual surge la necesidad de buscar nuevas alternativas que permitan cubrir estas necesidades

aplicando materia prima nacional de fácil obtención y que garantice la efectividad de sus funciones.

El motivo principal de esta investigación se enfocó en disminuir la tasa de filtrado, representando una alternativa para sustituir productos importados de gran demanda y difícil adquisición por aditivos de producción nacional y fácil acceso que para efectos de esta investigación fue representado por la tuna real tratando de disminuir los gastos excesivos de los aditivos para los fluidos de perforación aplicados en la construcción de pozos petroleros en el país.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES

**Fuentes, F y Gómez, M (2011).** En el trabajo de grado realizado para la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas “Derivados de la yuca como material para controlar pérdidas de circulación en la perforación de pozos”, formularon un aditivo para el control de pérdidas de circulación, determinando el tamaño molecular de la fibra de yuca empleando técnicas de microscopía para preparar sistemas de fluido a base de derivados de este tubérculo y evaluar su comportamiento como agente controlador de pérdidas de circulación en la perforación de pozos, se estudió mediante el ensayo de taponamiento de permeabilidad o prueba PPT con discos de aloxita de 750 Darcy a 500 lpc de presión y 150 °F de temperatura. Luego a través, de un análisis de varianza y una prueba de rango múltiple como la de diferencias mínimas significativas (DMS), utilizando como patrón de comparación un fluido viscoelástico sin presencia de fibra. Se determinó que al existir la presencia de derivados de yuca en los fluidos estos se comportan efectivamente como controladores de filtrado, disminuyendo la pérdida de circulación, asimismo, según el análisis de varianza realizado, los sistemas que presentaron comportamientos más cercanos al fluido patrón fueron los que tienen en su composición 15 y 20 lpb de fibra de yuca.

**Otahola, J y Amundaray, R (2010).** En el trabajo de investigación presentado en el VIII congreso científico de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas titulado “Efecto de agentes contaminantes sobre propiedades químicas de los fluidos de perforación formulados con polímeros naturales”, formularon a nivel de laboratorio fluidos con aditivos utilizados en las perforaciones de pozos en la faja petrolífera del Orinoco, determinándose propiedades químicas: alcalinidad del fluido (Pm), concentraciones de iones  $\text{OH}^-$  y de iones  $\text{CO}_3^{=}$  y  $\text{HCO}_3^-$  antes y después de

contaminarlas con concentraciones de 1 y 1,5 libras masa por barril (lb/bbl) de Cal hidratada ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) como componente del cemento, 2 y 4 % (v/v) de solución de Cloruro de Calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) al 95% de pureza; 2 y 4 % (v/v) de crudo de 9°API. Se realizó análisis de varianza y las diferencias entre resultados fueron determinados aplicando diferencia mínima significativa (DMS;  $P \leq 0,05$ ), utilizando como testigo fluido polimérico sin contaminar, determinándose que la Pm y la concentración de  $\text{OH}^-$  se incrementan en presencia de cal hidratada y disminuyen significativamente en tratamientos con  $\text{CaCl}_2$  y crudo extra pesado, causando disminución de la capacidad de solubilización alterando propiedades reológicas del fluido. Luego de haber realizado las pruebas a un fluido contaminado y otro sin contaminar llegaron a la conclusión que los fluidos con polímeros naturales son más resistentes a la presencia de cal hidratada como agente contaminante sufriendo menos alteraciones en sus propiedades químicas, mientras que el  $\text{CaCl}_2$  causó mayores alteraciones en dichas propiedades.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 Fluidos de perforación**

Los fluidos utilizados durante las labores de perforación de un pozo, se denominan fluidos de perforación, este término está restringido a los fluidos que son circulados a través del hoyo generalmente a base de agua y aceite y que cumplen con los requisitos mínimos de limpieza y seguridad durante las labores de perforación de un pozo. Debe tener características químicas y físicas apropiadas y estos pueden ser de naturaleza: aire o gas, agua, petróleo y combinaciones de agua y aceite con diferente contenidos de sólidos. No debe ser tóxico, corrosivo ni inflamable, pero sí inerte a las contaminaciones de sales solubles o minerales y además, estable a altas temperaturas. Debe mantener sus propiedades según las exigencias de las operaciones y debe ser inmune al desarrollo de bacterias. Es una mezcla de un solvente (base) con

aditivos ó productos, que cumplen funciones físico-químicas específicas, de acuerdo a las necesidades operativas de una formación a perforar. (M-I SWACO, 2001, P.10.1).

### **2.2.2 Funciones de los fluidos de perforación**

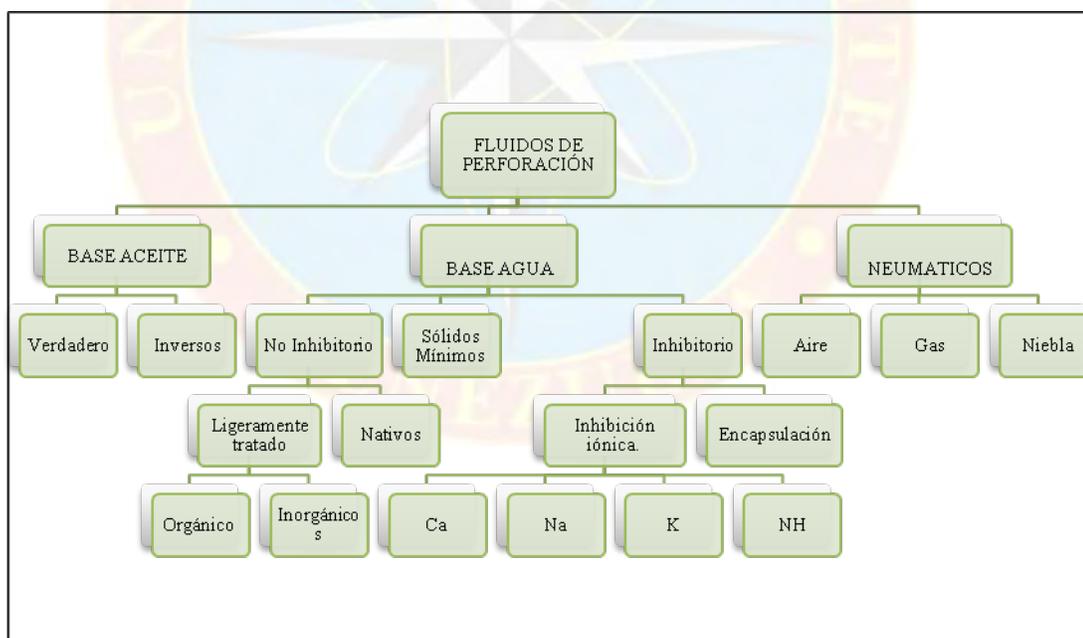
De acuerdo al CIED (2002), las funciones del fluido de perforación describen las tareas que el fluido de perforación es capaz de desempeñar, aunque algunas de éstas no sean esenciales en cada pozo. La remoción de los recortes del pozo y el control de las presiones de la formación son funciones sumamente importantes, las funciones más comunes del fluido de perforación son las siguientes:

- Transportar los ripios de perforación, derrumbes o cortes desde el fondo del hoyo hasta la superficie.
- Mantener en suspensión los ripios y material densificante cuando se detiene la circulación, la calidad del fluido esta unida a las propiedades tixotrópicas, es decir, su capacidad de dar un gel de fuerza suficiente para sostener los ripios.
- Poder generar una buena información al momento de realizar toma de núcleos.
- Controlar las presiones de la formación: típicamente, a medida que la presión de la formación aumenta, se aumenta la densidad del fluido de perforación agregando barita para equilibrar las presiones y mantener la estabilidad del hoyo. esto impide que los fluidos de formación fluyan hacia el pozo y que los fluidos de formación presurizados causen un reventón
- Limpiar, enfriar y lubricar la mecha y la sarta de perforación: la fricción originada por el contacto de la mecha y la sarta con la formación genera calor este en parte es removido por el fluido circulante y expulsado cuando el fluido alcanza la superficie, en cierto modo el fluido actúa como lubricante.
- Prevenir derrumbes de formación soportando las paredes del hoyo.

- Suministrar un revoque liso, delgado e impermeable para proteger la productividad de la formación.
- Ayudar a soportar, por flotación, el peso de la sarta de perforación y del revestimiento.
- Transmitir la potencia hidráulica a la formación por debajo de la mecha.

### 2.2.3 Tipos de fluidos de perforación

Según González, J (2010), "existen diferentes tipos de perforación y para cada una de ellas existe un tipo de fluido específico en el siguiente figura 2.1 se muestra una distribución o una forma de cómo clasificar los tipos de fluidos de perforación de acuerdo a su fase continua o liquido donde los sólidos se encuentran suspendidos.



**Figura N° 2.1. Tipos de fluidos de perforación**

**Fuente : González, J. (2010)**

### **2.2.3.1 Fluido base aceite**

Estos tienen como fase continua un aceite, el cual es generalmente diesel, crudos, aceites minerales ó sintéticos comúnmente, pueden contener agua como fase dispersa en una proporción desde 5% hasta 50% El principal uso es el de perforar lutitas y mantener la estabilidad del hoyo, utilizados en pozos altamente desviados por su gran lubricidad y habilidad para prevenir hidratación de arcillas.

### **2.2.3.2 Fluidos neumáticos**

Son aquellos cuya fase continua es un gas, son usados donde la perforación con fluido (líquido), no es adecuada debido a esto se utilizan para la perforación de zonas muy porosas subnormalmente presurizada y zonas cavernosas. El aire que comúnmente se usa es el gas comprimido para limpiar el pozo también se usa el gas natural.

### **2.2.3.3 Fluidos base agua**

Son los usados frecuentemente en las industrias. Estos fluidos pueden ser pura agua o una combinación de agua dulce o salada, mezclada con elementos sólidos. Algunos fluidos base agua contienen emulsiones u otros aditivos, para incrementar su capacidad de enfriamiento y lubricación. Los químicos agregados al fluido de perforación restringen la actividad de estos, permitiendo que ciertas propiedades de los fluidos de perforación se mantengan dentro de los límites deseados.

## **2.2.4 Propiedades de los fluidos de perforación**

De acuerdo al Instituto Americano del Petróleo (API), las propiedades del fluido a mantener durante la perforación del pozo son físicas y químicas. (CIED, 2002, p.3).

### 2.2.4.1 Propiedades físicas

- **Densidad:** la densidad del fluido es el peso por unidad de volumen de fluido y por lo general se reporta en libras por galón (lpg); se utiliza para proporcionar la presión hidrostática durante las operaciones de perforación y su función principal es mantener los fluidos contenidos dentro del hoyo en el yacimiento. Adicionalmente, mantiene las paredes del hoyo estables al transmitir la presión requerida por las mismas.

La densidad máxima del fluido que se requiere en la perforación de un pozo, está determinada por el gradiente de presión. Un exceso en la densidad del fluido puede ocasionar la fractura de la formación originando pérdida de circulación.

- **Viscosidad plástica (PV):** la viscosidad es una medida de la resistencia interna al flujo, resultante de los efectos combinados de la cohesión y la adherencia; También puede definirse como la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. Esta viscosidad depende de la concentración, tamaño y forma de los sólidos presentes en el fluido, y se controla con equipos mecánicos de Control de Sólidos. Este control es indispensable para mejorar el comportamiento reológico y sobre todo para obtener altas tasas de penetración (ROP). Una baja viscosidad plástica aunada a un alto punto cedente permite una limpieza efectiva del hoyo con alta tasa de penetración.
- **Esfuerzo de gel:** es una propiedad presentada por la mayoría de los fluidos de perforación base agua que consisten en formar una estructura de gel cuando están estáticos, regresando luego al estado de flujo natural cuando se aplica un esfuerzo de corte. La resistencia de gel depende de: cantidad y tipo de sólidos en suspensión, tiempo y temperatura.

- **Punto cedente:** es la resistencia al flujo causada por las fuerzas de atracción de las partículas sólidas de los fluidos de perforación, esta fuerza es consecuencia de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersas en la fase líquida.
- **pH:** se usa para describir la acidez o basicidad de las soluciones. El valor de pH se define como el logaritmo negativo de la concentración de iones hidrógeno. Bajos valores de pH corresponden a una acidez creciente y altos valores de pH corresponden a una alta basicidad. Un cambio de una unidad de pH corresponde a un aumento de diez veces la concentración de iones hidrógeno.
- **Porcentaje de sólidos y líquidos:** el porcentaje de sólidos y líquidos se determina con una prueba de retorta. Los resultados obtenidos permiten conocer a través de un análisis de sólidos, el porcentaje de sólidos de alta y baja gravedad específica. En los fluidos base agua, se pueden conocer los porcentajes de bentonita, arcilla de formación y sólidos no reactivos de formación, pero en los fluidos base aceite, no es posible conocer este tipo de información, porque resulta imposible hacerles una prueba de MBT los sólidos suspendidos y disueltos son determinados restando de 100% o leyendo el espacio vacío en la parte superior del cilindro.

En un fluido de perforación existen sólidos deseables como la arcilla y la barita, y sólidos indeseables como ripios y arena, los cuales hay que eliminar del sistema. Algunos efectos de un aumento de los sólidos de perforación son: incremento del peso del fluido, alteraciones de las propiedades reológicas, aumento en el filtrado y formación de un revoque deficiente, posibles problemas de atascamiento diferencial, reducción de la vida útil de la mecha y un aumento en el desgaste de la bomba de fluido, mayor pérdida de presión debido a la fricción, aumento de la presiones de circulación.

- **Filtrado:** la pérdida de filtrado es el paso de la fase líquida del fluido hacia la formación permeable, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial. Es una de las propiedades del fluido con importancia fundamental en las operaciones de perforación, y se produce durante la perforación debido a que las formaciones cortadas se comportan como una malla o tamiz controlando los sólidos y dejando pasar el filtrado, por eso es importante controlarlo mediante aditivos especiales encontrándose en los más usados: bentonita, polímeros manufacturados, almidones, adelgazantes orgánicos (lignitos y lignosulfonato) y carbonato de calcio (acción de punteo) que permitan regular su pérdida y obtener revoque fino y delgado.

#### 2.2.4.2 Propiedades químicas

- **Alcalinidad:** la alcalinidad de la solución se puede definir como la concentración de los iones solubles en agua que pueden neutralizar ácidos. Está relacionada con la concentración de iones  $\text{OH}^-$  (oxidrilos),  $\text{CO}_3^{=}$  (carbonatos) y  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonatos) presentes en el fluido.
- **Cloruros:** es la cantidad de iones de cloro presentes en el filtrado del fluido de perforación. Una alta concentración de cloruros causa efectos adversos en un fluido base de agua.
- **Dureza:** es causada por la cantidad de sales de calcio y magnesio disueltas en el agua o en el filtrado del fluido de perforación.

#### 2.2.5 Causas de daño a la formación durante la perforación

Según el Centro Internacional de Educación y Desarrollo CIED – Manual de Daños a la Formación (1997). Durante todas las operaciones que se llevan a cabo en

un pozo, a lo largo de su vida, pueden ocasionarse daños a las formaciones productoras de hidrocarburos. Los fluidos de perforación están formulados con el objetivo de alcanzar la profundidad programada en forma rápida segura y económica, y una de las principales preocupaciones al perforador es el control de las presiones de las formaciones que se vayan atravesando. El proceso de perforación altera la condición de equilibrio físico químico, y de esfuerzo termodinámico que existe entre la roca, sus minerales constituyentes y los fluidos que la saturan, durante la penetración de la mecha, la sobrepresión necesaria para controlar las presiones de los yacimientos atravesados induce la invasión de partículas sólidas de fluido de perforación y de filtrado líquido en la región cercana al pozo donde pueden ocasionar distintos daño a la formación.

La filtración de la fase líquida de un fluido de perforación hacia el medio poroso ocurre en tres etapas: debajo de la mecha, filtración dinámica, durante la circulación del fluido y filtración estática cuando el fluido no está circulando. Entre los factores que controlan las propiedades filtrantes de un fluido de perforación son:

- ❖ Las propiedades físicas y químicas del fluido.
- ❖ El balance de sobrepresión aplicado.
- ❖ La velocidad anular.
- ❖ Tasa de penetración.
- ❖ Diámetro del hoyo.
- ❖ El tiempo de circulación y el que el fluido permanece estático.
- ❖ Las propiedades de las rocas: porosidad, permeabilidad, fracturas naturales.

### **2.2.6 Consecuencia de invasión por filtrado del fluido de perforación**

Es importante que los fluidos de perforación tengan el mínimo filtrado posible, para minimizar la invasión a la formación. Debe entenderse que la filtración depende

en gran manera de la capacidad que tiene el fluido de formar un revoque consistente e impermeable contra la cara del medio poroso, para controlar el filtrado y así de esta manera evitar posibles consecuencias a la formación productora en la tabla 2.1 se encuentran unas ocurrencia que pueden contaminar las formaciones con sus respectivas consecuencias.

**Tabla N° 2.1 Consecuencia de la invasión del filtrado**

OCURRENCIA	CONSECUENCIA
Cambio en la saturación de fluidos en el medio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alteración en las propiedades capilares e hidráulicas de la roca</li> <li>-Cambio en la permeabilidad relativa.</li> <li>-Bloqueos por agua.</li> <li>-Debilitamiento de la matriz de la roca.</li> </ul>
Invasión de surfactante	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alteración de la mojabilidad.</li> <li>-Incremento en la movilidad de las partículas finas.</li> <li>-Cambios en la movilidad.</li> <li>-Formación de emulsiones.</li> </ul>
Cambios en el ambiente Iónico, (salinidad, contraste de salinidad, cationes y pH).	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hinchamiento de las arcillas.</li> <li>-Migración de partículas finas y arcillas.</li> <li>-Precipitación mineral por intercambio iónico.</li> <li>-Precipitación inorgánica.</li> </ul>

**Fuente: CIED – Manual de Daños a la Formación (1997)**

### **2.2.7 Aditivos controladores de filtrado**

De acuerdo al CIED (2002), son agentes que reducen el volumen de filtrado que el fluido pierde hacia la formación, debido al efecto de la presión diferencial y a la permeabilidad de las formaciones. Algunos aditivos comerciales son:

- ❖ **CMC (Carboxi–Metil–Celulosa):** polímero aniónico semi sintético producido mediante la reacción de la celulosa sódica con ácido cloro acético. Es muy versátil y ampliamente utilizado en la industria.
- ❖ **Poliacrilato de Sodio:** es un polímero aniónico de peso molecular intermedio, estable a temperatura cercana a los 250 °F y resistente a la acción bacteriana.
- Almidón:** polímero natural no iónico cuya función primaria es la de proveer control de filtración, especialmente en fluidos salinos y catiónicos.

### 2.2.8 Polímeros

Son compuestos originados por la unión de moléculas de bajo peso molecular denominadas monómeros, los más comunes son: etileno, propileno y el estireno; sus respectivos son el polietileno y el poliestireno. Los mecanismos por los cuales los polímeros estabilizan a las lutitas no se conocen con certeza sin embargo, las cadenas poliméricas son absorbidas en múltiples sitios a lo largo de la estructura, uniendo las partículas de arcilla y encapsulando los recortes de perforación

Los polímeros también son usados como defloculantes o floculantes de arcillas, según se requiera en un momento dado. Para ambos casos se suelen utilizar polímeros con cargas aniónicas, pero en el caso de los defloculantes son polímeros de bajo peso molecular y como floculantes se emplean polímeros de elevado peso molecular. Otra aplicación importante de los polímeros en fluidos de perforación es como aditivos para controlar la pérdida de fluido. En este caso, los polímeros ayudan a formar un revoque en las paredes de la formación durante el proceso de perforación este revoque previene la migración del fluido con el que se está perforando, hacia la

formación; lo cual evita que dicho fluido pierda sus propiedades y que la formación resulte dañada. (Fernández, I 2007).

### **2.2.9 Origen de la tuna real (*Opuntia ficus- indica*)**

Planta arbustiva de la familia de las cactáceas los segmentos o cladodios en que se divide, son tallos capaces de ramificarse, emitiendo flores y frutos. Estos tallos son planos, ovales y de color verde medio. Poseen dos clases de espinas, reunidas en los gloquidios (especie de cojincillos) de las areolas, unas largas y duras, y otras cortas y finas con aspecto veloso. El nombre tuna es de origen caribeño (Bravo, 1991: 505), tomado por los primeros españoles que conocieron estas plantas. Más exactamente es un vocablo Taíno (Moringo, 1966).

Con éste término se designa mayormente a los frutos, aunque también se utiliza para la parte vegetativa de las especies de *Opuntia*. (*Opuntia ficus-indica*) es, entre las cactáceas, la de mayor importancia agronómica, tanto por sus sabrosos frutos como por sus tallos que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verdura.

El mejoramiento genético que ha sufrido se remonta a la época prehispánica; los cronistas de indias ya relatan sobre estas plantas y sus frutos, que fueron llevadas a España posiblemente en el primer o segundo viaje de Colón a América, aunque el primer registro cierto es en México, en 1515 (según la crónica de Fernández de Oviedo de 1535, reproducida en López Piñero, 1992).

El grado de madurez es importante para mantener el producto en buenas condiciones durante el tiempo necesario hasta el consumidor final. Entre los índices visuales para determinar el grado de madurez tenemos: color, brillo fruto. Las pencas están compuestas por agua y contienen además sales minerales (calcio, fósforo, hierro) y vitaminas sobre todo la vitamina C. En la figura 2.2 se muestra la planta en un ambiente silvestre junto con el fruto que la misma produce.



**Figura N° 2.2. Tuna de tallo sin espinas**

**Fuente: Griffith, P (2004)**

### **2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

- **Aditivo:** compuesto que realiza una cierta característica, o imparte una cierta nueva característica al fluido base. (CIED, 2002).
- **Almidón:** el almidón es quizás el polímero natural más importante que existe y es la mayor fuente de energía obtenida de varias plantas. Se encuentra en: maíz, trigo, arroz, sorgo, papa, yuca, batata, lentejas, guisantes, frutas, bananas, manzanas, tomates, verdes, palma sago y tabaco. (Fuentes, F y Gómez, M 2011).
- **Circulación:** recorrido que hace el fluido a través de las bombas, la sarta de perforación, la barrena, y el espacio anular. El fluido sale del tanque succión, hace su recorrido, y regresa nuevamente al tanque. (CIED, 2002).
- **Controladores de filtrado:** son agentes que disminuyen la cantidad de agua que pasa hacia la formación permeable cuando el fluido de perforación

es sometido a una presión diferencial. Entre ellos tenemos: polímeros manufacturados, almidones, adelgazantes orgánicos, (ENERGY API, 2001).

- **Daño a la formación:** cualquier restricción al flujo de fluidos en el medio poroso causado por la reducción de la permeabilidad en la vecindad del pozo. (CIED, 1997).
- **Filtración:** el proceso de separación de sólidos suspendidos de su líquido, forzando el líquido a través de un medio poroso. Dos tipos de filtración de fluido ocurren en un pozo: filtración dinámica durante la circulación y filtración estática cuando el fluido no está circulando. (ENERGY API, 2001).
- **Invasión:** movimiento de un líquido fuera del área asignada hacia otra área, creando posiblemente un cambio físico o químico en el área invadida. (ESVENCA, 2010).
- **Polímero:** un polímero no es más que una sustancia formada por una cantidad finita de macromoléculas que le confieren un alto peso molecular que es una característica representativa de esta familia de compuestos orgánicos. (BAROID, 2004).
- **Presión diferencial:** la diferencia de presión entre la presión hidrostática de la columna de fluido y la presión de la formación a una profundidad dada en el pozo. Puede ser positiva, cero o negativa con respecto a la columna hidrostática. (Fuentes, F y Gómez, M 2011).

**Revoque:** sólidos suspendidos que se depositan sobre un medio poroso durante el pase de la parte fluida del lodo hacia la formación. (CIED, 2002).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación que se realizó fue de tipo explicativa, debido a que su interés se centro en buscar las causas o razones de ciertos fenómenos y bajo qué condiciones se encuentran, la descripción de conceptos o del establecimiento de relaciones entre ellos. El mismo consistió en caracterizar el aditivo controlador de filtrado a base de tuna real, determinar el efecto sobre los fluidos y estimar el costo de la fibra de tuna real como agente controlador de filtrado. Según Arias, F (2006):

“La investigación explicativa se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas (investigación post facto) como de los efectos (investigación experimental) mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos”. p. 26

#### **3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El diseño de investigación representa el plan o estrategia para el logro de los objetivos planteados tanto el general como los específicos y junto con esto dar repuestas a los problemas o suposiciones que se plantearon.

En tal sentido el diseño de investigación empleada es del tipo experimental, puesto que se manipularon distintas variables para determinar el efecto que tiene el aditivo a base de tuna real en el fluido de perforación polimérico. Según Arias, F (2006): “la investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente) que para esta investigación fue el aditivo controlador de filtrado a base de fibra de tuna real (*Opuntia ficus -indica*), para observar efectos o

reacciones que se producen (variable dependiente: propiedades reológicas, filtrado y propiedades químicas).

### **3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Según Arias, F (2006) “Una muestra representativa es aquella que por su tamaño y características similares a las del conjunto, permite hacer inferencias o generalizar los resultados al resto de la población con un margen de error conocido” siguiendo con el mismo autor “La población es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación” (p. 81). En esta investigación la población y muestra fue el número de fluidos formulados a base controlador comercial y de tuna real, luego contaminados con agua salada y crudo al 2 y 4 % v/v respectivamente para cada uno de los fluidos.

### **3.4 PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO**

Para llevar a cabo los objetivos planteados en este trabajo, se desarrollaron los siguientes procedimientos o etapas en las cuales se explican cómo se procedió a trabajar durante la investigación:

#### **3.4.1 Etapa I: caracterización de un aditivo controlador de filtrado derivado de fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*)**

En esta etapa, inicialmente se requirió de la búsqueda de la materia prima para elaboración y extracción la fibra de tuna real la cual fue obtenida mediante el traslado hacia las localidades productoras cercanas a las zonas áridas del estado Sucre específicamente Golfo de Paria a fin de obtener muestras de la especie de tuna a utilizar.

Una vez obtenida la materia prima, se procedió a clasificar y extraer la fibra de tuna real mediante métodos tradicionales de corte, rallado, secado en una estufa durante un periodo de 14 horas a temperatura de 130°F. Una vez deshidratada se procedió a la molienda y tamizado para alcanzar un diámetro de partículas cercanas a 0,1 mm aceptado en la formulación de los fluidos de perforación.

Para determinar la calidad del aditivo controlador de filtrado se formularon muestras de 358 ml de salmuera preparadas a partir de la adición de 42 gramos de cloruro de sodio en un litro de agua destilada, con la previa adición de un gramo de bicarbonato de sodio mezclando a bajas revoluciones por minuto por un período de 180 segundos, para luego adicionar 28 gramos de arcilla bentonítica y un gramo del aditivo controlador de filtrado a evaluar, después de mezclar por 5 minutos, cuidando que el material agregado no se adhiera a las paredes del envase, dejando agitar la mezcla por un período de 20 minutos, las cuales fueron dejadas en reposo por 16 horas a temperatura ambiente. Las muestras fueron agitadas nuevamente por 5 minutos y luego sometidas a pruebas reológicas a través del uso del viscosímetro rotacional para determinar la viscosidad plástica, punto cedente y los esfuerzos de geles. De igual manera se determinó el volumen de filtrado o tasa de filtración de la fase líquida de las muestras a través del uso del filtro prensa API sometiendo las muestras a un diferencial de presión de 100 psi con la ayuda de suministro de nitrógeno a las celdas que contienen dichas muestras y considerando que de acuerdo a las normas de calidad establecidas por las empresas de servicio dedicadas al manejo de fluidos de perforación, se establece que un controlador de filtrado eficiente, debe mantener bajo las condiciones antes mencionadas, una tasa de filtración cercana a los 10 cc/30min. De acuerdo a las normas internas de Scomi Oiltools (código IT-LB-75) y basados bajo los procedimientos establecidos por el Instituto Americano de Petróleo en su norma API 13-B1 donde se presentan los materiales utilizados para la formulación de fluidos de perforación de pozos petroleros.

### 3.4.2 Etapa II: determinación del efecto de agentes contaminantes sobre las propiedades físicas y químicas de fluidos de perforación a base de polímeros formulados con controlador de filtrado derivado fibra de tuna real

Para la determinación de los efectos de agentes contaminantes sobre las propiedades físicas y químicas de los fluidos de perforación formulados con aditivos controlador de filtrado comercial y fibra de tuna real se utilizaron 30 formulaciones de 2 bbl equivalente (700cc) cada una de las cuales fueron representadas en 10 tratamientos con las siguientes especificaciones:

**Tabla N° 3.1. Formulaciones de los fluidos de perforación para determinar los efectos sobre las pruebas físicas y químicas de los agentes contaminantes.**

N° DE MUESTRA	TRATAMIENTOS
1	Fluido base con controlador comercial
2	Fluido base con fibra de tuna real
3	Fluido base con controlador comercial + 2% (v/v) CaCl <sub>2</sub>
4	Fluido base con fibra de tuna real + 2% (v/v) CaCl <sub>2</sub>
5	Fluido base con controlador comercial + 4% (v/v) CaCl <sub>2</sub>
6	Fluido base con fibra de tuna real + 4% (v/v) CaCl <sub>2</sub>
7	Fluido base con controlador comercial + 2% (v/v) Crudo
8	Fluido base con fibra de tuna real + 4% (v/v) Crudo
9	Fluido base con controlador comercial + 4% (v/v) Crudo
10	Fluido base con fibra de tuna real + 4% (v/v) Crudo

A continuación se muestran los aditivos a utilizar para la formulación con fibra de tuna real y controlador de filtrado comercial las cantidades de los aditivos fueron establecidas para una densidad de 10 lpg, las cuales se reflejan en las siguientes tablas.

**Tabla N° 3.2 Aditivos para la formulación de fluido de perforación polimérico con fibra de tuna real (Opuntia ficus indica)**

Aditivos y orden de agregado	Unidad	Muestra	Mezcla, min
Agua	ml	611	0
Goma Xántica	g	2	5
Tuna real	g	2	5
Potasa Cáustica	g	Hasta un pH de 9,5	5
Carbonato de calcio	g	226	5

**Tabla N° 3.3 Aditivos para la formulación de fluido de perforación polimérico con el controlador comercial**

Aditivos y orden de agregado	Unidad	Muestra	Mezcla, min
Agua	ml	616	0
Goma Xántica	g	2	5
Controlador comercial	g	2	5
Potasa Caústica	g	Hasta un pH de 9,5	5
Carbonato de calcio	g	220,46	5

Posteriormente se formularon las muestras de fluidos de perforación base agua utilizando controlador comercial y fibra de tuna real como aditivos controladores de filtrado para estudiar sus propiedades físicas y químicas las cuales son: densidad se mide con una balanza de fluido de suficiente precisión para obtener mediciones con un margen de error de 0,1 lb/gal (0,5lb/pie<sup>3</sup> o 5 psi/1.000 pies de profundidad, viscosidad plástica y punto cedente resistencia o fuerza de gel a través del viscosímetro de lectura directa; tasa de filtración con un filtro prensa la prueba

consiste en determinar la velocidad a la cual se fuerza un fluido a través del papel filtro; pH existen dos formas por un método colorimétrico modificado donde se utilizan cintas de pH o por el método electrométrico donde se emplea un electrodo de vidrio; % sólidos y líquidos esta se determina por el método de la retorta. Una vez obtenida las muestras del filtrado se procedió a determinar las propiedades químicas de alcalinidad, tanto del filtrado como del fluido, dureza, contenido de cloruros, carbonatos y bicarbonatos; basados bajo los procedimientos establecidos por el Instituto Americano de Petróleo en su norma API 13- B1 (ver normativa Apéndice A) donde se representa los materiales y procedimientos utilizados para la formulación de fluidos de perforación de pozos petroleros.

Una vez formulado se contaminaron con (2 y 4 % v/v) agua salada y crudo extra pesado (9°API) en la misma proporción a fin de determinar su efecto sobre las propiedades físicas y químicas de las muestras formuladas con los el aditivo desarrollado y sobre muestras de fluidos formuladas bajo las mismas condiciones pero utilizando un aditivo comercial de uso común en campo a fin de compararlo con el comportamiento de los aditivos desarrollados bajo un diseño estadístico de bloques al azar y matriz “nxm”, donde “n” estuvo representado por el número de tratamientos y “m” el número de repeticiones para este ensayo, las cuales constaron con tres repeticiones para garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos y permitieron aplicar un análisis de varianza y posterior uso de la prueba de rango múltiple conocida como Mínima Diferencia Significativa DMS ( $P < 0,05$ ), considerando como fluido patrón la muestra de fluido formulada con el aditivo comercial (FCC) de uso común para efecto del análisis se utilizo la letra “A” para identificarlo, destacando que letras distintas indican comportamientos estadísticamente diferentes (Ver apéndice B).

De esta manera se hizo un estudio detallado de la resistencia que puedan manifestar los fluidos de perforación base agua formulados con fibra de tuna real

como agente controlador de filtrado así como los formulados con el aditivo comercial usado comúnmente en campo, para aplicar de igual manera el diseño estadístico antes mencionado y establecer si existe similitud o no entre las propiedades de los sistemas formulados.

### **3.4.3 Etapa III: estimación del costo por barril de fluidos de perforación formulados con aditivos controladores de filtrado a base de fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*)**

Finalmente se realizó una estimación del costo que tendría formular un barril de fluido de perforación formulado con fibra de tuna real y el formulado con el aditivo comercial de uso común estos costos a su vez dependen de la presentación de cada producto en sacos después de obtenidos el costo por presentación se calculó el costo dependiendo de la concentración utilizada por cada barril y seguidamente la sumatoria de estos para obtener el costo total a fin de establecer las diferencias de costos para mostrar la factibilidad económica del uso de los controladores de filtrado desarrollados en esta investigación (Ver apéndice D).

Estos costos fueron estimados considerando todos los gastos relacionados con la compra de materia prima y la elaboración del controlador de filtrado desarrollado en esta investigación y el costo por unidad de empaque o presentación del aditivo comercial (precio/saco). Se hizo el cálculo de rendimiento tomando en cuenta el peso de la tuna sin procesar y procesado, indicando cuánto se obtiene por cada 1 kilo propuesto a la obtención del aditivo controlador de filtrado a base fibra de tuna real el cual es 0,1718 Kg de luego se hizo el cálculo cuantos kilos se necesitan para elaborar 1 saco de este aditivo (50 lbs equivalentes a 22,68Kg) 100% natural y así poder estimar los costos generados de un barril de fluidos formulados con tuna real y controlador comercial.

### 3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Según Arias, F. (2006). “Se entiende por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos o información. Así mismo señala que los instrumentos de recolección de datos son cualquier recurso dispositivo o formato (en papel o digital) que se utiliza para obtener registra o almacenar información” (p.67). Consecuente con esto, las técnicas para la recolección de los datos que se analizaron en la presente investigación, estuvieron basadas en la observación directa de los resultados que se obtuvieron a través de pruebas de laboratorio realizadas, los cuales fueron analizados para obtener las conclusiones.

**Revisión bibliográfica:** estuvieron basadas en la búsqueda de información en textos de diferentes autores, trabajos previos, manuales, informes, conexión a internet y publicaciones pertenecientes al tema que se desarrollo.

#### 3.5.1 Instrumentos

Los instrumentos de recolección de información estarán constituidos por los diferentes equipos, materiales y sustancias utilizados para evaluar las propiedades físicas y químicas de los sistemas de fluido formulados, entre los cuales se tienen:

- Materiales de oficina (lápices, computadoras, cartuchos para impresoras, papel entre otros).
- Cilindro graduado.
- Horno de envejecimiento.
- Fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*).
- Rallo común para la minimizar el tamaño de la fibra de la tuna real.
- Estufa para secado de la fibra de la tuna real.

- Molino para obtener diámetro requerido de 0.1mm de la tuna real
- Tamiz de diferentes diámetros hasta obtener el adecuado (menor a 0.1mm)
- Papel filtro
- Termómetro, guantes de látex.
- Viscosímetro rotacional de FANN, capsula, mezcladores de fluido.
- Retorta de 10 ml, para obtener los porcentajes de agua, y sólidos
- Filtro prensa API, para determinar el filtrado.
- Productos químicos e instrumentos de laboratorio para calcular alcalinidad, dureza.
- Controlador comercial
- Carbonato de calcio.
- Goma Xántica.
- Potasa cáustica.
- Agua destilada.

### **3.5.2 Recursos humanos**

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se contó con el apoyo académico y metodológico de profesores de la Escuela de Ingeniería de Petróleo de la Universidad de Oriente Núcleo de Monagas.

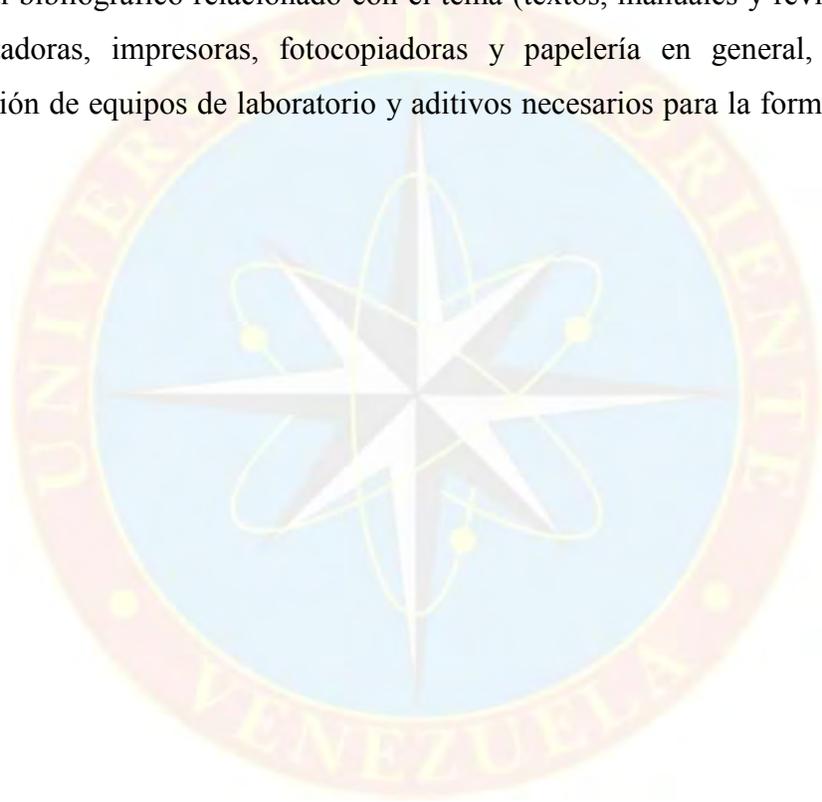
### **3.5.3 Recursos económicos**

Los gastos que se generaron durante el desarrollo de esta investigación estuvieron a cargo de la autogestión de los investigadores, además se contó con los

equipos de laboratorio y aditivos para la formulación de los fluidos pertenecientes a la Universidad de Oriente, y otros materiales aportados por los investigadores.

#### **3.5.4 Recursos materiales y bibliográficos**

Para el desarrollo de la investigación fueron necesarios: materiales de oficina, material bibliográfico relacionado con el tema (textos, manuales y revistas técnicas), computadoras, impresoras, fotocopadoras y papelería en general, así como la utilización de equipos de laboratorio y aditivos necesarios para la formulación de los fluidos.



## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 CARACTERIZACIÓN DEL ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO DERIVADO DE FIBRA DE TUNA REAL (*OPUNTIA FICUS INDICA*)

**Tabla N° 4.1. Especificaciones que posee el aditivo de tuna real (*Opuntia ficus indica*)**

Aditivo	pH en agua	Solubilidad a 65°C	Gravedad Específica a 25 °C
<b>Tuna Real</b>	4,43	80%	0,4564

En la tabla N° 4.1 se muestran las especificaciones del aditivo elaborado a base de tuna real (*Opuntia ficus indica*) desarrollado para esta investigación, presentando un pH suavemente ácido. Presenta una gravedad específica de 0,4564, la cual se utilizó para realizar el balance de masas y así obtener la cantidad de aditivo requerido para la formulación de fluidos de perforación poliméricos.

**Tabla N° 4.2. Resultados de la determinación de la prueba de calidad de la fibra de tuna real como controlador de filtrado**

Aditivo	Filtrado API (cc/30min)	Punto cedente (lb/100pie <sup>2</sup> )
<b>Tuna Real</b>	13	2

En la tabla N° 4.2 se observan los resultados para la determinación de la prueba de calidad para la tuna real, donde se utilizó el procedimiento para determinar la calidad de una celulosa Polianiónica (PAC) utilizada como controlador de filtrado donde sus especificaciones son las siguientes: para baja viscosidad el filtrado debe ser de 6 cc/30min, y un punto cedente de 13 lb/100pie<sup>2</sup>, 100pie<sup>2</sup> de acuerdo a las

normas internas de Scomi Oiltools (código IT-LB-75). Estos resultados se obtuvieron para comprobar si la fibra de la tuna real podría servir como agente controlador de filtrado, a pesar que los resultados obtenidos no tuvieron un comportamiento similar al de la PAC se prosiguió con el estudio de la tuna real como aditivo controlador de filtrado debido a que no se contaba con las especificaciones de una prueba de calidad para aditivos controladores de filtrado a base de fibras naturales.

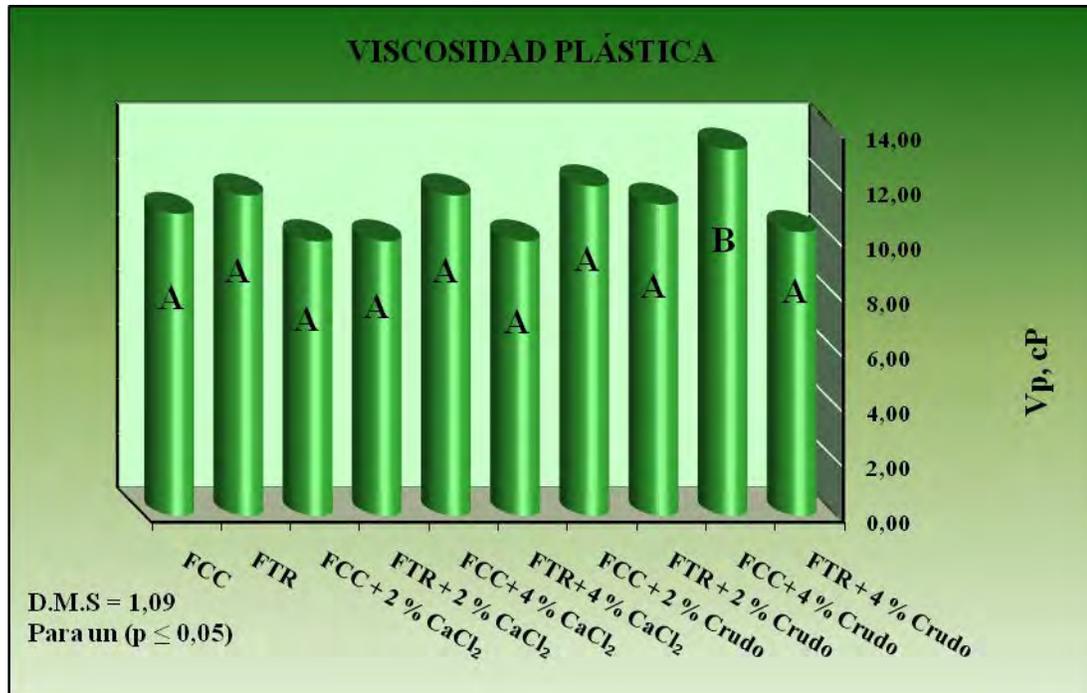
#### **4.2 DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE AGENTES CONTAMINANTES SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN POLIMÉRICOS FORMULADOS CON CONTROLADOR DE FILTRADO DERIVADO DE LA FIBRA DE TUNA REAL**

En la siguiente tabla se muestran las formulaciones utilizadas para los 10 tratamientos que se evaluaron con el controlador comercial y el de tuna real. Para mayor comodidad en la realización y lectura de las tablas y los gráficos se procedió a identificar los tratamientos de la siguiente manera:

**Tabla N° 4.3. Identificación de los diferentes tratamientos utilizados durante las formulaciones**

<b>Tratamientos</b>	<b>Terminaciones</b>
Fluido base con controlador comercial	FCC
Fluido base con fibra de tuna real	FTR
Fluido base con controlador comercial + 2% (v/v) CaCl <sub>2</sub>	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>
Fluido base con fibra de tuna real + 2% (v/v) CaCl <sub>2</sub>	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>
Fluido base con controlador comercial + 4% (v/v) CaCl <sub>2</sub>	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>
Fluido base con fibra de tuna real + 4% (v/v) CaCl <sub>2</sub>	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>
Fluido base con controlador comercial + 2% (v/v) Crudo	FCC + 4 % Crudo
Fluido base con fibra de tuna real + 2% (v/v) Crudo	FTR + 4 % Crudo
Fluido base con controlador comercial + 4% (v/v) Crudo	FCC+ 4 % Crudo
Fluido base con fibra de tuna real + 4% (v/v) Crudo	FTR + 4 % Crudo

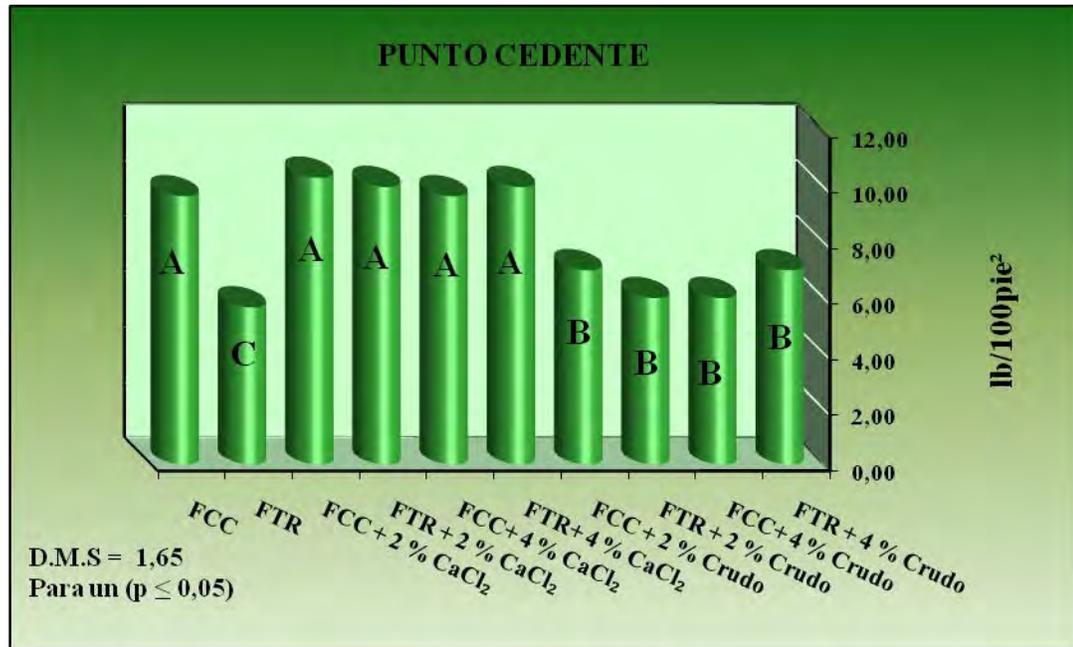
➤ Viscosidad plástica



**Gráfico N° 4.1 Comportamiento de la viscosidad plástica de los fluidos formulados con el controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

En la gráfica N° 4.1 se tienen los valores de viscosidad plástica ( $V_p$ ) para las muestras de los fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador comercial y fluido con tuna real evaluados a una temperatura de 120 °F, en ellas se observan que los tratamientos formulados no presentaron diferencia estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón, porque la resistencia al flujo causada por la fricción mecánica presentes en los sólidos suspendidos en las formulaciones no mostraron variación a excepción de la muestras formuladas con controlador comercial contaminadas con 4 % v/v de crudo que mostró diferencia estadísticamente significativa con respecto al fluido patrón esto a causa del contenido de sólidos presente en la formulación por las impurezas del crudo.

➤ **Punto cedente**



**Gráfico N° 4.2 Comportamiento del punto cedente de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

En la gráfica N° 4.2 se muestran los valores del punto cedente de los fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador comercial y el de tuna real a una temperatura de 120 °F, observando que los tratamientos contaminados con agua salada al 2 y 4 % v/v para el controlador comercial y el controlador a base de tuna real no presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto al fluido patrón para el caso de los contaminados con crudo al 2 y 4 % v/v para ambos controladores si presentan, esto debido a que no existe floculación es decir atracción entre las partículas. El punto cedente es una medida de fuerza de atracción entre las partículas, bajo condiciones dinámicas o de flujo y la fuerza que ayuda a mantener el fluido una vez que entra en movimiento. (CIED ,2002); destacando que los fluidos poliméricos formulados con la tuna real sin contaminar presentaron diferencia

mínima significativa con respecto al fluido patrón que tiene los valores más bajos de punto cedente porque el espacio entre los sólidos es mayor.

➤ **Esfuerzo de Gel (10seg)**



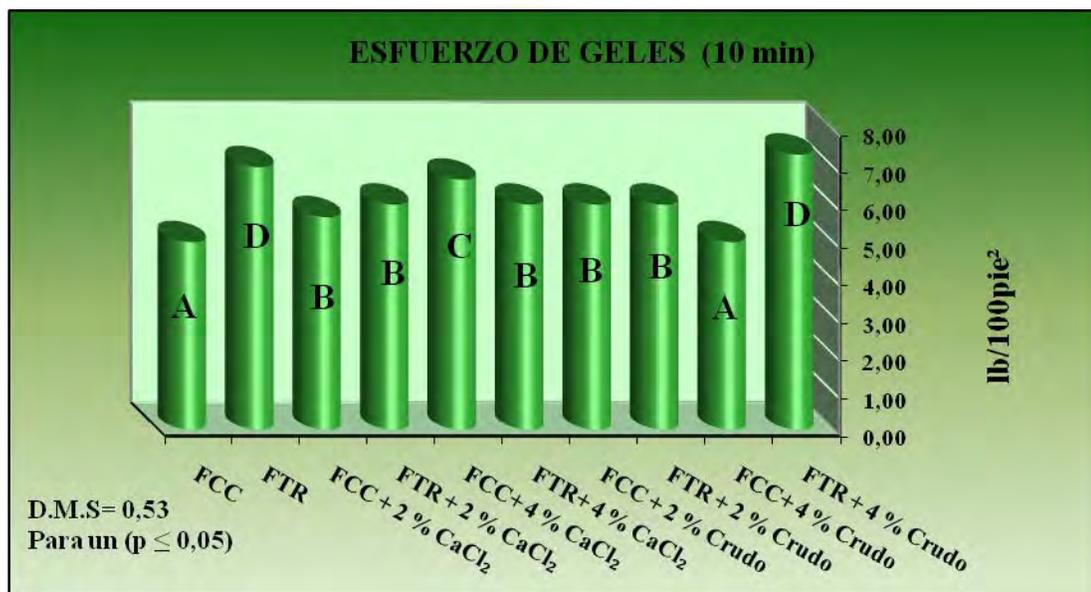
**Gráfico N° 4.3 Comportamiento del esfuerzo de gel de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y tuna real con su efecto al ser contaminado**

La gráfica N° 4.3 reflejan los valores de esfuerzos de geles a 10seg para los fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador comercial y con tuna real en el cual se comprobó que los tratamientos formulados con controlador comercial contaminado con 2 % v/v de agua salada, 2 y 4 % v/v de crudo y el fluido con controlador a base de tuna real contaminado al 4% v/v de crudo no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón.

Sin embargo las muestras formuladas con tuna real sin contaminar y las contaminadas al 2 y 4 % v/v agua salada (cloruro de calcio), 2 % v/v hay diferencia

estadísticamente significativa, aunque muy poca variación entre ellos existe la capacidad de formar una estructura de gel cuando están estáticos por el efecto que tiene la goma Xántica que crea geles planos debido a la red de polímeros formados.

➤ **Esfuerzo de Gel (10min)**

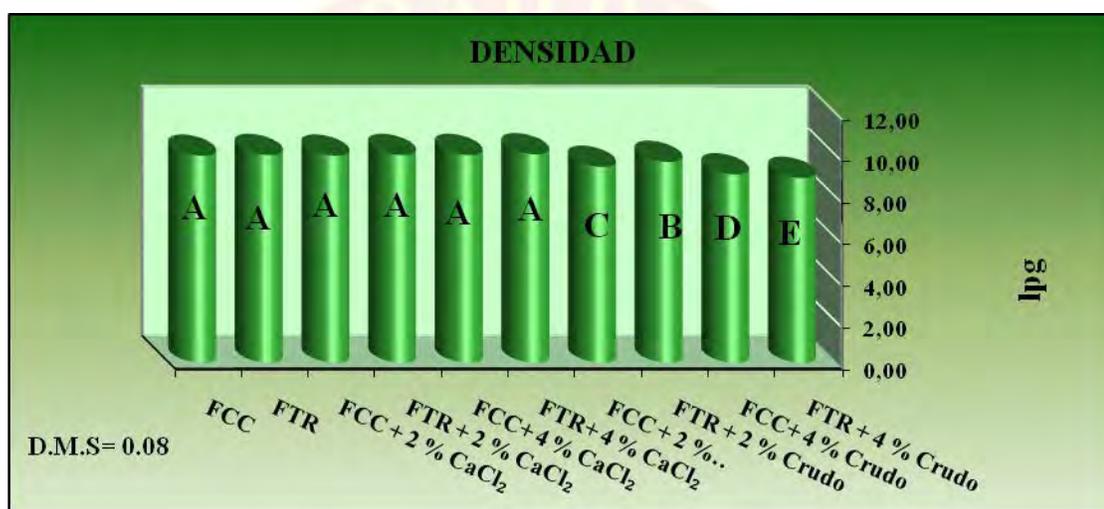


**Gráfico N° 4.4 Comportamiento del esfuerzo de gel de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

La gráfica N° 4.4 reflejan los valores de esfuerzos de geles a 10min para las muestras de los fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador comercial y con tuna real donde los tratamientos presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón, a excepción de fluido con controlador comercial contaminado al 4 % v/v de crudo que no presentó diferencias estadísticamente significativas, cabe destacar que los fluidos formulados con tuna real sin contaminar y los contaminados con 4 % v/v de crudo presentaron los

valores más altos, debido a la capacidad de gelificación de estos fluidos. Estos presentan buena fuerza de gel porque inevitablemente al incorporarse los sólidos reactivos al sistema, los geles aumentaran lográndose tener control de dicha propiedad por medio de tratamientos químicos.

### ➤ Densidad

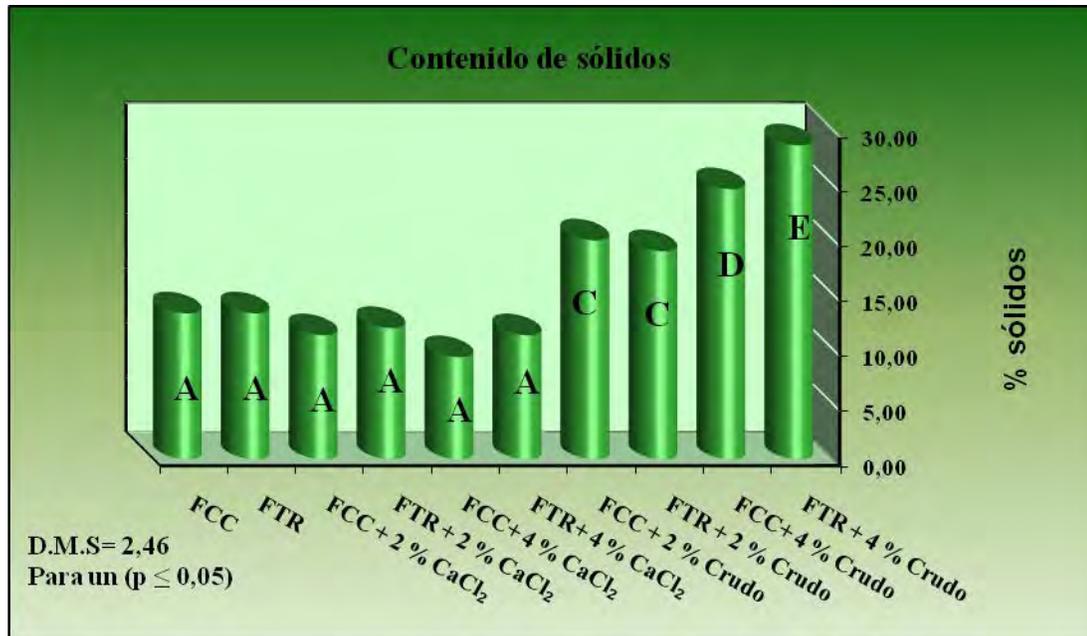


**Gráfico N° 4.5 Comportamiento de la densidad de los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

El gráfico N° 4.5 refleja los valores de densidad obtenidos en la formulación de fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador a base de tuna real y controlador comercial aquí los tratamientos contaminados con 2 y 4 % de agua salada para los controladores comercial y tuna real no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón lo cual es importante debido a que la densidad es uno de los factores de los cuales depende la presión hidrostática ejercida sobre la columna de fluido, caso contrario sucedió a los contaminados con 2 y 4 % v/v de crudo para ambos aditivos que presentan

diferencias estadísticamente significativas porque al entrar el crudo que tiene menor densidad que el fluido de perforación este tiende a disminuir.

➤ **Contenido de sólidos (%sólidos)**

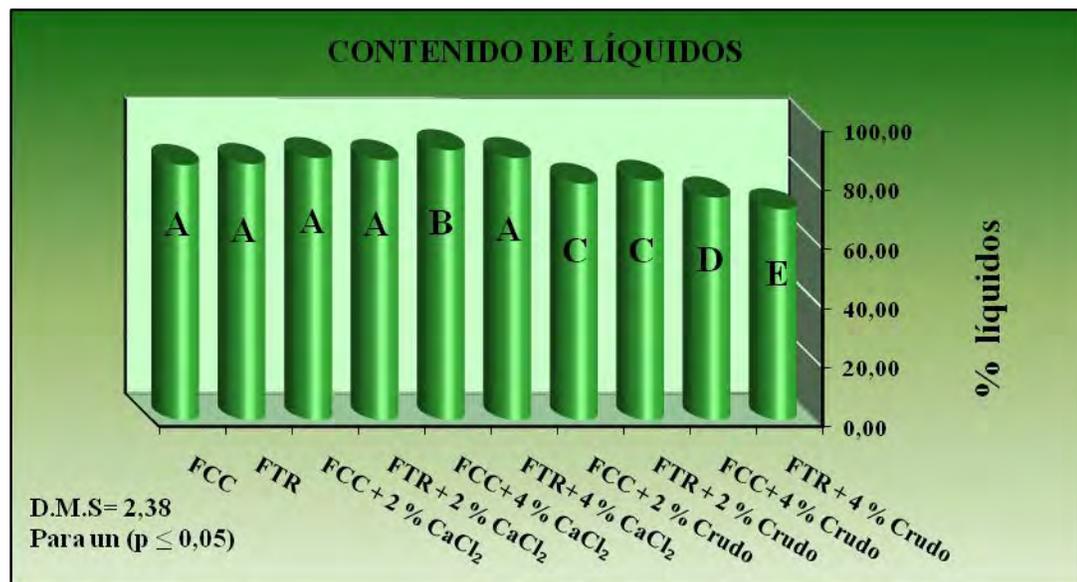


**Gráfico N° 4.6 Comportamiento del contenido de sólidos presentes en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

Observando en el gráfico N° 4.6 los valores del contenido de sólidos presentes en los fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador comercial y con controlador a base de tuna real los fluidos sin contaminar de tuna real y los fluidos con controlador comercial y tuna real contaminados con 2 y 4 % v/v de agua salada no presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón, los tratamientos contaminados con 2 y 4 % de crudo para ambos controladores presentan diferencias estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón por presentar incrementos en esta propiedad siendo esto lógicamente por el contenidos de

sólidos presentes en el crudo, lo cual no es conveniente por la influencia que presenta los sólidos en el tratamiento del control de los fluidos de perforación.

➤ **Contenido de líquidos (% de líquidos)**

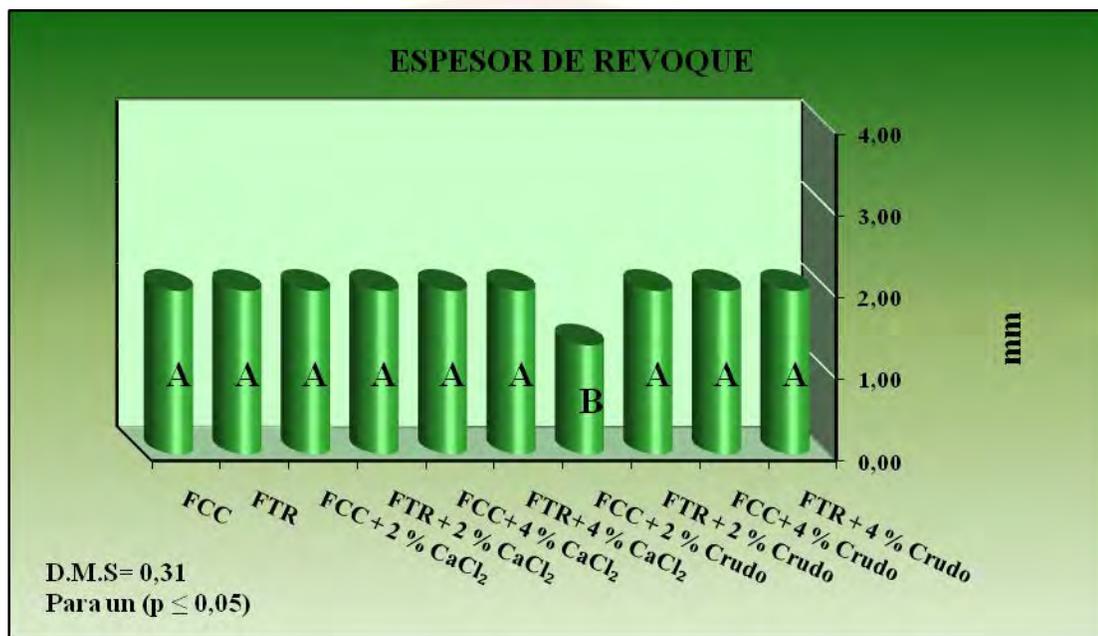


**Gráfico N° 4.7 Comportamiento del contenido de líquidos presentes en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

En el gráfico N° 4.7 se observan los valores de contenido de líquidos de los fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador comercial y controlador a base de tuna real donde el comportamiento arrojado de los fluidos con controlador a base de tuna real y los contaminados con sal al 2% v/v y 4% v/v de ambos aditivos no presentan diferencia estadísticamente significativa con respecto al fluido patrón; en el caso de los contaminados con crudos su comportamiento lógico se debe a que a pesar de que existe presencia de líquidos es mayor la presencia de sólidos e impurezas por la incorporación del crudo al fluido de perforación.

Cabe destacar que para la formulación del fluido con controlador comercial presentaba una mayor concentración de agua con respecto al formulado con tuna real.

➤ **Espesor del Revoque**

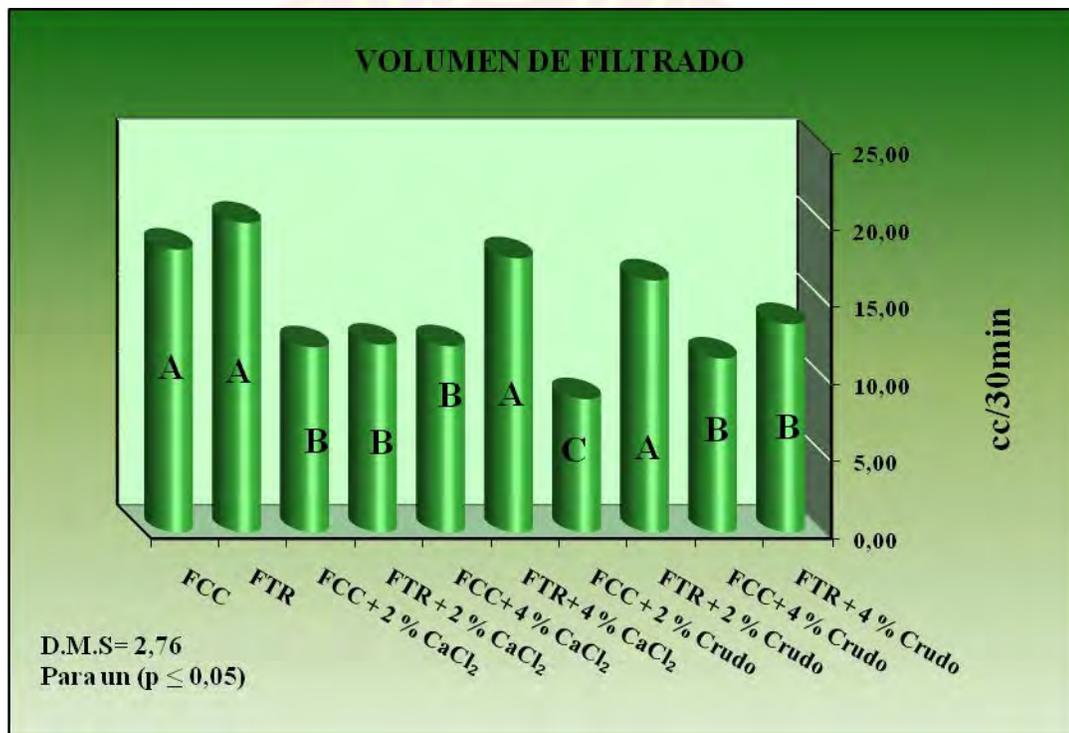


**Gráfico N° 4.8 Comportamiento del revoque presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

Se puede observar en la gráfica N° 4.8 los valores del espesor de revoque de los fluidos de perforación poliméricos formulados con el controlador comercial y el controlador a base de tuna real que los tratamientos no presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto al fluido patrón excepto para el fluido con controlador comercial contaminado con 2% v/v de crudo que presentó diferencia estadísticamente significativa con respecto al fluido patrón debido a que por ser este

un almidón presento un revoque más delgado y baja permeabilidad por la contaminación a bajas concentraciones de crudo y a altas solubilidad que ayudo a formar un revoque bastante consistente por lo que favorece a la formaciones productoras ya que disminuyen la tasa de filtración .

### ➤ Volumen de Filtrado



**Gráfico N° 4.9 Comportamiento del volumen de filtrado presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

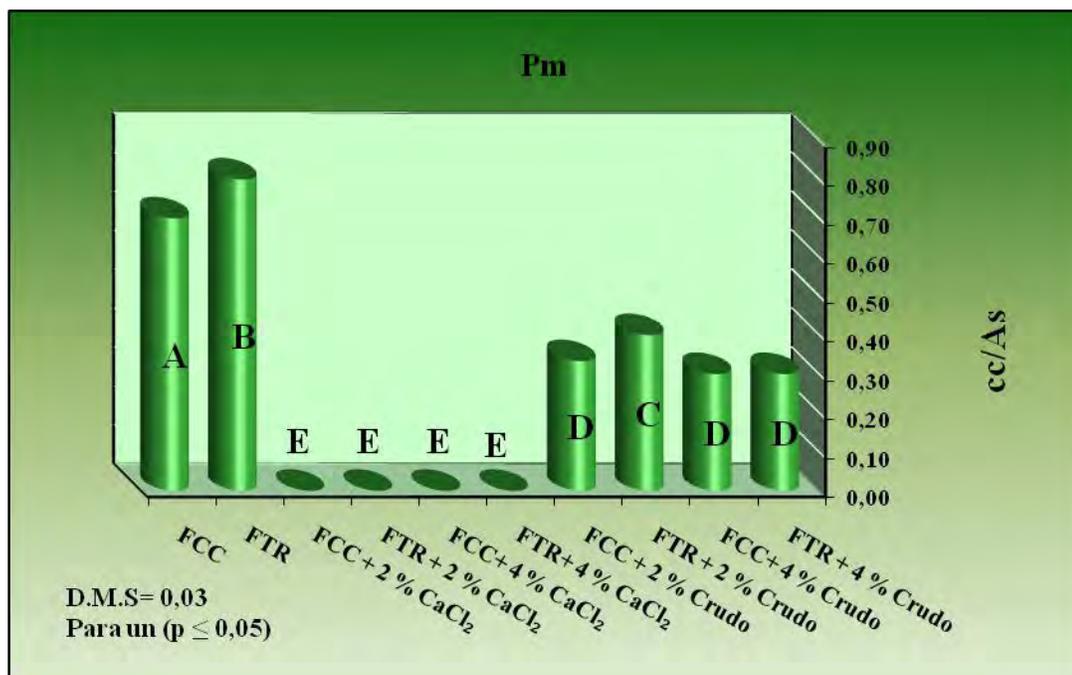
Los valores expresados en el gráfico N° 4.9 indican el comportamiento del volumen de filtrado que tuvieron los fluidos de perforación poliméricos formulados con controlador comercial y con controlador a base de tuna real, destacando que al

momento que se realizó la prueba de calidad no tuvieron comportamiento similar por ser este un procedimiento para la Celulosa Polianiónica, pero una vez combinados los aditivos en la formulación del fluido base con controlador de tuna real presentan comportamientos estadísticamente similares con respecto al patrón, es decir, que puede ser de acuerdo a los valores arrojados un sustituto del controlador comercial.

Para los fluidos formulados con tuna real sin contaminar, contaminado al 4% v/v de agua salada y el 2% v/v de crudo no presentaron diferencia significativas con respecto al fluido patrón. Los fluidos formulados con controlador comercial contaminados al 2% y 4 % v/v de agua salada, 4 % v/v de crudo y los formulados con tuna real contaminados al 2 % de agua salada y 4 % v/v de crudo, tienen diferencias significativas con respecto al fluido patrón. Según ENERGY API. (2001): “el volumen del filtrado indica la cantidad relativa de líquido que se filtra a través del revoque hacia las formaciones permeables, cuando el fluido es sometido a una presión diferencial la cual no debería ser considerada como un valor absoluto simplemente como una indicación de las propiedades de filtración del fluido de perforación en el pozo”.

También se puede inferir que el fluido formulado a base de tuna real resulta efectivo para ser aplicados en formaciones con presencia de crudo en presencia de agua salada teniendo un comportamiento similar al aditivo comercial estudiado. Sin embargo, en presencia de contaminantes de forma general disminuyó el volumen de filtrado siendo esto positivo para efectos de esta investigación.

➤ Alcalinidad del fluido de perforación a la fenolftaleína (Pm)

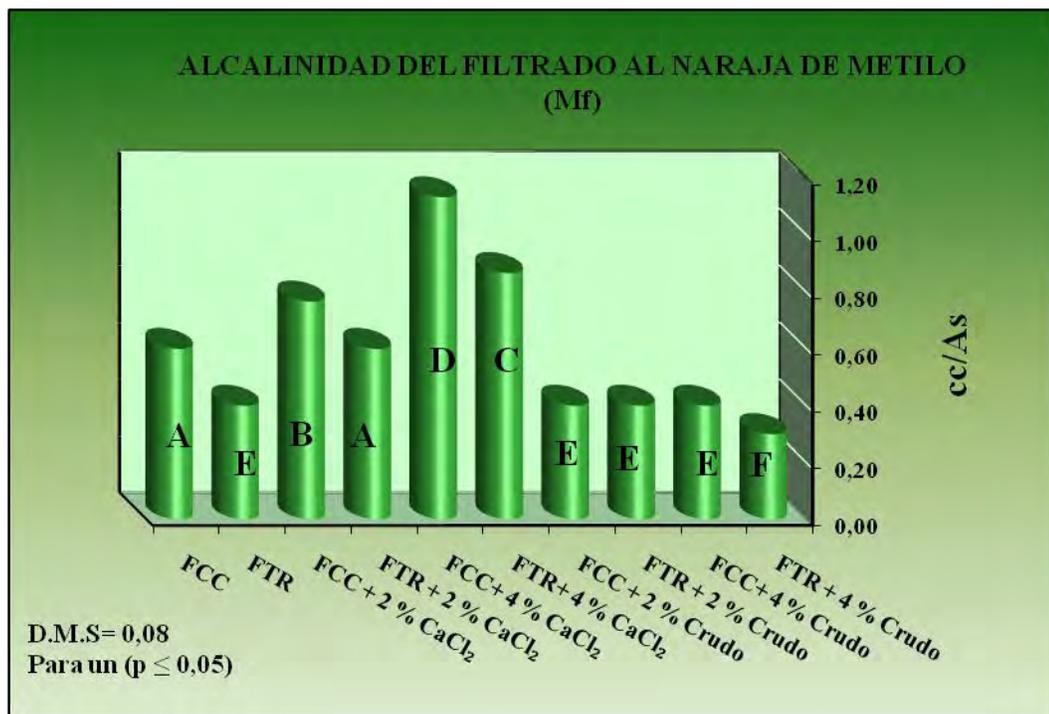


**Gráfico N° 4.10 Comportamiento de la alcalinidad a la fenolftaleína (Pm) presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

En el gráfico N° 4.10 se muestran los comportamientos de la alcalinidad del fluido de perforación (Pm) formulado con controlador comercial y el controlador a base de tuna real, que todos los tratamientos presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto al fluido patrón, sin embargo el fluido a base de tuna real sin contaminar tiene mayor alcalinidad con respecto al patrón lo que es positivo porque se tendría que usar más potasas para el fluido comercial con respecto a la tuna real. La presencia de sales hizo que no fuese necesario el uso de  $H_2SO_4$  puesto que la misma disminuyó el pH por debajo de 8,33 por el efecto que contienen los iones de la sal sobre los fluidos, pero sin embargo para los contaminados con crudo se necesitó

menor cantidad de ácido que para los fluidos patrón para llevar el pH a 8.33 por la cantidad de impurezas presentes.

➤ **Alcalinidad del filtrado al naranja de metilo (Mf)**

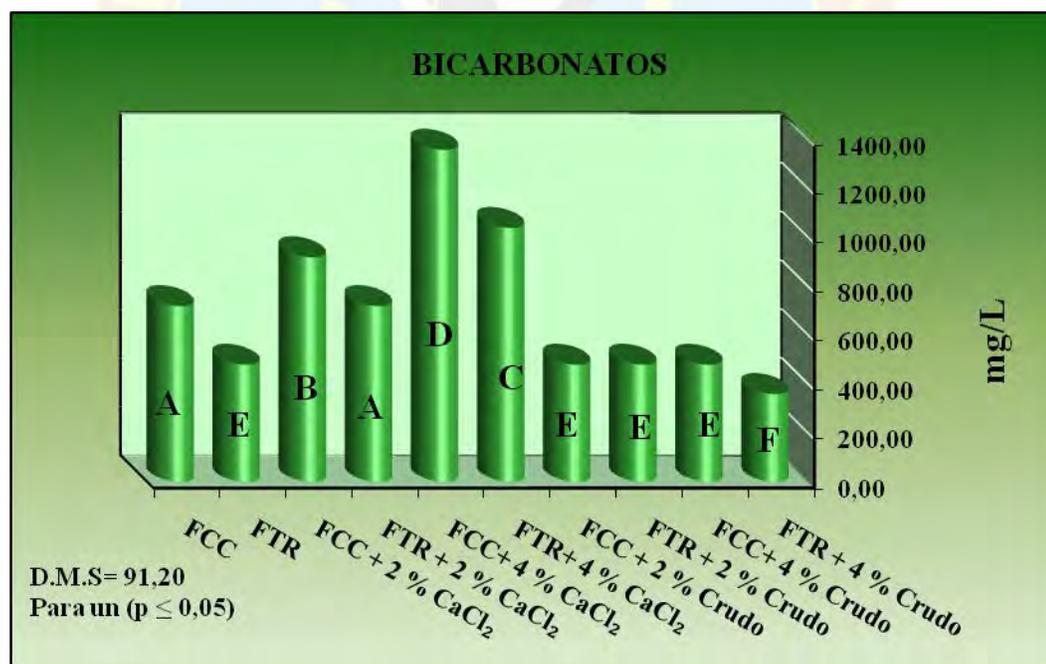


**Gráfico N° 4.11 Comportamiento de la alcalinidad del filtrado al naranja de metilo (Mf) presente en fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

Se tiene que el gráfico N° 4.11 donde se expresan el comportamiento de la alcalinidad al naranja de metilo del filtrado (Mf) que tienen los fluidos de perforación formulados con controlador comercial y con base de tuna real aquí los tratamientos no presentaron estadísticamente un comportamiento similar al fluido patrón a excepción del fluido formulado con controlador a base de tuna real contaminado con 2 % v/v de agua salada, para los fluidos patrón, mientras menor es la alcalinidad del

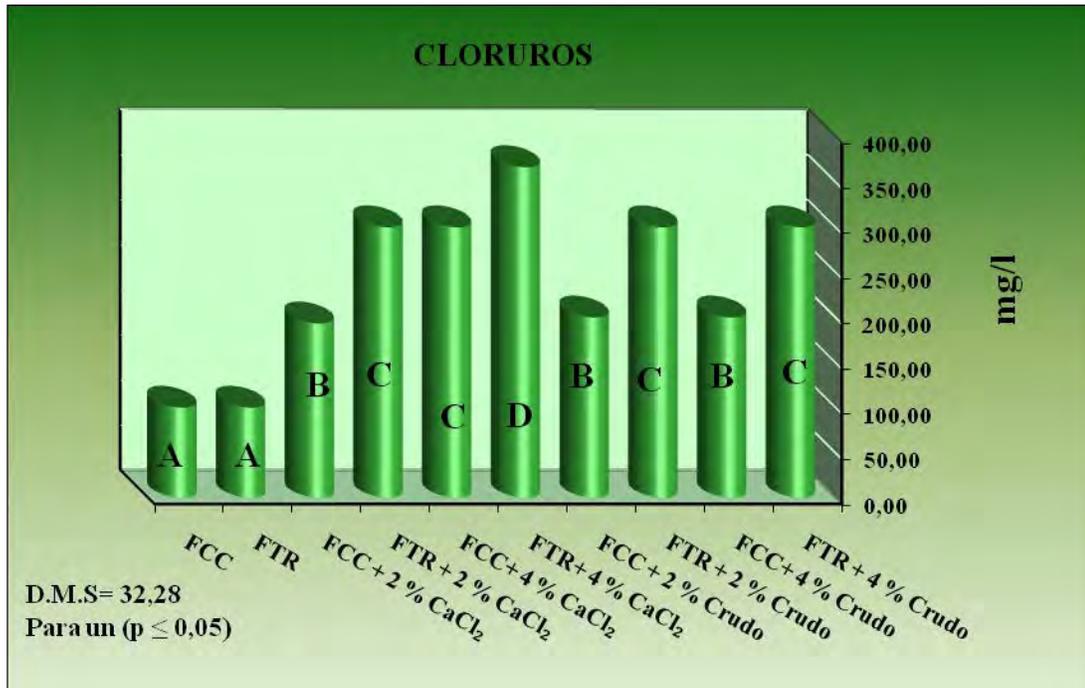
filtrado mayor son los componentes alcalinos que se quedan en el revoque, es decir menor presencia de bicarbonato como lo refleja la grafica N° 4.12, para los fluidos contaminados al 2% y 4% v/v de  $\text{CaCl}_2$  con controlador comercial y fluidos formulados con tuna real 4% v/v de  $\text{CaCl}_2$  presentaron valores más altos de Mf por ende de bicarbonatos. En el caso de los contaminados con crudo no tuvieron diferencia significativa, los fluidos contaminados al 4 % v/v de agua salada tuvieron una mayor presencia de bicarbonato favoreciendo al aditivo desarrollado, porque una alta presencia de estos contaminantes podría causar una solidificación del fluido o cambiar las propiedades que este presenta.

➤ **Bicarbonatos**



**Gráfico N° 4.12 Comportamiento del bicarbonato presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

➤ **Contenido de cloruros**

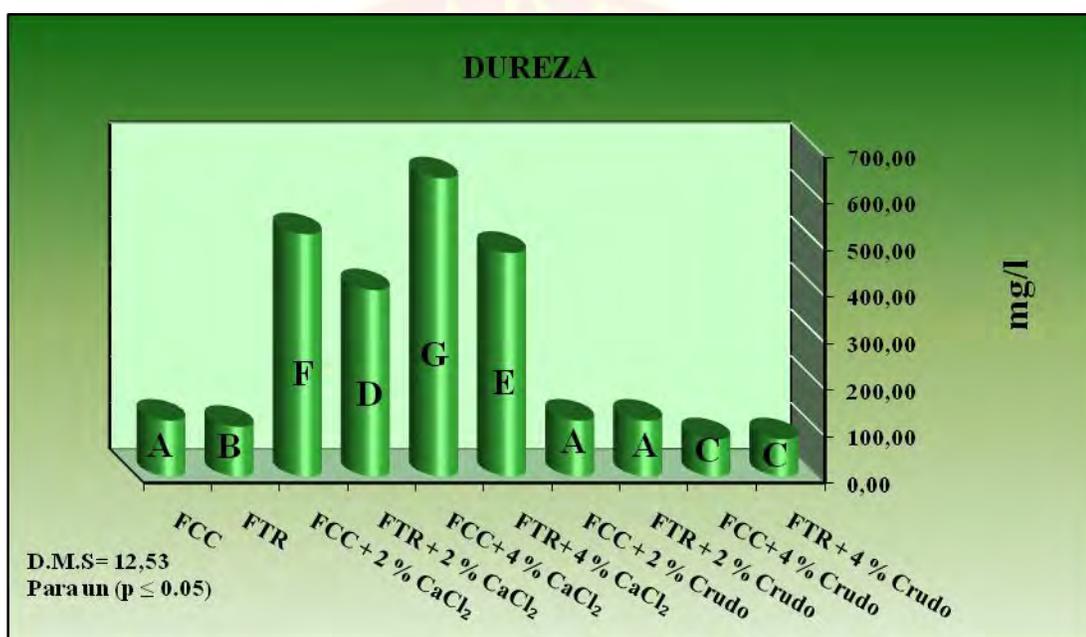


**Gráfico N° 4.13. Comportamiento del cloruro presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

En la gráfica N° 4.12 se refleja el comportamiento del contenido de cloruros que tiene los fluidos de perforación con controlador comercial y con controlador a base de tuna real, al comparar los tratamientos existe diferencias estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón a excepción del fluido formulado con controlador a base de tuna real sin contaminar se puede observar que presentan un mismo comportamiento no existe diferencias estadísticamente puesto que fueron formulados bajo las mismas condiciones; esto debido a que los contaminados presentan mayor contenido de cloruros con respecto al fluido patrón por la presencia de la sales disuelta al contaminarlo, pudiendo así notar que para los fluidos con tuna

real, tienen mayor presencia de cloruros que los fluidos con controlador comercial pues está en su composición contiene sales, de igual manera pasa en los contaminados con crudo que tienen un comportamiento mayor al patrón debido a la impurezas contenidos en el mismo.

### ➤ Dureza



**Gráfico N° 4.14 Comportamiento de la dureza presente en los fluidos poliméricos formulados con controlador comercial y la tuna real con su efecto al ser contaminado**

En el gráfico N° 4.13 se observa el comportamiento de la dureza de calcio que presentan los fluidos de perforación con controlador comercial y con controlador a base de una real, donde los fluidos base formulados con ambos aditivos al 2% v/v de crudo no presentaron diferencia estadísticamente significativa con respecto al fluido patrón lo que es favorable. Según ENERGY API. (2001) “el efecto de contaminación con calcio sobre los fluidos de perforación genera un aumento de la pérdida de fluido,

del punto cedente fuerza de gel y reducción de la viscosidad plástica”; en el caso de fluido con controlador comercial y tuna real contaminados con 2 y 4% v/v de agua salada y contaminados al 4 % v/v de crudo presentaron diferencias estadísticamente notables con respecto al fluido patrón, por la presencia de cloruro de calcio como agente contaminante siendo desfavorable porque podría producir floculación y agregación de partículas que alteraría lo anteriormente dicho las propiedades reológicas del fluido.

#### **4.3 ESTIMACIÓN DEL COSTO POR BARRIL DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN FORMULADOS CON ADITIVOS CONTROLADORES DE FILTRADO A BASE DE FIBRA DE TUNA REAL (*OPUNTIA FICUS INDICA*)**

Para lograr la aplicabilidad de un aditivo en un fluido de perforación es de suma importancia verificar su factibilidad económica, para este sistema estudiado a nivel de laboratorio se elaboró una estimación de costo y así poder cuantificar que tan rentable resulta al formular un barril de fluido utilizando dicho aditivo; tomando en consideración las concentraciones requeridas en su preparación, el importe monetario de los aditivos empleados a excepción del agua cuyo costo es desestimado.

**Tabla N° 4.4. Peso de la tuna real antes y luego de procesar**

<b>Peso de la tuna real sin procesar</b>	<b>Peso de la tuna real procesada</b>
794,12 g	136,40 g

En la tabla N° 4.4 se muestran la unidad de masa de la tuna real sin procesar y luego de ser procesada, siendo necesarios 132,01 kg de tuna real para obtener 22,68 kg del aditivo controlador de filtrado a base de fibra de tuna real (50 lb) donde el costo por cada kilo de tuna real sin procesar fue de 0.800 Bs.F, (ver Apéndice D).

**Tabla N° 4.5 Comparación de los costos del controlador a base de tuna real y el controlador comercial**

<b>Aditivo controlador de filtrado (Sxs)</b>	<b>Precio (Bs.F)</b>
Controlador de filtrado comercial	263,27
Controlador de filtrado a base de fibra de tuna real	105,608

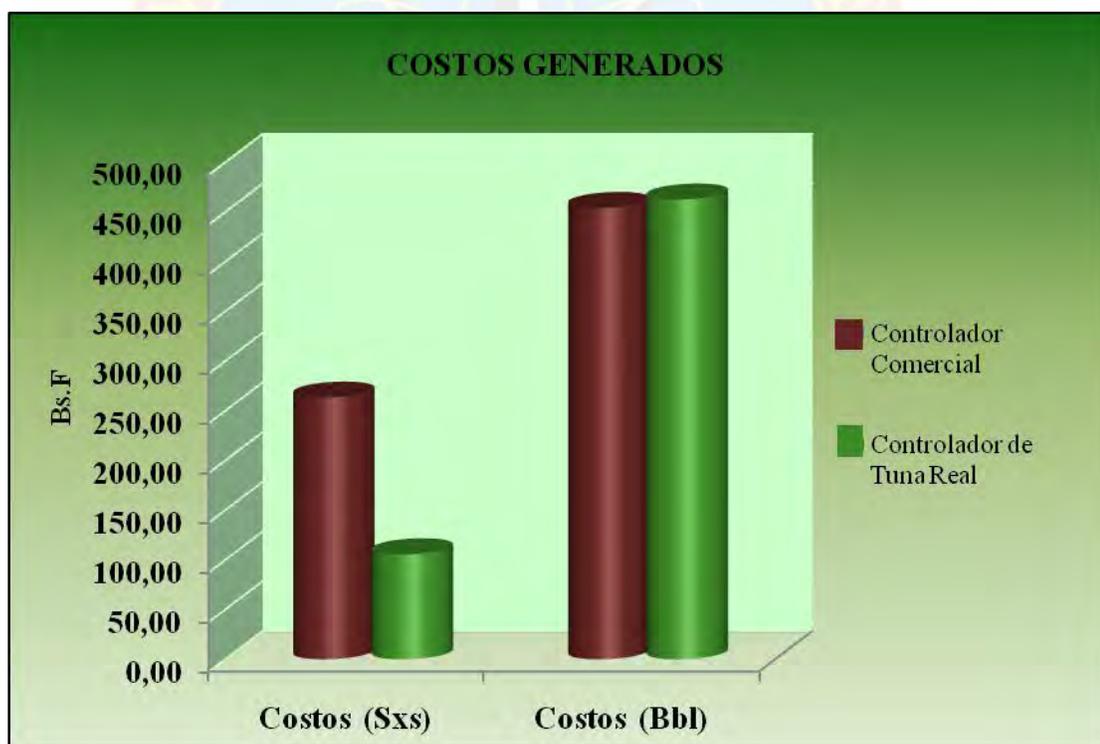
A partir de la tabla N° 4.5 se procedió a estimar lo que costaría un barril de fluido de perforación con controlador de filtrado comercial y uno con controlador de filtrado a base de la fibra de la tuna real a fin de presentar las diferencias con respecto al costo por barril, esto se calculó al dividir el precio entre la cantidad total de masa de la presentación del aditivo (Sxs), posteriormente se multiplicó por las concentraciones usadas para formular un barril y de esta manera se obtuvo el valor final de cada uno de los aditivos utilizados en Bs.F teniendo los siguientes resultados:

**Tabla N° 4.6 Costo de total de la formulación con controlador de filtrado comercial**

<b>Aditivos</b>	<b>Costo (Bs/lb)</b>	<b>Concentración (lb/bbl)</b>	<b>Costo (Bs.F)</b>
Goma Xántica	26,64	0,5	13,32
Controlador comercial	5,26	0,5	2,63
Potasa cáustica	0,63	0,20	0,12
Carbonato de calcio	3,97	110,23	438,08
<b>Costo Total Bs.F</b>			<b>454,16</b>

**Tabla N° 4.7 Costo de total de la formulación con controlador de filtrado a base de tuna real**

Aditivos	Costo (Bs/lb)	Concentración (lb/bbl)	Costo (Bs.F)
Goma Xántica	26,64	0,5	13,32
Controlador a base de tuna real	2,11	0,5	1,06
Potasa caústica	0,63	0,20	0,13
Carbonato de calcio	3,97	113	449,08
<b>Costo Total Bs.F</b>			<b>462,59</b>



**Gráfico N° 4.15 Comportamiento de los costos de los aditivos por sacos y costo de la formulación con los aditivos**

Los resultados arrojados en el gráfico N° 4.15 revela que el aditivo controlador de filtrado a base de tuna real con respecto al aditivo comercial de esta investigación tuvo una diferencia económicamente considerable de 157,602 Bs.F por saco lo que significa, que resulta rentable sustituir el aditivo comercial en cuanto a sacos se refiere por el aditivo a base de la fibra de la tuna real, dando así repuesta a la difícil adquisición y altos costos de los mismos para la industria. Para la formulación de un barril con controlador a base de tuna real se necesitaran 8,4319 Bs.F más que para la formulación con controlador comercial, esto debido a que la tuna real presenta una baja gravedad específica lo que trae como consecuencia que se utilicen 2,77 lb de carbonato de calcio adicional con respecto a la formulación con controlador comercial, pero se puede inferir que aumentando la concentración de controlador a base de tuna real (dado que el bajo costo por saco lo permite en comparación al comercial), ocasionaría una disminución de la concentración de carbonato de calcio requerido, por ende, por ser este el de valor económico más alto también disminuiría el precio por barril del aditivo controlador a base de la fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*). Cabe destacar que el controlador a base de tuna real puede ser un sustituto del controlador comercial, por ser económicamente rentable en su presentación por saco aun cuando se requiere duplicar su concentración respecto al aditivo comercial.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- La gravedad específica del aditivo controlador de filtrado a base de tuna real es de 0,4564 para una temperatura de prueba de 25°C.
- El resultado de la prueba de calidad para la tuna real no se adapta a los rangos establecidos para el procedimiento de la Celulosa Polianiónica (PAC).
- Los fluidos de perforación polimérico formulado con controlador a base de tuna real tuvieron reducción del volumen de filtrado y son aceptables en presencia de agua salada y cuando existen contaminación con crudo pesado.
- Los tratamientos formulados con controlador a base de tuna real no presentaron diferencias estadísticamente significativas con respecto al fluido patrón en las propiedades de viscosidad plástica y punto cedente.
- El fluido base formulado con tuna real arrojó un valor más bajo de  $M_f$  y por lo tanto menor valor de bicarbonato lo que es beneficioso porque una alta presencia de este contaminante puede causar una solidificación de este fluido o alterar sus propiedades reológicas.
- Los fluidos formulados a base de tuna real sin contaminar presentaron el mismo comportamiento con respecto al contenido de cloruro del fluido patrón.
- El uso de fibra de tuna real como controlador de filtrado en un fluido de perforación base agua es económicamente viable con respecto al controlador comercial en cuanto a la presentación de sacos se refiere y si se aumentan las concentraciones de controlador de fibra de tuna real también lo sería por barril.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Elaborar una prueba de calidad para aditivos controladores de filtrado a base de fibras naturales.
- Durante el secado de la fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*) mantener una temperatura de 55°C, para evitar que se dañe su estructura molecular.
- Estudiar el comportamiento que tendría la tuna real (*Opuntia ficus indica*) al aumentar sus concentraciones para obtener menor tasa de filtración.
- Determinar la eficiencia del controlador de filtrado a base de tuna real en un sistema de fluido de perforación base agua salada.
- Realizar una evaluación de la mezcla de tuna real con otro producto natural para comprobar su efectividad como agente controlador de filtrado.
- Estudiar el comportamiento que tendrían los residuos de la fibra de la tuna real (*Opuntia ficus indica*) de mayor diámetro después de tamizados, para ser utilizado como agentes controladores de pérdida de circulación.

## BIBLIOGRAFÍA

- PDVSA- CIED. (2002). “Fluidos de Perforación”. Anzoátegui, Venezuela, pp. 3- 8-29-45.
- PDVSA CIED. (1997). “Manual de daño a la formación”. CIED, pp 37.
- FUENTES, F y GÓMEZ, M (2011). “Derivados de la yuca como material para controlar perdidas de circulación en la perforación de pozos” Tesis de la Universidad de Oriente, Monagas. Venezuela. 32 pp.
- OTAHOLA, J Y AMUNDARAY, R (2010). “Efectos de agentes contaminantes sobre las propiedades químicas de los fluidos de perforación formulados con polímeros naturales,” trabajo de investigación presentado en el VIII congreso científico de la Universidad de Oriente, Monagas. Venezuela.
- M-I SWACO. 2001. “Manual de Ingeniería de Fluidos de Perforación”. [Programa de Computación]. Houston, Texas. USA, pp 10.
- GONZÁLEZ, J (2010). “Evaluación técnica del uso de un aditivo con propiedades viscosificantes, humectantes y controlador de filtrado en fluidos de perforación 100% base aceite mineral” tesis de la Universidad de Oriente, Monagas. Venezuela. 12 pp.
- PDVSA- INTEVEP (2004). “Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera”. Miranda –Venezuela, pp 12.
- PDVSA CIED. (1997). “Problemas Asociados a los fluidos de perforación”. CIED, pp 23.

- GRIFFITH, P (2004). The Origins of an important cactus crop, American Journal of Botany, México, pp 3.
- ENERGY API. (2001). Manual de Fluidos de Perforación, Procedimiento Estándar para las Pruebas de Fluidos de Perforación. Dallas- Texas, pp 7.
- ESVENCA (2010). Manual básico de fluidos de perforación. Monagas-Venezuela.
- BAROID. (2004). Manual de fluidos, Houston- Estados Unidos, pp 25.
- ARIAS, F. (2006). El Proyecto De Investigación, Introducción A La Metodología Científica (4a ed.). Caracas: Espíteme, pp 26- 27- 67- 81.
- SCOMI OIL TOOLS. (2000). Manual de calidad de aditivos para fluidos de perforación. Monagas – Venezuel, pp 1-4.
- LITTLE, T y HILLS J. (1976). Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura, Trillas, México, pp 236-241.
- MARTÍNEZ, A y GONZÁLEZ, J (2011). “Almidón de yuca (*Manihot sculenta*) como aditivo controlador de filtrado para fluidos de perforación base agua” Tesis de la Universidad de Oriente, Monagas. Venezuela.
- ROJAS, R (2011). “Evaluación de la compatibilidad del acetato de potasio y aminos utilizados como inhibidores de arcillas en la perforación de pozos del campo los melones,” tesis de la Universidad de Oriente, Monagas. Venezuela 72 pp.



**APÉNDICES**



**APÉNDICE A**

**(Equipos y procedimientos de laboratorio utilizados)**

La balanza de fluido permite conocer, además de la densidad en lbs. /gal y lb. / pie<sup>3</sup>, la gravedad específica y el gradiente de presión por cada mil pies



#### **A.1. Balanza de Fluido**

La retorta se utiliza para determinar el porcentaje en volumen de sólidos y líquidos que contiene el fluido.



#### **A.2. Retorta.**

El viscosímetro se utiliza para determinar las propiedades reológicas del fluido, es decir, la viscosidad plástica, el punto cedente y la fuerza de gel.



**Figura A.3. Viscosímetro rotacional Fann**

Los filtros prensas cumplen con las especificaciones API 13B-1 de la norma API para determinar el filtrado o pérdida de agua que pasa hacia la formación permeable cuando el fluido es sometido a una presión diferencial.



**Figura A 4 filtro prensa**



**Figura A.5 Mezclador**

Estos equipos y materiales son utilizados a nivel de laboratorio y campo para realizarle a los fluidos pruebas químicas importantes, tales como salinidad, alcalinidad, entre otras.



**Figura A 6. Equipo de pruebas químicas.**

## **PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES**

### **PH DE LA TUNA REAL EN AGUA**

- Llenar un beakers de 25ml de agua
- Agregar 5r de tuna
- Dejar reposar la mezcla por 6 horas
- Medir el pH con el pHmetro.

### **SOLUBILIDAD**

- Llenar un beakers con 100 ml de agua
- Pesar y disolver en el beakers 0,125 g de tuna real.
- Calentar la muestra durante 1 hora a 65°C tapado sin dejar evaporar
- Dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Pesar un beakers de 50ml
- Tomar 10 ml en un beakers
- Calentar nuevamente a 65°C y dejar que se evapore.
- Pesar nuevamente el Beakers para tomar la diferencia de peso y saber su solubilidad

### **MEDICIÓN DE DENSIDAD**

- Llenar la copa de la balanza con agua limpia
- Colocar la tapa sobre la copa y asentarla firmemente, pero en forma lenta con un movimiento giratorio. Asegúrese que el exceso de agua salga por el orificio de la tapa.

- Colocar el dedo pulgar sobre el orificio de la tapa y limpiar la balanza con un trapo seco.
- Colocar la balanza sobre el soporte y mover el cursor a lo largo del brazo graduado hasta que la burbuja del nivel indique la nivelación correcta
  
- Leer la densidad o peso del agua en el lado izquierdo del cursor. Esta debe ser de 8.33 en lb. /gal o 62.4 en lb/pc. En caso de no obtener la densidad correcta, procédase a retirar el tornillo ubicado en el extremo del brazo de la balanza para agregar o quitar balines hasta lograr la calibración.

### **PROPIEDADES REOLÓGICAS**

- Medir la temperatura de calibración con el termómetro graduado a 0,1 Esta temperatura debe estar en el rango de la tabla de viscosidad versus temperatura que viene con el fluido de calibración. Nota: Enfriar en un refrigerador en caso de que la temperatura se encuentre por encima del rango establecido.
  
- Llenar la taza del viscosímetro con el fluido de calibración de 100 cP hasta donde lo indique la marca, con la temperatura ya ajustada en el rango de la tabla, y luego coloque la taza en el viscosímetro, haciendo coincidir el nivel del fluido con la marca que tiene el cilindro exterior (Rotor).
  
- Encender el viscosímetro a 300 y 600 rpm por tres minutos en cada lectura. La lectura de 300 r.p.m. es la lectura teórica correspondiente a la viscosidad en cP. La desviación aceptada a 300 r.p.m. es 1.5 cP y la lectura de 600 r.p.m. debe ser dividida entre 1,98. La desviación aceptada de 2 cP.

## **FILTRADO API**

- Ensamblar las partes del equipo limpias y secas en el orden siguiente: Tapa base, empackadura de caucho, malla de 60 mesh, hoja de papel filtro, empackadura de caucho y celda.
- Llenar la celda hasta  $\frac{1}{4}$  de pulgada de su tope, con muestra de fluido recién agitada. Se colocó la unidad ensamblada en la estructura del filtro prensa.
- Verificar que la tapa superior tuviese la empackadura y que esta se encontrara bien asentada. Se colocó la tapa superior a la celda y se aseguró con el tornillo T.
- Colocar un cilindro graduado bajo el tubo de salida del filtrado.
- Colocar el cartucho de CO<sub>2</sub> en el porta cartucho y se apretó, sin forzar.
- Aplicar 100 psi de presión a la celda y se filtró por 30 minutos
- Transcurridos los 30 minutos de la prueba, se retiró la presión por la válvula de alivio y se anotó el volumen recolectado en ml.
- Reportar el volumen recolectado como pérdida de filtrado API.
- Desarmar la celda y se examinó el revoque en cuanto a su espesor, dureza, resistencia, flexibilidad, delgadez, firmeza y que tan esponjoso resultó el mismo.

## **ALCALINIDAD DEL FILTRADO A LA FENOLFTALEINA: P<sub>F</sub>**

- Colocar 1 ml de filtrado en un recipiente.

- Agregar 2 o 3 gotas de fenolftaleína, hasta obtener un color rosado.
- Agregar  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.02N) hasta que el filtrado adquirió su color original.
- Registró el Pf como el número de ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gastados para neutralizar el color de la fenolftaleína.
- Observación: Si la muestra está oscurecida de manera tal que el cambio de color no se perciba, el punto final se toma con un pH-metro cuando el pH cae a 8.

#### **ALCALINIDAD DEL FILTRADO AL NARANJA DE METILO: $M_F$**

- Agregar a la muestra que ha sido titulada al punto final del PF más o menos 4 gotas de Anaranjado de Metilo, hasta obtener un color amarillo oscuro.
- 
- Agregar  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0.02N) gota a gota, hasta que el color del indicador cambió de amarillo naranja a marrón claro.
- 
- Registrar el MF como el total de ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gastados más el que se gastó en lograr el PF.
- 
- Observación Si la muestra está oscurecida de manera tal que el cambio de color no se perciba, el punto final se toma con un pHmetro cuando el pH cae a 4,3.

#### **ALCALINIDAD DEL FLUIDO A LA FENOLFTALEINA ( $P_M$ )**

- Agregar 25 ml de agua destilada

- Colocar 1 ml de fluido en la cápsula de titulación
- Agregar de 4 a 5 gotas de fenolftaleína y se agitó
- Agregar H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta lograr el color original del fluido.
- Registrar la alcalinidad del fluido (PM) como los ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gastados en neutralizar el color de la fenolftaleína.

### **CONTENIDO DE CLORURO**

- Medir 1 ml de filtrado dentro de un recipiente de valoración.
- Agregar la cantidad de ácido requerida para la valoración de Pf.
- Añadir 50 ml de agua destilada y 4-6 gotas de cromato de potasio. Agitar continuamente y valorar con la solución normal de nitrato de plata, gota a gota de la pipeta, hasta que el color pase de amarillo a rojo anaranjado y permanezca en este color durante 30 segundos.
- Registrar el número de ml de nitrato de plata requeridos para lograr el punto final.

### **DUREZA**

- Adicionar 1 ml de la muestra de filtrado a estudiar en el recipiente de valoración.
- Añadir aproximadamente 50 ml de agua destilada.
- Agregar 3 gotas de Amortiguador de dureza (buffer de amonio).
- Añadir 2 gotas del indicador negro de ericromato y mezclar con una varilla de agitación. Un color rojo tinto aparecerá si la muestra contiene calcio.
- Valorar con la solución de Versenato Estándar, agitando continuamente hasta que la muestra se vuelva azul por primera vez, sin que quede ningún rastro de rojo registrar el número de ml de solución de Versenato Estándar utilizados.

**APÉNDICE B**  
**(Muestra de cálculos)**



### **Balance de masa de los fluidos**

Preparación de un fluido de perforación polimérico con tuna real como controlador de filtrado y densificado con carbonato de calcio, para una densidad de 10 lpg.

A continuación se establecen las gravedades específicas y densidades de cada aditivo así como sus respectivos volúmenes

Gravedad específica.

$$G.E = \frac{\rho_{\text{aditivo}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad \text{Ecuación B.1}$$

Donde:

$\rho_{\text{aditivo}}$  = densidad del aditivo en lb/gal.

$\rho_{\text{agua}}$  = densidad del agua en lb/gal; 8,33 lb/gal.

Por medio de esta ecuación conociendo la gravedad específica se determino la densidad de los aditivos.

Ejemplo B.1:

$$\rho_{\text{aditivo}} = G.E \times \rho_{\text{agua}}$$

$$\rho_{\text{tuna real}} = 0,4564 \times 8.33 \text{ lb/gal}$$

$$\rho_{\text{tuna real}} = 3,801 \text{ lb/gal}$$

Determinado así la densidad de cada aditivo y conocido la concentración de cada uno y el

volumen total se procedió a calcular el volumen ocupado por cada aditivo en la

formulación

### Volumen ocupado por el aditivo

$$V_{\text{aditivo}} = \frac{C \times V_{\text{total}}}{\rho_{\text{aditivo}} \times 42 \frac{\text{gal}}{\text{bbl}}} \quad \text{Ecuación B.2}$$

Donde:

$V_{\text{aditivo}}$  = Volumen ocupado por el aditivo en bbl

$\rho_{\text{aditivo}}$  = Densidad del aditivo en lb/gal

C = concentración del aditivo en lb/bbl

42  $\frac{\text{gal}}{\text{bbl}}$  Factor de conversión

Ejemplo B.2

$$V_{\text{tuna real}} = \frac{1 \frac{\text{lb}}{\text{bbl}} \times 2 \text{ bbl}}{3,801 \frac{\text{lb}}{\text{gal}} \times 42 \frac{\text{gal}}{\text{bbl}}} = 0,01252 \text{ bbl}$$

**Tabla B.1 Balance de masa de la formulación con controlador de tuna real**

Aditivos	G:E	Densidad (lb/gal)	Concentración (lb/bbl)	Volumen (bbl)
Agua	1	8,33		
Goma Xántica	1,5	12,49	1	3,81x 10 <sup>-3</sup>
Tuna real	0,4564	3,801	1	0,0125
Carbonato de calcio	2,7	22,49		
Potasa cáustica	2,96	24.66	Hasta pH de 10	Hasta pH de 10

El volumen total es la suma de todos los volúmenes del sistema entonces:

$$V_{\text{total}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots + V_n \quad \text{Ecuación B.3}$$

$$V_{\text{total}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{goma Xántica}} + V_{\text{tuna real}} + V_{\text{Carbonato de calcio}}$$

Ejemplo B.3

$$2 \text{ bbl} = V_{\text{agua}} + 3,81 \times 10^{-3} + 0,0125 + V_{\text{Carbonato de calcio}}$$

$$V_{\text{agua}} = 2\text{ bbl} - 3,81 \times 10^{-3} \text{ bbl} - 0,0125 \text{ bbl} - C_{\text{carbonato de calcio}}$$

$$V_{\text{agua}} = 1,9836 \text{ bbl} - V_{\text{Carbonato de calcio}} \quad (1)$$

Para el cálculo del volumen de carbonato de calcio

$$V_{\text{total}} \times \rho_{\text{total}} = V_{\text{agua}} \times \rho_{\text{agua}} + V_{\text{goma Xantica}} \times \rho_{\text{goma Xantica}} + V_{\text{tuna real}} \times \rho_{\text{tuna real}} + C_{\text{carbonato calcio}} \times \text{Carbonato de calcio} \quad \text{Ecuación B.4}$$

Donde:

V= Volumen

$\rho$  = Densidad

$$V_{\text{agua}} \times 8,33 \text{ lb/gal} + 0,04758 \text{ bbl lb/gal} + 0,04751 \text{ bbl lb/gal} + C_{\text{Carbonato calcio}} \times 22,49 \text{ lb/gal} = 20 \text{ bbl lb/gal} \quad (2)$$

**Reemplazando 1 en 2 se tiene**

$$20 \text{ bbl lb/gal} = (1,9836 \text{ bbl} - V_{\text{Carbonato de calcio}}) \times 8,33 \text{ lb/gal} + 0,04758 \text{ bbl lb/gal} + 0,0475 \text{ bbl lb/gal} + V_{\text{carbonato calcio}} \times 22,49 \text{ lb/gal}$$

$$20 \text{ bbl lb/gal} = 16,5233 \text{ bbl lb/gal} - 8,33 \text{ lb/gal} \times V_{\text{carbonato de calcio}} + 0,09508 \text{ bbl lb/gal} + 22,49 \text{ lb/gal} \times V_{\text{carbonato calcio}}$$

$$20 \text{ bbl lb/gal} = 16,61838 \text{ bbl lb/gal} + 14,16 \text{ lb/gal} \times V_{\text{carbonato calcio}}$$

$$3,3816 \text{ bbl lb/gal} = 14,16 \text{ lb/gal} \times V_{\text{carbonato calcio}}$$

$$V_{\text{carbonato calcio}} = \mathbf{0,2388 \text{ bbl}}$$

Conocido el volumen del carbonato de calcio se calculo el volumen de agua

$$V_{\text{agua}} = 1,9836 \text{ bbl} - 0,2388 \text{ bbl} = \mathbf{1,7448 \text{ bbl}}$$

Para determinar la concentración del carbonato de calcio:

$$V_{\text{carbonato calcio}} = V(\text{bbl}) \times \rho_{\text{aditivo}} \times \text{factor de conversión (42 gal/bbl)}$$

$$V_{\text{carbonato calcio}} = 0,2388 \text{ bbl} \times 22,49 \text{ lb/gal} \times 42 \text{ gal/bbl} = \mathbf{226 \text{ lb}}$$

**Propiedades reológicas**

Ecuaciones

$$V_p = L_{600} - L_{300} \quad \text{Ecuación C.5}$$

$$Pc = L_{300} - Vp \quad \text{Ecuación C.6}$$

Donde:

$Vp$  = Viscosidad plástica (cp)

$Pc$  = Punto cedente (lb/100 pie<sup>2</sup>)

$L_{600}$  = lectura del viscosímetro a 600 rpm

$L_{300}$  = lectura del viscosímetro a 300 rpm

Ejemplo B.4

De la tabla B.2 y B.3 se obtuvieron los valores de a 600 y 300 rpm para la formulación **FTR+ 4 % Cacl<sub>2</sub>**

$L_{600} = 30$

$L_{300} = 20$

**Tabla B.2 Lecturas obtenidas del viscosímetro a 600 rpm**

N°	Tratamientos	Repeticiones		
		I	II	III
1	FCC	32,00	31,00	32,00
2	FTR	29,00	29,00	29,00
3	FCC + 2 % Cacl <sub>2</sub>	30,00	31,00	30,00
4	FTR + 2 % Cacl <sub>2</sub>	30,00	30,00	29,00
5	FCC+ 4 % Cacl <sub>2</sub>	32,00	33,00	32,00
6	FTR+ 4 % Cacl <sub>2</sub>	30,00	30,00	30,00
7	FCC + 2 % Crudo	31,00	31,00	31,00
8	FTR + 2 % Crudo	30,00	28,00	28,00
9	FCC+ 4 % Crudo	33,00	32,00	33,00
10	FTR + 4 % Crudo	27,00	28,00	28,00

**Tabla B.3 Lecturas obtenidas del viscosímetro a 300 rpm**

N°	Tratamientos	Repeticiones		
		I	II	III
1	FCC	21,00	20,00	21,00
2	FTR	17,00	17,00	18,00
3	FCC + 2 % Cacl <sub>2</sub>	20,00	21,00	20,00
4	FTR + 2 % Cacl <sub>2</sub>	20,00	20,00	19,00
5	FCC+ 4 % Cacl <sub>2</sub>	21,00	21,00	21,00
6	FTR+ 4 % Cacl <sub>2</sub>	20,00	20,00	20,00
7	FCC + 2 % Crudo	19,00	19,00	19,00
8	FTR + 2 % Crudo	18,00	17,00	17,00
9	FCC+ 4 % Crudo	19,00	20,00	19,00
10	FTR + 4 % Crudo	18,00	17,00	17,00

Sustituyendo en las ecuaciones B.5 y B.6 se tiene la viscosidad plástica y punto cedente respectivamente

$$V_p = 10 \text{ cp}$$

$$P_c = 10 \text{ lb}/100\text{pie}^2$$

De igual forma se determino para cada uno de los tratamientos y las tres repeticiones, los resultados de muestran en el gráfico 4.1 y 4.2



**APÉNDICE C**  
**(TABLAS ANEXAS)**

**Tabla C.1 Valores, totales y promedios ámbito diferencial de la viscosidad plástica para los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	11,00	11,00	11,00	33,00	11,00	A
2	FTR	12,00	12,00	11,00	35,00	11,67	A
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	12,00	12,00	11,00	35,00	11,67	A
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
7	FCC + 2 % Crudo	12,00	12,00	12,00	36,00	12,00	A
8	FTR + 2 % Crudo	12,00	11,00	11,00	34,00	11,33	A
9	FCC+ 4 % Crudo	14,00	12,00	14,00	40,00	13,33	B
10	FTR + 4 % Crudo	9,00	11,00	11,00	31,00	10,33	A
<b>Total</b>		112,00	111,00	111,00	334,00		

**Tabla C.2 Datos obtenidos del análisis de varianza de las muestras de viscosidad plástica**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,067	0,0333	0,08
Tratamientos	9	32,133	3,5704	8,84
Error	18	7,267	0,4037	
Total	29	39,467		

**Tabla C.3 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del punto cedente para los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	10,00	9,00	10,00	29,00	9,67	A
2	FTR	5,00	5,00	7,00	17,00	5,67	C
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	11,00	10,00	31,00	10,33	A
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	9,00	10,00	29,00	9,67	A
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
7	FCC + 2 % Crudo	7,00	7,00	7,00	21,00	7,00	B
8	FTR + 2 % Crudo	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
9	FCC+ 4 % Crudo	5,00	8,00	5,00	18,00	6,00	B
10	FTR + 4 % Crudo	9,00	6,00	6,00	21,00	7,00	B
Total		82,00	81,00	81,00	244,00		

**Tabla C.4 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de punto cedente**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,067	0,0333	0,04
Tratamientos	9	102,800	11,4222	12,39
Error	18	16,600	0,9222	
Total	29	119,467		

**Tabla C. 5 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del esfuerzo de gel a (10seg) para los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	5,00	5,00	5,00	15,00	5,00	A
2	FTR	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	6,00	5,00	6,00	17,00	5,67	A
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
7	FCC + 2 % Crudo	5,00	4,00	5,00	14,00	4,67	A
8	FTR + 2 % Crudo	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
9	FCC+ 4 % Crudo	5,00	3,00	5,00	13,00	4,33	A
10	FTR + 4 % Crudo	5,00	6,00	5,00	16,00	5,33	A
Total		56,00	53,00	56,00	165,00		

**Tabla C. 6 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de Esfuerzos de gel (10 seg)**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,600	0,3000	1,33
Tratamientos	9	10,833	1,2037	5,33
Error	18	4,067	0,2259	
Total	29	15,500		

**Tabla C.7 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del esfuerzo de gel 10(min) para los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	5,00	5,00	5,00	15,00	5,00	A
2	FTR	7,00	7,00	7,00	21,00	7,00	D
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	6,00	5,00	6,00	17,00	5,67	B
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	7,00	7,00	6,00	20,00	6,67	C
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
7	FCC + 2 % Crudo	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
8	FTR + 2 % Crudo	6,00	6,00	6,00	18,00	6,00	B
9	FCC+ 4 % Crudo	5,00	5,00	5,00	15,00	5,00	A
10	FTR + 4 % Crudo	8,00	7,00	7,00	22,00	7,33	D
Total		62,00	60,00	60,00	182,00		

**Tabla C.8 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de Esfuerzos de gel (10 min)**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,267	0,1333	1,38
Tratamientos	9	15,867	1,7630	18,31
Error	18	1,733	0,0963	
Total	29	17,867		

**Tabla C.9 Valores totales, promedios y ámbito diferencial de la densidad para los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	10,00	9,90	10,00	29,90	9,97	A
2	FTR	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	9,90	29,90	9,97	A
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	10,00	10,00	30,00	10,00	A
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	10,10	10,00	10,00	30,10	10,03	A
7	FCC + 2 % Crudo	9,50	9,40	9,40	28,30	9,43	C
8	FTR + 2 % Crudo	9,60	9,70	9,70	29,00	9,67	B
9	FCC+ 4 % Crudo	9,00	9,10	9,10	27,20	9,07	D
10	FTR + 4 % Crudo	8,90	8,90	8,90	26,70	8,90	E

Total 97,10 97,00 97,00 291,10

**Tabla C.10 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de Densidad**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,001	0,0003	0,15
Tratamientos	9	4,910	0,5455	249,64
Error	18	0,039	0,0022	
Total	29	4,950		

**Tabla C.11 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del % de sólidos presentes en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	13,00	13,00	14,00	40,00	13,33	A
2	FTR	14,00	12,00	14,00	40,00	13,33	A
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	11,00	11,00	12,00	34,00	11,33	A
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	12,00	12,00	12,00	36,00	12,00	A
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	10,00	8,00	10,00	28,00	9,33	A
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	11,00	12,00	11,00	34,00	11,33	A
7	FCC + 2 % Crudo	20,00	20,00	20,00	60,00	20,00	C
8	FTR + 2 % Crudo	19,00	19,00	19,00	57,00	19,00	C
9	FCC+ 4 % Crudo	24,00	26,00	24,00	74,00	24,67	D
10	FTR + 4 % Crudo	26,00	33,00	27,00	86,00	28,67	E
Total		160,00	166,00	163,00	489,00		

**Tabla C.12 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras porcentaje de sólidos**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	1,800	0,9000	0,44
Tratamientos	9	1133,633	125,9593	61,50
Error	18	36,867	2,0481	
Total	29	1172,300		

**Tabla C.13 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del % de líquidos presentes en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	87,00	87,00	86,00	260,00	86,67	A
2	FTR	86,00	88,00	86,00	260,00	86,67	A
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	89,00	89,00	88,00	266,00	88,67	A
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	88,00	88,00	88,00	264,00	88,00	A
5	FCC + 4 % CaCl <sub>2</sub>	90,00	92,00	90,00	272,00	90,67	B
6	FTR + 4 % CaCl <sub>2</sub>	89,00	88,00	89,00	266,00	88,67	A
7	FCC + 2 % Crudo	80,00	80,00	80,00	240,00	80,00	C
8	FTR + 2 % Crudo	81,00	81,00	81,00	243,00	81,00	C
9	FCC + 4 % Crudo	76,00	74,00	76,00	226,00	75,33	D
10	FTR + 4 % Crudo	74,00	67,00	73,00	214,00	71,33	E
Total		840,00	834,00	837,00	2511,00		

**Tabla C.14 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras porcentaje de líquidos**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	4,067	2,0333	1,06
Tratamientos	9	1157,200	128,5778	66,89
Error	18	34,600	1,9222	
Total	29	1195,867		

**Tabla C.15 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del revoque presente en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
2	FTR	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
5	FCC + 4 % CaCl <sub>2</sub>	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
6	FTR + 4 % CaCl <sub>2</sub>	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
7	FCC + 2 % Crudo	1,00	2,00	1,00	4,00	1,33	B
8	FTR + 2 % Crudo	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
9	FCC + 4 % Crudo	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
10	FTR + 4 % Crudo	2,00	2,00	2,00	6,00	2,00	A
Total		19,00	20,00	19,00	58,00		

**Tabla C.16 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras Espesor del revoque**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,067	0,0333	1,00
Tratamientos	9	1,200	0,1333	4,00
Error	18	0,600	0,0333	
Total	29	1,867		

**Tabla C.17 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del volumen del filtrado presente en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	18,00	19,00	18,00	55,00	18,33	A
2	FTR	20,80	19,40	20,00	60,20	20,07	A
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	12,00	11,60	12,40	36,00	12,00	B
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	11,40	12,30	12,80	36,50	12,17	B
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	11,50	12,60	12,10	36,20	12,07	B
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	19,80	17,00	16,50	53,30	17,77	A
7	FCC + 2 % Crudo	11,50	6,80	7,60	25,90	8,63	C
8	FTR + 2 % Crudo	19,00	13,00	17,00	49,00	16,33	A
9	FCC+ 4 % Crudo	10,10	12,40	11,30	33,80	11,27	B
10	FTR + 4 % Crudo	12,50	14,80	13,20	40,50	13,50	B
Total		146,60	138,90	140,90	426,40		

**Tabla C.18 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de volumen de filtrado**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,105	0,0523	0,02
Tratamientos	9	367,141	40,7935	15,77
Error	18	46,549	2,5860	
Total	29	413,795		

**Tabla C.19 Valores totales, promedios y ámbito diferencial de la alcalinidad del lodo (Pm) presente en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	0,70	0,70	0,70	2,10	0,70	A
2	FTR	0,80	0,80	0,80	2,40	0,80	B
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	E
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	E
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	E
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	E
7	FCC + 2 % Crudo	0,40	0,30	0,30	1,00	0,33	D
8	FTR + 2 % Crudo	0,40	0,40	0,40	1,20	0,40	C
9	FCC+ 4 % Crudo	0,30	0,30	0,30	0,90	0,30	D
10	FTR + 4 % Crudo	0,30	0,30	0,30	0,90	0,30	D

Total 2,90 2,80 2,80 8,50

**Tabla C.20 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de Alcalinidad del Lodo (Pm)**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,001	0,0003	1,00
Tratamientos	9	2,335	0,2594	778,33
Error	18	0,006	0,0003	
Total	29	2,342		

**Tabla C.21 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del alcalinidad del filtrado (Mf) presente en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	0,60	0,60	0,60	1,80	0,60	A
2	FTR	0,40	0,40	0,40	1,20	0,40	E
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	0,80	0,80	0,70	2,30	0,77	B
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	0,60	0,60	0,60	1,80	0,60	A
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	1,20	1,20	1,00	3,40	1,13	D
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	0,90	0,80	0,90	2,60	0,87	C
7	FCC + 2 % Crudo	0,40	0,40	0,40	1,20	0,40	E
8	FTR + 2 % Crudo	0,40	0,40	0,40	1,20	0,40	E
9	FCC+ 4 % Crudo	0,40	0,40	0,40	1,20	0,40	E
10	FTR + 4 % Crudo	0,30	0,30	0,30	0,90	0,30	F

Total 6,00 5,90 5,70 17,60

**Tabla C.22 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de Alcalinidad del filtrado (Mf)**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	0,005	0,0023	1,19
Tratamientos	9	1,895	0,2105	107,25
Error	18	0,035	0,0020	
Total	29	1,935		

**Tabla C.23 Valores totales, promedios y ámbito diferencial del cloruro presente en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	Repeticiones			Total	Promedio	Ámbito
		I	II	III			
1	FCC	100,00	100,00	100,00	300,00	100,00	A
2	FTR	100,00	100,00	100,00	300,00	100,00	A
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	180,00	200,00	200,00	580,00	193,33	B
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	300,00	300,00	300,00	900,00	300,00	C
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	300,00	300,00	300,00	900,00	300,00	C
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	400,00	400,00	300,00	1100,00	366,67	D
7	FCC + 2 % Crudo	200,00	200,00	200,00	600,00	200,00	B
8	FTR + 2 % Crudo	300,00	300,00	300,00	900,00	300,00	C
9	FCC+ 4 % Crudo	200,00	200,00	200,00	600,00	200,00	B
10	FTR + 4 % Crudo	300,00	300,00	300,00	900,00	300,00	C

Total 2380,00 2400,00 2300,00 7080,00

**Tabla C.24 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de contenido de cloruros**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	560,000	280,0000	0,79
Tratamientos	9	224586,667	24954,0741	70,48
Error	18	6373,333	354,0741	
Total	29	231520,000		

**Tabla C.25 Valores totales, promedios y ámbito diferencial de la bicarbonato presente en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO	AMBITO
		I	II	III			
1	FCC	720,00	720,00	720,00	2160,00	720,00	A
2	FTR	480,00	480,00	480,00	1440,00	480,00	E
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	960,00	960,00	840,00	2760,00	920,00	B
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	720,00	720,00	720,00	2160,00	720,00	A
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	1440,00	1440,00	1200,00	4080,00	1360,00	D
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	1080,00	960,00	1080,00	3120,00	1040,00	C
7	FCC + 2 % Crudo	480,00	480,00	480,00	1440,00	480,00	E
8	FTR + 2 % Crudo	480,00	480,00	480,00	1440,00	480,00	E
9	FCC+ 4 % Crudo	480,00	480,00	480,00	1440,00	480,00	E
10	FTR + 4 % Crudo	360,00	360,00	360,00	1080,00	360,00	F

Total      7200,00    7080,00    6840,00    21120,00

**Tabla C.26 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de dureza del calcio**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	106,667	53,3333	1,00
Tratamientos	9	1280000,000	142222,2222	2666,67
Error	18	960,000	53,3333	
Total	29	1281066,667		

**Tabla C.27 Valores totales, promedios y ámbito diferencial de la dureza presente en los fluidos formulados con tuna real y controlador comercial y su efecto al ser contaminado**

N°	Tratamientos	REPETICIONES			TOTAL	PROMEDIO	AMBITO
		I	II	III			
1	FCC	120,00	120,00	120,00	360,00	120,00	A
2	FTR	120,00	80,00	120,00	320,00	106,67	B
3	FCC + 2 % CaCl <sub>2</sub>	520,00	520,00	520,00	1560,00	520,00	F
4	FTR + 2 % CaCl <sub>2</sub>	400,00	400,00	400,00	1200,00	400,00	D
5	FCC+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	640,00	640,00	640,00	1920,00	640,00	G
6	FTR+ 4 % CaCl <sub>2</sub>	480,00	480,00	480,00	1440,00	480,00	E
7	FCC + 2 % Crudo	120,00	120,00	120,00	360,00	120,00	A
8	FTR + 2 % Crudo	120,00	120,00	120,00	360,00	120,00	A
9	FCC+ 4 % Crudo	80,00	80,00	80,00	240,00	80,00	C
10	FTR + 4 % Crudo	80,00	80,00	80,00	240,00	80,00	C

Total            2680,00    2640,00    2680,00    8000,00

**Tabla C.28 Datos obtenidos del análisis de varianza para las muestras de contenidos de bicarbonatos**

Fuentes de variación	Gl	SC	CM	Fc
Repeticiones	2	6720,000	3360,0000	1,19
Tratamientos	9	2728320,000	303146,6667	107,25
Error	18	50880,000	2826,6667	
Total	29	2785920,000		



**APÉNDICE D**  
**(TABLA DE COSTOS)**

**Tabla D.1 Costo de aditivos en bolívares por unidad de masa**

<b>Aditivos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad (lb/sxs)</b>	<b>Costo (bs/sxs)</b>	<b>Costo (bs/lb)</b>
Goma Xantica	Sxs	25	666,06	26,6424
Controlador Comercial	Sxs	50	263,27	5,2654
Carbonato de Calcio	Sxs	50	31,64	0,6328
Potasa caustica	Sxs	55	218,58	3,9742

**Fuente: Empresa ESVENCA catalogo de precios de productos**

Después de tener los precios se procedió hacer el cálculo del costo del aditivo desarrollado para esta investigación calculando el porcentaje de rendimiento para la fibra de tuna real y así obtener cuantos kilogramos se necesitan para la elaboración de 1 saco de controlador de filtrado por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{\text{Peso de la tuna real procesada (g)}}{\text{Peso de la tuna real sin procesar (g)}}$$

$$\% \text{ de rendimiento} = \frac{136,40 \text{ g}}{794,12 \text{ g}} \times 100 = 17,18\%$$

Sabiendo que 50 lbs. = 22, 68 Kg

Entonces

$$\frac{(22,68 \text{ kg del aditivo a base de tuna real}) \times (1 \text{ kg de tuna real})}{0,1718 \text{ kg del aditivo a base de tuna real}} = 132,01 \text{ kg}$$

Seguidamente se multiplico 132,01 kg por el coso por kilo de la tuna real siendo 0,800 Bs.F costando 1 saco del aditivo desarrollado 105,608 Bs.F.



**APÉNDICE E**  
**(MEMORIA FOTOGRAFICA)**

**Figura E 1 La tuna antes de procesar**



**Figura E 2 La tuna rallada**



**Figura E 3 La tuna seca lista para ser molida en un molino.**



**Figura E 4 La tuna siendo tamizada.**



**Figura E 5 Separando según el diámetro para obtener el adecuado**



**Figura E 6 Preparando el fluido**



**Figura E 7 Efecto de las pruebas químicas**



**Figura E 8 Efecto de las pruebas químicas**



## HOJAS METADATOS

### Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 1/6

<b>Título</b>	<b>DESARROLLO DE UN ADITIVO CONTROLADOR DE FILTRADO A BASE DE TUNA REAL ( <i>Opuntia ficus indica</i>) PARA FLUIDOS DE PERFORACIÓN POLIMÉRICOS</b>
<b>Subtítulo</b>	

El Título es requerido. El subtítulo o título alternativo es opcional.  
Autor(es)

<b>Apellidos y Nombres</b>	<b>Código CVLAC / e-mail</b>	
Bermúdez R , Daniel E	<b>CVLAC</b>	<b>C.I: 17.957.723</b>
	<b>e-mail</b>	<b><u>Dani el17@hotmail.com</u></b>
	<b>e-mail</b>	
Pereira N, Hawari Libertad H	<b>CVLAC</b>	<b>C.I: 18.237.596</b>
	<b>e-mail</b>	<b><u>phawari@hotmail.com</u></b>
	<b>e-mail</b>	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres de un autor. El formato para escribir los apellidos y nombres es: “Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2”. Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores.

Palabras o frases claves:

<b>Fluidos de perforación</b>
<b>Controlador de filtrado</b>
<b>Tuna real</b>
<b>Polímeros</b>

El representante de la subcomisión de tesis solicitará a los miembros del jurado la lista de las palabras claves. Deben indicarse por lo menos cuatro (4) palabras clave.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 2/6

### Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Sub-área
Tecnología y Ciencias Aplicadas	Ingeniería de Petróleo

Debe indicarse por lo menos una línea o área de investigación y por cada área por lo menos un subárea. El representante de la subcomisión solicitará esta información a los miembros del jurado.

### Resumen (Abstract):

En Venezuela es difícil la adquisición de aditivos utilizados en la perforación por este motivo se busca desarrollar un aditivos para fluidos de perforación generan beneficios tanto a las empresas como al país, en esta investigación tuvo como propósito sustituir aditivos comerciales por aditivos nacionales de fácil obtención; a nivel de laboratorio se realizó este estudio con la fibra de tuna real (*Opuntia ficus indica*) partiendo de la caracterización de este aditivo determinando su pH, solubilidad y gravedad específica se procedió a realizar una prueba de calidad basada en la normativa de la empresa Scomi. Se formularon tratamientos con controlador comercial y otro a base de tuna real contaminándose con 2 y 4% v/v de  $\text{CaCl}_2$  y 2 y 4% v/v de crudo extra pesado de 9 °API respectivamente para luego determinar sus propiedades de acuerdo a los procedimientos establecidos por el Instituto Americano de Petróleo en su norma API 13-B1: viscosidad plástica, punto cedente, resistencia de gel a los 10seg y 10 min, volumen de filtrado y espesor de revoque, la alcalinidad del fluido y del filtrado, contenido de calcio, cloruros y bicarbonatos, donde se aplica un análisis de varianza y la prueba de diferencia mínima significativa (DMS;  $P \leq 0,05$ ), considerando el fluido base comercial como el fluido patrón. Se concluyó que para los fluidos con controlador a base de tuna real el volumen de filtrado disminuye en presencia de agentes contaminantes, manteniéndose el espesor del revoque. Los costos del controlado a base de tuna real con respecto al controlador comercial en unidad de saco son más económicos por lo tanto más rentable que el comercial, sin embargo por su baja gravedad específica se necesitan mayor cantidad de carbonato de calcio para densificar.

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 3/6

### Contribuidores:

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
<b>Otahola B, Jesús A</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	C.I: 14.940.176
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:jotahola@hotmail.com">jotahola@hotmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
<b>García L., María C.</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	C.I: 15.510.689
	<b>e-mail</b>	<a href="mailto:mariacgarcial@hotmail.com">mariacgarcial@hotmail.com</a>
	<b>e-mail</b>	
<b>Calzadilla ., Hortensia</b>	<b>ROL</b>	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	<b>CVLAC</b>	C.I: 11.781.i853
	<b>e-mail</b>	
	<b>e-mail</b>	

Se requiere por lo menos los apellidos y nombres del tutor y los otros dos (2) jurados. El formato para escribir los apellidos y nombres es: "Apellido1 InicialApellido2., Nombre1 InicialNombre2". Si el autor esta registrado en el sistema CVLAC, se anota el código respectivo (para ciudadanos venezolanos dicho código coincide con el numero de la Cedula de Identidad). El campo e-mail es completamente opcional y depende de la voluntad de los autores. La codificación del Rol es: CA = Coautor, AS = Asesor, TU = Tutor, JU = Jurado.

### Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2012	05	23

Fecha en formato ISO (AAAA-MM-DD). Ej: 2005-03-18. El dato fecha es requerido.

**Lenguaje:** spa      Requerido. Lenguaje del texto discutido y aprobado, codificado usando ISO 639-2. El código para español o castellano es spa. El código para ingles en. Si el lenguaje se especifica, se asume que es el inglés (en).

## Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 4/6

### Archivo(s):

Nombre de archivo
TESISMETADATOS.DOCX

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 \_ - .**

### Alcance:

Espacial: \_\_\_\_\_ (opcional)  
Temporal: \_\_\_\_\_ (opcional)

### Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Petróleo

---

Dato requerido. Ejemplo: Licenciado en Matemáticas, Magister Scientiarium en Biología Pesquera, Profesor Asociado, Administrativo III, etc

Nivel Asociado con el trabajo: Ingeniería

---

Dato requerido. Ejs: Licenciatura, Magister, Doctorado, Post-doctorado, etc.

### Área de Estudio:

Tecnología Ciencias Aplicadas

---

Usualmente es el nombre del programa o departamento.

### Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente Núcleo Monagas

---

Si como producto de convenciones, otras instituciones además de la Universidad de Oriente, avalan el título o grado obtenido, el nombre de estas instituciones debe incluirse aquí.

## Hoja de metadatos para tesis y trabajos de Ascenso- 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
CONSEJO UNIVERSITARIO  
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano  
**Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ**  
Vicerrector Académico  
Universidad de Oriente  
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
SISTEMA DE BIBLIOTECA  
RECIBIDO POR *Mazley*  
FECHA *5/8/09* HORA *5:20*

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

*Juan A. Bolaños Cuvale*  
JUAN A. BOLANOS CUNVELO  
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

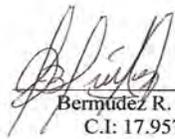
JABC/YGC/manuja

---

**Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso - 6/6**

**Derechos:**

**Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicado CU-034-2009):** "Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad, y solo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

  
Bermúdez R. Daniel E  
C.I: 17.957.723  
**AUTOR**

  
Pereira N. Hawari Libertad H.  
C.I: 18.237.596  
**AUTOR**

  
Otahola B. Jesús A.  
C.I:14.940.176  
**ASESOR**