

DISEÑO DE UN MODELO ECONÓMICO CON EL OBJETIVO DE DETERMINAR  
EL COSTO-BENEFICIO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES  
INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN, EN UN CAMPO DE ECOPETROL S.A.

YENNY JOHANA HUERTAS MANCIPE  
ÁNGELA BRIGUITTE MARTÍNEZ RAMÍREZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE ECONOMÍA  
BOGOTÁ, D.C.  
2016

DISEÑO DE UN MODELO ECONÓMICO CON EL OBJETIVO DE DETERMINAR  
EL COSTO-BENEFICIO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES  
INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN, EN UN CAMPO DE ECOPETROL S.A.

YENNY JOHANA HUERTAS MANCIPE  
ÁNGELA BRIGUITTE MARTÍNEZ RAMÍREZ

Trabajo de grado para optar al título de:  
ECONOMISTA

Directora  
ESPERANZA VIRGINIA BONILLA OLANO  
Economista

Codirectora  
ELIANA MESA RAMÍREZ  
Ingeniera Química

Asesor  
JORGE ENRIQUE JARAMILLO CHARRY  
Ingeniero de petróleos

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE ECONOMÍA  
BOGOTÁ, D.C.  
2016

Nota de Aceptación (Dirección de Investigaciones)

---

---

---

---

---

---

---

Firma Docente Investigador

---

Firma Docente Jurado 1

---

Firma Docente Jurado 2

Bogotá D.C., Junio de 2016

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Economía

Dr. Fernando Moreno Herrera

Director de Investigaciones

Dr. Armando Fernández Cárdenas

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

Dedico esta tesis primeramente a Dios y a la virgen Milagrosa por darme las virtudes y la fortaleza necesaria para salir siempre adelante, por colocarme en el mejor camino, iluminando cada paso de mi vida. A mis padres Angélica Mancipe y Jesús Huertas por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por su amor, esfuerzo, dedicación, comprensión y apoyo incondicional en todos estos años, gracias infinitas por hacer posible esta meta. A mis hermanos Yuli, Laura y Miguel Ángel que son mi alegría y luz de mis días. A mi familia por su apoyo constante e incondicional. A mis profesores por sus enseñanzas que marcaron un importante precedente en mi formación. A mi amiga y compañera de las mil batallas Ángela Martínez por anhelar y perseguir un mismo sueño. Y a todas aquellas personas que hicieron posible el desarrollo de este trabajo de investigación.

*Yenny Johana Huertas Mancipe*

Dedico esta tesis primeramente a Dios y a María Auxiliadora por darme la sabiduría y fortaleza para su exitosa culminación. A mis padres Doris Ramírez y Antonio Martínez por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, quienes con su apoyo, amor, educación, consejos y esfuerzo constante hicieron que este sueño se hiciera realidad. A mi familia por apoyarme incondicionalmente y siempre estar pendiente de mí y de mis proyectos. A mis profesores por transmitirme sus conocimientos y enseñanzas a lo largo de este maravilloso proceso de aprendizaje. A mi amiga y compañera de las mil batallas Yenny Huertas por asumir conmigo este gran reto. Y a cada una de las personas que hicieron posible la realización de este proyecto de investigación.

*Ángela Brígitte Martínez Ramírez*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestras familias por siempre brindarnos el apoyo moral y financiero para la realización de esta investigación.

Al convenio entre la empresa ECOPETROL S.A., el ICP y la Universidad de América por darnos la oportunidad de realizar este proyecto de investigación interdisciplinar y por permitirnos tener un acercamiento con la industria petrolera.

A la Directora del proyecto Esperanza Bonilla por su entrega, dedicación, colaboración y compromiso con la realización de cada objetivo propuesto en este trabajo de investigación.

Al ingeniero Jorge Jaramillo por su apoyo e interés para la exitosa realización de esta investigación.

A la ingeniera Eliana Mesa por su colaboración con el desarrollo de esta investigación.

Al ingeniero Miguel Suárez de la empresa QMAX SOLUTIONS INC, por sus enseñanzas y por brindarnos la información necesaria para el diseño del modelo económico.

Al ingeniero Fredy Tovar, por su apoyo y sugerencias en la primera etapa de este proyecto de investigación.

Al ingeniero Álvaro Prieto por su interés y apoyo incondicional desde el inicio de esta investigación.

A los profesores Hernando González y Mauricio García por sus sugerencias y enseñanzas.

A los ingenieros: César Ramírez, Miguel Gómez, Germán Ortegón, Juan Carlos Medina, Liliana Miranda, Sergio Martínez y Nicolás Castro por recibirnos y orientarnos en la visita a los pozos objeto de estudio.

A la ingeniera Doris Bolívar por su colaboración para tener acceso a información importante para la realización de esta investigación.

Al señor Luis Rocha por su colaboración con la programación del modelo económico.

## CONTENIDO

	pág.
<b>INTRODUCCIÓN</b>	27
<b>OBJETIVOS</b>	29
<b>1. GENERALIDADES DE LOS CAMPOS CASTILLA Y CHICHIMENE</b>	30
<b>1.1 LOCALIZACIÓN CAMPO CHICHIMENE</b>	30
<b>1.2 HISTORIA CAMPO CASTILLA</b>	31
<b>1.3 HISTORIA CAMPO CHICHIMENE</b>	32
<b>2. MARCOS DE REFERENCIA</b>	33
<b>2.1 MARCO TEÓRICO</b>	33
2.1.1 Modelo económico-econométrico	33
2.1.2 Clasificación de los modelos econométricos	33
2.1.3 Variables endógenas y exógenas	34
2.1.4 Teoría de los bienes públicos	34
2.1.5 Eficiencia (física y económica)	35
2.1.6 Aguas residuales	36
2.1.7 Tratamiento de aguas residuales	37
2.1.7.1 Procesos biológicos	38
2.1.7.2 Procesos químicos	39
2.1.7.3 Procesos físicos	39
2.1.8 Aguas residuales industriales de perforación	39
<b>2.2 MARCO LEGAL</b>	40
2.2.1 Constitución Política De Colombia	40
2.2.2 Decreto 2811 de 1974	41



2.2.3 Decreto 1594 de 1984	41
2.2.4 Ley 373 de 1997	41
2.2.5 Decreto 1728 de 2002	42
2.2.6 Decreto 155 de 2004	42
2.2.7 Decreto 1900 de 2006	42
2.2.8 Resolución 974 de 2007	43
2.2.9 Decreto 3930 de 2010	43
2.2.10 Decreto 1076 de 2015	44
2.2.11 Resolución 0631 de 2015	44
<b>2.3 MARCO METODOLÓGICO</b>	<b>45</b>
<b>3. DIAGNÓSTICO</b>	<b>47</b>
<b>3.1 DIAGNÓSTICO POZO A</b>	<b>47</b>
<b>3.2 DIAGNÓSTICO POZO B</b>	<b>50</b>
<b>3.3 MAQUINARIA Y EQUIPO E INSUMOS USADOS, SEGÚN SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	<b>53</b>
<b>3.4 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS</b>	<b>53</b>
<b>4. DETERMINACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES</b>	<b>55</b>
<b>4.1 COSTOS AMBIENTALES POZO A</b>	<b>55</b>
<b>4.2 COSTOS AMBIENTALES POZO B</b>	<b>56</b>
<b>5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES</b>	<b>58</b>
<b>5.1 VARIABLES ENDÓGENAS Y EXÓGENAS POZO A</b>	<b>58</b>
<b>5.2 VARIABLES ENDÓGENAS Y EXÓGENAS POZO B</b>	<b>58</b>
<b>5.3 MODELOS DE REGRESIÓN</b>	<b>59</b>
5.3.1 Modelo de regresión pozo A	60
5.3.2 Modelo de regresión pozo B	62

<b>6. ANÁLISIS DE ESCENARIOS EN TÉRMINOS DE COSTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS</b>	65
<b>6.1 COSTOS CUANTITATIVOS</b>	65
<b>6.1 COSTOS CUALITATIVOS</b>	69
<b>7. VALIDACIÓN</b>	71
<b>8.SIMULADOR “Mec-FUAECOP”</b>	76
<b>8.1 FUNCIONALIDAD DEL SIMULADOR “Mec-FUAECOP”</b>	76
<b>8.2 MANUAL “Mec-FUAECOP”</b>	76
<b>9.CONCLUSIONES</b>	77
<b>10.RECOMENDACIONES</b>	79
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	80
<b>ANEXOS</b>	84

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ubicación geográfica de los campos Castilla y Chichimene	31
<b>Figura 2.</b> Sistema de piscinas y disposición geoambiental	48
<b>Figura 3.</b> Procesos de ósmosis inversa	50

## LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
<b>Diagrama 1.</b> Conceptos: parámetro, variable exógena y variable endógena	34
<b>Diagrama 2.</b> Procesos de tratamiento de aguas residuales: biológicos, químicos y físicos	38
<b>Diagrama 3.</b> Diseño metodológico del proyecto	46
<b>Diagrama 4.</b> Prueba de jarras	48
<b>Diagrama 5.</b> Simplificación de funcionamiento de una planta de ósmosis inversa	51

## LISTA DE FUNCIONES

	<b>pág.</b>
<b>Función 1.</b> Costo total pozo A	60
<b>Función 2.</b> Costos variables pozo A	60
<b>Función 3.</b> Costos fijos pozo A	60
<b>Función 4.</b> Costo total pozo B	62
<b>Función 5.</b> Costos variables pozo B	62
<b>Función 6.</b> Costos fijos pozo B	62

## LISTA DE ECUACIONES

	pág.
<b>Ecuación 1.</b> Costo total tratamiento aguas residuales industriales de perforación, método convencional	60
<b>Ecuación 2.</b> Costos variables tratamiento aguas residuales industriales de perforación, método convencional.	61
<b>Ecuación 3.</b> Costos fijos tratamiento aguas residuales industriales de perforación, método convencional.	61
<b>Ecuación 4.</b> Costo total tratamiento aguas residuales industriales de perforación, ósmosis inversa	62
<b>Ecuación 5.</b> Costos variables tratamiento aguas residuales industriales de perforación, ósmosis inversa	63
<b>Ecuación 6.</b> Costos fijos tratamiento aguas residuales industriales de perforación, ósmosis inversa.	63

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las aguas residuales	37
<b>Tabla 2.</b> Características químicas aguas residuales, según Decreto 1594 de 1984	41
<b>Tabla 3.</b> Características químicas aguas residuales, según Decreto 3930 de 2010	44
<b>Tabla 4.</b> Parámetros físico-químicos establecidos según normatividad, por hueco de perforación y total de la operación para los pozos A y B.	54
<b>Tabla 5.</b> Costos ambientales pozo A	56
<b>Tabla 6.</b> Costos ambientales pozo B	57
<b>Tabla 7.</b> Comparativo de costos de tratamiento método convencional y ósmosis inversa	65
<b>Tabla 8.</b> Comparativo de costos de tratamiento por huecos de perforación pozo A	66
<b>Tabla 9.</b> Comparativo de costos de tratamiento por huecos de perforación pozo B	67
<b>Tabla 10.</b> Comparativo de costos de tratamiento por huecos con costos ambientales pozo A	67
<b>Tabla 11.</b> Comparativo de costos de tratamiento por huecos con costos ambientales pozo B	68
<b>Tabla 12.</b> Comparativo de costos de tratamiento por barril, pozo A y pozo B con costos ambientales	68
<b>Tabla 13.</b> Comparativo de costos de tratamiento, 30 días de actividad	71

<b>Tabla 14.</b> Escenarios simulación – Costos de tratamiento por huecos de perforación (método convencional)	72
<b>Tabla 15.</b> Escenarios simulación – Costos de tratamiento por huecos de perforación (ósmosis inversa)	73
<b>Tabla 16.</b> Escenario simulación - costos de tratamiento por huecos de perforación, con costos ambientales (método convencional)	73
<b>Tabla 17.</b> Escenario simulación - costos de tratamiento por huecos de perforación, con costos ambientales (ósmosis inversa)	74
<b>Tabla 18.</b> Escenario simulación – costos de tratamiento por barril, con costos ambientales	74



## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Cantidad de agua tratada, según hueco de perforación pozo A	49
<b>Cuadro 2.</b> Cantidad de agua tratada, según hueco de perforación pozo B	52
<b>Cuadro 3.</b> Maquinaria y equipo en insumos usados, según sistema de tratamiento	53
<b>Cuadro 4.</b> Variables endógenas y exógenas pozo A	58
<b>Cuadro 5.</b> Variables endógenas y exógenas pozo B	59
<b>Cuadro 6.</b> Ventajas y desventajas, según método de tratamiento convencional y ósmosis inversa	70

## LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
<b>Gráfica 1.</b> Cantidad de agua residual industrial diaria, pozo A	49
<b>Gráfica 2.</b> Cantidad de agua tratada ARI, ARD y SALMUERA, pozo B	52

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Manual simulador “Mec-FUAECOP”	85
<b>Anexo B.</b> Modelo económico, costo beneficio tratamiento de aguas residuales industriales de perforación “tratamiento convencional” (simulador Mec-FUAECOP) pozo A	98
<b>Anexo C.</b> Modelo económico, costo beneficio tratamiento de aguas residuales industriales de perforación “ósmosis inversa” (simulador Mec-FUAECOP) pozo B	99
<b>Anexo D.</b> Modelo económico, costo beneficio tratamiento de aguas residuales industriales de perforación “tratamiento convencional” (Excel) pozo A	100
<b>Anexo E.</b> Barriles de agua residual tratados pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo F.</b> Inversión pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo G.</b> Insumos químicos pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo H.</b> Equipo adicional pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo I.</b> Fluidos almacenados pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo J.</b> Tarifa de equipo pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo K.</b> Tarifa de personal pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo L.</b> Tarifa de transporte y disposición pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo M.</b> Depreciación pozo A	(ver CD Anexo)
<b>Anexo N.</b> Modelo económico, costo beneficio tratamiento de aguas residuales industriales de perforación “ósmosis inversa” (Excel) pozo B	101
<b>Anexo O.</b> Barriles de agua residual tratados pozo B	(ver CD Anexo)

<b>Anexo P.</b> Inversión pozo B	(ver CD Anexo)
<b>Anexo Q.</b> Insumos químicos pozo B	(ver CD Anexo)
<b>Anexo R.</b> Equipo adicional pozo B	(ver CD Anexo)
<b>Anexo S.</b> Servicios pozo B	(ver CD Anexo)
<b>Anexo T.</b> Transporte y disposición	(ver CD Anexo)
<b>Anexo U.</b> Tarifa de personal pozo B	(ver CD Anexo)
<b>Anexo V.</b> Equipo base para el tratamiento de ósmosis inversa	(ver CD Anexo)
<b>Anexo W.</b> Depreciación pozo B	(ver CD Anexo)
<b>Anexo X.</b> Modelo económico, costo beneficio tratamiento de aguas residuales industriales de perforación “tratamiento convencional” (simulador Mec-FUAECOP) escenario 30 días de actividad	102
<b>Anexo Y.</b> Modelo económico, costo beneficio tratamiento de aguas residuales industriales de perforación “ósmosis inversa” (simulador Mec-FUAECOP) escenario 30 días de actividad	103

## ABREVIATURAS

° **API.:** Gravedad API

**Bls.:** barriles

**Bpd.:** barriles por día

**CF.:** costos fijos

**CT.:** costo total

**CV.:** costos variables

**DEP.:** depreciación

**EQA.:** equipo adicional

**FA.:** fluidos almacenados

**IQ.:** insumos químicos

**KBLs.:** kilobytes por segundo

**MMBls.:** millones de barriles

**Q.:** cantidad

**RPM.:** revoluciones por minuto

**S.:** servicios

**TEB.:** tarifa de equipo base

**TEQ.:** tarifa de equipo adicional

**TP.:** tarifa de personal

**TYD.:** transporte y disposición

## GLOSARIO

**AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN:** cantidad de aguas residuales procedentes de las diferentes actividades realizadas por el taladro de perforación.

**AMBIENTE:** es el conjunto de fenómenos o elementos naturales y sociales que rodean a un organismo, a los cuales este responde de una manera determinada.

**COSTOS:** son las inversiones que se realizan con la expectativa de obtener beneficios presentes y futuros.

**COSTOS AMBIENTALES:** son aquellos en los que se incurre, debido a que existe o a que puede existir una calidad ambiental deficiente. Estos costos están asociados con la creación, detección, el remedio y la degradación ambiental.

**COSTO–BENEFICIO:** la relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultados, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto. Es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a una comunidad.

**COSTOS DE PRODUCCIÓN:** son las inversiones que se destinan a la realización de un producto o servicio que se tiene para la venta.

**COSTOS OPERACIONALES:** son las inversiones que se destinan para crear el proceso de socialización de la empresa y los productos (interna y externa / gastos de administración y ventas).

**COSTOS DE OPORTUNIDAD:** son los beneficios que se dejan de percibir o los gastos que se empiezan a percibir por asumir un sacrificio económico sobre varias oportunidades.

**COSTOS IMPLÍCITOS:** es el valor de las inversiones (posesión, situación o derecho) que destina la empresa para la realización de su negocio, pero el cálculo de estas inversiones no está dado en parámetros monetarios.

**DEPRECIACIÓN:** mecanismo mediante el cual se reconoce el desgaste que sufre un bien por el uso que se haga de él.

**EFICACIA:** capacidad de uno o varios recursos para lograr un fin o fines propuestos.

**EFICIENCIA:** relación entre los recursos utilizados en un proceso y los resultados obtenidos.

**IMPACTO AMBIENTAL:** cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o benéfico, total o parcial como resultado de las actividades, productos o servicios de una organización. NTC-ISO 14001.

**MEC-FUAECOP:** Modelo Económico–Fundación Universidad América y ECOPETROL S.A.

**MODELO ECONÓMICO:** representación teórica de un sistema de información económico contable, tiene como propósito expresar el costo objeto de la inversión y suministrar herramientas que contribuyan a la gestión del ente ejecutor.

**PERFORACIÓN:** proceso de construir un hoyo en el subsuelo para explorar y/o para la extracción de recursos naturales tales como agua, gas y petróleo.

**RECURSO HÍDRICO:** son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida.

**REQUISITOS LEGALES:** hacen referencia ampliamente a cualquier requisito o autorización que estén relacionadas con los aspectos relativos a la calidad, medio ambiente, seguridad industrial y salud ocupacional de una organización, emitida por una entidad gubernamental.

**RESIDUOS LÍQUIDOS:** combinación de agua y residuos procedentes de residencias, instituciones públicas y establecimientos industriales agropecuarios y comerciales a los que pueden agregarse de forma eventual determinados volúmenes de aguas subterráneas, superficiales y pluviales.

**RESIDUOS SÓLIDOS:** es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante de consumo de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicio que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien con valor económico o de disposición final.

**TRATAMIENTO:** es el conjunto de acciones y tecnologías mediante las cuales se modifican las características de los residuos sólidos incrementando sus

posibilidades de reutilización, o para minimizar los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana en disposición temporal o final. NTC-ISO 14001.

**VARIABLE ENDÓGENA:** se explican dentro de un modelo económico a partir de su relación con otras variables (que a su vez pueden ser endógenas o exógenas).

**VARIABLE EXÓGENA:** están determinadas fuera de modelo, es decir están predeterminadas, el modelo las toma como fijas y mantienen siempre el mismo valor.

**VERTIMIENTO:** descarga líquida resultante de cada una de las etapas de que conforman el proceso. NTC-ISO 14001.



## RESUMEN

El objeto de la presente investigación fue el diseño de un modelo económico-matemático multivariado, con el fin de determinar el costo-beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, en un campo de ECOPETROL S.A.

Una vez realizado un exhaustivo estado del arte (remitirse a referencias bibliográficas y documentales), se concluyó que no existe una herramienta que permita determinar el costo beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación de pozos de petróleo, específicamente para los métodos convencional y la tecnología ósmosis inversa. Por tal razón, la pertinencia de este trabajo.

Como método para registrar y cuantificar los costos, se eligió una función lineal  $CT=CV+CF$  que permitió trabajar series de tiempo, cuya variable dependiente es el costo total de tratamiento para cada uno de los métodos mencionados y las explicativas conformadas por las variables endógenas y exógenas.

El proyecto estuvo enmarcado en el tipo de investigación exploratoria, descriptiva y analítica, se hizo trabajo de campo y se recolectó información secundaria.

La actividad de trabajo de campo efectuado en los pozos objeto de estudio, permitió realizar un diagnóstico de las condiciones bajo las cuales se utiliza la tecnología convencional y de ósmosis inversa comparando sus resultados en términos de eficiencia, en cuanto a calidad del agua resultante de cada proceso; se estableció que el segundo método, es el más favorable, debido a que la tecnología ósmosis inversa es amigable con el medio ambiente, ya que no produce ni utiliza ningún tipo de producto químico nocivo durante su proceso. Además permite tratar los diferentes tipos de aguas (ARI, ARD y Salmuera) que se generan durante la actividad de perforación.

Las cifras que permitieron cuantificar las variables independientes del modelo utilizado, fueron tomadas de los reportes diarios sobre el tratamiento de aguas residuales industriales de perforación provenientes de la empresa contratista QMAX SOLUTIONS INC. de ECOPETROL S.A. Para tener referencia del costo de algunos insumos que se utilizan en el proceso, fue necesario realizar una cotización de los costos reales del mercado.

Finalmente, el diseño del modelo económico se proyectó en el simulador “Mec-FUAECOP”, el cual permite realizar de manera muy ágil y funcional, un comparativo en términos económicos de manera desagregada en costos totales de operación, costo por barril y costos según hueco de perforación para cada método.

**PALABRAS CLAVES:** Modelo económico, costo-beneficio, aguas residuales industriales de perforación, método convencional, ósmosis inversa, costos ambientales “Mec-FUAECOP” (Modelo económico- Fundación Universidad de América y Ecopetrol).

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación se realizó en el marco del convenio institucional N°5211562 suscrito entre la Fundación Universidad de América y ECOPETROL S.A. y el Instituto Colombiano del Petróleo, cuyo fin, fue el diseño de un modelo económico con el objetivo de determinar el costo-beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, en un campo de ECOPETROL S.A.

El presente documento contiene ocho capítulos a saber: En el **primero**, se hace referencia a la caracterización de los campos Castilla y Chichimene; en el **segundo**, se contemplan los marcos referenciales del estudio: teórico, legal y metodológico; en **el tercero**, se realiza una descripción detallada del trabajo de campo efectuado con el fin de diagnosticar el uso, manejo y disposición de las aguas residuales industriales de perforación y conocer in situ el procedimiento que se realiza en el método de tratamiento convencional, que es el que tradicionalmente han venido utilizando las empresas contratistas de ECOPETROL S.A. para tratar estas aguas; también, se indagó sobre la tecnología de ósmosis inversa que la empresa ha venido implementando de forma esporádica como una alternativa para obtener mayor calidad en el agua tratada, teniendo en cuenta que estos sistemas de tratamiento se realizan para cumplir con los parámetros físico-químicos establecidos en la normatividad vigente en Colombia, según la cual, si se realizan proyectos que en su ejecución utilicen agua directamente de fuentes naturales, el ente ejecutor debe pagar a las corporaciones autónomas regionales algunos impuestos ambientales como la tasa por uso del agua y el 1% del total de la inversión del proyecto al que hace alusión el Decreto 1900 de 2006, destinados al cuidado y preservación de las cuencas hidrográficas, lo cual se presenta y se calcula en el capítulo **cuarto**; el trabajo de campo, también permitió identificar las variables endógenas y exógenas más pertinentes a estudiar, las cuales están planteadas en el capítulo **quinto**, en el cual, además se determinan las funciones de costos para cada uno de los pozos en estudio; información que permitió seleccionar el modelo económico propuesto; definido el modelo, en el capítulo **sexto** y con el objeto de validar empíricamente dicho modelo, se simularon dos escenarios en términos de costos, para los dos métodos de tratamiento. Los resultados de la aplicación del modelo se presentan en el capítulo **séptimo**.

Vale la pena destacar, que como instrumento facilitador de compendio y sistematización de toda la información cuantitativa del estudio y de obtención de resultados, se diseñó el Simulador “Mec-FUAECOP”, el cual permite realizar una comparación antes de empezar la perforación de un pozo, con los resultados obtenidos una vez hecho el tratamiento, este ejercicio, permite escoger el método que mayores beneficios cuantitativos ofrece para tratar las aguas residuales industriales de perforación mediante su aplicación; y cuando se acabe dicha actividad, sirve para corroborar los costos cuantitativos en los cuales se incurrió,

en el capítulo **octavo** se referencia todos los aspectos relacionados con el simulador.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un modelo económico con el objetivo de determinar el costo-beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, en un campo de ECOPETROL S.A.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar la situación actual del uso, manejo y disposición de las aguas residuales industriales de perforación en un campo de ECOPETROL S.A.
- Determinar los costos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, en un campo de ECOPETROL S.A.
- Identificar las variables endógenas y exógenas que inciden de manera fundamental en el costo-beneficio del manejo de las aguas residuales industriales de perforación.
- Analizar diferentes escenarios en términos de costos, aplicando las tecnologías seleccionadas como más pertinentes para el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación.
- Validar el modelo económico más pertinente para determinar la eficiencia en el manejo de las aguas residuales industriales de perforación frente a la normatividad vigente.

## **1. GENERALIDADES DE LOS CAMPOS CASTILLA Y CHICHIMENE**

A continuación, se describe la localización de cada uno de los campos Castilla y Chichimene y se realiza una breve historia de los mismos.

El campo Castilla de ECOPETROL S.A. se encuentra ubicado en el Departamento del Meta a 30 Km al sur de la ciudad de Villavicencio. Este campo comprende un área total de 40 km<sup>2</sup> y cuenta con un área productiva de 3.300 acres.

Sus límites geográficos son: al norte el río Orotoi, al sur el río Guamal, al oeste la carretera San Isidro Chichimene-Castilla la Nueva y al este el municipio de San Lorenzo.

Las coordenadas geográficas de este campo son: 3°19'38.10"N y 73°41'20.52 O.

### **1.1 LOCALIZACIÓN CAMPO CHICHIMENE<sup>1</sup>**

El campo Chichimene está localizado a 26 km al suroeste de la ciudad de Villavicencio en jurisdicción al municipio de Acacias en el departamento del Meta. Comprende un área total de 15 km<sup>2</sup> y cuenta con un área productora de 9.000 acres.

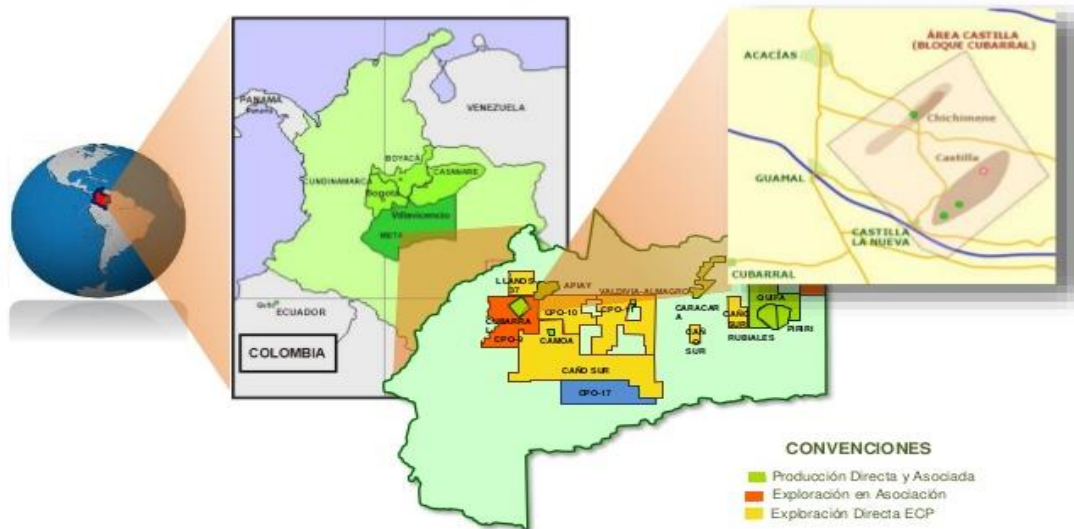
Sus límites geográficos son: al norte el Río Acacias, al sur la cabecera municipal de Guamal al oeste con la cordillera Oriental y al Este con el municipio de San Lorenzo.

Las coordenadas geográficas de este campo son: 3°56'00.10"N y 73°41'13.52 O.

---

<sup>1</sup> Ibíd. 1

**Figura 1. Ubicación geográfica de los campos Castilla y Chichimene**



Fuente: [Anónimo] Invitación Audiencia Publica Ambiental-Proyecto "Bloque Cubarral- Campos Castilla y Chichimene- Expediente lam0227 [Print(0)]. [Consultado el 4/27/20162016]. Disponible en: <http://www.personeriavillavicencio.gov.co/website/index.php/component/k2/item/4-invitation-audiencia-publica-ambiental-proyecto-bloque-cubarral-campos-castilla-y-chichimene-expediente-lam0227>

## 1.2 HISTORIA CAMPO CASTILLA <sup>2</sup>

El campo Castilla fue descubierto por la empresa Chevron en el año 1969 con la perforación del Pozo Castilla 1. El hallazgo fue sólo en 1975, bajo el contrato de asociación entre Chevron y Ecopetrol. La producción se inicia en el año 1977 y en el año 2000 Ecopetrol asume la operación directa del campo como único socio.

En el año 1988 se comprobó la extensión del campo hacia el extremo Nororiental con la Perforación del pozo Castilla Norte 1. En diciembre del año 2005 se reportó una producción diaria de 52.837 barriles con un corte de agua de 63%. Los últimos pozos muestran producción entre 900 y 1.000 barriles<sup>3</sup>. Esta última tasa se logró con la perforación de nuevos pozos y a una mayor disponibilidad de las facilidades de producción y tratamiento. En cuanto a las reservas probadas para las formaciones Une y Gacheta de este campo son de 101 MMbbls<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> Ibíd. 1

<sup>3</sup> Ibíd. 1

<sup>4</sup> Ibíd. 1

### 1.3 HISTORIA CAMPO CHICHIMENE<sup>5</sup>

El campo Chichimene fue descubierto en 1969 por la compañía Chevron Petroleum Company, en 1985 inició producción con el contrato asociado Cubarral, este contrato terminó en el año 2002. En ese mismo año ECOPETROL S.A. firmó contrato con Chevron por seis meses y desde entonces ECOPETROL S.A. ha manejado directamente este campo con importantes acciones de trabajos en los pozos existentes y perforación de nuevos pozos.

Para el año 2001 realizó estudios de explotación adicional al campo, así mismo empezó a producir crudo extra pesado de aproximadamente de 7-9 API, de la formación productora San Fernando, correspondiente a la unidad T2 con el pozo CH-18. En el año 2010 obtuvo una producción de 29.380 barriles, mientras que el año 2014 fue un año importante para este campo, debido a que en enero obtuvo una producción de 48.446 barriles de petróleo por día, en agosto tuvo un récord de 66.029 barriles diarios de petróleo, el 24 de diciembre llegó a los 80.003 barriles por día, y para el cierre del año alcanzó los 83.989 Bpd<sup>6</sup>. Con estas cifras, el campo Chichimene se consolida como el tercer activo de producción de crudo del país, el mayor productor de crudo extra pesado y uno de los de mayor potencial de crecimiento en el corto plazo. En tanto para las formaciones Gacheta y Une se estiman unas reservas remanentes de 7.190 Kbls y para Mirador de 235.970 Kbls<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> Ibíd. 1

<sup>6</sup> [Anónimo] Campo Chichimene De Ecopetrol Inicia 2015 Con Récord De Producción. [Electronic(1)]. 6/1/2015. [Consultado el 11/5/2015]. Disponible en: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/Boletines-2014/contenido/campo-chichimene-de-ecopetrol-inicia-2015-con-record-de-produccion>

<sup>7</sup> Ibíd. 1.



## 2. MARCOS DE REFERENCIA

### 2.1 MARCO TEÓRICO

**2.1.1 Modelo económico-econométrico.** Un modelo económico-econométrico permite utilizar y aplicar la temática a una serie de datos que permiten una validación empírica de la realidad que se formaliza mediante dicho modelo. Como lo expresan Gujarati y Damodar (2010), “la econometría puede definirse como el análisis cuantitativo de fenómenos económicos reales, basados en el desarrollo simultáneo de la teoría y la observación relacionados mediante métodos apropiados de inferencia”. Según sea el modelo a trabajar se tienen en cuenta las siguientes clasificaciones de datos:

1. Datos de serie de tiempo: conjunto de observaciones sobre los valores de una variable en diferentes momentos y debe recopilarse en términos regulares como diaria, semanal, mensual, anual, quinquenal, decenal.
2. Datos transversales: consisten en datos de una o más variables recopilados en el mismo punto del tiempo.
3. Datos panel: estos reúnen elementos de serie de tiempo y transversales.

Para esta investigación se utilizó el modelo de series de tiempo tomando información que fue registrada diariamente, conforme se iban tratando los barriles de agua procedentes de la actividad de la perforación de cada pozo, la cantidad de insumos químicos, equipo adicional, fluidos almacenados, servicios, la tarifa de personal, tarifa de equipo adicional y la tarifa transporte y disposición.

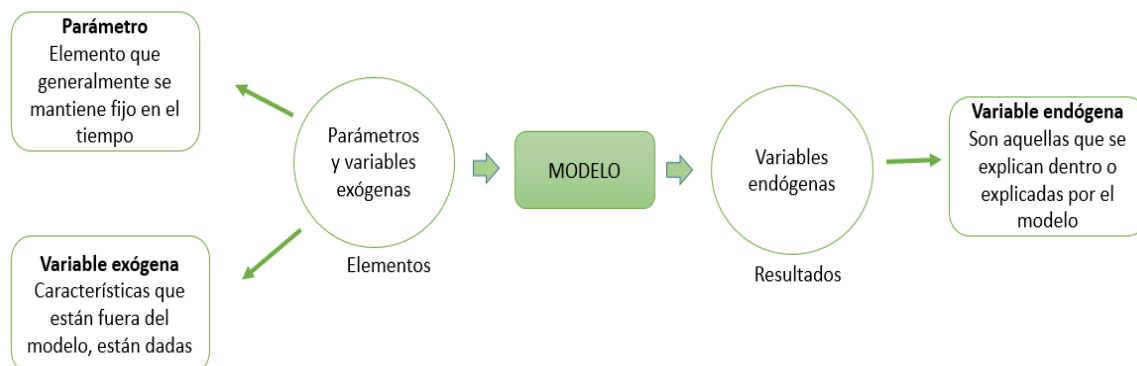
**2.1.2 Clasificación de los modelos econométricos.** Los modelos econométricos se clasifican según (Mesa Carvajalino Carlos Arturo, 2009) en:

1. El número de ecuaciones: el modelo se dice *uniecuacional* o *multiecuacional*, según se defina por una ecuación o por más de una.
2. La forma de las ecuaciones: *Lineal* si todas las ecuaciones son lineales y *no lineal* si alguna no lo es.
3. El momento del tiempo al que están referidas sus variables: *estático* o *dinámico*. En el primer caso, todas sus variables están referidas al mismo instante de tiempo. En el segundo, figurará alguna variable en un instante de

tiempo distinto. Se habrá especificado alguna variable retardada dentro del modelo.

**2.1.3 Variables endógenas y exógenas.** En el Diagrama 1 se sintetizan las categorías y conceptos que se tienen en cuenta para la formulación del modelo económico.

**Diagrama 1.** Conceptos: parámetro, variable exógena y variable endógena



Fuente: JONES Charles I. Introducción a la macroeconomía. Modificado por autores.

**2.1.4 Teoría de los bienes públicos.** Debido a que el agua es un bien público, es preciso referirse a la teoría de dichos bienes, en este caso, afectado por ECOPETROL S.A, en su proceso de perforación de pozos, por consiguiente pasa a ser un bien excluible, es decir las personas que habitan el entorno del campo petrolero donde se realiza la perforación, quedan excluidas del disfrute del bien<sup>(\*)</sup>, Igualmente, tienen el carácter de rivalidad, debido a que el deterioro que sufre el recurso hídrico por efecto de la perforación, hace que se limite su consumo en tiempo presente y si no se trata adecuadamente en tiempo futuro.

De acuerdo con la teoría, el agua, se considera un bien público global. Según los teóricos Quemada y García (2003), “la categoría general de los bienes públicos viene definida porque sus beneficios externos deben tener un fuerte carácter público y para ello el consumo del bien debe ser no rival y no exclusivo”.

Un bien público es **no rival**, cuando su consumo por parte de un individuo, no le quita posibilidades a otros individuos de consumirlo y la categoría de **no exclusivo**, se refiere a que el usuario no puede impedir que otras personas

<sup>(\*)</sup> Bien excluible: cuando se impide que lo disfrute una persona o comunidad

reciban los beneficios del bien. Como ya se mencionó, en el caso de las aguas residuales del campo de ECOPETROL S.A, las aguas residuales industriales tienen el carácter de ser excluidas. En consecuencia, un bien público puro, debe caracterizarse por ser no rival y no exclusivo. Si no cumple estas dos condiciones se llama bien público impuro.

Siendo el agua un bien tan necesario para la vida, su uso, se puede considerar como un derecho humano y en consecuencia ECOPETROL S.A. debe cumplir con la normatividad vigente en el decreto 3930 de 2010. Excepción hecha de las modificaciones introducidas mediante la Resolución N° 0631 de marzo de 2015, la cual toma como referencia los parámetros físico químicos establecidos en el decreto 1594 de 1984 dado que en el decreto 3930 de 2010 no se encuentran especificados.

**2.1.5 Eficiencia (física y económica).** A continuación, se explica la evolución del concepto de eficiencia en términos económicos, la eficiencia técnica, la eficiencia asignativa y la eficiencia total o económica.

Farrell (1957) define la eficiencia técnica como *la obtención de la mayor cantidad posible de producto, a partir de un conjunto dado de insumos*. Lo que implica en el sentido económico una función de producción, para establecer la relación existente entre el producto final y los insumos utilizados. Para esta investigación se busca que el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación del pozo A ubicado en el Campo Castilla y del pozo B ubicado en el Campo Chichimene, sea eficiente, es decir que se obtenga la mayor cantidad de agua residual industrial de perforación descontaminada mediante la utilización de un conjunto dado de insumos, disminuyendo así la carga contaminante que se produce en las aguas residuales industriales de perforación en este campo.

La **eficiencia asignativa** permite ajustar las prácticas de producción a la mezcla de insumos que mejor refleje desde un punto de vista económico, la escasez o abundancia relativa de los insumos; la **eficiencia total o económica** considera ambas, tanto la técnica como la asignativa y hace referencia a la mezcla de insumos que aconsejen los precios relativos. En el caso del sector Público no hay mandato de maximización de beneficios o de minimización de costos, pero si hay restricciones presupuestarias y competencia por los recursos en el interior del Estado<sup>8</sup>, por ende la escasez en el mercado y en los recursos del Estado indica

---

<sup>8</sup> CEPAL, et al. Eficiencia y Su Medición En Prestadores De Servicios De Agua Potable y Alcantarillado. [Electronic(1)].[Consultado el 11/5/2015]. Disponible en: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/42728/lcw385e.pdf>

que deben ser utilizados con eficiencia y de esta manera preservar los recursos escasos. En esta investigación nos centramos en el recurso hídrico y en los componentes químicos y físicos necesarios para su adecuado y eficiente tratamiento. Para poder realizar análisis económicos en cuanto al tratamiento que se les da a las aguas residuales industriales de perforación es importante incluir decisiones de precios y costos siendo la función de costos un correlato económico de la función de producción, a esto se le conoce como **eficiencia asignativa**. Los costos de producción en este caso serían en los que las empresas contratistas incurren para producir agua descontaminada procedente de las actividades de perforación en este campo.

También es importante evaluar cada tipo de tratamiento porque se pueden utilizar diferentes cantidades de insumos químicos en su ejecución y así se escogería el que mayor eficiencia represente teniendo en cuenta lo siguiente:

- Eficiencia técnica: se mide con referencia a la productividad y a la relación entre productos e insumos físicos.
- Eficiencia asignativa: considera y mide la dimensión de costos.
- Eficiencia total o económica: Considera ambas (eficiencia técnica y eficiencia asignativa)
- La medición de la eficiencia se efectúa normalmente sobre la base de desempeños reales. En el trabajo aplicado de medición de eficiencia se trata de obtener las mejores prácticas de un conjunto de competidores para usar como referencia dicha mejor práctica, genéricamente a la búsqueda de un valor de referencia y a usarlo como comparador o incentivo.

**2.1.6 Aguas residuales.** Según Metclaf & Eddy<sup>9</sup> “las aguas residuales son una combinación de residuos líquidos, la cual se obtiene de residencias, instituciones y establecimientos comerciales e industriales junto con las aguas subterráneas, superficiales y aguas lluvias que estén presentes”. Estas aguas se clasifican en domésticas, municipales, industriales y agropecuarias, sus principales características se presentan en la Tabla 1.

---

<sup>9</sup>METCALF; EDDY y INC. Ingeniería De Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 4ta ed. Madrid, España.: McGraw-Hill, 2003.

**Tabla 1.** Clasificación de las aguas residuales

<b>CLASIFICACIÓN</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
Domésticas	Proviene de las actividades rutinarias como lo es el lavado de la ropa, limpieza, preparación de alimentos y se caracterizan por tener un gran contenido de materia orgánica, detergentes y grasas.
Municipales	Resultan de la combinación de aguas residuales domésticas, industriales (generadas por el comercio, instalaciones y centros hospitalarios) y pluviales.
Industriales	Es el agua restante de los procesos industriales, la cual contiene subproductos referentes del proceso industrial. La cantidad de contaminantes que contenga el agua depende de las características propias del proceso como es la interacción con el medio, la tecnología y la materia prima utilizada.
Agropecuarias	Resultan del uso en las instalaciones agropecuarias tales como: en los centros agrícolas, avícolas, de porcinos, entre otros. Se caracterizan por la presencia de pesticidas, sales y un alto contenido de sólidos en suspensión. La descarga de esta agua es recibida directamente por los ríos o por los alcantarillados.

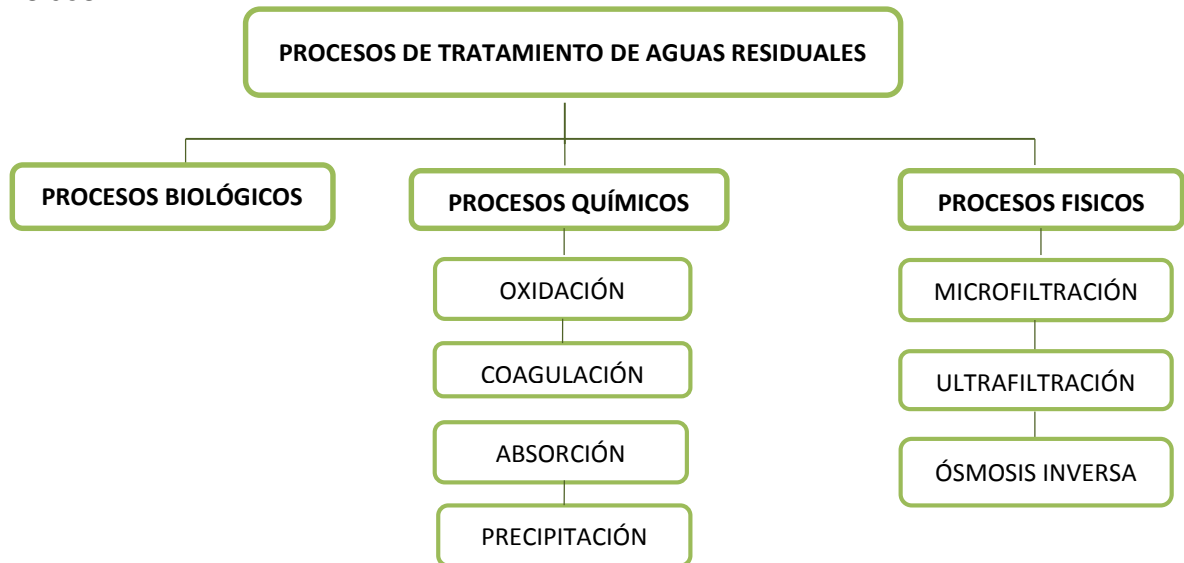
Fuente: CUBA: MANEJO DE RESIDUALES LÍQUIDOS Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL. Ciudad de La Habana, Cuba. Vol. 39, núm. 1, 2001, pp. 16-20, ISSN 0253-1751.

**2.1.7 Tratamiento de aguas residuales.** El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con el objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normatividad de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará.

En un sistema de tratamiento de aguas residuales, la ley de la conservación de la materia hace que al retirar de alguna forma el material contaminante del agua residual, éste solo se transforme o transfiera. Por esta simple razón, siempre se producirán residuos, tales como los lodos, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, acompañados por la generación de emisiones gaseosas. Las cantidades y la calidad de estos residuos dependerán de las características del agua residual a tratar y evidentemente de la utilización del sistema de tratamiento. Por otro lado, los requerimientos de insumos, tales como energía eléctrica y reactivos químicos, se darán en función de las tecnologías seleccionadas para integrar el sistema de tratamiento, y por ende, el costo de operación dependerá también de ello.

En el Diagrama 2 se muestran los métodos para el tratamiento de las aguas residuales, se resalta la división en tres grupos, procesos biológicos, químicos y físicos.

**Diagrama 2.** Procesos de tratamiento de aguas residuales: biológicos, químicos y físicos.



Fuente: GUATIBONZA BARBOSA, Paula Andrea y LEYTON RESTREPO, Sebastián. Evaluación De Las Cepas De Microorganismos Presentes En El Agua Residual Industrial De Perforación Para La Remoción De Contaminantes De La Misma En Los Frentes De Perforación Del Área De Chichimene De La Empresa de Ecopetrol S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2015. Modificado por autores.

**2.1.7.1 Procesos biológicos.** Son métodos de tratamiento en los cuales la remoción de contaminantes se lleva a cabo mediante actividad biológica. El tratamiento biológico se usa principalmente para remover las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) en el agua residual (básicamente las sustancias son convertidas en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede ser removido mediante sedimentación)<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> MEDINA GRAJALES, Lesly Roció y RODRÍGUEZ GARZÓN, Nelson Raúl. Diseño a Nivel Laboratorio De Un Proceso De Ósmosis Inversa Para Disminuir Bario De Las Aguas De Producción y Captación Del Campo Cantagallo . Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2013

**2.1.7.2 Procesos químicos.** Son métodos de tratamiento en los cuales la remoción o conversión de contaminantes se lleva a cabo mediante la adición de químicos o mediante otras operaciones químicas, son conocidos como unidades de proceso químicos. Los ejemplos más comunes son precipitación, absorción y desinfección<sup>11</sup>.

**2.1.7.3 Procesos físicos.** Son métodos de tratamiento en los cuales predomina la aplicación de fuerzas físicas. Estos métodos evolucionaron por observaciones directas del hombre en la naturaleza, fueron los primeros en ser usados para el tratamiento de aguas residuales. Estos métodos son típicamente: tamizado, mezclado, floculación, sedimentación, flotación, filtración y transferencia de gas<sup>12</sup>.

**2.1.8 Aguas residuales industriales de perforación.** En el caso de la industria petrolera en la perforación de pozos para la extracción de petróleo, se genera gran cantidad de aguas residuales procedentes de las diferentes actividades del taladro de perforación, las cuales presentan unas características que dependen de la formulación del fluido de perforación, de las condiciones geológicas del pozo y de la altura perforada del mismo.

Según tesis (Domínguez, 2013) “las aguas residuales industriales de perforación son el resultado de las siguientes operaciones en el proceso de perforación”:

- 1. Preparación y almacenamiento del fluido base agua:** “Es el proceso en donde se seleccionan las concentraciones y el tipo de aditivos para formar el fluido de perforación. Después de que las condiciones del fluido sean las correctas para el proceso de perforación es almacenado hasta el momento en que se requiere en la sarta de perforación y en el proceso mismo”.
- 2. Equipo de perforación:** “El fluido de perforación es bombeado hacia el interior del pozo permitiendo el movimiento rotatorio de la sarta y la perforación de la mecha”.
- 3. Contacto del fluido de perforación con la superficie a perforar:** “En el proceso de perforación el fluido de perforación entra en contacto con la formación a perforar, permitiendo que los restos de los cortes de perforación lleguen a la superficie y así mantener el pozo siempre limpio para seguir el proceso principalmente para la broca”.
- 4. Control de sólidos:** “Después de retirar los sólidos del interior del pozo y llegar a la superficie, su composición cambia (es una mezcla de fluido de

---

<sup>11</sup> Ibid.(11)

<sup>12</sup> Ibid.(11)

perforación y del corte evacuado) respecto a la composición inicial. Por consiguiente, es necesario realizar una separación de dichos cortes presentes en el fluido; en este proceso se realiza un tamizado para eliminar los sólidos que tienen gran tamaño”.

5. **Dewatering:** “Es el proceso de deshidratación en donde se eliminan los sólidos más finos provenientes de los cortes de perforación que se encuentran en la fase líquida y que no pudieron ser eliminados por el tamizado anterior. Por consiguiente, de este proceso se obtienen dos fases, una sólida que pertenece a los cortes de perforación y otra líquida que es el agua residual industrial de perforación”.

## 2.2 MARCO LEGAL

A continuación, se proporcionan las bases legales sobre las cuales las instituciones, los organismos gubernamentales y particulares deben guiarse y emplear para la protección y recuperación de los recursos naturales, específicamente el recurso hídrico.

**2.2.1 Constitución Política De Colombia.** En la Constitución Política de Colombia de 1991 se contempla la protección de los recursos naturales, la cual se ha reglamentado a través de leyes, decretos y resoluciones, como lo estipulan los siguientes artículos:

**Artículo 8 CPC:** Establece la obligación del Estado y de las personas de proteger las riquezas culturales y naturales de la nación.

**Artículo 80 CPC:** Hace alusión a que es el Estado quien planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

**Artículo 95 CPC:** Establece que es deber y obligación de las personas la protección de los recursos culturales y naturales del país y así mismo velar por la conservación de un ambiente sano.



**2.2.2 Decreto 2811 de 1974.** En este decreto se establecen las políticas ambientales y los tipos de contaminación física, química o biológica de todo el territorio nacional incluyendo suelos y agua. Igualmente, en este decreto se hace referencia a los sistemas de información ambiental mediante los cuales se recomiendan los medios para establecer los diagnósticos ambientales de las regiones como el inventario forestal y el inventario fáunico entre otros. El artículo que se aplica en el proyecto descrito es el 138, el cual obliga a las empresas a cumplir con los valores máximos permisibles para el vertimiento.

**2.2.3 Decreto 1594 de 1984.** Este decreto hace referencia al uso del agua y los residuos líquidos generados en los procesos industriales.

Según lo establecido en el artículo 72, todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

**Tabla 2:** Características químicas aguas residuales, según Decreto 1594 de 1984.

PARÁMETRO	DECRETO 1594 DE 1984
Ph	5 a 9 unidades
Temperatura	< 40 °C
Solidos sedimentales	10 ml/l
Sustancias solubles en hexano	100 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	> 20% en carga de remoción > 80% en carga
Conductividad	NE
Color real	< 75
Olor	NE
Turbiedad	< 75

Fuente: [Anónimo] Consulta De La Norma: Decreto 1594 De 1984. [Print(0)]. Bogotá D.C. [Consultado el 4/26/20162016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>; Modificado por autores.

**2.2.4 Ley 373 de 1997.** Plan ambiental para el uso eficiente y ahorro de agua. En esta ley se dan los lineamientos para la formulación del plan regional y municipal del uso eficiente y ahorro del agua, se establecen los medidores de consumo y de reúso obligatorio del recurso hídrico en actividades primarias o secundarias según la actividad que la genere. Para el proyecto rige el artículo 1, en el cual se establece que cada empresa realice un programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

**2.2.5 Decreto 1728 de 2002.** Hace referencia al licenciamiento ambiental que deben obtener las empresas que se dedican a actividades de extracción.

**2.2.6 Decreto 155 de 2004.** En este decreto se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas. Así mismo contiene diferentes definiciones que son importantes para la fijación de la tarifa de la tasa por utilización de agua (TUA) expresada en pesos/m<sup>3</sup>, y la cual será establecida por cada autoridad ambiental competente para cada cuenca hidrográfica, acuífero o unidad hidrológica de análisis.

**2.2.7 Decreto 1900 de 2006.** En este decreto se reglamenta el párrafo del artículo 43 de la Ley 99 de 1993 y éste es modificado por el art. 216 de la Ley 1450 de 2011. Este artículo hace alusión a las *Tasas por utilización del agua* y se adicionan los siguientes párrafos al artículo 43 de la Ley 99 de 1993:

**Parágrafo 1°.** Todo proyecto que requiera licencia ambiental y que involucre en su ejecución el uso del agua, tomada directamente de fuentes naturales, bien sea para consumo humano, recreación, riego o cualquier otra actividad, deberá destinar no menos del 1% del total de la inversión para la recuperación, preservación, conservación y vigilancia de la cuenca hidrográfica que alimenta la respectiva fuente hídrica. El beneficiario de la licencia ambiental deberá invertir estos recursos en las obras y acciones de recuperación, preservación y conservación de la respectiva cuenca hidrográfica, de acuerdo con la reglamentación vigente en la materia.

**Parágrafo 2°.** Los recursos provenientes del recaudo de las tasas por utilización de agua, se destinarán de la siguiente manera:

- a) En las cuencas con Plan de Ordenamiento y Manejo Adoptado, se destinarán exclusivamente a las actividades de protección, recuperación y monitoreo del recurso hídrico definidas en el mismo.
- b) En las cuencas declaradas en ordenación, se destinarán a la elaboración del Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca.
- c) En ausencia de las condiciones establecidas en los literales a) y b), se destinarán a actividades de protección y recuperación del recurso hídrico definidos en los instrumentos de planificación de la autoridad ambiental competente y teniendo en cuenta las directrices del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, o quien haga sus veces.

Para cubrir gastos de implementación, monitoreo y seguimiento; la autoridad ambiental podrá utilizar hasta el diez por ciento (10%) de los recaudos.

Los recursos provenientes de la aplicación del párrafo 1° del artículo 43 de la Ley 99 de 1993, se destinarán a la protección y recuperación del recurso hídrico, de conformidad con el respectivo Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca o en la formulación y adopción del Plan.

**Parágrafo 3°.** La tasa por utilización de aguas se cobrará a todos los usuarios del recurso hídrico, excluyendo a los que utilizan el agua por ministerio de ley, pero incluyendo aquellos que no cuentan con la concesión de aguas, sin perjuicio de la imposición de las medidas preventivas y sancionatorias a que haya lugar y sin que implique bajo ninguna circunstancia su legalización". <sup>13</sup>

**2.2.8 Resolución 974 de 2007.** “Por la cual se establece el porcentaje de qué trata el literal a) del artículo 5° del Decreto 1900 de 2006”.

En el artículo 1°, se establece el 10% del valor total de la inversión como porcentaje que debe destinarse para la elaboración del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica.

**2.2.9 Decreto 3930 de 2010.** Los parámetros químicos y los valores límites máximos permisibles en vertimientos puntuales a cuerpos de agua superficiales y a sistemas de alcantarillado público que se tomaron como referentes para esta investigación, están contemplados en el artículo 11 del decreto 3930<sup>(\*\*)</sup> y se presentan en la siguiente tabla:

---

<sup>13</sup> Tomado de: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=43101#216>

(\*\*) Otros parámetros de referencia conductividad, color y turbiedad no se especifican en este decreto

**Tabla 3.** Características químicas aguas residuales, según Decreto 3930 de 2010

PARÁMETRO	DECRETO 3930 DE 2010
Ph	6 a 9 unidades
Temperatura	< 40 °C
Solidos sedimentales	1,00 ml/l
Demanda química de oxígeno (DQO)	400 mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	200 mg/l
Conductividad	NE
Color real	NE
Olor	NE
Turbiedad	NE
Grasas y aceites	15,0 mg/l

Fuente: [Anónimo] Decreto 3930 De 2010. [Print(0)]. Bogotá D.C. [Consultado el 4/26/20162016]. Disponible en: [http://www.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Proclutivos%20ANDI/Decreto3930\\_2010.pdf](http://www.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Proclutivos%20ANDI/Decreto3930_2010.pdf). Modificados por autores.

**2.2.10 Decreto 1076 de 2015.** Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, que recoge en un solo cuerpo normativo todos los decretos reglamentarios vigentes expedidos hasta la fecha, que desarrollan las leyes en materia ambiental. No contiene ninguna disposición nueva ni modifica las existentes.

En materia ambiental se compilaron en este decreto aproximadamente 1.650 artículos que se encontraban dispersos en 84 decretos reglamentarios.

**2.2.11 Resolución 0631 de 2015.** En esta resolución se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles<sup>(\*\*\*)</sup> en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones. También modifica el sistema de medición de los factores contaminantes que pueden presentarse en las aguas residuales y se definen unos límites máximos de las concentraciones de cada uno de los parámetros contaminantes, clasificándolos por las diversas actividades económicas desarrolladas por las empresas, lo cual vuelve más exigente los requerimientos para obtener los permisos de vertimientos. Para este proyecto se tomó como referencia el capítulo II y el artículo 11.

---

(\*\*\*) Esta resolución no especifica el valor máximo permitido para el parámetro de conductividad. Este valor, lo define cada una de las empresas contratistas

## 2.3 MARCO METODOLÓGICO

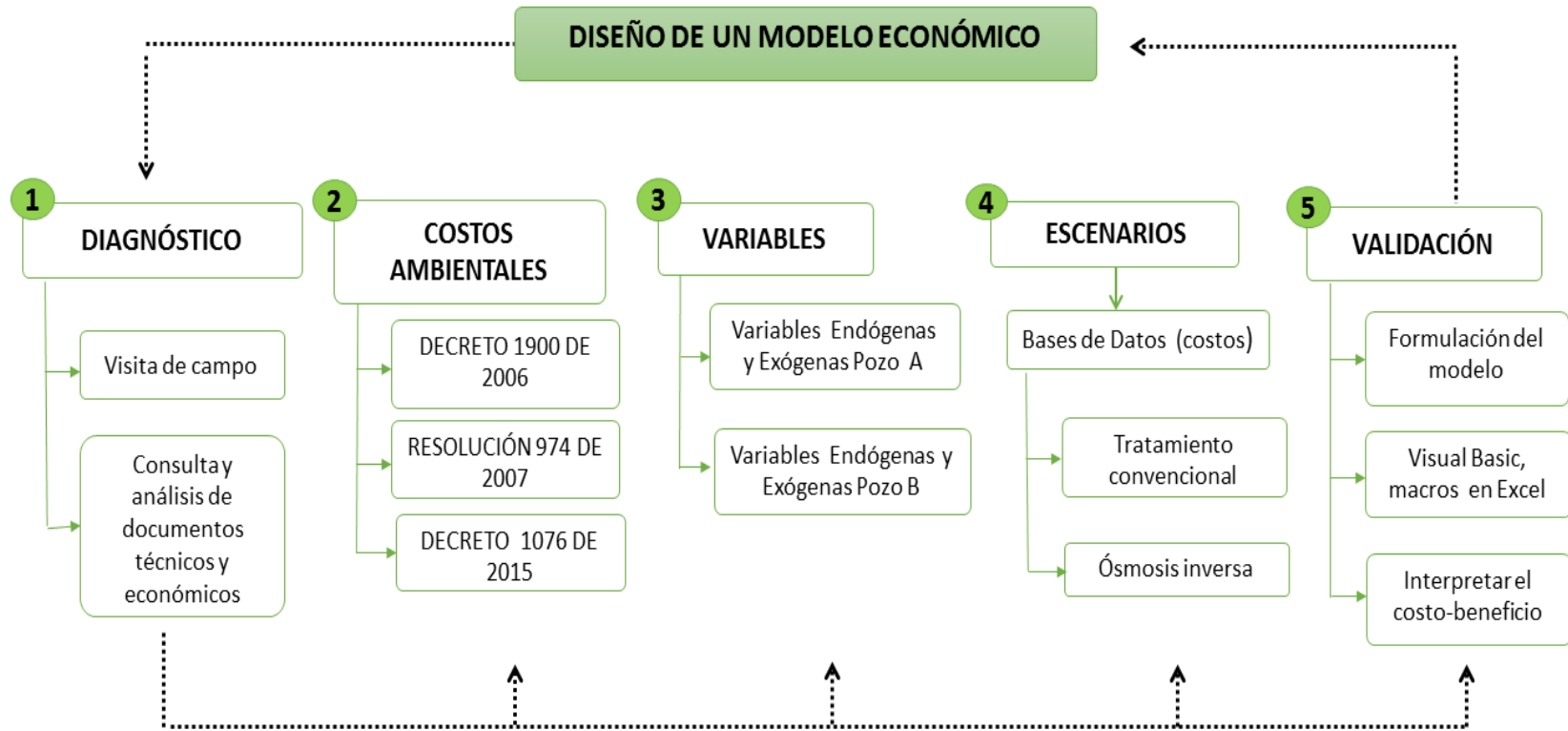
Esta investigación es de tipo exploratoria, descriptiva y analítica. En el Diagrama 3 se representa la metodología utilizada para la realización del proyecto.

Para llevar a cabo el primer objetivo específico relacionado con diagnóstico de la situación actual del uso, manejo y disposición de las aguas residuales industriales de perforación, se acudió a fuentes primarias de información (trabajo de campo en el campo Castilla) y a fuentes secundarias: libros, textos, revistas especializadas, informes, que contenían información de costos asociados al tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación y de técnicas para el manejo de estas aguas. También se obtuvo información de la empresa contratista QMAX SOLUTIONS INC.

Una vez realizada una exhaustiva consulta sobre la normatividad colombiana, se tuvieron en cuenta dos decretos y una resolución (Decreto 1900 de 2006, Resolución 974 de 2007 y el Decreto 1076 de 2015, con el fin de determinar los costos ambientales asociados al tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, segundo objetivo de la investigación. Para cumplir con el tercer objetivo se tomó información de la visita de campo y de los reportes diarios suministrados por la empresa contratista lo cual, permitió identificar las variables endógenas y exógenas que inciden de manera fundamental en el costo -beneficio para el pozo A y pozo B objeto de estudio. Posteriormente y para dar cumplimiento al cuarto objetivo se sistematizó la información, lo que permitió crear una base de datos en Excel y analizar diferentes escenarios en términos de costos según método de tratamiento: convencional y ósmosis inversa.

Para el cumplimiento del quinto objetivo se seleccionó el modelo económico lineal y multivariado como el más pertinente, con la formulación del modelo, se utilizaron herramientas de Visual Basic y macros en Excel para realizar la programación del simulador “Mec - FUAECOP” y así poder realizar la validación del mismo con una simulación de 30 días de actividad y poder interpretar el costo.

**Diagrama 3:** Diseño metodológico del proyecto



### 3. DIAGNÓSTICO

#### 3.1 DIAGNÓSTICO POZO A

El pozo A inició actividades de perforación el día 17 de Julio de 2015 y las finalizó el día 10 de agosto del mismo año, comprendiendo así 25 días de actividad y de tratamiento de aguas. Para tratar las aguas residuales industriales procedentes de perforar este pozo se utilizó el método convencional, el cual es un tratamiento primario. La aplicación de este método, se inicia con la prueba de jarras, la cual es un procedimiento de laboratorio que tiene por objetivo determinar las condiciones químicas aptas para el tratamiento de aguas residuales, permitiendo ajustar el pH, las variaciones del polímero o coagulante y alternar la velocidad del mezclado hasta conseguir la indicada. Es una herramienta que permite tener control sobre las dosis de insumos químicos requeridas, también se utiliza para la selección de coagulantes, estudios de gradientes y tiempos de mezcla, permite evaluar la dilución requerida de coagulantes y la estimación de velocidades de sedimentación<sup>14</sup>. Se realiza con el fin de poder llevar a cabo un tratamiento de aguas residuales a gran escala. La prueba también simula los procesos de coagulación y floculación ayudando a eliminar los coloides en suspensión.

A continuación, se describen cada una de las etapas que comprende realizar este procedimiento y que posteriormente se ilustra en el Diagrama 4.

**ETAPA 1.** Se toman muestras de una piscina o tanque de agua residual que está lista para ser tratada.

**ETAPA 2.** Haciendo uso del medidor multiparámetros se añade coagulante a cada contenedor con muestras de agua, el cual recoge los sólidos y se procede a agitar a aproximadamente 100 rpm.

En esta etapa se agregan los polímeros que son los que recogen coágulos y forman flocs, posteriormente se recogen y se floculan.

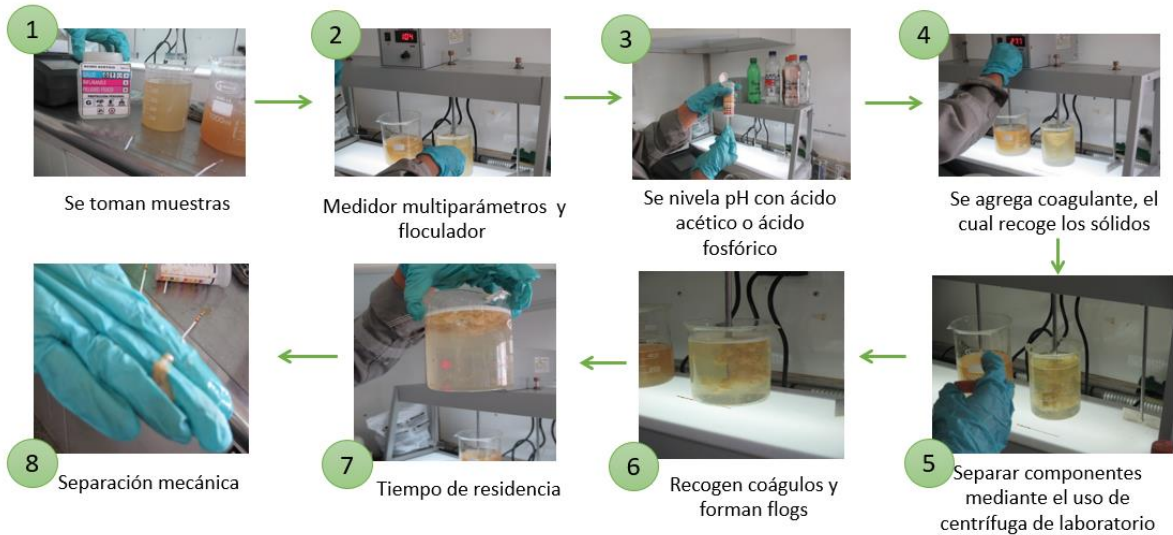
**ETAPA 3.** Se busca neutralizar el pH del agua, para ello es necesario subirlo o bajarlo según sea el caso. Se utiliza cal hidratada para subirlo y ácido acético o ácido fosfórico para bajarlo. El pH debe estar entre 6 y 9, se nivela también con ácido acético o ácido fosfórico siendo este 4 veces más fuerte que el ácido acético. Es necesario reducir la velocidad de agitación de 25 a 35 rpm y se continúa batiendo de 15 a 20 minutos, dado que esta velocidad más lenta ayuda a promover la formulación de los flocs.

---

<sup>14</sup> Silicatos y Derivados S.A. de C.V. Proceso De Coagulación /floculación En El Tratamiento Del Agua. [Electronic(1)].  
Disponible en:<http://www.aniq.org.mx/pqta/pdf/SULFATO%20DE%20ALUMINIO%20%28LIT%29.pdf>

**ETAPA 4.** Una vez se forma el floc, este se sube hasta la superficie y se sedimenta, para lograr esto se aplica peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) que oxigena el agua e hipoclorito (desinfectante que elimina color y olor). Se procede a medir la turbidez final en cada contenedor, aunque esta se puede evaluar a simple vista. Para ser más precisos en la medición es útil realizarla con un nefelómetro el cual permite medir las partículas suspendidas en un líquido.

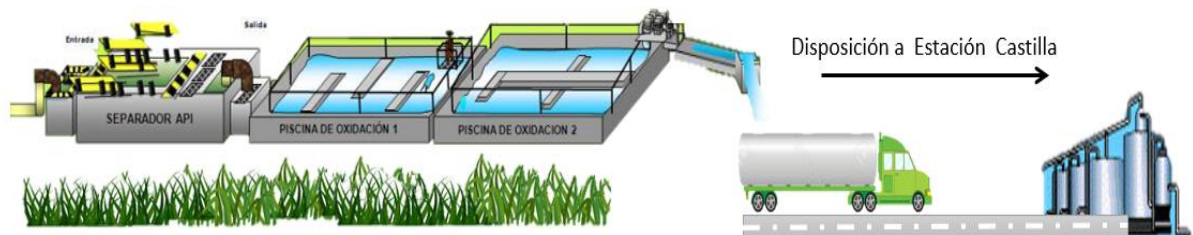
**Diagrama 4.** Prueba de Jarras



Fuente: HOLSAN, Prueba de Jarras, Modificado por autores.

En el pozo A del campo Castilla, se utiliza un sistema de dos piscinas, las cuales tienen la función de contener el agua residual industrial que proviene de la actividad de perforación que posteriormente va a ser tratada, así mismo, en estas piscinas se lleva a cabo el tratamiento a gran escala proveniente de la prueba de jarras como se observa en la Figura 2.

**Figura 2.** Sistema de piscinas y disposición geoambiental



Fuente: <http://ccputumayo.org.co/site/wp-content/uploads/2011/12/OPERACIONES-DE-CAMPOS-PETROLEROS-EN-ENTORNOS-SOSTENIBLES.pdf>, Modificado por autores.

En el pozo A se utilizó el método convencional, para tratar las aguas residuales industriales que se generaron durante los 27 días de perforación tratando en total



11.765 bls, conformados por los siguientes barriles de agua según el hueco de perforación, como se observa en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Cantidad de agua tratada, según hueco de perforación pozo A

	<b>INICIO DE POZO (Volumen Anterior)</b>
<b>CANTIDAD DE AGUA TRATADA</b>	<b>1.258 bls.</b>
<b>HUECO</b>	<b>17 ½</b>
<b>CANTIDAD DE AGUA TRATADA</b>	<b>2.843 bls.</b>
<b>HUECO</b>	<b>12 ¼</b>
<b>CANTIDAD DE AGUA TRATADA</b>	<b>3.713 bls.</b>
<b>HUECO</b>	<b>8 ½</b>
<b>CANTIDAD DE AGUA TRATADA</b>	<b>3.951 bls.</b>

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes Diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

En los dos primeros días se trataron 1.258 bls de aguas residuales industriales provenientes de otro pozo y 10.507 bls durante la perforación llevada a cabo en este pozo.

En la Gráfica 1 se muestra el comportamiento de la cantidad de agua residual industrial de perforación diariamente tratada en el pozo A.

**Gráfica 1.** Cantidad de agua residual industrial diaria, pozo A



Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes Diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

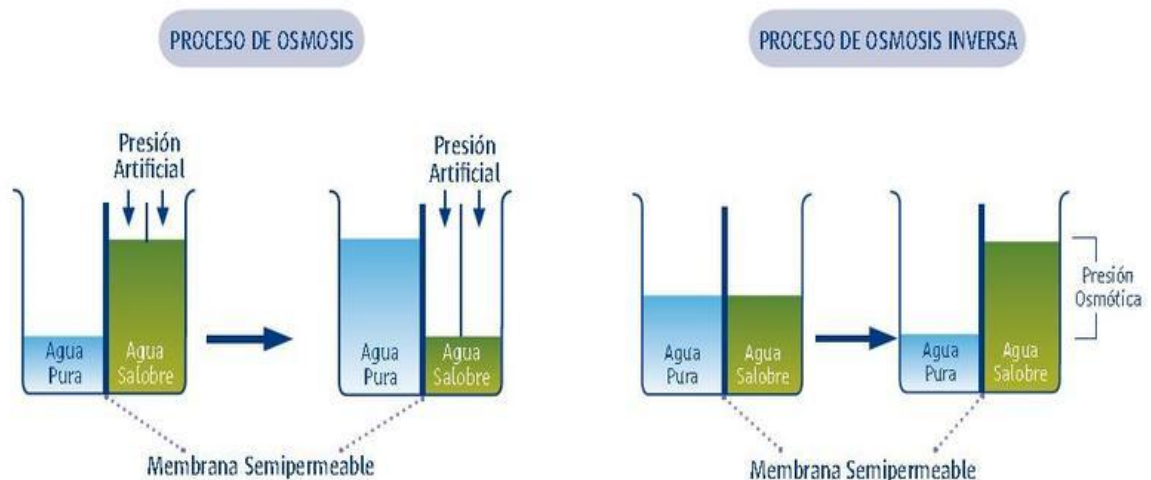
Se observa que en la Gráfica 1 hay una significativa variabilidad en la cantidad de barriles que se trataron cada día.

### 3.2 DIAGNÓSTICO POZO B

El pozo B inició actividades de perforación el día 26 de enero de 2015 y las finalizó el día 26 de marzo del mismo año, comprendiendo así 60 días de actividad y de tratamiento de aguas. Para tratar las aguas residuales industriales procedentes de perforación, las aguas domésticas y la salmuera, se utilizó la tecnología de ósmosis inversa.

La **ósmosis inversa** es un proceso como se muestra en la Figura 3, que consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semipermeable para separar y para quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, los pirogénicos, la materia coloidal sub-micro organismos, virus y bacterias del agua. Se denomina membrana semipermeable a la que contiene poros o agujeros, al igual que cualquier filtro, de tamaño molecular. El tamaño de los poros es tan minúsculo que deja pasar las moléculas pequeñas pero no las grandes, normalmente del tamaño de micras<sup>15</sup>.

**Figura 3.** Proceso de ósmosis inversa



**Fuente:** AQUARA, tratamiento de agua y aguas residuales, Modificado por autores.

Los componentes básicos de una instalación típica de ósmosis inversa consisten en un tubo de presión que en su interior lleva una membrana, normalmente se utilizan varios de estos tubos, ordenados en serie o paralelo<sup>16</sup>. Una bomba que suministra en forma continua el fluido a tratar a los tubos de presión y es la

<sup>15</sup> Fuente: Aquara, ósmosis inversa, Disponible en: <http://aquara.com.pe/productos/osmosis-inversa>

<sup>16</sup> *Ibid.* 16

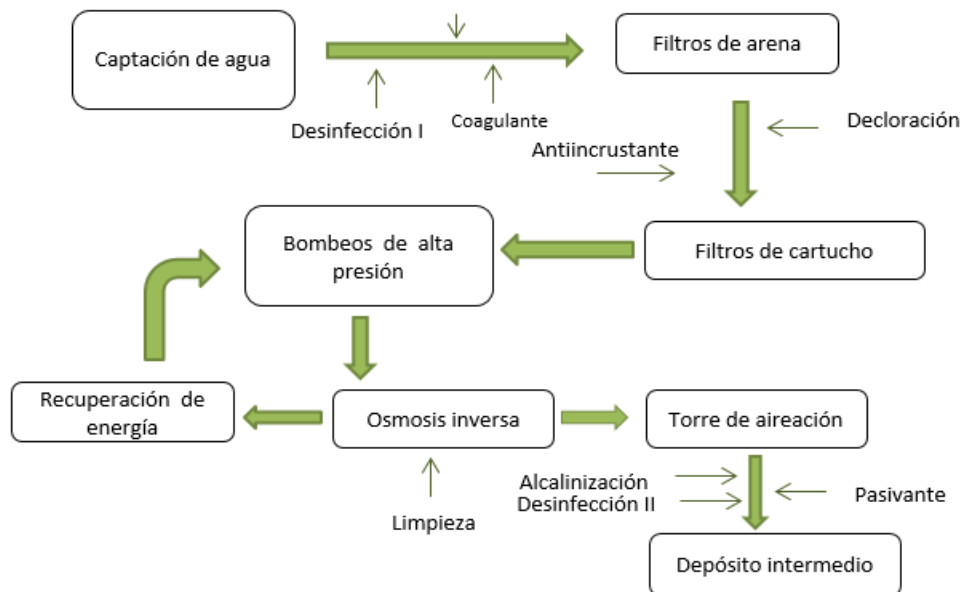
encargada en la práctica de suministrar la presión necesaria para realizar el proceso. Además, se utiliza una válvula reguladora en la corriente de concentrado.

Una instalación de planta de ósmosis inversa puede ser más o menos compleja según sea el tamaño y el tipo de agua a tratar y debe contemplar todos los elementos desde la toma de agua hasta el depósito final para el almacenamiento de permeado, que responda a las características que deben exigirse a un sistema sofisticado.

En dicha instalación (ver Diagrama 5) pueden establecerse cuatro zonas o partes, dotadas de equipos que por su cometido e importancia son muy distintos. Dichas partes son:

- **Captación o toma de agua:** Suministro de agua de alimentación al proceso.
- **Pre tratamiento físico-químico:** Orientado a prevenir los posibles daños que puedan sufrir las membranas.
- **Desalación:** Separación del agua bruta en producto potable y salmuera.
- **Post-tratamiento:** Constituye la etapa final; ajuste de la calidad del agua

**Diagrama 5.** Simplificación de funcionamiento de una planta de ósmosis inversa



**Fuente:** El agua, Desalación, Capítulo 7: Descripción del proceso de ósmosis inversa, disponible en <http://www.mailxmail.com/curso-agua-desalacion-2-4/descripcion-proceso-osmosis-inversa>. Modificado por autores.

En el pozo B, se trataron en total 18.948 bls como se referencia en el Cuadro 2, conformados por las siguientes cantidades de agua según el hueco de perforación:

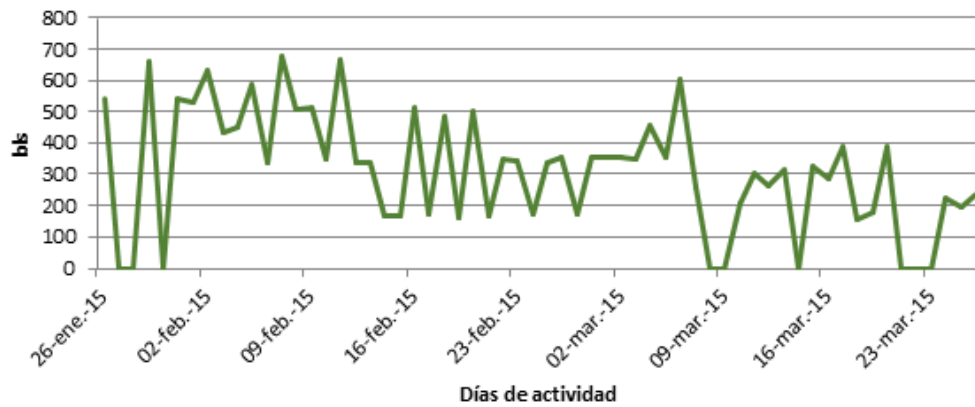
**Cuadro 2.** Cantidad de agua tratada, según hueco de perforación pozo B

HUECO	17 ½
CANTIDAD DE AGUA TRATADA	2.296 bls.
HUECO	12 ¼
CANTIDAD DE AGUA TRATADA	8.964 bls.
HUECO	8 ½
CANTIDAD DE AGUA TRATADA	7.688 bls.

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes Diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores

La Gráfica 2 muestra el comportamiento de la cantidad de agua residual industrial, cantidad de agua residual doméstica y la salmuera diariamente tratada en el pozo B.

**Gráfica 2:** Cantidad de agua tratada ARI, ARD, SALMUERA, pozo B



Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes Diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

De igual manera como se observó en el pozo A, en este pozo también se presenta una gran variabilidad en la cantidad de agua tratada diariamente.

### 3.3 MAQUINARIA Y EQUIPO E INSUMOS USADOS, SEGÚN SISTEMA DE TRATAMIENTO

En el Cuadro 3, se realiza un comparativo de los equipos e insumos que se requieren para el tratamiento de aguas residuales industriales en cada uno de los métodos trabajados: tratamiento convencional y ósmosis inversa.

**Cuadro 3.** Maquinaria y equipo e insumos usados, según sistema de tratamiento

	POZO A		POZO B
MÉTODO	Tratamiento convencional		Ósmosis Inversa
MAQUINARIA Y EQUIPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generador</li> <li>• Tanque de Diesel</li> <li>• Compresor</li> <li>• Tablero de distribución eléctrica</li> <li>• Hidrolavadora industrial agua</li> <li>• Bomba electro sumergible</li> <li>• Bomba 4x3</li> <li>• Bomba neumática Px8</li> <li>• Bomba neumática Px15</li> <li>• Catch tank 180</li> <li>• Catch tank 250</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque escuadra</li> <li>• Frack tank</li> <li>• Caseta de laboratorio</li> <li>• Turbidímetro</li> <li>• Balanza</li> <li>• Phmetro/conductividad</li> <li>• Fotómetro</li> <li>• Floculador</li> <li>• Volqueta sencilla</li> <li>• Retroexcavadora</li> <li>• Camioneta</li> <li>• Carro tanque sencillo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unidad de Osmosis</li> <li>• Tanque de Diesel</li> <li>• Tanque escuadra capacidad 400 BBL</li> <li>• Tanque escuadra capacidad 400 BBL, con bomba eléctrica para trasiego de Fluidos.</li> <li>• Generador.</li> <li>• Tablero de distribución eléctrico.</li> <li>• Turbidímetro</li> <li>• Phmetro/conduct</li> <li>• Fotómetro</li> <li>• Balanza</li> <li>• Flow Meter</li> </ul>
INSUMOS USADOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel</li> <li>• Cal viva</li> <li>• PAC</li> <li>• Cal hidratada</li> <li>• Hipoclorito de calcio</li> <li>• Acido acético</li> <li>• Peróxido</li> <li>• Poliacrilamida catiónica</li> <li>• Poliacrilamida aniónica</li> <li>• Bentonita natural</li> <li>• Bicarbonato de sodio</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diesel</li> <li>• Acido para limpiar membrana</li> <li>• Ácido de disolución acuosa</li> <li>• Poliacrilamida catiónica</li> <li>• Poliacrilamida aniónica</li> <li>• Filtro pitillo 2,5 X30X5 pm ( UND)</li> <li>• Filtros cartuchos 4,5 X 20 X20 pm ( UND)</li> <li>• Exro 614</li> <li>• Floerger FL 156</li> <li>• Idea Antifoul</li> <li>• Peróxido</li> <li>• Hipoclorito de calcio solido</li> </ul>

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Acta de entrega de equipos y reportes diarios y tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

### 3.4 PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Los referentes de estos parámetros físico-químicos, se tomaron de los decretos 1594 de 1984 y 3930 de 2010, así mismo de la resolución 0631 de 2015, los cuales se deben cumplir para poder realizar el vertimiento y la disposición final de las aguas tratadas.<sup>(\*\*\*\*)</sup>

(\*\*\*\*) El decreto y la resolución no especifica el valor máximo permitido para el parámetro de conductividad. Este valor, lo define cada una de las empresas contratistas.

**Tabla 4.** Parámetros físico-químicos establecidos según normatividad, por hueco de perforación y total de la operación para los pozos A y B.

NORMATIVIDAD		PH	CONDUCTIVIDAD	SULFATO	TURBIDEZ	COLOR	CLORUROS	TEMPERATURA
DECRETO 1594 de 1984		5.0 - 9.0	NE	< 400	NE	< 75	< 250	<40 °C
RESOLUCIÓN 0631 DE 2015		5.0 - 9.0	< 2500	< 400	< 75	< 75	< 250	< 40°C
HUECO 17 ½	POZO A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	POZO B	6,77	150,86	8,43	0,00	0,00	18,14	26,14
HUECO 12 ½	POZO A	7,34	2379,88	55,88	18,63	42,00	987,50	27,18
	POZO B	6,97	195,95	19,68	0,00	0,00	46,86	26,45
HUECO 8 ½	POZO A	7,13	2475,55	53,55	14,73	37,09	1259,55	26,95
	POZO B	6,75	202,23	14,16	0,00	0,00	23,10	26,81
TOTAL DE LA OPERACIÓN	POZO A	7,22	2435,26	54,53	16,37	39,16	144,95	27,05
	POZO B	6,84	193,93	15,52	0,00	0,00	31,23	26,60

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

En la Tabla 4, se observan los valores de los parámetros físico-químicos, obtenidos una vez realizado el tratamiento convencional en el pozo A y ósmosis inversa en el pozo B. Se evidencia que ambos métodos cumplen con la normatividad vigente.

Se aprecia que la ósmosis inversa presenta resultados más eficientes que el método convencional, dado que los valores de los parámetros se encuentran en una medida inferior a lo establecido en la normatividad vigente, mientras que los resultados obtenidos al realizar el tratamiento por el método convencional, cumplen con lo establecido, pero están cercanos al límite máximo permisible.

## **4. DETERMINACIÓN DE COSTOS AMBIENTALES**

Existen diferentes proyectos que requieren del uso de los recursos naturales en su proceso de producción, por ello se han incrementado las normas y leyes medioambientales, tendientes a proteger el medio ambiente y sus recursos. Para esta investigación se toma como referencia el decreto 1900 de 2006, donde se reglamenta que se deberá destinar el 1% del total de la inversión para el cuidado y preservación de las cuencas hidrográficas, el decreto 1076 de 2015 sobre tasas por utilización de aguas y la resolución 0974 del 1 de junio de 2007, donde se establece el 10% del total de la inversión, el cual se debe destinar para la elaboración del plan de ordenamiento y manejo de la cuenca hidrográfica. Las dos primeras normas son pagadas por ECOPETROL S.A., mientras que la tercera norma no se ha aplicado y en algún momento ECOPETROL S.A. debe pagar. Teniendo en cuenta estos decretos y resoluciones se determinaron los costos ambientales para los pozos A y B objeto de estudio.

### **4.1 COSTOS AMBIENTALES POZO A**

El cálculo de los costos ambientales, que aparecen referenciados en la Tabla 5 se realizó con base en lo estipulado en el decreto 1900 de 2006, en la resolución 974 de 2005 estos cálculos se estimaron con base en el valor total de la inversión a la cual se le aplicó el 1% y el 10% respectivamente para obtener el costo ambiental por barril y en el total de la actividad de perforación de este pozo. La tasa por utilización de agua se calculó teniendo en cuenta el costo total de captación de agua para el total de los pozos del campo Castilla y posteriormente se dividió en el número de pozos perforados en el año 2015 el resultado de esta operación es el costo de captación por pozo.

**Tabla 5. Costos ambientales pozo A**

**TOTAL INVERSIÓN**

POZO A		
Evento	Costo Ejecutado	
Movilización	USD	672.858
Perforación	USD	3.202.588
Completamiento	USD	905.716
<b>Total General</b>	<b>USD</b>	<b>4.781.163</b>
Fuente: OPENWELLS ®		
<b>CONVERSIÓN USD A COP</b>		<b>CONVERSIÓN USD A COP</b>
PROMEDIO DÓLAR 2015	\$	2.743
Evento	Costo Ejecutado	
Movilización	\$	1.845.912.622
Perforación	\$	8.785.949.155
Completamiento	\$	2.484.733.507
<b>Total General</b>	<b>\$</b>	<b>13.116.595.284</b>
<b>NÚMERO DE POZOS PERFORADOS AÑO 2015</b>		<b>77</b>

		COSTOS TOTAL OPERACIÓN	COSTO POR BARRIL
1%	DECRETO 1900 DE 2006	\$ 131.165.953	\$ 11.149
			COSTO POR BARRIL
10%	RESOLUCIÓN 974 DE 2007	\$ 1.311.659.528	\$ 111.488
			COSTO POR POZO
	TASA POR UTILIZACIÓN DE AGUA	\$ 245.000	\$ 3.182

Fuente: OPENWELLS, Total Inversión pozo A, Modificado por autores.

La Tabla 5 muestra el valor pagado por concepto de la aplicación del decreto 1900 de 2006 cuyo costo por barril es de \$11.149 y la tasa por utilización de agua que da un valor de \$3.182 por pozo perforado. Dado el caso que la empresa tuviera que pagar el 10% de la inversión total del proyecto al que se refiere la resolución 974 de 2007 el valor a pagar subiría a \$111.488 por barril.

#### 4.2 COSTOS AMBIENTALES POZO B

El cálculo de los costos ambientales, que aparecen referenciados en la Tabla 6 se realizó con base en lo estipulado en el decreto 1900 de 2006, en la resolución 974 de 2005 estos cálculos se estimaron con base en el valor total de la inversión a la cual se le aplicó el 1% y el 10% respectivamente para obtener el costo ambiental por barril y en el total de la actividad de perforación de este pozo. La tasa por utilización de agua se calculó teniendo en cuenta el costo total de captación de agua para el total de los pozos del campo Chichimene y posteriormente se dividió en el número de pozos perforados en el año 2015 el resultado de esta operación es el costo de captación por pozo.



**Tabla 6. Costos ambientales pozo B**

**TOTAL INVERSIÓN**

POZO B		
Evento	Costo Ejecutado	
Movilización	USD	523.029
Perforación	USD	4.412.577
Completamiento	USD	2.272.449
<b>Total General</b>	<b>USD</b>	<b>7.208.055</b>
Fuente: OPENWELLS ®		
<b>CONVERSIÓN USD A COP</b>		<b>CONVERSIÓN USD A COP</b>
PROMEDIO DÓLAR 2015	USD	2.743
Evento	Costo Ejecutado	
Movilización	\$	1.434.872.336
Perforación	\$	12.105.419.205
Completamiento	\$	6.234.214.466
<b>Total General</b>	<b>\$</b>	<b>19.774.506.006</b>
<b>NÚMERO DE POZOS PERFORADOS AÑO 2015</b>		<b>77</b>

		COSTOS TOTAL OPERACIÓN	COSTO POR BARRIL
1%	DECRETO 1900 DE 2006	\$ 197.745.060	\$ 10.436
			COSTO POR BARRIL
10%	RESOLUCIÓN 974 DE 2007	\$ 1.977.450.601	\$ 104.362
			COSTO POR POZO
	TASA POR UTILIZACIÓN DE AGUA	\$ 245.000	\$ 3.182

Fuente: OPENWELLS, Total inversión pozo B, Modificado por autores.

La Tabla 6 muestra el valor pagado por concepto de la aplicación del decreto 1900 de 2006 cuyo costo por barril es de \$10.436 y la tasa por utilización de agua que da un valor de \$3.182 por pozo perforado. Dado el caso en que la empresa tuviera que pagar el 10% de la inversión total del proyecto al que se refiere la resolución 974 de 2007 el valor a pagar subiría a \$245.000 por barril.

## 5. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

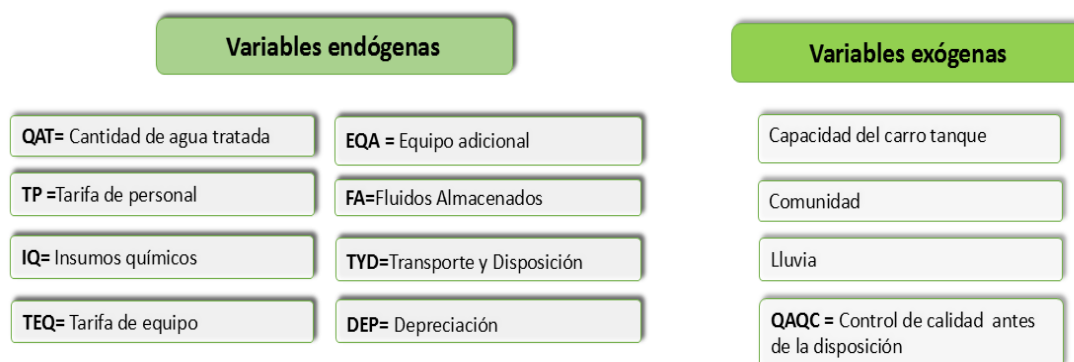
En el modelo económico para determinar el costo-beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, en un campo de ECOPETROL S.A., se identificaron dos clases de variables: endógenas y exógenas. Las variables endógenas son aquellas que se explican dentro del modelo económico a partir de su relación con la variable dependiente. Las variables exógenas, están determinadas fuera del modelo, es decir están predeterminadas.

A continuación, se presentan las variables referidas para el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación para cada pozo objeto de estudio:

### 5.1 VARIABLES ENDÓGENAS Y EXÓGENAS POZO A

En el Cuadro 4 se presentan las variables endógenas y exógenas que inciden en el tratamiento convencional correspondientes al pozo A.

**Cuadro 4.** Variables endógenas y exógenas pozo A:

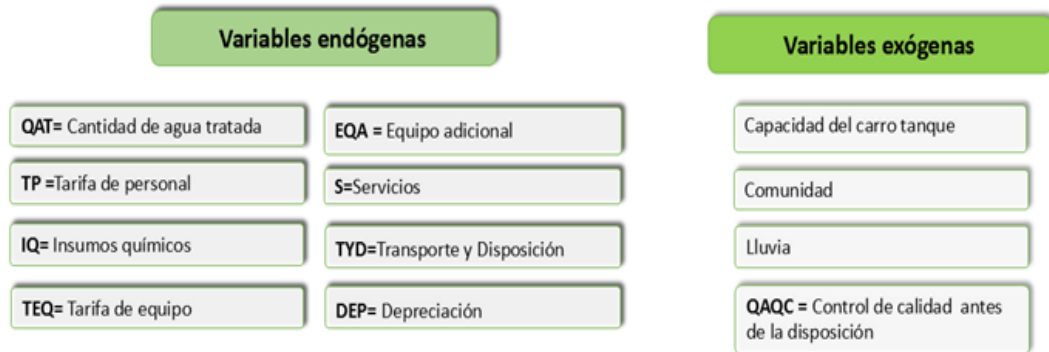


Fuente: QMAX SOLUTIONS Inc. Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación. Modificado por autores

### 5.2 VARIABLES ENDÓGENAS Y EXÓGENAS POZO B

En el Cuadro 5 se presentan las variables endógenas y exógenas que inciden en el tratamiento mediante ósmosis inversa correspondiente al pozo B.

**Cuadro 5.** Variables endógenas y exógenas pozo B:



Fuente: QMAX SOLUTIONS Inc. Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación. Modificado por autores.

Una vez identificadas las variables endógenas y exógenas para cada pozo objeto de estudio, se determinó que la variable dependiente que es el costo total del tratamiento debe desagregarse en costos fijos y costos variables. Para el cálculo del rubro insumos químicos (IQ) y la depreciación (DEP) se realizó una cotización en el mercado con el fin de trabajar con datos reales y dar consistencia al modelo económico.

### 5.3 MODELOS DE REGRESIÓN

La Función 1  $CT=CF+CV$  representa el costo total del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación y está conformada por costos variables y costos fijos. Para validar que tanto explican las variables independientes a la dependiente se tuvo en cuenta el valor del  $R^2$  obtenido luego de estimar cada uno de los modelos.

El modelo de regresión tiene una estructura compuesta por tres funciones o ecuaciones la primera función permite calcular el costo total en función de los costos variables y de los costos fijos, la segunda permite calcular los costos variables que para efectos del proceso son los insumos químicos, fluidos almacenados y la tercera se construyó para calcular los costos fijos.

**5.3.1 Modelo de regresión pozo A.** A continuación, se especifican las diferentes funciones y sus componentes que hacen parte del modelo de regresión trabajado en el estudio.

**Función 1.** Costo total pozo A

$$CT = CV + CF$$

CT: COSTO TOTAL  
CV: Costos Variables  
CF: Costos Fijos

**Función 2.** Costos variables pozo A

$$CV = IQ + EQA + FA$$

CV: COSTOS VARIABLES  
IQ: Insumos químicos  
EQA: Equipo Adicional  
FA: Fluidos Almacenados

**Función 3.** Costos fijos pozo A

$$CF = TP + TEQ + TYD + DEP$$

CV: COSTOS FIJOS  
TP: Tarifa de personal  
TEQ: Tarifa de equipo  
TYD: Transporte y disposición  
DEP: Depreciación

A continuación, se muestran las ecuaciones pertenecientes al costo total, total de costos variables y total de costos fijos del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación para el pozo A.

**Ecuación 1.** Costo total tratamiento aguas residuales industriales de perforación, método convencional.

$$CT = 2.121 IQ * (Q \text{ bls.}) + 9.693 EQA * (Q \text{ bls.}) + 229 FA * (Q \text{ bls.}) + 5.113 TP * (Q \text{ bls.}) + 6.452 TEQ * (Q \text{ bls.}) + 1.826 TYD * (Q \text{ bls.}) + 1.003 DEP * (Q \text{ bls.}) + \mu$$

La Ecuación 1 expresa lo siguiente: Variable dependiente costo total CT en función de las variables independientes: IQ=insumos químicos, EQA=equipo

adicional, FA=fluidos almacenados, TP=tarifa de personal, TEQ=tarifa de equipo adicional, TYD= transporte y disposición, DEP=depreciación.

El valor promedio de cada variable (ver Anexo D) es el resultado de calcular el costo total de insumos químicos, equipo adicional, fluidos almacenados, tarifa de personal, tarifa de equipo adicional, transporte y disposición y la depreciación; utilizados diariamente.

**Ecuación 2.** Costos variables tratamiento aguas residuales industriales de perforación, método convencional.

$$CV = 2.121 IQ * (Q \text{ bls.}) + 9.693EQA * (Q \text{ bls.}) + 229 FA * (Q \text{ bls.}) + \mu$$

$$R^2 = 0,72$$
$$R^2 \text{ ajustado} = 0,67$$

La Ecuación 2 expresa lo siguiente: Variable dependiente costo variable CV en función de las variables independientes: IQ=insumos químicos, EQA=equipo adicional, FA= fluidos almacenados.

El valor de cada variable es el resultado del total de insumos químicos, equipo adicional, fluidos almacenados; utilizados diariamente los cuales se dividieron en la cantidad de días de operación que es una constante que permite obtener el costo promedio para cada variable.

Como se evidencia en la Ecuación 2, en el caso del pozo A (método convencional) se observa que el 72 % de las diferencias respecto a la media aritmética elevadas al cuadrado quedan explicadas por el modelo de regresión.

**Ecuación 3.** Costos fijos tratamiento aguas residuales industriales de perforación, método convencional.

$$CF = 5.113 TP * (Q \text{ bls.}) + 6.452 TEQ * (Q \text{ bls.}) + 1.826 TYD * (Q \text{ bls.}) + 1.003 DEP * (Q \text{ bls.}) + \mu$$

La Ecuación 3 expresa lo siguiente: Variable dependiente costo fijo CF en función de las variables independientes: TP=tarifa de personal, TEQ=tarifa de equipo, TYD=transporte y disposición.

El valor de cada variable es el resultado del total de la tarifa de personal, tarifa de equipo adicional, transporte y disposición y la depreciación; utilizados diariamente

los cuales se dividieron en la cantidad de días de operación que es una constante que permite obtener el costo promedio para cada variable.

### 5.3.2 Modelo de regresión pozo B

#### Función 4. Costo total pozo B

$$CT = CV + CF$$

CT: COSTO TOTAL  
CV: Costos Variables  
CF: Costos Fijos

#### Función 5. Costos variables pozo B

$$CV = IQ + EQA + S + TYD$$

CV: COSTOS VARIABLES  
IQ: Insumos químicos  
EQA: Equipo Adicional  
S: Servicios  
TYD: Transporte y disposición

#### Función 6. Costos fijos pozo B

$$CF = TP + TEQ + DEP$$

CV: COSTOS FIJOS  
TP: Tarifa de personal  
TEB: Tarifa de Equipo Base  
DEP: Depreciación

A continuación, se muestran las ecuaciones pertenecientes al costo total, total de costos variables y total de costos fijos del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación para el pozo B.

#### Ecuación 4. Costo total tratamiento aguas residuales industriales de perforación, ósmosis inversa

$$CT = 9.619IQ * (Q \text{ bls.}) + 4.340EQA * (Q \text{ bls.}) + 18.116 S * (Q \text{ bls.}) + 4.340 TYD * (Q \text{ bls.}) + 6.530 TP * (Q \text{ bls.}) + 6.697 TEB * (Q \text{ bls.}) + 1.746 DEP * (Q \text{ bls.}) + \mu$$

La Ecuación 4 expresa lo siguiente: Variable dependiente costo total CT en función de las variables independientes: IQ=insumos químicos, EQA=equipo

adicional, S=servicios, TYD=transporte y disposición TP=tarifa de personal, TEB=tarifa de equipo base, DEP=depreciación.

El valor promedio de cada variable (ver Anexo D) es el resultado del calcular el costo total de insumos químicos, equipo adicional, servicios, transporte y disposición, tarifa de personal, tarifa de equipo base, y la depreciación; utilizados diariamente.

**Ecuación 5.** Costos variables tratamiento aguas residuales industriales de perforación, ósmosis inversa

$$CV = 9.619IQ * (Q \text{ bls.}) + 4.340EQA * (Q \text{ bls.}) + 18.116 S * (Q \text{ bls.}) + 4.340 TYD * (Q \text{ bls.}) + \mu$$

$$R^2 = 0,96$$
$$R^2 \text{ ajustado} = 0,95$$

La ecuación 5 expresa lo siguiente: variable dependiente costo variable CV en función de las variables independientes: IQ= insumos químicos, EQA= equipo adicional, S= servicios y TYD= transporte y disposición.

El valor de cada variable es el resultado del total de insumos químicos, equipo adicional, servicios y transporte y disposición; utilizados diariamente los cuales se dividieron en la cantidad de días de operación que es una constante.

Como se evidencia en la Ecuación 4, en el caso del pozo B (ósmosis inversa) se observa que el 96% de las diferencias respecto a la media aritmética elevadas al cuadrado quedan explicadas por el modelo de regresión.

**Ecuación 6.** Costos fijos tratamiento aguas residuales industriales de perforación, ósmosis inversa

$$CF = 6.530 TP * (Q \text{ bls.}) + 6.697 TEB * (Q \text{ bls.}) + 1.746 DEP * (Q \text{ bls.}) + \mu$$

La Ecuación 6 expresa lo siguiente: Variable dependiente costo fijo CF en función de las variables independientes: TP= tarifa de personal, TEB= tarifa de equipo base, DEP= depreciación.

El valor de cada variable (ver Anexo N) es el resultado del total de la tarifa de personal, tarifa de personal, tarifa de equipo base y la depreciación; utilizados

diariamente los cuales se dividieron en la cantidad de días de operación que es una constante que permite obtener el costo promedio para cada variable.



## 6. ANÁLISIS DE ESCENARIOS EN TÉRMINOS DE COSTOS CUANTITATIVOS Y CUALITATIVOS

En este capítulo se hace referencia a los costos cuantitativos y cualitativos para los pozos A y B objeto de estudio.

### 6.1 COSTOS CUANTITATIVOS

Como se ha planteado a través de este trabajo, la purificación del agua residual industrial se puede realizar utilizando diferentes tecnologías. En este apartado se realiza un análisis comparativo de los costos en términos cuantitativos que se generan aplicando el método convencional y ósmosis inversa.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos luego de estimar el modelo matemático multivariado y lineal.

**Tabla 7.** Comparativo de costos de tratamiento método convencional y ósmosis inversa

COSTOS	TRATAMIENTO CONVENCIONAL (27 días de actividad) 11.765 bls.		ÓSMOSIS INVERSA (60 días de actividad) 18.948 bls.	
	COSTO POR BARRIL	PROMEDIO DIARIO	COSTO POR BARRIL	PROMEDIO DIARIO
<b>SUPUESTO:</b> Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA				
<u>COSTOS VARIABLES</u>		436 bls.		316 bls.
INSUMOS QUÍMICOS	\$ 2.121	\$924.756	\$ 9.619	\$ 2.939.538
EQUIPO ADICIONAL	\$9.693	\$ 4.226.148	\$ 4.340	\$ 1.326.472
SERVICIOS	NA	NA	\$ 18.116	\$ 5.536.619
FLUIDOS ALMACENADOS	\$ 229	\$ 99.844	NA	NA
TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	NA	NA	\$ 4.340	\$ 1.326.472
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	\$ 12.043	\$ 5.250.748	\$ 36.416	\$ 11.129.101
<u>COSTOS FIJOS</u>				
TARIFA DE PERSONAL	\$ 5.113	\$2.229.268	\$ 6.530	\$ 1.995.606
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$ 6.452	\$ 2.813.072	\$ 6.697	\$ 2.046.776
TARIFA DE TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$ 1.826	\$ 796.136	NA	NA
DEPRECIACIÓN	\$ 1.003	\$ 437.308	\$ 1.746	\$ 533.450
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	\$ 14.393	\$6.275.784	\$ 14.973	\$ 4.575.832
<b>TOTAL</b>	\$ 26.436	\$ 11.526.532	\$ 51.388	\$ 15.704.933

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores. Modificado por autores.

En la Tabla 7 se comparan los costos variables y los costos fijos que inciden en el tratamiento convencional para el pozo A, el de ósmosis inversa para el pozo B. Se observa que tratar un barril de agua mediante el método convencional tiene un costo de \$ 26.436 y mediante el de ósmosis inversa de \$51.388 y tratar 436 bls en

promedio diarios mediante el método convencional costó \$11.526.532 y el costo de tratar 316 bls diarios mediante el de ósmosis inversa fue de \$15.704.933.

**Tabla 8.** Comparativo de costos de tratamiento por huecos de perforación pozo A

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	TRATAMIENTO CONVENCIONAL (27 días de actividad)			
	INICIO DE POZO (Volumen anterior)	HUECO 17 ½	HUECO 12 ¼	HUECO 8 ½
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA POR ETAPA	1.258 bls.	2.843 bls.	3.713 bls.	3.951 bls.
<b>COSTOS VARIABLES</b>				
INSUMOS QUÍMICOS	\$ 2.668.179	\$ 6.029.915	\$ 7.875.158	\$ 8.379.949
EQUIPO ADICIONAL	\$ 12.194.069	\$ 27.557.821	\$ 35.990.921	\$ 38.297.907
FLUIDOS ALMACENADOS	\$ 287.955	\$ 650.761	\$ 849.903	\$ 904.381
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	\$ 15.150.204	\$34.238.497	\$ 44.715.983	\$ 47.582.238
<b>COSTOS FIJOS</b>				
TARIFA DE PERSONAL	\$ 6.431.662	\$ 14.535.147	\$ 18.938.117	\$ 20.199.918
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$ 8.116.146	\$ 18.341.974	\$ 23.954.889	\$ 25.490.376
TARIFA DE TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$ 2.297.023	\$ 5.191.125	\$ 6.779.686	\$ 7.214.258
DEPRECIACIÓN	\$ 1.261.206	\$ 359.915	\$ 3.722.463	\$ 3.961.069
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	\$ 18.106.037	\$ 40.918.492	\$ 53.440.155	\$ 56.865.621
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 33.256.240</b>	<b>\$ 75.156.989</b>	<b>\$ 98.156.137</b>	<b>\$104.447.859</b>

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

La Tabla 8 explica los costos del tratamiento convencional, según el hueco de perforación. En el primer hueco considerado que tiene un diámetro de 17½ pulgadas, se trataron 2.843 bls con un costo de \$75.156.989, en el segundo hueco cuyo diámetro es de 12¼ pulgadas, se trataron 3.713 bls con un costo de \$98.156.137 y finalmente en el tercer hueco de 8½ pulgadas de diámetro, se trataron 3.951 bls que costaron \$104.447.859. Este pozo inicia en los dos primeros días su operación con 1.258 bls de agua provenientes de otro pozo y su tratamiento tuvo un costo de \$33.256.240.

**Tabla 9.** Comparativo de costos de tratamiento por huecos de perforación pozo B

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	TRATAMIENTO ÓSMOSIS INVERSA (60 días de actividad)		
	HUECO 17 ½	HUECO 12 ¼	HUECO 8 ½
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA POR ETAPA	2.296 bls.	8.964 bls.	7.688 bls.
<b>COSTOS VARIABLES</b>			
INSUMOS QUÍMICOS	\$ 22.084.077	\$ 86.220.236	\$ 73.947.030
EQUIPO ADICIONAL	\$9.965.480	\$38.907.038	\$ 33.368.732
SERVICIOS	\$ 41.595.357	\$162.395.812	\$139.279.228
TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$ 9.965.480	\$38.907.038	\$ 33.368.732
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$ 83.610.393</b>	<b>\$326.430.125</b>	<b>\$ 279.963.721</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>			
TARIFA DE PERSONAL	\$ 14.992.535	\$58.533.575	\$50.201.486
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$ 15.376.959	\$60.034.436	\$ 51.488.704
DEPRECIACIÓN	\$4.007.687	\$ 15.646.736	\$ 13.419.467
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$34.377.182</b>	<b>\$ 134.214.746</b>	<b>\$ 115.109.658</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 117.987.575</b>	<b>\$ 460.644.871</b>	<b>\$ 395.073.379</b>

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

La Tabla 9 presenta los costos del tratamiento mediante ósmosis inversa, según el hueco de perforación. En el hueco de 17½ pulgadas de diámetro se trataron 2.296 bls con un costo de \$117.987.575, en el hueco de 12¼ pulgadas de diámetro, se trataron 8.964 bls y su costo fue de \$460.644.871 y en el hueco de 8½ pulgadas de diámetro, se trataron 7.688 bls y su costo fue de \$395.073.379.

**Tabla 10.** Comparativo de costos de tratamiento por etapas con costos ambientales pozo A

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	INICIO DE POZO (Volumen anterior)	TRATAMIENTO CONVENCIONAL (27 días de actividad)			TOTAL POZO A
		HUECO 17 ½	HUECO 12 ¼	HUECO 8 ½	
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA	1258 bls.	2.843 bls.	3.713 bls.	3.951 bls.	11.765 bls.
COSTO TOTAL OPERACIÓN (No Incluye Costos Ambientales)	\$ 33.256.240	\$ 75.156.989	\$ 98.156.137	\$ 104.447.859	\$ 311.017.225
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)	\$ 47.281.805	\$ 106.853.873	\$ 139.552.737	\$ 148.497.944	\$ 442.186.360
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)	\$ 187.534.052	\$ 423.815.033	\$ 553.508.694	\$ 588.988.109	\$ 1.753.845.888

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

En la Tabla 10, se registran los costos por cada hueco de operación y los totales para el pozo A, que utilizó el método de tratamiento convencional; se trabajaron dos escenarios; uno, sin incluir los costos ambientales y el otro incluyéndolos. El costo total de la operación teniendo en cuenta que se trataron 11.765 bls fue de

\$311.017.225 sin incluir los costos ambientales, incluyendo el 1% y TUA, subió a \$442.186.360 y adiconándole el 10%<sup>(\*\*\*\*\*)</sup>.

**Tabla 11.** Comparativo de costos de tratamiento por etapas con costos ambientales pozo B

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	TRATAMIENTO ÓSMOSIS INVERSA (60 días de actividad)			
	HUECO 17 ½	HUECO 12 ½	HUECO 8 ½	TOTAL POZO B
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA	2.296 bls.	8.964 bls.	7.688 bls.	<u>18.948 bls.</u>
COSTO TOTAL OPERACIÓN (No Incluye Costos Ambientales)	\$ 117.987.575	\$ 460.644.871	\$ 395.073.379	<u>\$ 973.705.825</u>
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)	\$141.949.469	\$ 554.196.446	\$ 475.308.152	<u>\$1.171.454.067</u>
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)	\$381.564.551	\$1.489.697.142	\$ 1.277.642.975	<u>\$3.148.904.668</u>

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

En la Tabla 11, se registran los costos por cada hueco de operación y los totales para el pozo B, que utilizó el método de tratamiento por ósmosis inversa, al igual que en el pozo A, se trabajaron dos escenarios; uno, sin incluir los costos ambientales y otro incluyéndolos. El costo total de la operación teniendo en cuenta que se trataron 18.948 bls fue de \$973.705.825 sin incluir los costos ambientales, incluyéndolo el 1% y TUA, el costo subió a \$1.171.454.067 y adiconándole el 10%<sup>(\*\*\*\*\*)</sup>, dicho costo total se incremento a \$3.148.904.668.

**Tabla 12.** Comparativo de costos de tratamiento por barril, pozo A y pozo B con costos ambientales

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	TRATAMIENTO CONVENCIONAL (27 días de actividad) 11.765 bls.	ÓSMOSIS INVERSA (60 días de actividad) 18.948 bls.
	COSTO POR BARRIL	COSTO POR BARRIL
COSTOS		
COSTO TOTAL POR BARRIL ( NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)	\$ 26.436	\$51.388
COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA )	\$ 37.585	\$ 61.825
COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)	\$ 149.073	\$ 166.187

Fuente: QMAX SOLUTIONS INC, Reportes diarios tratamiento de aguas residuales industriales de perforación, Modificado por autores.

En la Tabla 12, se realiza el comparativo de costos entre los dos métodos convencional y ósmosis inversa, el costo por barril tratado mediante el primer método es de \$26.436 sin incluir los costos ambientales, incluyendo el 1% del

(\*\*\*\*\*) Según Decreto 1900 de 2006

(\*\*\*\*\*) Según Decreto 1900 de 2006

decreto 1900 de 2006 y la TUA, tratar un barril tuvo un costo de \$37.585. Finalmente, si se incluyera el 10% al que hace alusión la resolución 974 de 2007, tratar un barril tendría un costo de \$149.073.

Mediante el método ósmosis inversa, el costo por barril tratado fue de \$51.388 sin incluir los costos ambientales, incluyendo el 1% y la TUA, el costo subió a \$61.825. Finalmente, si se incluyera el 10% al que hace alusión la resolución 974 de 2007, tratar un barril tendría un costo de \$166.187.

## **6.1 COSTOS CUALITATIVOS**

Todo proceso que se cuantifique debe ir complementado con análisis cualitativo. En el caso de esta investigación el contrastar los resultados cuantitativos con los elementos cualitativos permitió establecer que en términos de costos monetarios es más favorable el método convencional, en cambio en términos de los resultados del tratamiento en cuanto a calidad, pureza del agua y minimización del impacto ambiental es más pertinente el método de ósmosis inversa cuyo fin primordial es purificar el agua residual para poder devolverla de manera segura a las fuentes naturales, propiciando su reutilización en la perforación, en actividades agrícolas y demás actividades sin que conlleve afectación para los seres humanos y el medio ambiente. La Tabla 4, página 54, se observa que los valores de los parámetros establecidos por la normatividad vigente, en el método convencional, no obstante que se cumplen están muy cercanos al límite máximo permitido, mientras que en el método de osmosis inversa dichos parámetros se encuentran en una medida muy inferior a lo establecido en la normatividad.

En el Cuadro 6 se realiza un comparativo de las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos propuestos (tratamiento convencional y ósmosis inversa) desde un punto de vista cualitativo. Son mayores las ventajas que ofrece la ósmosis inversa.

**Cuadro 6.** Ventajas y desventajas, según método de tratamiento convencional y ósmosis inversa.

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<b>CONVENCIONAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo costo de operación.</li> <li>• Bajo costo de insumos químicos, requeridos para el tratamiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de lodos con alto costo adicional de tratamiento.</li> <li>• El agua tratada por este método es poco reutilizada.</li> <li>• Trata por separado los diferentes tipos de aguas: ARI-ARID.</li> </ul>
<b>ÓSMOSIS INVERSA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una tecnología amigable con el medio ambiente.</li> <li>• Proporciona altos niveles de remoción.</li> <li>• Proceso fácilmente automatizado.</li> <li>• El agua tratada por ósmosis inversa posee una alta calidad, con una salinidad muy baja o nula.</li> <li>• La unidad de ósmosis tiene una larga vida útil.</li> <li>• Se tratan las diferentes aguas provenientes de la actividad: ARI-ARID-salmuera.</li> <li>• Por cada barril de agua que se trate, el 90% de este es reutilizado y el 10% es vertido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto costo de la membrana.</li> </ul>

## 7. VALIDACIÓN

Para la validación de la pertinencia del diseño del modelo económico seleccionado se realizó una sensibilización, es decir se creó un escenario hipotético que permitió normalizar los días de perforación en 30 para ambos métodos y bajo el supuesto de que se trataron 14.645 bls de aguas residuales industriales, en el total de la operación, por cada uno de los métodos. Es preciso tener en cuenta que mediante el método convencional se tratan solamente aguas residuales industriales y el de ósmosis inversa permite el tratamiento simultáneo de aguas residuales industriales, aguas residuales domésticas y de salmuera.

**Tabla 13.** Comparativo de costos de tratamiento, 30 días de actividad

COSTOS	TRATAMIENTO CONVENCIONAL (30 días de actividad) 14.645 bls.		ÓSMOSIS INVERSA (30 días de actividad) 14.645 bls.	
	COSTO POR BARRIL	PROMEDIO DIARIO	COSTO POR BARRIL	PROMEDIO DIARIO
<b>SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA</b>				
<b>COSTOS VARIABLES</b>				
INSUMOS QUÍMICOS	\$ 1.957	\$ 955.458	\$ 6.411	\$ 3.129.746
EQUIPO ADICIONAL	\$ 7.787	\$ 3.801.357	\$ 3.389	\$ 1.654.380
SERVICIOS	NA	NA	\$ 12.798	\$ 6.247.589
FLUIDOS ALMACENADOS	\$ 221	\$ 108.100	NA	NA
TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	NA	NA	\$ 3.389	\$ 1.654.380
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$ 9.966</b>	<b>\$ 4.864.915</b>	<b>\$ 25.987</b>	<b>\$ 12.686.095</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>				
TARIFA DE PERSONAL	\$ 4.564	\$ 2.227.772	\$ 4.088	\$ 1.995.606
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$ 5.759	\$ 2.811.237	\$ 4.193	\$ 2.046.776
TARIFA DE TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$ 1.630	\$ 795.633	NA	NA
DEPRECIACIÓN	\$ 895	\$ 436.851	\$ 1.093	\$ 5.333.450
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$ 12.847</b>	<b>\$ 6.271.493</b>	<b>\$ 9.374</b>	<b>\$ 4.575.832</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 22.813</b>	<b>\$ 11.136.408</b>	<b>\$ 35.361</b>	<b>\$ 17.261.927</b>

En la Tabla 13 se comparan los costos variables y los costos fijos que inciden en el tratamiento convencional y de ósmosis inversa. Tratar un barril de agua mediante el tratamiento convencional tiene un costo de \$22.813 y tratarlo mediante ósmosis inversa, tiene un costo de \$35.361. Tratar 488 bls en promedio diario por el método convencional cuesta \$11.136.408 y tratarlo por ósmosis inversa cuesta \$17.261.927.

**Tabla 14.** Escenario simulación - costos de tratamiento por huecos de perforación (método convencional)

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	TRATAMIENTO CONVENCIONAL (30 días de actividad)			
	INICIO DE POZO (Volumen anterior)	HUECO 17 ½	HUECO 12 ¼	HUECO 8 ½
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA POR ETAPA	1.258 bls.	2.843 bls.	5.939 bls.	4.605 bls.
<b>COSTOS VARIABLES</b>				
INSUMOS QUÍMICOS	\$ 2.462.204	\$5.564.424	\$11.624.030	\$9.013.076
EQUIPO ADICIONAL	\$9.796.055	\$22.138.461	\$46.247.035	\$35.859.168
FLUIDOS ALMACENADOS	\$278.572	\$629.556	\$1.315.137	\$1.019.735
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$12.536.831</b>	<b>\$28.332.442</b>	<b>\$59.186.201</b>	<b>\$45.891.978</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>				
TARIFA DE PERSONAL	\$5.740.943	\$12.974.167	\$27.102.911	\$21.015.138
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$7.244.525	\$16.372.165	\$34.201.298	\$26.519.107
TARIFA DE TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$2.050.337	\$4.633.632	\$9.679.613	\$7.505.408
DEPRECIACIÓN	\$1.125.761	\$2.544.148	\$5.314.700	\$4.120.929
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$16.161.566</b>	<b>\$36.524.112</b>	<b>\$76.298.523</b>	<b>\$59.160.582</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$28.698.398</b>	<b>\$64.856.553</b>	<b>\$135.484.724</b>	<b>\$105.052.560</b>

La Tabla 14 explica los costos del tratamiento convencional, según el hueco de perforación. En el primer hueco considerado que tiene un diámetro de 17½ pulgadas, se trataron 2.843 bls con un costo de \$28.698.398, en el segundo hueco cuyo diámetro es de 12¼ pulgadas, se trataron 5.939 bls con un costo de \$135.484.724 y finalmente en el tercer hueco de 8½ pulgadas de diámetro, se trataron 4.605 bls que costaron \$105.052.560. Este pozo inicia en los dos primeros días su operación con 1.258 bls de agua provenientes de otro pozo y su tratamiento tuvo un costo de \$28.698.398.



**Tabla 15.** Escenarios simulación – Costos de tratamiento por huecos de perforación (ósmosis inversa)

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	ÓSMOISIS INVERSA (30 días de actividad)			
	INICIO DE POZO (Volumen anterior)	HUECO 17 ½	HUECO 12 ¼	HUECO 8 ½
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA POR ETAPA	1.257 bls.	2.844 bls.	5.940 bls.	4.604 bls.
<b>COSTOS VARIABLES</b>				
INSUMOS QUÍMICOS	\$8.058.908	\$18.233.519	\$38.082.666	\$29.517.272
EQUIPO ADICIONAL	\$4.259.930	\$9.638.218	\$ 20.130.455	\$15.602.797
SERVICIOS	\$ 16.087.168	36.397.699	\$76.020.510	\$58.922.294
TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$4.259.930	\$9.638.218	\$ 20.130.455	\$15.602.797
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$32.665.935</b>	<b>\$73.907.653</b>	<b>\$154.364.086</b>	<b>\$119.645.161</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>				
TARIFA DE PERSONAL	\$5.138.567	\$11.626.162	\$24.282.489	\$18.820.973
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$ 5.270.325	\$11.924.267	\$24.905.118	\$119.303.563
DEPRECIACIÓN	\$1.373.601	\$3.107.814	\$6.491.005	\$5.031.075
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$11.782.494</b>	<b>\$26.658.244</b>	<b>\$55.678.612</b>	<b>\$43.155.611</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$44.448.430</b>	<b>\$100.565.898</b>	<b>\$210.442.698</b>	<b>162.800.771</b>

La Tabla 15 explica los costos del tratamiento mediante ósmosis inversa, según el hueco de perforación. En el primer hueco considerado que tiene un diámetro de 17½ pulgadas, se trataron 2.844 bls con un costo de \$100.565.898, en el segundo hueco cuyo diámetro es de 12¼ pulgadas, se trataron 5.940 bls con un costo de \$210.442.698 y finalmente en el tercer hueco de 8½ pulgadas de diámetro, se trataron 4.604 bls que costaron \$162.800.771. Este pozo inicia en los dos primeros días su operación con 1.257 bls de agua provenientes de otro pozo y su tratamiento tuvo un costo de \$44.448.430.

**Tabla 16.** Escenario simulación - costos de tratamiento por huecos de perforación, con costos ambientales (método convencional)

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	TRATAMIENTO CONVENCIONAL (30 días de actividad)				
	INICIO DE POZO (Volumen Anterior)	HUECO 17 ½	HUECO 12 ¼	HUECO 8 ½	TOTAL
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA	1.258 Bls.	2.843 Bls.	5.939 Bls.	4.605 Bls.	14.645 Bls.
COSTO TOTAL OPERACIÓN (No Incluye Costos Ambientales)	\$28.698.398	\$64.856.553	\$135.484.724	\$105.052.560	\$334.902.235
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)	\$ 41.354.101	\$93.457.639	\$195.232.121	\$151.379.679	\$481.423.541
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% , TUA Y 10%)	\$167.908.406	\$379.462.321	\$792.693.184	\$614.640.868	\$1.954.704.779

La Tabla 16 toma como referencia los costos totales por hueco de perforación en un primer escenario sin incluir los costos ambientales, en un segundo escenario incluyéndolos y adicionándole 1% y TUA y un tercer escenario con costos ambientales más el 1%, TUA y 10%. Teniendo en cuenta los escenarios

mencionados el costo total de la operación tratando 14.645 bls por cada uno de los escenarios mencionados fue de: \$334.902.235, \$481.423.541, \$1.954.704.779, respectivamente.

**Tabla 17.** Escenario simulación - costos de tratamiento por huecos de perforación, con costos ambientales (ósmosis inversa)

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	ÓSOSIS INVERSA ( 30 días de actividad)				TOTAL
	HUECO 0	HUECO 17 ½	HUECO 12 ½	HUECO 8 ½	
CANTIDAD DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL TRATADA	1.257 Bls.	2.844 Bls.	5.940 Bls.	4.604 Bls.	14.645 Bls.
COSTO TOTAL OPERACIÓN (No Incluye Costos Ambientales)	\$44.448.430	\$100.565.898	\$210.042.698	\$162.800.771	\$517.857.797
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)	\$ 61.421.426	\$138.967.810	\$290.240.223	\$224.967.579	\$715.606.039
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% , TUA Y 10%)	\$231.148.665	\$522.980.750	\$1.092.301.566	\$846.625.658	\$2.693.056.639

La Tabla 17 toma como referencia los costos totales por hueco de perforación en un primer escenario sin incluir los costos ambientales, en un segundo escenario incluyéndolos y adicionándole 1% y TUA y un tercer escenario con costos ambientales más el 1%, TUA y 10%. Teniendo en cuenta los escenarios mencionados el costo total de la operación tratando 14.645 bls por cada uno de los escenarios mencionados fue de: \$517.857.797, \$715.606.039, \$2.693.056.639, respectivamente.

**Tabla 18.** Escenario simulación - costos de tratamiento por barril, con costos ambientales

SUPUESTO: Q DE AGUA PRODUCIDA O UTILIZADA = Q DE AGUA TRATADA	TRATAMIENTO CONVENCIONAL	ÓSOSIS INVERSA
	COSTO POR BARRIL	COSTO POR BARRIL
COSTO TOTAL POR BARRIL ( NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)	\$ 22.813	\$35.361
COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA )	\$32.873	\$48.864
COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)	\$133.473	\$183.889

En la Tabla 18 se realiza el comparativo de costos entre los dos métodos convencional y ósmosis inversa, el costo por barril tratado mediante el primer método es de \$22.813 sin incluir los costos ambientales, incluyendo el 1% del decreto 1900 de 2006 y la TUA, tratar un barril tuvo un costo de \$32.873. Finalmente, si se incluyera el 10% al que hace alusión la resolución 974 de 2007, tratar un barril tendría un costo de \$133.473.

Mediante el método ósmosis inversa, el costo por barril tratado fue de \$35.361 sin incluir los costos ambientales, incluyendo el 1% y la TUA, el costo subió a

\$48.864. Finalmente, si se incluyera el 10% al que hace alusión la resolución 974 de 2007, tratar un barril tendría un costo de \$183.889.

## **8. SIMULADOR “Mec-FUAECOP”**

Se diseñó un simulador, que es una herramienta interactiva que permite de manera muy práctica construir escenarios hipotéticos o reales en términos de costos.

En este apartado se detalla el proceso seguido para estructurar el simulador, que constituye una herramienta metodológica muy eficaz para la estimación de los costos variables, costos fijos y el costo total en que se incurre en diferentes periodos de tiempo y diversos pozos, permitiendo actualizar la información y obtener simultáneamente los resultados entre el método convencional y ósmosis inversa respectivamente.

### **8.1 FUNCIONALIDAD DEL SIMULADOR “Mec-FUAECOP”**

El simulador se estructuró de acuerdo con los siguientes criterios:

- Facilitar el acopio y la sistematización de la información según carácter real o hipotético.
- Identificar los requerimientos propios de cada método en cuanto a: maquinaria y equipo e insumos químicos.
- Conocer la estructura de costos fijos y variables para cada método de tratamiento, según huecos de perforación, promedio diario de la cantidad de bls de agua tratados y por barril.
- Calcular los costos totales de operación, sin incluir costos ambientales e incluyéndolos y adicionándole:
  - a. 1% y TUA.
  - b. 1%, TUA, 10%.
- Permite actualizar los valores de las diferentes variables incluidas en el modelo.

### **8.2 MANUAL “Mec-FUAECOP”**

El simulador “Mec-FUAECOP” cuenta con un manual, que de manera detallada orienta su utilización. (ver Anexo A).

## 9. CONCLUSIONES

- El modelo económico que explica el costo total del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación es multivariado, pero no transversal (como se planteó en la hipótesis). Se formuló de forma lineal debido a que se adecúa más a la información suministrada, por series de tiempo.
- Los valores de los parámetros físico-químicos que se obtienen una vez realizado el tratamiento mediante ósmosis inversa cumplen de manera efectiva con lo establecido en la normatividad colombiana (Decreto 1594 de 1984, Resolución 0631 de 2015), mientras que los resultados obtenidos al realizar el tratamiento por el método convencional cumplen con lo establecido, pero están cercanos al límite máximo permitido.
- El estudio identificó las variables endógenas que influyen en el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación para el pozo A: cantidad de agua tratada, tarifa de personal, insumos químicos, tarifa de equipo, equipo adicional, fluidos almacenados, transporte y disposición y depreciación. Así mismo para el pozo B: cantidad de agua tratada, tarifa de personal, insumos químicos, tarifa de equipo, equipo adicional, servicios, transporte y disposición y depreciación.
- Las variables exógenas que se determinaron para el pozo A y para el pozo B son: capacidad del carro tanque, comunidad, lluvia y control de calidad antes de la disposición.
- El agua residual industrial de perforación tratada mediante el método convencional resulta ser más económica, dado que tratar un barril de agua tiene un costo de \$22.813 pero sus costos cualitativos son mayores, porque estas aguas son poco reutilizadas y aún tienen componentes.
- Utilizar el método de ósmosis inversa para tratar un barril de agua tiene un costo de \$35.361 pero los costos cualitativos que genera son mínimos, dado que el 90% a 93% se reutiliza.
- La tecnología ósmosis inversa es amigable con el medio ambiente, ya que no produce ni utiliza ningún tipo de producto químico nocivo durante su proceso. Además, permite tratar los diferentes tipos de aguas (ARI, ARD y Salmuera) que se generan durante la actividad de perforación.

- Con relación a los criterios de eficiencia técnica y asignativa (en términos de costos) incluidos en el marco teórico, se estableció que el método de ósmosis valida el concepto de eficiencia técnica y el método convencional el de eficiencia asignativa.
- Siendo el agua un bien público de carácter no excluible y no rival, tal como se plantea en el marco teórico por Quemada y García, en la vista de campo realizada, se encontró que no se le da un tratamiento como tal de bien público, sino que en realidad se ha convertido en un bien excluible y rival.
- Si bien es cierto que, en el corto plazo, el costo del tratamiento mediante ósmosis inversa es más alto en promedio por barril y para el total de la operación, en el largo plazo llega un momento en que convergen en el punto de equilibrio los costos de ambos métodos.
- Las variables que se incluyeron en el estudio del tratamiento del agua residual industrial de perforación mediante ósmosis inversa, explican el 96% del valor de la variable costo total del tratamiento.
- Las variables que se incluyeron en el estudio del tratamiento del agua residual industrial mediante el método convencional explican el 72% del valor de la variable costo total del tratamiento.
- El diseño del modelo económico se proyectó en el simulador “Mec-FUAECOP”, el cual permite realizar de manera muy ágil y funcional, un comparativo en términos económicos de manera desagregada en costos totales de operación, costo por barril y costos según hueco de perforación.
- El simulador “Mec-FUAECOP”, permite realizar análisis de sensibilidad para tomar la opción más viable en términos de costos cuantitativos.

## 10.RECOMENDACIONES

- Se sugiere utilizar el modelo económico lineal y multivariado para determinar el costo-beneficio del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación antes y después de realizarse la perforación.
- ECOPETROL S.A. debe tener bajo su control y en su base de datos oficial toda la información de tratamiento de aguas bien sea convencional o ósmosis inversa, con el fin de analizar la información para poder hacer análisis de costos.
- Es importante supervisar y revisar los informes que son suministrados por las empresas contratistas, de manera rigurosa, debido a que, en la revisión y sistematización de la información, se detectaron inconsistencias.
- Dentro de los reportes diarios se debe especificar el costo por barril de agua tratado, para cada rubro en que se incurra, debido a las características del modelo propuesto.
- Se recomienda la utilización de ósmosis inversa para el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación debido a que es el método más eficiente en términos cualitativos toda vez que proporciona agua tratada de buena calidad que puede ser reutilizada en la perforación, en actividades agrícolas y así mismo ayuda a mitigar pasivos en términos ambientales particularmente.

## BIBLIOGRAFÍA

BERRÍO GUZMÁN, Deisy y CASTRILLÓN CIFUENTES, Jaime. Costos Para Gerenciar Organizaciones Manufactureras Comerciales y De Servicio. Uninorte ed. Barranquilla, Colombia: 2008. 291 p.

British Petroleum, Exploration Company (Colombia) Limited. Procedimientos Ambientales De Perforación. Santafé de Bogotá: Octubre 1997. 79 p.

BROGENS, Amy Anne. Protection and Management of Submerged Cultural Resources in Texas Waters. [Electronic (1)]. 4/5/2014. [Consultado el 10/28/2014]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/OTC-21450-MS>

CAMELO, Milton Samuel. Sobre El Desarrollo De La Teoría De Los Bienes Públicos Locales. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2009. p. 1-92.

CEPAL, *et al.* Aplicación Del Principio Contaminador-Pagador En América Latina: Evaluación De La Efectividad Ambiental y Eficiencia Económica De La Tasa Por Contaminación Hídrica En El Sector Industrial Colombiano. Santiago de Chile: CEPAL, 2002. 72 p. ISBN 1564-4189

CEPAL, *et al.* Eficiencia y Su Medición En Prestadores De Servicios De Agua Potable y Alcantarillado. [Electronic(1)]. 2011. [Consultado el 10/30/2014]. Disponible en: <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/8/42728/lcw385e.pdf>

[Anónimo]Consulta De La Norma: Decreto 1594 De 1984. [Print(0)]. Bogotá D.C. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>

[Anónimo]Consulta De La Norma: Ley 373 De 1997. [Print(0)]. Santa Fe de Bogotá, D.C. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=342>

[Anónimo]Consulta De La Norma: Decreto 155 De 2004. [Print(0)]. Bogotá, D.C. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=13545>

[Anónimo]Consulta De La Norma: Decreto 1728 De 2002. [Print(0)]. Bogotá, D.C. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=5548>



[Anónimo]Consulta De La Norma: Decreto 2811 De 1974. [Print(0)]. Bogotá D.C. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1551>

Contraloría General de la República. Fundamentos Metodológicos Para La Valoración De Los Costos Ambientales. Bogotá D.C: 1994.

DAZA RUBIANO, Henry. La Industria Petrolera En El Huila En La Década Del 90, Universidad Nacional De Colombia. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2010. p. 3-208.

DE LA TORRE, Ignacio. Ingeniería Financiera. Madrid, España.: LID, 2006. 200 p. ISBN 9788488717887

[Anónimo]Decreto 3930 De 2010. [Print(0)]. Bogotá D.C. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: [http://www.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Procultivos%20ANDI/Decreto3930\\_2010.pdf](http://www.andi.com.co/es/PC/SobProANDI/Documentos%20Sobre%20Procultivos%20ANDI/Decreto3930_2010.pdf)

[Anónimo]Derecho Del Bienestar Familiar [DECRETO\_1076\_2015] [Print(0)]. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: [http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto\\_1076\\_2015.htm](http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_1076_2015.htm)

[Anónimo]Derecho Del Bienestar Familiar [RESOLUCION\_MINAMBIENTEDS\_0631\_2015] [Print(0)]. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: [http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_minambienteds\\_0631\\_2015.htm](http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambienteds_0631_2015.htm)

[Anónimo]Derecho Del Bienestar Familiar [RESOLUCION\_MINAMBIENTEVDT\_0974\_2007] [Print(0)]. Bogotá D.C. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en: [http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion\\_minambientevdt\\_0974\\_2007.htm](http://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minambientevdt_0974_2007.htm)

Ecopetrol S.A. Reporte Integrado De Gestión Sostenible 2013. [Electronic(1)]. 2013.[Consultado el 11/3/2014]. Disponible en: [http://www.ecopetrol.com.co/documentos/ecopetrol\\_2013.pdf](http://www.ecopetrol.com.co/documentos/ecopetrol_2013.pdf)

FAIR GORDON, Maskew; GEYER, John Charles y OKUN, Daniel Alexander. Purificación De Aguas y Tratamiento y Remoción De Aguas Residuales. 13 a ed. 1979. 764 p.

FAIR GORDON, Maskew; GEYER, John Charles y OKUN, Daniel Alexander. Abastecimiento De Agua y Remoción De Aguas Residuales. 13 a ed. México: 1998. 548 p.

FENNESSEY, Karl, STAUDT, Wilfred y DELL, Jan. Water Management: Concept to Implementation. [Electronic(1)]. 3/19/2014. [Consultado el 11/7/2014]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-168474-MS>

GARCÍA, Martha, *et al.* Medio Ambiente En Colombia, El Agua. 1998.

GUATIBONZA BARBOSA, Paula Andrea y LEYTON RESTREPO, Sebastián. Evaluación De Las Cepas De Microorganismos Presentes En El Agua Residual Industrial De Perforación Para La Remoción De Contaminantes De La Misma En Los Frentes De Perforación Del Área De Chichimene De La Empresa de Ecopetrol S.A. Bogotá D.C.: Fundación Universidad de América, 2015.

HERNANDEZ SANCHO, Francesc y Molinos Senate, María, Sala Garrido, Ramón. Estudio De Viabilidad Económica Para El Tratamiento De Aguas Residuales A Través De Un Análisis Coste Beneficio. 2/15/2010.p. 1

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486.Sexta actualización. Bogotá: El instituto, 2008, p.1

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas, contenido, forma y estructura..NTC 5613. Bogotá: El instituto, 2008, p-2.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias documentales para fuentes de informaciones electrónicas.NTC 4490. Bogotá: El instituto, 1998, p-2.

MACA MILLÁN, Gloria Stefanya. Evaluación Económica De Un Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales En La Ciudad De Guadalajara De Buga. Santiago de Cali.: Universidad del Valle, 2014. p. 1.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Decreto 1900 De 2006. [Electronic(1)]. [Consultado el 4/26/2016]. Disponible en:[https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/dec\\_1900\\_20\\_06\\_2-77.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/dec_1900_20_06_2-77.pdf)

MOELLER, Gabriela, *et al.* Metodología Para La Planeación Y Evaluación Financiera De Proyectos De Inversión Para Estudios De Reúso. 07/01/2011.

MONROY, Juan Carlos. El Costo De La Indiferencia Ambiental: Valoración De Costos Ambientales Instrumentos De Política y Crisis Ambiental. 1 a ed. ed. Bogotá D.C: Bogotá Universidad del Rosario 2011, 2011. 230 p. ISBN 9789587382273

NEMEROW, Nelson Leonard. Aguas Residuales Industriales, Teorías, Aplicaciones y Tratamientos. Tursen, S.A. Hermann Blume Ediciones ed. 1977. 572 p. ISBN 8472140946, 9788472140943

PARASARATHY, Harikrishnan. Diminishing Environmental Footprint & Cost in Offshore Produced Water Treatment. [Electronic(1)]. Mayo/5. [Consultado el Octubre/ 302015]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/OTC-21893-MS>

PURE AQUA, Inc. Tratamiento De Agua y Sistemas De Ósmosis Inversa. [Electronic(1)]. Enero /5/. [Consultado el 2//20/2016]. Disponible en: <http://www.wqpmag.com/sites/wqpmag.com/files/whitepapers/Profile in Spanish 0.pdf>

R.D, Stuart, et al. One Company's Upstream Water Resources Management Guide. [Electronic(1)]. Marzo/19. [Consultado el 6/15/2014]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-168520-MS>

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento De Aguas Residuales Teoría y Principios De Diseño. Tercera, febrero 2004 ed. Bogotá D.C: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2004. 1248 p. ISBN 9588060133

RUBIANO DAZA Henry. La Industria Petrolera En El Huila En La Década Del 90. BOGOTÁ.: Universidad Nacional de Colombia, 2010.

SANINT, Enrique Ángel. Métodos Cuantitativos Para La Toma De Decisiones Ambientales. 2da. ed. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2004. 153 p. ISBN 958-9352-15-4

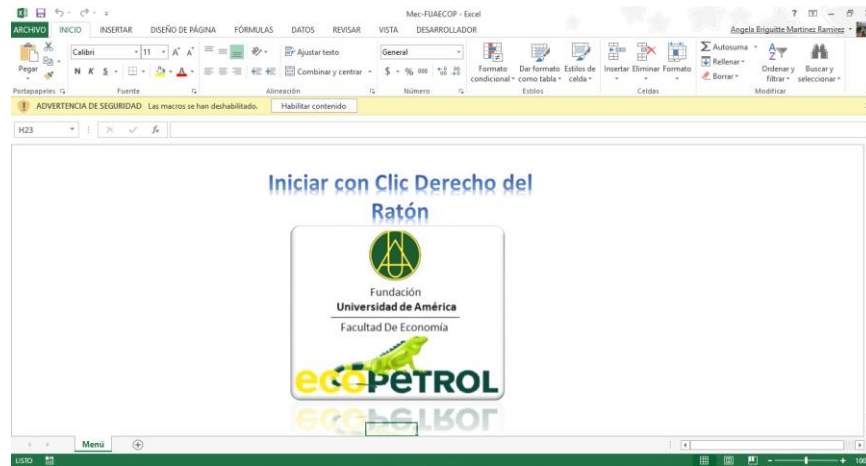
WUESTENFELD, Karen S., et al. Improving Management of Environmental and Social Impacts and Risks: Processes, Capability Development, and Tools to Help Practitioners. [Electronic(1)]. 3/19/2014. [Consultado el 07/15/2014]. Disponible en: <https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-168570-MS>

## **ANEXOS**

## ANEXO A

### MANUAL: SIMULADOR, MODELO ECONÓMICO PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO-BENEFICIO DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN, EN UN CAMPO DE ECOPETROL S.A.

1. Al abrir el archivo Mec-FUAECOP encontrará lo siguiente:



Dar clic en *habilitar* el contenido, posteriormente se abrirá el siguiente cuadro de diálogo:

1. Si usted es usuario por favor introduzca su Id. Usuario y Clave.

Si usted no se encuentra registrado por favor contáctese con el personal de servicios de la Biblioteca Baldomero Sanín Cano – Campus de los Cerros, el cual le asignará un Id. Usuario y Clave.

Una vez realizado el registro, podrá tener acceso al simulador, donde se abrirá el siguiente menú:



En este menú se encuentran cada una de las variables que explican el costo total del tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación, para cada uno de los métodos de tratamiento en cuestión:

- **MÉTODO CONVENCIONAL:**

$$CT = 2.121 IQ * (QBBL) + 9.693 EQA * (QBBL) + 229 FA * (QBBL) + 5.113 TP * (QBBL) + 6.452 TEQ * (QBBL) + 1.826 TYD * (QBBL) + 1.003 DEP * (QBBL) + \mu$$

- **ÓSMOSIS INVERSA:**

$$CT = 6.661 IQ * (QBBL) + 4.330 EQA * (QBBL) + 16.942 S * (QBBL) + 4.213 TYD * (QBBL) + 6.214 TP * (QBBL) + 6.697 TEB * (QBBL) + 1.672 DEP * (QBBL) + \mu$$

Por tanto, es necesario abrir cada uno de los botones como se muestra a continuación y diligenciar la información, para que el simulador pueda estimar el comparativo para cada tipo de tratamiento.

**NOTA:** Es necesario que usted SIEMPRE diligencie primero los datos correspondientes al botón: Barriles de Agua Tratados. Posteriormente se pueden diligenciar las demás variables en el orden de izquierda a derecha.

## BARRILES DE AGUA:

BARRILES DE AGUA TRATADOS

Fecha: 14/08/2015  
Días: 31

Tratamiento de Agua Industrial por Barril

Tratamiento de Agua por Barril  
Doméstica Residual Salmuera

Ingresar

### Método Convencional

FECHA	DÍA	DIARIO BBLs
15/07/2015	1	1126
16/07/2015	2	132
17/07/2015	3	1516
18/07/2015	4	377
19/07/2015	5	591
20/07/2015	6	359
21/07/2015	7	164
22/07/2015	8	88
23/07/2015	9	730
24/07/2015	10	611
25/07/2015	11	69
26/07/2015	12	164
27/07/2015	13	396
28/07/2015	14	906
29/07/2015	15	107
30/07/2015	16	478
31/07/2015	17	692
01/08/2015	18	346
02/08/2015	19	113
03/08/2015	20	333

Total BBLs Tratados: \$11.611  
Promedio BBLs: \$387

### Ósmosis Inversa

FECHA	DÍA	TRAT. AGUA DOMESTICA	TRAT. AGUA RESIDUAL	TRAT. DE AGUA SALMUERA	TOTAL BBLs
15/07/2015	1	375	375		1125
16/07/2015	2	44	44		132
17/07/2015	3	505	505		1515
18/07/2015	4	126	126		378
19/07/2015	5	197	197		591
20/07/2015	6	120	120		360
21/07/2015	7	55	55		165
22/07/2015	8	29	29		87
23/07/2015	9	243	243		729
24/07/2015	10	204	204		612
25/07/2015	11	23	23		69
26/07/2015	12	55	55		165
27/07/2015	13	132	132		396
28/07/2015	14	302	302		906
29/07/2015	15	36	36		108
30/07/2015	16	159	159		477
31/07/2015	17	231	231		693
1/08/2015	18	115	115		345
2/08/2015	19	38	38		114

Total BBLs Tratados: \$12.076  
Promedio BBLs Diarios: \$403

Cerrar

En este botón de barriles de agua, aparecen simultáneamente dos cuadros, el primero hace referencia al método convencional el cual trata aguas residuales industriales y el segundo a ósmosis inversa el cual reúne y trata las aguas residuales domésticas, residuales industriales y la salmuera. Primero se debe ingresar la fecha en que se planea empezar la perforación de determinado pozo o si ya se perforó digitar la fecha en que empezó.

Se debe proceder a diligenciar cada casilla con los datos que se considera hipotéticamente pueden llegar a ocurrir o con los datos reales que se tengan de un pozo ya perforado. A medida que se ingresan los datos, estos aparecen de forma horizontal en cada uno de los cuadros. Al terminar de digitarlos se hace clic en el botón: *ingresar*, así los datos quedan guardados en el simulador para posteriormente arrojar el respectivo cálculo del total de barriles de agua tratados y el promedio diario de los mismos.

Una vez se ingresen todos los datos según el total de días de perforación, hacer clic en el botón cerrar. De esta manera los datos quedan guardados.

**NOTA:** los datos que se ingresen no se pueden modificar, por lo tanto, se debe estar seguro de los valores. Debido a que, si usted ingresó un dato de manera incorrecta, deberá realizar el proceso de ingreso desde el primer día de operación.

## INSUMOS QUÍMICOS:

Insumos Químicos

Fecha Inicio: 25/03/2016      Numero de Días:

**A**

Insumos Químicos A	Valor
<input type="checkbox"/> DIESEL (Gal)	\$7.865
<input type="checkbox"/> CAL VIVA	\$280.000
<input type="checkbox"/> PAC 5x (25 kg)	\$52.500
<input type="checkbox"/> CAL HIDRATADA 5x (10 kg)	\$2.700
<input type="checkbox"/> HIPOCLORITO CAL Cn (45)	\$11.760
<input type="checkbox"/> ACIDO ACETICO (GLS)	\$3.782
<input type="checkbox"/> PEROXIDO (GLS)	\$2.780
<input type="checkbox"/> QFLOC -02 5x(25kg)	\$102.877
<input type="checkbox"/> QFLOC N-29 5x (25 Kg)	\$154.316
<input type="checkbox"/> BENTONITA NATURAL 5x (	\$1.986
<input type="checkbox"/> BICARBONATO DE SODIO :	\$2.234

**B**

Insumos Químicos B	Valor
<input type="checkbox"/> DIESEL (Gal)	\$7.865
<input type="checkbox"/> ACIDO QOWAC-03 (Gal)	\$ 51.103
<input type="checkbox"/> ALKALINO QOWAK 19 (Gal)	\$ 10.099
<input type="checkbox"/> ANTIFOULING QAOF- 16 (C	\$ 15.577
<input type="checkbox"/> MICROBICIDA QOBAC- 27	\$ 23.363
<input type="checkbox"/> FILTRO PITILLO 2,5 X30XE	\$ 85.000
<input type="checkbox"/> FILTROS CARTUCHO DE 4	\$ 140.000
<input type="checkbox"/> EXRO 614	\$ -
<input type="checkbox"/> IDEA ANTIFOUL	\$ 2.194
<input type="checkbox"/> PEROXIDO	\$ 2.780
<input type="checkbox"/> HIPOCLORITO DE CALCIO	\$ 11.760
<input type="checkbox"/> MEMBRANAS (UND)	\$ 9.874.800
<input type="checkbox"/> EXRO FL 2565	\$ -
<input type="checkbox"/>	

Aceptar

Al accionar el botón: *Insumos Químicos*, se abre el anterior cuadro de diálogo en donde es necesario elegir cuales fueron o serán los insumos químicos que van a ser utilizados para el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación. En el cuadro A se hace referencia al método convencional y en el cuadro B al tratamiento por ósmosis inversa.

Una vez seleccionados, aparecerá la siguiente hoja:


Fecha	Día	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo
21/07/2015	7	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
22/07/2015	8	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
23/07/2015	9	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
24/07/2015	10	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
25/07/2015	11	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
26/07/2015	12	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
27/07/2015	13	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
28/07/2015	14	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
29/07/2015	15	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
30/07/2015	16	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
31/07/2015	17	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
01/08/2015	18	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
02/08/2015	19	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
03/08/2015	20	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
04/08/2015	21	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
05/08/2015	22	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
06/08/2015	23	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
07/08/2015	24	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
08/08/2015	25	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
09/08/2015	26	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
10/08/2015	27	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
11/08/2015	28	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
12/08/2015	29	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0
13/08/2015	30	DIESEL (Gal)		\$7.865,00	0	CAL VIVA		\$280.000,00	0

Se debe abrir la hoja correspondiente a cada método de tratamiento y en las columnas de color gris se deben ingresar las cantidades a usar o usadas diariamente de cada uno de los insumos químicos. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic derecho para retornar al menú inicio.



## INVERSIÓN:

Inversión ×



TRM
1

INVERSIÓN		
Evento	Costo Ejecutado USD	Costo Ejecutado Pesos
Movilización	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Completamiento	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Perforación	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>
Total General	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>



Al abrir el botón *Inversión*, en primer lugar, encontramos una casilla referente a la TRM (Tasa Representativa del Mercado), ésta tiene como fin realizar la conversión de Dólares a Pesos, para cada evento: movilización, completamiento y perforación.

Se debe ingresar los respectivos rubros en que se incurrirá o se incurrió. Finalmente debe hacer clic en el botón *Ingresar*.

## EQUIPO ADICIONAL:

Al accionar el botón: *Equipo Adicional*, se abre el siguiente cuadro de diálogo en donde es necesario elegir cuales fueron o serán los equipos adicionales (si los hay) que van a ser utilizados para el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación. En el cuadro A se hace referencia al método convencional y en el cuadro B al tratamiento por ósmosis inversa.

Equipo Adicional

Fecha Inicio: 15/07/2015      Numero de Días: 30

**A**

Equipo Adicional A

- MOVILIZACION EQUIPOS ENTRE LOCALACIONES
- VOLQUETA DE 6 M3
- FRAC TANK ADICIONAL
- TARIFA POR MOVILIZACION DE FRAC TANK DE 500 E
- RETROEXCAVADORA SOBRE ORUGA
- TRANSPORTE Y DISPOSICION DE AGUA TRATADA
- TANQUE ABIERTO DE 400 BBL
- CARROTRANQUE 80 BBLs

**B**

Equipo Adicional B

- MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION FRAC TANK
- MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION TANQUE ABIERTO
- MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE
- MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION PLANTA ELECTRIC
- MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION PLANTA TRATAMIE
- TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Val
- ALQUILER DE FRAC TANK

Aceptar

Una vez seleccionados, aparecerá la siguiente hoja:

Fecha	Día	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo	Nombre.Insumo	Usado
27/03/2016	1	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
28/03/2016	2	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
29/03/2016	3	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
30/03/2016	4	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
31/03/2016	5	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
01/04/2016	6	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
02/04/2016	7	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
03/04/2016	8	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
04/04/2016	9	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
05/04/2016	10	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
06/04/2016	11	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
07/04/2016	12	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
08/04/2016	13	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
09/04/2016	14	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
10/04/2016	15	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
11/04/2016	16	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
12/04/2016	17	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
13/04/2016	18	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
14/04/2016	19	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
15/04/2016	20	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	
16/04/2016	21	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION CARROTRANQUE		\$0,00	0	TRANSPORTE DE CONCENTRADO EN TRACTOMULA (Valor x KM )	

Se debe abrir la hoja correspondiente a cada equipo adicional y en las columnas de color gris se deben ingresar las cantidades a usar o usadas diariamente de cada uno de los equipos adicionales. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic derecho para retornar al menú inicio.

## DEPRECIACIÓN:

Depreciación Modelo A

TIPO	Nombre del Activo	Moneda	PRECIO ADQUISICIÓN INICIAL	CONVERSIÓN A COP	VIDA ÚTIL (AÑOS)	DEPRECIACIÓN POR AÑO
MAQUINARIA Y EQUIPO	GENERADOR	Euro	5.271	17.483.907	10	1.748.390,70
MAQUINARIA Y EQUIPO	COMPRESOR	Pesos	3.204.000	3.204.000	10	320.400,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA	Pesos	1.400.000	1.400.000	10	140.000,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	TURBIDIMETRO	Pesos	3.970.000	3.970.000	10	397.000,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	BALANZA	Pesos	2.350.000	2.350.000	10	235.000,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	PIMETRO	Pesos	180.000	180.000	10	18.000,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	FOTOMETRO	Pesos	3.308.000	3.308.000	10	330.800,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	FLOCULADOR	Dolar	3.000	8.230.170	10	823.017,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	RETROEXCAVADORA	Pesos	290.000.000	290.000.000	10	29.000.000,00
MAQUINARIA Y EQUIPO	CASITA DE LABORATORIO	Pesos	5.000.000	5.000.000	20	250.000,00
INSTALACIONES Y EQUIPO DE BOMBEO	CATCH TANK 250	Pesos	15.000.000	15.000.000	15	1.000.000,00
INSTALACIONES Y EQUIPO DE BOMBEO	CATCH TANK 180	Pesos	13.800.000	13.800.000	15	920.000,00
INSTALACIONES Y EQUIPO DE BOMBEO	TANQUE ESCUADRIA	Pesos	8.340.000	8.340.000	15	556.000,00
INSTALACIONES Y EQUIPO DE BOMBEO	FRAC TANK	Dolar	25.000	68.564.720	15	4.572.316,67
INSTALACIONES Y EQUIPO DE BOMBEO	MOTO BOMBA 4X3	Pesos	15.000.000	15.000.000	18	833.333,33
INSTALACIONES Y EQUIPO DE BOMBEO	BOMBA NEUMÁTICA 9X8	Dolar	5.044	13.837.851	18	768.769,51
INSTALACIONES Y EQUIPO DE BOMBEO	TANQUE DIESEL	Pesos	19.000.000	19.000.000	10	633.333,33
EQUIPO DE TRANSPORTE	VOLQUETA SENCILLA	Pesos	195.600.000	195.600.000	5	39.120.000,00
EQUIPO DE TRANSPORTE	CAMIONETA	Pesos	78.000.000	78.000.000	5	15.600.000,00
EQUIPO DE TRANSPORTE	CARROTANQUE SENCILLO	Pesos	300.000.000	300.000.000	5	60.000.000,00

Depreciación Anual	\$	127.266.450,2	Euro	3.317,00
Depreciación Mensual	\$	13.105.537,5	Dolar	2.745,39
Depreciación Diaria	\$	436.851,3		

Al accionar el botón: *Depreciación*, se abre el anterior cuadro de diálogo en donde se encuentra la diferente maquinaria y equipo correspondiente a los pozos A y B, con su precio de adquisición inicial y vida útil en años. Estos datos posteriormente pueden ser editados dado el caso en que cambie su precio de adquisición inicial o su vida útil. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic derecho para retornar al menú inicio.

## FLUIDOS ALMACENADOS:

Al accionar el botón: *Fluidos Almacenados*, se abre el siguiente cuadro de diálogo en donde es necesario elegir cuales fluidos posiblemente van a ser almacenados o fueron almacenados en el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación. En el cuadro A se hace referencia al método convencional y en el cuadro B al tratamiento por ósmosis inversa.

Fluidos

Fecha Inicio: 15/07/2015    Numero de Días: 30

**A**

Fluidos Almacenados A	Valor
<input type="checkbox"/> FT 0095	500
<input type="checkbox"/> TK LODO UDW	500
<input type="checkbox"/> TK AGUA UDW	500
<input type="checkbox"/> PIT CONTINGENCIA	500
<input type="checkbox"/> PIT PREMEZCLA	500
<input type="checkbox"/> PIT No. 1	500
<input type="checkbox"/>	

**B**

Fluidos Almacenados B	Valor
<input type="checkbox"/>	

Aceptar

Una vez seleccionados, aparecerá la siguiente hoja:

Fecha	Día	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo
15/07/2015	1	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
16/07/2015	2	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
17/07/2015	3	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
18/07/2015	4	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
19/07/2015	5	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
20/07/2015	6	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
21/07/2015	7	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
22/07/2015	8	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
23/07/2015	9	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
24/07/2015	10	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
25/07/2015	11	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
26/07/2015	12	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
27/07/2015	13	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
28/07/2015	14	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
29/07/2015	15	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
30/07/2015	16	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
31/07/2015	17	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
01/08/2015	18	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
02/08/2015	19	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
03/08/2015	20	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
04/08/2015	21	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
05/08/2015	22	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
06/08/2015	23	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
07/08/2015	24	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
08/08/2015	25	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
09/08/2015	26	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
10/08/2015	27	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
11/08/2015	28	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
12/08/2015	29	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	
13/08/2015	30	FT 0095		\$500,00		TK LODO UDW		\$500,00		TK AGUA UDW		\$500,00	

Se debe abrir la hoja correspondiente a cada fluido almacenado y en las columnas de color gris se deben ingresar las cantidades a usar o usadas diariamente de cada uno de los fluidos. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic derecho para retornar al menú inicio.

## COSTOS FIJOS:

Al accionar el botón: *Costos Fijos*, se abre el siguiente cuadro de diálogo en donde se encuentran las tarifas correspondientes a: Personal en locación, equipo base y transporte para los pozos A y B. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic derecho para retornar al menú inicio.

Costos Fijos A	Valor
Personal	2.227.772,00
Equipo	2.811.236,50
Transporte	795.633,00

Costos Fijos B	Valor
Personal	\$ 1.995.606,39
Equipo	\$ 2.046.775,80
Transporte	\$ 273.000,00

## SERVICIOS

Al accionar el botón: *Servicios*, se abre el siguiente cuadro de diálogo en donde es necesario elegir cuales fueron o serán los servicios que van a ser utilizados para el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación. En el cuadro A se hace referencia al método convencional y en el cuadro B al tratamiento por ósmosis inversa.

Servicios

Fecha Inicio: 15/07/2015    Numero de Dias: 13

Servicios A	Valor
-------------	-------

Servicios B	Valor
<input type="checkbox"/> TRAT DE AGUAS POR BARR	\$3.070,16
<input type="checkbox"/> TRAT DE AGUAS POR BARR	\$8.698,80
<input type="checkbox"/> TRAT DE AGUAS POR BARR	\$20.467,76
<input type="checkbox"/> TRAT Y DISPOSICION FINU	\$63.961,74
<input type="checkbox"/> MULAS ENVIADAS DE CONK	\$180,00
<input type="checkbox"/> CONCENTRADO - CONCEBY	\$1.111,42

Visualizar Información    Aceptar

Se debe abrir la hoja correspondiente a cada servicio y en las columnas de color gris se deben ingresar las cantidades a usar o usadas diariamente de cada uno de los servicios. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic derecho para retornar al menú inicio.

Fecha	Día	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo
15/07/2015	1	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
16/07/2015	2	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
17/07/2015	3	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
18/07/2015	4	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
19/07/2015	5	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
20/07/2015	6	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
21/07/2015	7	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
22/07/2015	8	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
23/07/2015	9	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
24/07/2015	10	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
25/07/2015	11	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	\$0,00
26/07/2015	12	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
27/07/2015	13	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
28/07/2015	14	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
29/07/2015	15	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
30/07/2015	16	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
31/07/2015	17	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
01/08/2015	18	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
02/08/2015	19	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
03/08/2015	20	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
04/08/2015	21	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
05/08/2015	22	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
06/08/2015	23	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
07/08/2015	24	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
08/08/2015	25	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
09/08/2015	26	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
10/08/2015	27	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
11/08/2015	28	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
12/08/2015	29	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	
13/08/2015	30	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA SERVIDA (NEGRA Y GRIS)		\$3.070,16	0	TRAT DE AGUAS POR BARRIL AGUA RESIDUAL		\$8.698,80	

## COSTOS AMBIENTALES

Al accionar el botón: *Costos Ambientales*, se abre el siguiente cuadro de diálogo en donde es necesario **SOLO** ingresar el número de pozos perforados en el periodo anterior. Es necesario hacer clic en el *Total General* y así se realiza el respectivo cálculo.

Costos Ambientales

Decreto 1900 de 2006

Resolución 974 de 2007

TRM

Nº Pozos Periodo Anterior



COSTOS AMBIENTALES		
Evento	Costo Ejecutado USD	Costo Ejecutado Pesos
Movilización	1.234,00	\$3.331.800
Completamiento	12.345,00	\$33.331.500
Perforación	12.345,00	\$33.331.500
<b>Total General</b>	<b>25924</b>	<b>\$69.994.800</b>



El porcentaje al que hace referencia el decreto 1900 de 2006 y la resolución 0907 de 2007 pueden ser editados dado el caso en que cambie la normatividad. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic en el botón *Ingresar* posteriormente hacer clic en el botón *cerrar* para retornar al menú inicio.

## TRANSPORTE

Este rubro hace referencia al costo de transporte y disposición del modelo B (ósmosis Inversa), el cual se determina mediante una tarifa establecida por la empresa contratista, kilometraje (distancia entre el pozo y lugar de disposición) y m<sup>3</sup>.

Transporte

Fecha Inicio: 15/07/2015

Numero de Días: 13

**B**

\$273.000,00

Aceptar

Al accionar el botón: *Transporte*, se abre el siguiente cuadro de diálogo en donde automáticamente aparecen la fecha de inicio y el número de días de operación. Posteriormente seleccionar el valor de la tarifa, esta puede ser editada en el Tarifario (que aparece más adelante), si en dado caso cambiara.

Luego se hace clic y se abre la hoja correspondiente a transporte y en las columnas de color gris se deben ingresar los m<sup>3</sup>. Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic derecho para retornar al menú inicio.

Fecha	Día	Nombre.Insumo	Usado	Valor.Unitario	Costo
15/07/2015	1	Transporte		\$273.000,00	0
16/07/2015	2	Transporte		\$273.000,00	0
17/07/2015	3	Transporte		\$273.000,00	0
18/07/2015	4	Transporte		\$273.000,00	0
19/07/2015	5	Transporte		\$273.000,00	0
20/07/2015	6	Transporte		\$273.000,00	0
21/07/2015	7	Transporte		\$273.000,00	0
22/07/2015	8	Transporte		\$273.000,00	0
23/07/2015	9	Transporte		\$273.000,00	0
24/07/2015	10	Transporte		\$273.000,00	0
25/07/2015	11	Transporte		\$273.000,00	0
26/07/2015	12	Transporte		\$273.000,00	0
27/07/2015	13	Transporte		\$273.000,00	0
28/07/2015	14	Transporte		\$273.000,00	0
29/07/2015	15	Transporte		\$273.000,00	0
30/07/2015	16	Transporte		\$273.000,00	0
31/07/2015	17	Transporte		\$273.000,00	0
01/08/2015	18	Transporte		\$273.000,00	0
02/08/2015	19	Transporte		\$273.000,00	0
03/08/2015	20	Transporte		\$273.000,00	0
04/08/2015	21	Transporte		\$273.000,00	0
05/08/2015	22	Transporte		\$273.000,00	0
06/08/2015	23	Transporte		\$273.000,00	0

## ETAPAS DE PERFORACIÓN

Al accionar el botón *Etapas de perforación*, se abre el siguiente cuadro de diálogo, en donde automáticamente aparece la fecha de inicio de días de operación y posteriormente se debe digitar para cada hueco de perforación la fecha de finalización de la misma.

Una vez se finalice el ingreso de los datos, usted debe hacer clic en el botón *cerrar*.

## TARIFARIO:

Insumos Químicos A	Valor	Insumos Químicos B	Valor
DIESEL (Gal)	\$7.865	DIESEL (Gal)	\$ 7.865
CAL VIVA	\$280.000	ACIDO PARA LIMPIAR MEMBRANA	\$ 51.103
PAC Sx (25 kg)	\$52.500	ÁCIDO DE DISOLUCIÓN ACUOSA	\$ 10.099
CAL HIDRATADA Sx (10 kg)	\$2.700	POLIACRILAMIDA CATIONICA	\$ 15.577
HIPOCLORITO CAL Cn (45 kg)	\$11.760	POLIACRILAMIDA ANIONICA	\$ 23.363
ACIDO ACETICO (GLS)	\$3.782	FILTRO PITILLO 2,5 X30X5 pm ( UND)	\$ 85.000
PEROXIDO (GLS)	\$2.780	FILTROS CARTUCHO DE 4,5 X 20 X20 pm ( UND)	\$ 140.000
POLIACRILAMIDA CATIONICA	\$102.877	EXRO 614	\$ -
POLIACRILAMIDA ANIONICA	\$154.316	IDEA ANTIFOUL	\$ 2.194
BENTONITA NATURAL Sx (50 kg)	\$1.986	PEROXIDO	\$ 2.780
BICARBONATO DE SODIO Sx (25 Kg)	\$2.234	HIPOCLORITO DE CALCIO SOLIDO (CAN X 45 KG)	\$ 11.760
		MEMBRANAS (UND)	\$ 9.874.800
		EXRO FL 2565	\$ -

Este simulador cuenta con un botón *tarifario* el cual permite editar los valores de los respectivos rubros en que se incurre en el tratamiento de las aguas residuales industriales de perforación.

Para realizar el respectivo comparativo de costos según el método de tratamiento, se debe hacer clic en el botón *Guardar*, y finalmente dar clic en *Imprimir Informe*.





Automáticamente se abrirá un PDF con los respectivos costos por total de operación, costo por barril y costos por cada hueco de perforación para cada método de tratamiento.

## ANEXO B. MODELO ECONÓMICO, COSTO BENEFICIO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN “TRATAMIENTO CONVENCIONAL” (SIMULADOR MEC-FUAECOP) POZO A

TOTAL BARRILES DE AGUA TRATADOS		11,765
TOTAL DIAS DE OPERACIÓN (PERFORACIÓN)		27
PROMEDIO BARRILES DE AGUA DIARIOS		435,74
TOTAL INVERSIÓN	\$	13,116,595,284
<i>(Movilización, perforación y completamiento)</i>		



	VALOR TOTAL	VALOR UNITARIO	PROMEDIO DIARIO	INICIO DE POZO	HUECO 17 1/2	HUECO 12 1/4	HUECO 8 1/2
			BBL	(Volumen Anterior)			
			435,74	1258	2843	3713	3951
<b>COSTOS VARIABLES</b>							
INSUMOS QUIMICOS	\$ 24.953.202	\$ 2.121	\$ 924.193	\$ 2.668.179	\$ 6.029.915	\$ 7.875.158	\$ 8.379.949
EQUIPO ADICIONAL	\$ 114.040.719	\$ 9.693	\$ 4.223.730	\$ 12.194.069	\$ 27.557.821	\$ 35.990.921	\$ 38.297.907
FLUIDOS ALMACENADOS	\$ 2.693.000	\$ 229	\$ 99.741	\$ 287.955	\$ 650.761	\$ 849.903	\$ 904.381
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$ 141.686.921</b>	<b>\$ 12.043</b>	<b>\$ 5.247.664</b>	<b>\$ 15.150.204</b>	<b>\$ 34.238.497</b>	<b>\$ 44.715.983</b>	<b>\$ 47.582.238</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>							
TARIFA DE PERSONAL	\$ 60.149.844	\$ 5.113	\$ 2.227.772	\$ 6.431.662	\$ 14.535.147	\$ 18.983.117	\$ 20.199.918
TARIFA DE EQUIPO	\$ 75.903.386	\$ 6.452	\$ 2.811.237	\$ 8.116.146	\$ 18.341.974	\$ 23.954.889	\$ 25.490.376
TARIFA DE TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$ 21.482.091	\$ 1.826	\$ 795.633	\$ 2.297.023	\$ 5.191.125	\$ 6.779.686	\$ 7.214.258
DEPRECIACIÓN	\$ 11.794.984	\$ 1.003	\$ 436.851	\$ 1.261.206	\$ 2.850.246	\$ 3.722.463	\$ 3.961.069
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$ 169.330.304</b>	<b>\$ 14.393</b>	<b>\$ 6.271.493</b>	<b>\$ 18.106.037</b>	<b>\$ 40.918.492</b>	<b>\$ 53.440.155</b>	<b>\$ 56.865.621</b>
<b>COSTOS AMBIENTALES</b>							
DECRETO 1900 DE 2006 (1%)	\$ 131.165.953	\$ 11.149	\$ 4.857.998	\$ 14.025.225	\$ 31.696.116	\$ 41.395.596	\$ 44.049.017
RESOLUCIÓN 974 DE 2007 (10%)	\$ 1.311.659.528	\$ 111.488	\$ 48.579.983	\$ 140.252.247	\$ 316.961.159	\$ 413.955.957	\$ 440.490.165
TARIFA DE LA TASA POR UTILIZACIÓN DEL AGUA OTROS	\$ 3.182	\$ 0	\$ 118	\$ 340	\$ 769	\$ 1.004	\$ 1.069
<b>TOTAL COSTOS AMBIENTALES</b>	<b>\$ 1.442.828.663</b>	<b>\$ 122.637</b>	<b>\$ 53.438.099</b>	<b>\$ 154.277.812</b>	<b>\$ 348.658.044</b>	<b>\$ 455.352.556</b>	<b>\$ 484.540.251</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>							
	\$ 311.017.225	\$	\$ 11.519.156	\$ 33.256.240	\$ 75.156.989	\$ 98.156.137	\$ 104.447.859
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)</b>							
	\$ 442.186.360	\$	\$ 16.377.273	\$ 47.281.805	\$ 106.853.873	\$ 139.552.737	\$ 148.497.944
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% TUA Y 10%)</b>							
	\$ 1.753.845.888	\$	\$ 64.957.255	\$ 187.534.052	\$ 423.815.033	\$ 553.508.694	\$ 588.988.109
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>							
	\$	\$ 26,436	\$	\$	\$	\$	\$
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)</b>							
	\$	\$ 37,585	\$	\$	\$	\$	\$
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% TUA Y 10%)</b>							
	\$	\$ 149,073	\$	\$	\$	\$	\$

## ANEXO C. MODELO ECONÓMICO, COSTO BENEFICIO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN “ÓSMOSIS INVERSA” (SIMULADOR MEC-FUAECOP) POZO B

TOTAL BARRILES DE AGUA TRATADOS	18.948
TOTAL DIAS DE OPERACIÓN (PERFORACION)	60
PROMEDIO DE BARRILES DE AGUA DIARIOS	305,61
TOTAL INVERSIÓN (Movilización, perforación, completamiento)	\$ 19.774.506.006



			PROMEDIO DIARIO	INICIO DE POZO	HUECO 17 1/2	HUECO 12 1/4	HUECO 8 1/2
	VALOR TOTAL	VALOR UNITARIO	EBL	(Volumen Anterior)			
<b>COSTOS VARIABLES</b>			306	0	2296	8964	7688
INSUMOS QUIMICOS	\$ 182.251.332	\$ 9.618	\$ 2.939.538	\$ -	\$ 22.084.075	\$ 86.220.231	\$ 73.947.026
EQUIPO ADICIONAL	\$ 82.241.250	\$ 4.340	\$ 1.326.472	\$ -	\$ 9.965.480	\$ 38.907.038	\$ 33.368.732
SERVICIOS	\$ 343.464.884	\$ 18.127	\$ 5.539.756	\$ -	\$ 41.618.924	\$ 162.487.820	\$ 139.358.140
TRANSPORTE Y DISPOSICION	\$ 82.241.250	\$ 4.340	\$ 1.326.472	\$ -	\$ 9.965.480	\$ 38.907.038	\$ 33.368.732
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$ 690.198.717</b>	<b>\$ 36.426</b>	<b>\$ 11.132.237</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 83.633.959</b>	<b>\$ 326.522.129</b>	<b>\$ 280.042.629</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>							
TARIFA DE PERSONAL	\$ 123.727.596	\$ 6.530	\$ 1.995.606	\$ -	\$ 14.992.535	\$ 58.533.575	\$ 50.201.486
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$ 126.900.100	\$ 6.697	\$ 2.046.776	\$ -	\$ 15.376.960	\$ 60.034.436	\$ 51.488.704
DEPRECIACIÓN	\$ 33.073.890	\$ 1.746	\$ 533.450	\$ -	\$ 4.007.687	\$ 15.646.736	\$ 13.419.467
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$ 283.701.586</b>	<b>\$ 14.973</b>	<b>\$ 4.575.832</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 34.377.182</b>	<b>\$ 134.214.746</b>	<b>\$ 115.109.658</b>
<b>COSTOS AMBIENTALES</b>							
DECRETO 1900 DE 2006 (1%)	\$ 197.745.060	\$ 10.436	\$ 3.189.436	\$ -	\$ 23.961.508	\$ 93.550.070	\$ 80.233.482
RESOLUCION 974 DE 2007 (10%)	\$ 1.977.450.601	\$ 104.362	\$ 31.894.365	\$ -	\$ 239.615.082	\$ 935.500.696	\$ 802.334.823
TARIFA DE LA TASA POR UTILIZACIÓN DEL AGUA (TUA)	\$ 3.182	\$ 0	\$ 51	\$ -	\$ 386	\$ 1.505	\$ 1.291
OTROS							
<b>TOTAL COSTOS AMBIENTALES</b>	<b>\$ 2.175.198.843</b>	<b>\$ 114.798</b>	<b>\$ 35.083.852</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 263.576.976</b>	<b>\$ 1.029.052.271</b>	<b>\$ 882.569.596</b>
COSTO TOTAL OPERACIÓN (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)	\$ 973.900.302		\$ 15.708.069	\$ -	\$ 118.011.141	\$ 460.736.875	\$ 395.152.286
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)	\$ 1.171.648.544		\$ 18.897.557	\$ -	\$ 141.973.034	\$ 554.288.450	\$ 475.387.060
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)	\$ 3.149.099.145		\$ 50.791.922	\$ -	\$ 381.588.117	\$ 1.489.789.146	\$ 1.277.721.882
COSTO TOTAL POR BARRIL ( NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)		\$ 51.399					
COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA )		\$ 61.835					
COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)		\$ 166.197					

## ANEXO D. MODELO ECONÓMICO, COSTO BENEFICIO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN “TRATAMIENTO CONVENCIONAL” (EXCEL) POZO A

TOTAL BARRILES DE AGUA TRATADOS	11.765
TOTAL DIAS DE OPERACIÓN (PERFORACIÓN)	27
PROMEDIO BARRILES DE AGUA DIARIOS	435,74
TOTAL INVERSIÓN (Movilización, perforación, completamiento)	\$ 13.116.535.284

			PROMEDIO DIARIO Barril	INICIO DE POZO (Volumen Anterior)	HUECO 17 1/2	HUECO 12 1/4	HUECO 8 1/2
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>VALOR TOTAL</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	435,74	1258	2843	3.713	3.951
INSUMOS QUIMICOS	24.953.202	2.121	924.193	2.668.179	6.029.915	7.875.158	8.379.949
EQUIPO ADICIONAL	114.040.719	9.693	4.223.730	12.194.069	27.557.821	35.990.921	38.297.907
FLUIDOS ALMACENADOS	2.693.000	229	99.741	287.955	650.761	849.903	904.381
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>141.686.921</b>	<b>12.043</b>	<b>5.247.664</b>	<b>15.150.204</b>	<b>34.238.497</b>	<b>44.715.983</b>	<b>47.582.238</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>							
TARIFA DE PERSONAL	60.149.844	5.113	2.227.772	6.431.662	14.535.147	18.983.117	20.199.918
TARIFA DE EQUIPO	75.903.366	6.452	2.811.237	8.116.146	18.341.974	23.954.689	25.490.376
TARIFA DE TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	21.482.091	1.826	795.633	2.297.023	5.191.125	6.779.686	7.214.258
DEPRECIACIÓN	11.794.984	1.003	436.851	1.261.206	2.850.246	3.722.463	3.961.069
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>169.330.304</b>	<b>14.393</b>	<b>6.271.493</b>	<b>18.106.037</b>	<b>40.918.492</b>	<b>53.440.155</b>	<b>56.865.621</b>
<b>COSTOS AMBIENTALES</b>							
DECRETO 1900 DE 2006 (1% )	131.165.953	11.149	4.857.998	14.025.225	31.696.116	41.395.596	44.049.017
RESOLUCIÓN 974 DE 2007 (10%)	1.311.659.528	111.488	48.579.983	140.252.247	316.961.159	413.955.957	440.490.165
TARIFA DE LA TASA POR UTILIZACIÓN DEL AGUA	3.182	0,27	118	340	769	1.004	1.069
OTROS							
<b>TOTAL COSTOS AMBIENTALES</b>	<b>1.442.828.663</b>	<b>122.637</b>	<b>53.438.099</b>	<b>154.277.812</b>	<b>348.658.044</b>	<b>455.352.556</b>	<b>484.540.251</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>	<b>\$ 311.017.225</b>		<b>11.519.156</b>	<b>33.256.240</b>	<b>75.156.989</b>	<b>98.156.137</b>	<b>104.447.859</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)</b>	<b>\$ 442.186.360</b>		<b>16.377.273</b>	<b>47.281.805</b>	<b>106.853.873</b>	<b>139.552.737</b>	<b>148.497.944</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% TUA Y 10%)</b>	<b>\$ 1.753.845.888</b>		<b>64.957.255</b>	<b>187.534.052</b>	<b>423.815.033</b>	<b>553.508.694</b>	<b>588.988.109</b>
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>		<b>26.436</b>					
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)</b>		<b>37.585</b>					
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)</b>		<b>149.073</b>					

## ANEXO N. MODELO ECONÓMICO, COSTO BENEFICIO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN “ÓSMOSIS INVERSA” (EXCEL) POZO B

TOTAL BARRILES DE AGUA TRATADOS	18.948
TOTAL DIAS DE OPERACIÓN( PERFORACION)	60
PROMEDIO DE BARRILES DE AGUA DIARIOS	305,61
TOTAL INVERSIÓN (Movilización, perforación, completamiento)	19.774.506.006

			PROMEDIO DIARIO BBL	INICIO DE POZO (Volumen Anterior)	HUECO 17 1/2	HUECO 12 1/4	HUECO 8 1/2
<b>COSTOS VARIABLES</b>	<b>VALOR TOTAL</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	306	0	2.296	8.964	7.688
INSUMOS QUIMICOS	182.251.332	\$ 9.618	\$ 2.939.538	-	\$ 22.084.075	\$ 86.220.231	\$ 73.947.026
EQUIPO ADICIONAL	82.241.250	\$ 4.340	\$ 1.326.472	-	\$ 9.965.480	\$ 38.907.038	\$ 33.368.732
SERVICIOS	343.464.884	\$ 18.127	\$ 5.539.756	-	\$ 41.618.924	\$ 162.487.820	\$ 139.358.140
TRANSPORTE Y DISPOSICION	82.241.250	\$ 4.340	\$ 1.326.472	-	\$ 9.965.480	\$ 38.907.038	\$ 33.368.732
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>690.198.716</b>	<b>\$ 36.426</b>	<b>\$ 11.132.237</b>	<b>-</b>	<b>\$ 83.633.959</b>	<b>\$ 326.522.129</b>	<b>\$ 280.042.629</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>							
TARIFA DE PERSONAL	123.727.596	\$ 6.530	\$ 1.995.606	-	\$ 14.992.535	\$ 58.533.575	\$ 50.201.486
TARIFA DE EQUIPO BASE	126.900.100	\$ 6.697	\$ 2.048.776	-	\$ 15.376.960	\$ 60.034.436	\$ 51.488.704
DEPRECIACIÓN	33.073.890	\$ 1.746	\$ 533.450	-	\$ 4.007.687	\$ 15.646.736	\$ 13.419.467
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>283.701.586</b>	<b>\$ 14.973</b>	<b>\$ 4.575.832</b>	<b>-</b>	<b>\$ 34.377.182</b>	<b>\$ 134.214.746</b>	<b>\$ 115.109.658</b>
<b>COSTOS AMBIENTALES</b>							
DECRETO 1900 DE 2006 (1%)	197.745.060	\$ 10.436	\$ 3.189.436	-	\$ 23.961.508	\$ 93.550.070	\$ 80.233.482
RESOLUCION 974 DE 2007 (10%)	1.977.450.601	\$ 104.362	\$ 31.894.365	-	\$ 239.615.082	\$ 935.500.696	\$ 802.334.823
TARIFA DE LA TASA POR UTILIZACIÓN DEL AGUA (TUA)	3.182	\$ 0,17	\$ 51,3	-	\$ 385,6	\$ 1505,3	\$ 1.291,0
OTROS							
<b>TOTAL COSTOS AMBIENTALES</b>	<b>2.175.198.843</b>	<b>\$ 114.798</b>	<b>\$ 35.083.852</b>	<b>-</b>	<b>\$ 263.576.976</b>	<b>\$ 1.029.052.271</b>	<b>\$ 882.569.596</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>	<b>973.900.302</b>		<b>\$ 15.708.069</b>	<b>-</b>	<b>\$ 118.011.141</b>	<b>\$ 460.736.875</b>	<b>\$ 395.152.286</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)</b>	<b>1.171.648.544</b>		<b>\$ 18.897.557</b>	<b>-</b>	<b>\$ 141.973.034</b>	<b>\$ 554.288.450</b>	<b>\$ 475.387.060</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% , TUA Y 10% )</b>	<b>3.149.099.145</b>		<b>\$ 50.791.922</b>	<b>-</b>	<b>\$ 381.588.117</b>	<b>\$ 1.489.789.146</b>	<b>\$ 1.277.721.882</b>
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL ( NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>		<b>\$ 51.399</b>					
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA )</b>		<b>\$ 61.835</b>					
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10% )</b>		<b>\$ 166.197</b>					

## ANEXO X. MODELO ECONÓMICO, COSTO BENEFICIO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN “TRATAMIENTO CONVENCIONAL” (SIMULADOR MEC-FUAECOP) ESCENARIO 30 DÍAS DE ACTIVIDAD

TOTAL BARRILES DE AGUA TRATADOS		14.645
TOTAL DIAS DE OPERACIÓN (PERFORACIÓN)		30
PROMEDIO BARRILES DE AGUA DIARIOS		488
TOTAL INVERSIÓN (Movilización, perforación, completamiento)	\$	14.732.812.380



	VALOR TOTAL	VALOR UNITARIO	PROMEDIO DIARIO	INICIO DE POZO	HUECO 17 1/2	HUECO 12 1/4	HUECO 8 1/2
			BBL	(Volumen Anterior)			
			488	1258	2843	5939	4605
<b>COSTOS VARIABLES</b>							
INSUMOS QUIMICOS	\$ 28.663.733	\$ 1.957	\$ 955.458	\$ 2.462.204	\$ 5.564.424	\$ 11.624.030	\$ 9.013.076
EQUIPO ADICIONAL	\$ 114.040.719	\$ 7.787	\$ 3.801.357	\$ 9.796.055	\$ 22.138.461	\$ 46.247.035	\$ 35.859.168
FLUIDOS ALMACENADOS	\$ 3.243.000	\$ 221	\$ 108.100	\$ 278.572	\$ 629.556	\$ 1.315.137	\$ 1.019.735
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$ 145.947.452</b>	<b>\$ 9.966</b>	<b>\$ 4.864.915</b>	<b>\$ 12.536.831</b>	<b>\$ 28.332.442</b>	<b>\$ 59.186.201</b>	<b>\$ 45.891.978</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>							
TARIFA DE PERSONAL	\$ 66.833.160	\$ 4.564	\$ 2.227.772	\$ 5.740.943	\$ 12.974.167	\$ 27.102.911	\$ 21.015.138
TARIFA DE EQUIPO	\$ 84.337.095	\$ 5.759	\$ 2.811.237	\$ 7.244.525	\$ 16.372.165	\$ 34.201.298	\$ 26.519.107
TARIFA DE TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN	\$ 23.868.990	\$ 1.630	\$ 795.633	\$ 2.050.337	\$ 4.633.632	\$ 9.679.613	\$ 7.505.408
DEPRECIACIÓN	\$ 13.105.538	\$ 895	\$ 436.851	\$ 1.125.761	\$ 2.544.148	\$ 5.314.700	\$ 4.120.929
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$ 188.144.783</b>	<b>\$ 12.847</b>	<b>\$ 6.271.493</b>	<b>\$ 16.161.566</b>	<b>\$ 36.524.112</b>	<b>\$ 76.298.523</b>	<b>\$ 59.160.582</b>
<b>COSTOS AMBIENTALES</b>							
DECRETO 1900 DE 2006 (1%)	\$ 147.328.124	\$ 10.060	\$ 4.910.937	\$ 12.655.431	\$ 28.600.468	\$ 59.746.106	\$ 46.326.119
RESOLUCIÓN 974 DE 2007 (10%)	\$ 1.473.281.238	\$ 100.600	\$ 49.109.375	\$ 126.554.305	\$ 286.004.681	\$ 597.461.063	\$ 463.261.188
TARIFA DE LA TASA POR UTILIZACIÓN DEL AGUA OTROS	\$ 3.182	\$ 0	\$ 106	\$ 273	\$ 618	\$ 1.290	\$ 1.000
<b>TOTAL COSTOS AMBIENTALES</b>	<b>\$ 1.620.612.544</b>	<b>\$ 110.660</b>	<b>\$ 54.020.418</b>	<b>\$ 139.210.009</b>	<b>\$ 314.605.767</b>	<b>\$ 657.208.460</b>	<b>\$ 509.588.308</b>
COSTO TOTAL OPERACIÓN (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)	\$ 334.092.235	\$	\$ 11.136.408	\$ 28.698.398	\$ 64.856.553	\$ 135.484.724	\$ 105.052.560
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)	\$ 481.423.541	\$	\$ 16.047.451	\$ 41.354.101	\$ 93.457.639	\$ 195.232.121	\$ 151.379.679
COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% TUA Y 10%)	\$ 1.954.704.779	\$	\$ 65.156.826	\$ 167.908.406	\$ 379.462.321	\$ 792.693.184	\$ 614.640.868
COSTO TOTAL POR BARRIL (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)	\$	\$ 22.813					
COSTO TOTAL POR BARRIL (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)	\$	\$ 32.873					
COSTO TOTAL POR BARRIL (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% TUA Y 10%)	\$	\$ 133.473					

## ANEXO Y. MODELO ECONÓMICO, COSTO BENEFICIO TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE PERFORACIÓN “ÓSMOSIS INVERSA” (SIMULADOR MEC-FUAECOP) ESCENARIO 30 DÍAS DE ACTIVIDAD

TOTAL BARRILES DE AGUA TRATADOS	14.645
TOTAL DIAS DE OPERACIÓN (PERFORACION)	30
PROMEDIO DE BARRILES DE AGUA DIARIOS	488
TOTAL INVERSIÓN	\$ 14.732.812.380
(Movilización, perforación, completamiento)	



	VALOR TOTAL	VALOR UNITARIO	PROMEDIO DIARIO	INICIO DE POZO	HUECO 17 1/2	HUECO 12 1/4	HUECO 8 1/2
			BBL	(Volumen Anterior)			
			488	1257	2844	5940	4604
<b>COSTOS VARIABLES</b>							
INSUMOS QUIMICOS	\$ 93.892.365	\$ 6.411	\$ 3.129.746	\$ 8.058.908	\$ 18.233.519	\$ 38.082.666	\$ 29.517.272
EQUIPO ADICIONAL	\$ 49.631.400	\$ 3.389	\$ 1.654.380	\$ 4.259.930	\$ 9.638.218	\$ 20.130.455	\$ 15.602.797
SERVICIOS	\$ 187.427.670	\$ 12.798	\$ 6.247.589	\$ 16.087.168	\$ 36.397.699	\$ 76.020.510	\$ 58.922.294
TRANSPORTE Y DISPOSICION	\$ 49.631.400	\$ 3.389	\$ 1.654.380	\$ 4.259.930	\$ 9.638.218	\$ 20.130.455	\$ 15.602.797
<b>TOTAL COSTOS VARIABLES</b>	<b>\$ 380.582.836</b>	<b>\$ 25.987</b>	<b>\$ 12.686.095</b>	<b>\$ 32.665.935</b>	<b>\$ 73.907.653</b>	<b>\$ 154.364.086</b>	<b>\$ 119.645.161</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>							
TARIFA DE PERSONAL	\$ 59.868.192	\$ 4.088	\$ 1.995.606	\$ 5.138.567	\$ 11.626.162	\$ 24.282.489	\$ 18.820.973
TARIFA DE EQUIPO BASE	\$ 61.403.274	\$ 4.193	\$ 2.046.776	\$ 5.270.325	\$ 11.924.268	\$ 24.905.118	\$ 19.303.563
DEPRECIACIÓN	\$ 16.003.495	\$ 1.093	\$ 533.450	\$ 1.373.601	\$ 3.107.814	\$ 6.491.005	\$ 5.031.075
<b>TOTAL COSTOS FIJOS</b>	<b>\$ 137.274.961</b>	<b>\$ 9.374</b>	<b>\$ 4.575.832</b>	<b>\$ 11.782.494</b>	<b>\$ 26.658.244</b>	<b>\$ 55.678.612</b>	<b>\$ 43.155.611</b>
<b>COSTOS AMBIENTALES</b>							
DECRETO 1900 DE 2006 (1%)	\$ 197.745.060	\$ 13.503	\$ 6.591.502	\$ 16.972.724	\$ 38.401.294	\$ 80.205.234	\$ 62.165.808
RESOLUCIÓN 974 DE 2007 (10%)	\$ 1.977.450.601	\$ 135.026	\$ 65.915.020	\$ 169.727.238	\$ 384.012.940	\$ 802.052.343	\$ 621.658.079
TARIFA DE LA TASA POR UTILIZACIÓN DEL AGUA (TUA)	\$ 3.182	\$ 0	\$ 106	\$ 273	\$ 618	\$ 1.291	\$ 1.000
OTROS							
<b>TOTAL COSTOS AMBIENTALES</b>	<b>\$ 2.175.198.843</b>	<b>\$ 148.528</b>	<b>\$ 72.506.628</b>	<b>\$ 186.700.235</b>	<b>\$ 422.414.852</b>	<b>\$ 882.258.868</b>	<b>\$ 683.824.887</b>
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>							
	\$ 517.857.797		\$ 17.261.927	\$ 44.448.430	\$ 100.565.898	\$ 210.042.698	\$ 162.800.771
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA)</b>							
	\$ 715.606.039		\$ 23.853.535	\$ 61.421.426	\$ 138.967.810	\$ 290.249.223	\$ 224.967.579
<b>COSTO TOTAL OPERACIÓN (INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)</b>							
	\$ 2.693.056.639		\$ 89.768.555	\$ 231.148.665	\$ 522.980.750	\$ 1.092.301.566	\$ 846.625.658
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL ( NO INCLUYE COSTOS AMBIENTALES)</b>							
		\$ 35.361					
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1% Y TUA )</b>							
		\$ 48.864					
<b>COSTO TOTAL POR BARRIL ( INCLUYE COSTOS AMBIENTALES 1%, TUA Y 10%)</b>							
		\$ 183.889					