



# **Modelo de recirculación hídrica dentro del proceso de tratamiento de aguas en QMAX**

**Diana Elizeth Ariza Quiroga  
Cristopher Leonardo Carrillo Diaz**

Universidad EAN  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible  
Bogotá, Colombia  
2021

# **Modelo de recirculación hídrica dentro del proceso de tratamiento de aguas en QMAX**

**Diana Elizeth Ariza Quiroga  
Cristopher Leonardo Carrillo Diaz**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:  
**Magister en Proyectos de Desarrollo Sostenible**

**Director:**

LEIDY NATALIA ZAPATA RESTREPO

**Modalidad:**

Trabajo Dirigido

Universidad EAN  
Facultad de Ingeniería  
Maestría en Proyectos de Desarrollo Sostenible  
Bogotá, Colombia  
2021

## Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del director del trabajo de grado

Bogotá D.C. 27 - Febrero – 2021

## Resumen

El cuidado del recurso hídrico a nivel mundial cobra cada día más importancia y en especial el agua dulce, teniendo en cuenta que en muchos países del mundo ya se experimenta escasez y contaminación de este, como el caso Bahrein, Kuwait, Palestina, los Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudí, Omán y el Líbano en el Medio Oriente. En Colombia también se han tenido eventos de sequías como la del año 2016, con afectación importante en los departamentos de Caquetá, Cauca, Huila, Tolima, Norte de Santander, Boyacá, Cundinamarca y Valle del Cauca. (IDEAM, 2018).

QMAX, empresa de servicios petroleros relacionados con fluidos de perforación, control de sólidos, gestión de residuos y limpieza de pozos, sabe que el agua es fundamental para dar continuidad con el negocio, por lo que el presente proyecto pretende diseñar un modelo de recirculación hídrica que garantice el reúso del agua mediante ósmosis inversa para el proceso de tratamiento de aguas en los proyectos de perforación y producción de hidrocarburos; a su vez se busca la contribución al cumplimiento directo metas en los ODS como el ODS6 (Agua limpia y saneamiento), ODS7 (Energía asequible y no contaminante), ODS12 (Producción y consumo responsables) y ODS15 (Vida de ecosistemas terrestres).

Dentro del proyecto se utilizan algunos elementos conceptuales agrupados bajo la siguiente estructura: a) el agua y desarrollo sostenible; b) la relación entre el esquema de perforación de pozos y la generación de residuos líquidos; y finalmente, c) la ósmosis inversa como alternativa sostenible para la gestión de los residuos líquidos en el proceso de perforación de pozos.

El esquema de recirculación hídrica propuesto permite entender fácilmente los procesos que hacen parte del modelo circular para el proceso de tratamiento de las aguas en QMAX y evidencia la importancia que tiene el tratamiento de desmineralización por ósmosis inversa en lograr esa circularidad, así mismo en la contribución al cumplimiento de parámetros legales para disposición de agua.

~ V ~

Modelo de recirculación hídrica dentro del proceso de  
tratamiento de aguas en QMAX



**Palabras clave:** Aguas residuales, agua permeada, desarrollo sostenible, desmineralización de agua, fluidos de perforación, ósmosis Inversa, sostenibilidad organizacional, tratamiento de aguas.

## Abstract

The care of the water resource worldwide is becoming increasingly important and especially fresh water, taking into account that in many countries of the world there is already a shortage and contamination of this, such as Bahrain, Kuwait, Palestine, the United Arab Emirates States, Saudi Arabia, Oman and Lebanon in the Middle East. In Colombia, there have also been drought events such as the one in 2016, with significant effects in the departments of Caquetá, Cauca, Huila, Tolima, Norte de Santander, Boyacá, Cundinamarca and Valle del Cauca (IDEAM, 2018).

QMAX, a petroleum services company related to drilling fluids, solids control, waste management and well cleaning, knows that water is essential to give continuity with the business, so this project aims to design a model of recirculation to guarantee the reuse of water through reverse osmosis for the water treatment process in drilling and hydrocarbon production projects; At the same time, it seeks to contribute to the direct fulfillment of The Sustainable Development Goals as Goal 6 (Clean water and sanitation), Goal 7 (Affordable and clean energy), Goal 8 (Decent work and economic growth), Goal 12 (Responsible consumption and production) and Goal 15 (Life of terrestrial ecosystems).

Within the project some conceptual elements are used grouped under the following structure: a) water and sustainable development; b) the relationship between the well drilling scheme and the generation of liquid waste; and finally, c) reverse osmosis as a sustainable alternative for handling liquid waste in the well drilling process.

The proposed water recirculation scheme allows an easy understanding of the processes that are part of the circular model for the water treatment process in QMAX and shows the importance of the demineralization treatment by reverse osmosis in achieving this circularity, as well as in the contribution compliance with legal parameters for the elimination of water.

**Keywords:** Wastewater, permeated water, sustainable development, water demineralization, drilling fluids, reverse osmosis, organizational sustainability, water treatment.

# Tabla de contenido

	<u>Pág.</u>
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>10</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>13</b>
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
4.1.    OBJETIVO GENERAL .....	18
4.2.    OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
<b>5. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>6. MARCO DE REFERENCIA.....</b>	<b>21</b>
6.1.    LA SOSTENIBILIDAD EN EL ENTORNO ORGANIZACIONAL .....	22
6.1.1.    VENTAJAS DE LA SOSTENIBILIDAD EN LAS ORGANIZACIONES .....	24
6.1.2.    PRINCIPIOS DE LA SOSTENIBILIDAD ORGANIZACIONAL .....	25
6.2.    AGUA Y DESARROLLO SOSTENIBLE .....	26
6.2.1.    EL AGUA Y LAS TRES DIMENSIONES DEL DESARROLLO SOSTENIBLE .....	27
6.2.2.    EL AGUA Y SU PAPEL EN LOS ODS.....	28
6.3.    EL SECTOR DE HIDROCARBUROS Y EL ESQUEMA DE PERFORACIÓN DE POZOS.....	31
6.3.1.    RESIDUOS DE PERFORACIONES PETROLERAS .....	32
6.3.2.    LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	34
6.4.    EL CONSUMO DE AGUA EN LOS PROYECTOS DE PERFORACIÓN DE POZOS PETROLEROS EN COLOMBIA .....	36
6.4.1.    MANEJO DE AGUA DE PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA PETROLERA COLOMBIANA.....	37
6.4.2.    EQUIPO DE CONTROL DE SÓLIDOS .....	38
6.4.3.    UNIDAD DEWATERING .....	39
6.4.4.    MÉTODO DE ÓSMOSIS INVERSA PARA TRATAMIENTO DE AGUAS EN QMAX.....	40
<b>7. MARCO INSTITUCIONAL.....</b>	<b>43</b>
7.1.    IDENTIFICACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN.....	43
7.2.    RESEÑA HISTÓRICA .....	43
7.3.    MISIÓN .....	44
7.4.    VISIÓN .....	44
7.5.    PRINCIPIOS .....	44
7.6.    VALORES CORPORATIVOS.....	44
7.7.    ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL .....	46
7.8.    IDENTIFICACIÓN DEL SECTOR.....	46
7.9.    ANÁLISIS DEL CONTEXTO GENERAL DEL TRATAMIENTO CONVENCIONAL DE AGUA .....	47
7.10.    ANÁLISIS DEL SECTOR ECONÓMICO .....	48
<b>8. DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>	<b>51</b>

8.1.	GENERALIDADES .....	51
8.2.	SEGMENTO DE ESTUDIO.....	55
<b>9.</b>	<b>DIAGNÓSTICO ORGANIZACIONAL .....</b>	<b>56</b>
9.1.	ANÁLISIS DEL ENTORNO .....	56
9.1.1.	ANÁLISIS PESTEL .....	56
9.2.	REVISIÓN DOCUMENTAL EN LA ORGANIZACIÓN .....	66
9.2.1.	VERIFICACIÓN DE PROPUESTA TÉCNICA PARA DESARROLLO DE PROYECTOS .....	67
9.2.2.	ANÁLISIS DEL INFORME FINAL DEL DESARROLLO DE LOS PROYECTOS.....	69
9.2.3.	REVISIÓN DE PARÁMETROS ESTABLECIDOS POR LA LEGISLACIÓN Y APLICABLES AL CAMPO DE OPERACIÓN .....	69
9.2.4.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA EN TRATAMIENTO CONVENCIONAL .....	73
9.2.5.	ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICA DEL AGUA EN EL TRATAMIENTO CON ÓSMOSIS INVERSA.....	76
9.2.6.	REVISIÓN ECONÓMICA DE LA INTEGRACIÓN DE LA ÓSMOSIS INVERSA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS.....	77
9.3.	FORTALEZAS.....	81
9.4.	OPORTUNIDADES DE MEJORA .....	82
<b>10.</b>	<b>PLAN DE INTERVENCIÓN .....</b>	<b>83</b>
10.1.	CONCEPTUALIZACIÓN DEL MODELO DE GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE ACTUAL DE LAS AGUAS DE PERFORACIÓN EN QMAX	83
10.2.	PROCESOS DE PERFORACIÓN DE POZOS QUE INTERVIENEN EN EL MODELO DE RECIRCULACIÓN HÍDRICA .....	86
10.3.	DISEÑO DEL MODELO DE RECIRCULACIÓN HÍDRICA DENTRO DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN QMAX	88
10.4.	DATOS EN LA APLICACIÓN EN EL SEGMENTO DE ESTUDIO .....	90
<b>11.</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>93</b>
<b>12.</b>	<b>RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
12.1.	RECOMENDACIONES .....	97
12.2.	CONCLUSIONES.....	98
<b>13.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>99</b>
<b>14.</b>	<b>ANEXOS.....</b>	<b>104</b>
<b>A.</b>	<b>ANEXO. ACTA DE RESULTADOS CON TRATAMIENTO CONVENCIONAL, DESMINERALIZACIÓN Y LABORATORIO EXTERNO POZO RB 1638H. ....</b>	<b>104</b>
<b>B.</b>	<b>ANEXO. ACTA DE RESULTADOS CON TRATAMIENTO CONVENCIONAL, DESMINERALIZACIÓN Y LABORATORIO EXTERNO POZO RB 1771H. ....</b>	<b>105</b>
<b>C.</b>	<b>ANEXO. RESULTADO ENCUESTA DEL CONTEXTO EN QMAX .....</b>	<b>106</b>



# Lista de ilustraciones

	<u>Pág.</u>
Ilustración 1.Contexto del problema.....	15
Ilustración 2.Árbol del Problema.....	17
Ilustración 3.Estructura conceptual.....	22
Ilustración 4. Teoría del crecimiento económico con desmaterialización.....	23
Ilustración 5.Principales fuentes, tipo de residuos y su destinación.....	34
Ilustración 6.Tipos de fluidos de perforación.....	36
Ilustración 7. Distribución de algunos equipos de control de solidos.....	39
Ilustración 8. Variables del proceso Dewatering.....	40
Ilustración 9. Esquema de un sistema de ósmosis inversa.....	41
Ilustración 10. Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa.....	42
Ilustración 11.Estructura Organizacional.....	46
Ilustración 12.Comportamiento del Petróleo en las Exportaciones.....	48
Ilustración 13.Histórico de pozos perforados.....	49
Ilustración 14.Participación de Mercado en Control de Sólidos.....	49
Ilustración 15. Investigación mixta.....	51
Ilustración 16. Esquematación del análisis documental.....	53
Ilustración 17. Metodología análisis y verificación de datos.....	54
Ilustración 18. Metodología revisión de costos globales de la integración de la ósmosis.....	54
Ilustración 19. Historial licencias campo rubiales.....	70
Ilustración 20. Legislación y licencias vigentes y aplicables.....	71
Ilustración 21. Modelo actual del tratamiento de aguas residuales en perforación de pozos en QMAX.....	84
Ilustración 22. Descripción del modelo de recirculación hídrica para el tratamiento de aguas residuales en la perforación de pozos en QMAX.....	89
Ilustración 23. Transformación del fluido en el tratamiento.....	91

## Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1. Nueve principios del desempeño de la sostenibilidad .....	25
Tabla 2. Agua y Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	29
Tabla 3. Metodología de aplicación del análisis PESTEL .....	52
Tabla 4. Metodología para la esquematización del modelo .....	55
Tabla 5 Variables PESTEL .....	58
Tabla 6. Análisis variables PESTEL.....	61
Tabla 7. Oportunidades y amenazas en el sector según análisis PESTEL .....	66
Tabla 8. Documentación asociada al manejo de aguas .....	67
Tabla 9 Parámetros límites máximos permisibles .....	72
Tabla 10. Resultados análisis a tratamiento convencional.....	74
Tabla 11. Resultados análisis agua permeada .....	76
Tabla 12. Equipos y elementos en la inversión inicial .....	78
Tabla 13. Costos asociados a la instalación .....	78
Tabla 14. Costos asociados a la operación en la integración de la desmineralización ....	79
Tabla 15. Comparativo de costos por localización .....	80
Tabla 16. Comparativo de costos en localización vs planta externa.....	81
Tabla 17 Relación de volúmenes fluido de perforación * .....	85
Tabla 18 Relación promedio de volúmenes en el segmento de estudio. ....	90

# 1.Introducción

En la actualidad, el entorno está llevando a la sociedad a aumentar la preocupación por el medio ambiente y con ello tomar conciencia de los impactos que generan el desarrollo de las actividades humanas como la explotación de los recursos naturales, la disposición de residuos, la expansión urbana, entre otros; lo cual se asocia también a la reducción de la esperanza de vida de las personas, amenazas contra la salud pública y el equilibrio del medio ambiente.

La mayoría de las organizaciones aún siguen trabajando con el tradicional esquema lineal, catalogado por una secuencia de extracción, procesamiento, utilización y eliminación; tomar, hacer, desechar es reflejo de una época en que los recursos, la energía y el crédito se creían ilimitados y eran fáciles de obtener y no había conciencia de las graves consecuencias medioambientales (EL PAÍS, 2015).

Este hecho en las instancias del entorno actual genera alertas desde el ámbito de sostenibilidad, ya que para lograr abastecer la demanda actual de materias primas en el mundo se necesitarían recursos infinitos y la realidad es que el consumo de recursos naturales está generando agotamiento en la mayoría de ellos; hecho que conlleva a repensar el esquema, reutilizando materias primas para hacer un consumo adecuado de estos recursos y reducir la generación de residuos del sistema desde el diseño.

En la búsqueda por generar alternativas que permitan reducir consumo de recursos naturales y la generación de residuos, los esquemas de circularidad aparecen como un nuevo modelo que pretende transformar los convencionales de producción y consumo para llevar a un esquema sostenible; el mismo propone reutilizar los materiales que actualmente son considerados residuos, propiciando que estos mantengan su valor en el tiempo, lo cual constituye ventajas ambientales, beneficios sociales y valor agregado para las organizaciones que se vinculen en esta tendencia.

La transición a modelos de gestión circular es objeto de atención entre los responsables políticos y empresariales de diversos países del mundo, alternativa que desde el gobierno colombiano se ha venido adoptando con la publicación de políticas públicas como el CONPES 3874, del Plan Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos, donde se propone avanzar hacia la economía circular (DNP, 2016); el CONPES 3934, de la Política de Crecimiento Verde, donde unos de sus ejes estratégicos es la inversión en economía circular para impulsar el crecimiento sostenible de pequeñas y grandes empresas (DNP, 2018); y el CONPES 4004, de Economía Circular en la Gestión de los Servicios de Agua Potable y Manejo de Aguas Residuales, en donde se plantea un modelo de economía circular y diseño de mecanismos de gestión de la información con el fin de promover la oferta de agua en el largo plazo y la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en condiciones de calidad y continuidad (DNP, 2020); junto a las mencionadas, desde el Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022, el Pacto por la Sostenibilidad contempla la implementación de la estrategia nacional de economía circular para aumentar el reciclaje, el reúso del agua y la eficiencia energética (DNP, 2018); y el lanzamiento de la Estrategia Nacional de Economía Circular, la cual busca promover la innovación y la generación de valor en sistemas de producción y consumo a través de optimizar, compartir, intercambiar y reciclar y regenerar materiales, agua y energía (MinAmbiente, 2018), esta estrategia enfatiza en (6) seis líneas de acción alineadas a la sostenibilidad en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El desarrollo de este proyecto expone la propuesta de un modelo de recirculación hídrica dentro del proceso de tratamiento de aguas en QMAX; compañía contratista del sector de perforación de hidrocarburos y sectorizada en el esquema de manejo de desechos derivados de esta actividad, la cual promueve una alternativa al tratamiento convencional de aguas buscando la conservación del recurso hídrico, la minimización del impacto socio-ambiental en las zonas de influencia de los proyectos, así como la continuidad de los proyectos.

## 2. Antecedentes

Las actividades de perforación de pozos de hidrocarburos requieren el uso de fluidos de perforación, cementación, lavado de equipos e inyección y en ellas se hace necesario el uso del recurso hídrico, que en su mayoría proviene de la captación de pozos de agua subterráneas y fuentes superficiales.

Por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, Colombia se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor (Lopera, Maria, 2012).

En las actividades de perforación se adhieren dos (2) principales interferencias relacionadas con el recurso hídrico; una es la limitación en los permisos de captación del recurso por la necesidad de conservación y las cargas contaminantes acumuladas en los ecosistemas. Así mismo, se suma la preocupación por el cumplimiento de la legislación colombiana frente a los parámetros para vertimientos de agua como la Resolución 0631 de 2015 de obligatorio cumplimiento.

QMAX, siendo una de las compañías delegadas por las operadoras de petróleos para prestar el servicio de tratamiento de aguas residuales de la perforación de pozos, viene realizando tratamiento convencional de agua para dar cumplimiento a la normatividad referente a vertimientos de aguas, sin embargo, entrando en vigor la Resolución 0631 de 2015, no es posible dar cumplimiento a los parámetros bajo tratamiento convencionales de agua. Con lo anterior nace la preocupación de QMAX, a tener que buscar estrategias, en las cuales pueda brindar una alternativa a las operadoras de perforación para seguir operando los proyectos, pero a la vez buscando la conservación del recurso hídrico y la minimización del impacto socio-ambiental en las zonas de influencia de los proyectos.

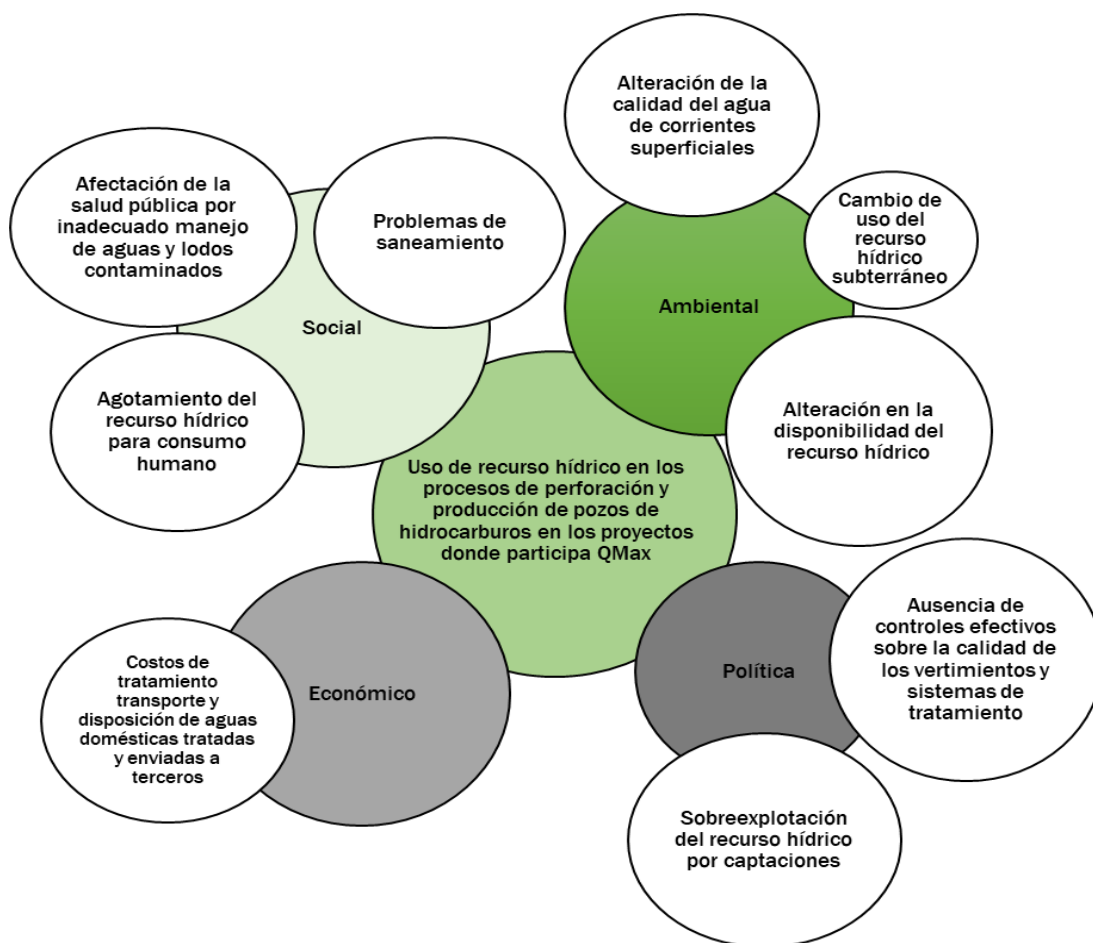
El desarrollo tecnológico ha permitido que el hombre busque herramientas para mitigar los efectos negativos sobre el medio ambiente, y que las industrias puedan seguir

operando de manera responsable y sostenible en el tiempo; si bien es cierto las actividades desarrolladas por QMAX demandan recursos y generan impactos ambientales, la implementación de tecnologías eficientes como la ósmosis inversa permiten recuperar aguas de diferentes calidades y características en los procesos de tratamiento de aguas.

### 3. Descripción del problema

Con el ánimo de entender las problemáticas centrales en aspectos como lo económico, ambiental, social y político, en la ilustración 1 se presenta el contexto del problema.

**Ilustración 1.Contexto del problema.**



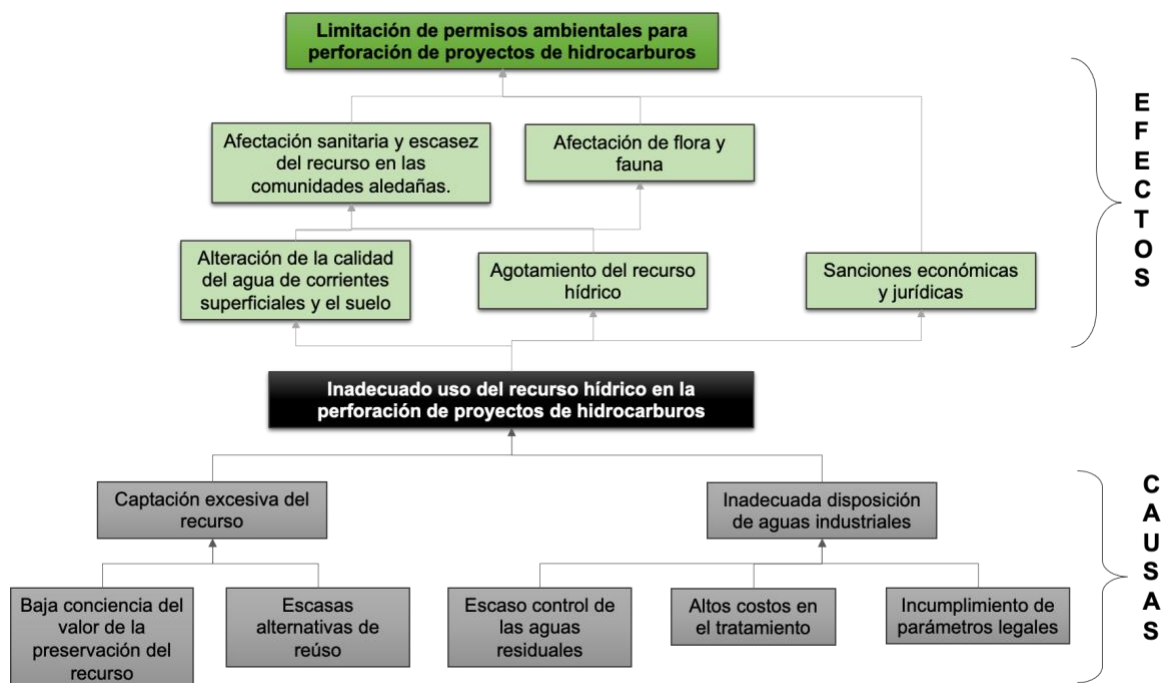
**Fuente. Elaboración propia.**

QMAX es una empresa contratista del sector de hidrocarburos, quien para la prestación de sus servicios de abastecimiento de fluidos de perforación de pozos de hidrocarburos necesita del recurso hídrico y sabiendo que cada vez es más escaso, genera preocupación para la compañía; a raíz de esto se plantean los siguientes aspectos para abordar la problemática:

- **Ambiental:** Los servicios de abastecimiento de fluidos de perforación y terminación de pozos generan alteraciones en la disponibilidad del agua para los ecosistemas aledaños al proyecto, genera alteraciones y cambios en la calidad de las corrientes superficiales como cambios en el uso del recurso hídrico subterráneo.
- **Social:** La gestión y disposición final de aguas residuales industriales trae consigo problemas de saneamiento para los municipios y departamentos donde se desarrollan los proyectos, generan afectación de salud pública y como ocasión de la elaboración de fluidos de perforación se ve afectada la disponibilidad del líquido vital para consumo humano.
- **Económico:** QMAX y sus clientes deben asumir costos elevados en el tratamiento, transporte y disposición de aguas domésticas e industriales tratadas y enviadas a terceros.
- **Político:** Es difícil para una compañía como QMAX controlar los vertimientos de sus proveedores de servicios de tratamiento de aguas, cuando las autoridades ambientales locales, quienes son las encargadas de ejercer esta tarea no la hacen de manera eficiente y aunado a ello estas entidades muchas veces generan una sobreexplotación del recurso hídrico con la entrega de concesiones para captaciones.



**Ilustración 2.Árbol del Problema.**



**Fuente. Elaboración propia a partir de Sanín (2008).**

Dentro del árbol de problemas de la ilustración 2 se ha hecho la identificación del problema central, el cual radica en el inadecuado uso del recurso hídrico en la perforación de proyectos; de allí nacen las causas planteadas como son las excesivas captaciones de agua que acarrea el desarrollo de las actividades de la industria petrolera y la disposición de estas aguas industriales. Con esto, se logra identificar también los efectos en los aspectos: social (Afectación sanitaria y escasez del recurso en las comunidades aledañas), económico (Sanciones económicas y jurídicas) y ambiental (alteración de la calidad del agua de corrientes superficiales y el suelo y el agotamiento del recurso).

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo general

Diseñar un modelo de recirculación hídrica que garantice el reúso del agua mediante ósmosis inversa, dentro del proceso de tratamiento de aguas en los proyectos de perforación y producción de hidrocarburos en los servicios prestados por QMAX.

### 4.2. Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico al contexto del tratamiento y disposición de aguas residuales de los procesos de perforación y producción de hidrocarburos.
- Comparar el proceso de disposición final convencional como sistemas de tratamiento de agua y lodos de perforación y producción de hidrocarburos, frente al cumplimiento de la legislación aplicable.
- Evaluar la ósmosis inversa como parte del proceso de tratamiento de aguas en los proyectos de perforación y producción de hidrocarburos en los servicios prestados por QMAX.
- Plantear el modelo de recirculación hídrica que integre la ósmosis inversa dentro de la reutilización del agua y a su vez logre viabilizar proyectos donde la licencia ambiental no permite vertimientos en vías o cuerpos de agua.

## 5. Justificación

Durante la Semana Mundial del Agua de 2014 organizada por el Instituto Internacional del Agua de Estocolmo (SIWI), destacados expertos internacionales debatieron la necesidad de un cambio de paradigma en el consumo de agua: pasar de un esquema lineal a un esquema circular, es decir, un esquema que por definición sea reparador y regenerativo, y pretende conseguir que los productos, componentes y materiales mantengan su máxima utilidad y valor en todo momento; como se pronostica que la demanda mundial de agua excederá los recursos viables en un 40 % en 2030, es necesario que se reconsideren los enfoques tradicionales e ineficientes del consumo de agua y se adopten nuevas estrategias que posibiliten que este recurso vital sea reutilizado lo mayormente posible, y lograr normas eficientes para la gestión del agua (Saltie, 2016).

Sin lugar a duda, la industria de los hidrocarburos es uno de los sectores económicos que presenta mayor demanda de agua, por lo que la búsqueda de estrategias que mitiguen este impacto por parte de empresas como QMAX, permitirían establecer buenas relaciones con la comunidad y partes interesadas, mejor la reputación del sector económico y ser mucho más competitivo.

En los trabajos de perforación de pozos se utilizan comúnmente los fluidos de perforación base agua, cuyos componentes principales son la barita, compuestos inorgánicos, bentonita y otras arcillas, entre otros. De igual forma, se presentan metales pesados, sales inorgánicas, polímeros inorgánicos y biocidas. Todos estos componentes al ser mezclados con el agua captada conforman un fluido que por su naturaleza química es contaminante para el medio ambiente, si no se dispone adecuadamente mediante un sistema de tratamiento previo (Ortiz M. , 2016, pág. 20).

Con lo anterior, se considera que el proyecto abordaría problemáticas en los aspectos social, ambiental y económico, como son la contaminación ambiental del agua, la creciente demanda de este recurso por las comunidades, los altos costos que debe

asumir QMAX en los procesos de tratamiento del agua y el cumplimiento de los niveles permisibles estipulados en la normativa colombiana.

QMAX sabe que cada pozo es único; por lo tanto, siempre se requiere un enfoque dirigido para brindar soluciones efectivas, sostenibles y personalizadas para las diversas necesidades de perforación de cada operador, junto con el compromiso de prestar un servicio que vaya más allá de los requisitos y estándares del cliente, las necesidades de la industria, las leyes y regulaciones aplicables en los países donde opera.

En la prestación de los servicios de fluidos de perforación, control de sólidos, gestión de residuos y limpieza de pozos en QMAX, se tiene un actor muy importante y es el agua; uno de los recursos naturales más importante, puesto que el ciclo hidrológico es de vital importancia para el funcionamiento de los ecosistemas naturales y la regulación del clima, constituye el 80% de la mayoría de los organismos y es esencial en diferentes usos agrícolas, industriales y domésticos (Iagua, 2020) y puede ser considerada como un recurso renovable cuando se controla cuidadosamente su uso, tratamiento, liberación y circulación, de lo contrario se convierte en un recurso no renovable en las comunidades o ecosistemas aledaños a los proyectos, por lo que se necesita con urgencia en la empresa el planteamiento y desarrollo de alternativas que minimicen el impacto, a través de la prevención de la contaminación, la reducción del consumo de recursos naturales y el reciclaje de residuos, mediante la implementación de modelos de recirculación hídrica y alternativas sostenibles para el tratamiento de las aguas en QMAX.

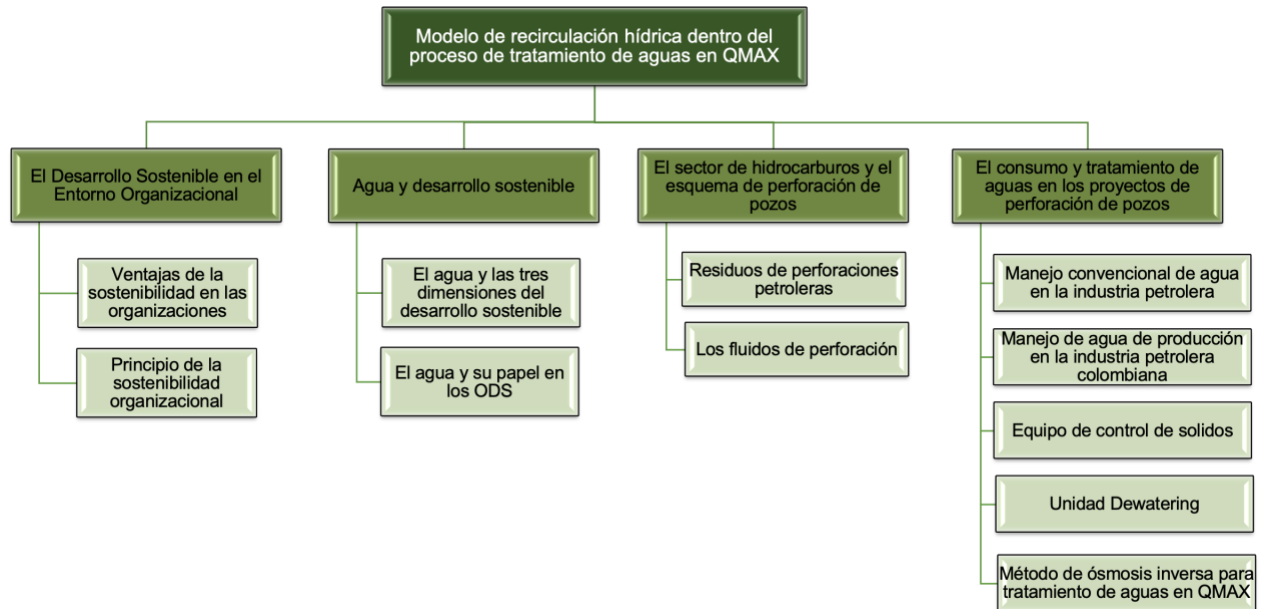
## 6. Marco de referencia

De manera progresiva en los últimos años la gestión responsable y sostenible de las organizaciones ha ido cobrando relevancia independientemente del tipo de bienes y servicios ofrecidos o del sector económico en que se vean involucradas, en razón a esto las empresas necesitan desarrollar o incorporar un nuevo esquema de negocio que le permita dar respuesta a los retos globales de la economía.

Para ello es importante dar inicio al presente esquema teórico con el concepto del Desarrollo Sostenible como el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente, sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades (Gómez, 2018); con la instauración de este concepto se impuso cambiar la visión global de las organizaciones incluyendo discusiones en la generación de un cambio social, ambiental dentro del enfoque económico involucrado en las mismas.

Los elementos conceptuales que serán utilizados para el desarrollo del proyecto se pueden visualizar en la ilustración 3 y se agrupan bajo la siguiente estructura: a) el desarrollo sostenible en el entorno organizacional; b) El agua y el desarrollo sostenible; c) relación entre el esquema de perforación de pozos y la generación de residuos líquidos; d) el consumo del agua en la perforación de pozos; y finalmente, e) la ósmosis inversa como como alternativa sostenible para gestión de los residuos líquidos en el proceso de perforación de pozos.

**Ilustración 3. Estructura conceptual.**



**Fuente. Elaboración propia**

## 6.1. La sostenibilidad en el entorno organizacional

“Aquel desarrollo que satisface las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades” (Organización de las Naciones Unidas, 1992).

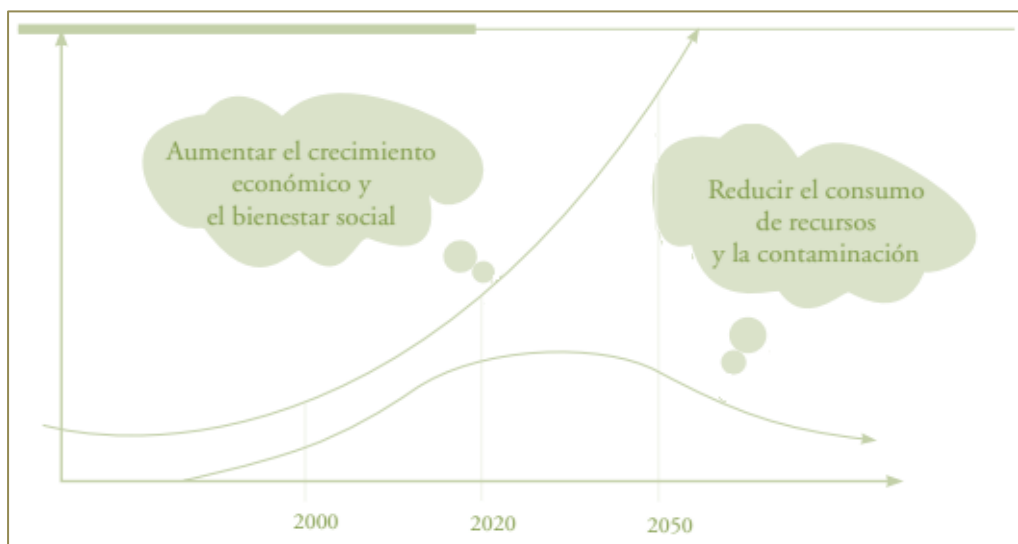
La sostenibilidad, por tanto, dice que se satisfagan las necesidades de nuestra generación sin comprometer el bienestar de las próximas generaciones, garantizando además el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social. Para las organizaciones esto debe incluir la responsabilidad social corporativa, así como un compromiso por parte de todas sus partes interesadas.

Desarrollar estrategias sostenibles en las organizaciones es un desafío para las organizaciones, pero su implementación es un desafío mayor. En la mayoría de las implementaciones exitosas, los CEO están participando y son los orientadores de las preocupaciones corporativas para implementar la sostenibilidad. Pero no tienen una tarea fácil y deben enfrentar la paradoja de mejorar sus resultados financieros y a la vez el desempeño social y ambiental. Los administradores de las unidades de negocio están presionados a entregar utilidades y su desempeño típicamente es medido principalmente según con qué éxito las entregan. Por lo tanto, a menudo es difícil obtener la alineación de

estrategia, estructura, sistemas, medidas de desempeño y recompensas, para facilitar las implementaciones efectivas. También a menudo es difícil obtener los recursos para administrar de manera efectiva los diversos orientadores del desempeño social y ambiental (Epstein, 2009).

En línea con lo anterior, es responsable mencionar que la tarea de buscar un desarrollo sostenible a la par con un crecimiento económico dentro de las organizaciones no es tarea fácil, como lo expone Gómez (2018, págs. 19,20) existe un desacoplamiento absoluto de impactos ambientales y de consumo de recursos, como se muestra en la ilustración 4; sin embargo, debemos recalcar a los responsables de la administración, que la sostenibilidad es una cuestión de supervivencia en los diferentes sectores económicos y las organizaciones que hagan esfuerzos en busca de estrategias sostenibles en el desarrollo de sus actividades y prestación de servicios como lo hace QMAX, sencillamente pueden verse o quedar relegados frente a otros competidores.

#### Ilustración 4. Teoría del crecimiento económico con desmaterialización



Fuente: Elaboración propia a partir de Gomez (2018).

En la medida en que las organizaciones buscan maneras para mejorar su desempeño, la determinación de las mejores formas para integrar esos mejoramientos en todas las partes de la organización todavía ofrece desafíos. Esos desafíos se deben a que la implementación de la sostenibilidad es fundamentalmente diferente de la implementación de otras estrategias en la organización. Para las metas operacionales, usualmente es claro el vínculo con las utilidades. Para la innovación, que es de largo plazo

y a menudo es difícil de predecir y medir, la meta intermedia es productos nuevos y la meta última es incrementar la utilidad. Sin embargo, para la sostenibilidad, la meta es lograr simultáneamente la excelencia en el desempeño tanto social, como ambiental y financiero (Epstein, 2009).

### 6.1.1. Ventajas de la sostenibilidad en las organizaciones

El desarrollo de estrategias de sostenibilidad trae consigo ventajas para las organizaciones y todas sus partes interesadas, sin embargo y con el ánimo de incentivar la implementación de estrategias sostenibles en empresas como QMAX, vemos relevante mencionar las razones principales que para Epstein (2009, pág. 28) son las cuales la sostenibilidad exige ahora una atención urgente:

- 1. Regulaciones:** Están asociadas a las regulaciones de las entidades gubernamentales y los códigos de conducta de la industria, que a su vez repercuten en sanciones, multas, cierre de operaciones y actividades, pérdida de productividad y reputación corporativa.
- 2. Relaciones con la comunidad:** Las comunidades están más atentas a los impactos ambientales y sociales que puedan ocasionar el desarrollo de las actividades de las organizaciones y también de los beneficios que pueden obtener en el desarrollo de esas actividades. La identificación de los problemas sociales y ambientales que son importantes para las partes interesadas y el mejoramiento de las relaciones con las comunidades, pueden ayudar a fomentar la lealtad y confianza. La obtención de permisos y licencias para operar por parte de las autoridades ambientales y las comunidades son de gran importancia para las organizaciones. El buen desempeño en la sostenibilidad puede conseguir una reputación positiva con las partes interesadas y mejorar las relaciones con la comunidad y el desempeño del negocio. De manera alternativa, las consecuencias de administrar de manera equivocada la sostenibilidad y las relaciones con las comunidades pueden ser importantes y costosas en términos de daño reputacional e impactos potenciales en la línea de resultados.
- 3. Obligaciones sociales y morales:** Relacionadas con falta de cultura organizacional y que no garantizan prácticas transparentes en el desarrollo de



sus actividades, que muchas veces que conllevan a fraudes y corrupción, con consecuencias importantes en la sostenibilidad de la organización.

**4. Costos e ingresos ordinarios.** La sostenibilidad también puede crear beneficios económicos para las organizaciones, mediante ingresos ordinarios mejorados y costos reducidos. En otras palabras, la administración de la sostenibilidad es una buena decisión de negocios. Los ingresos ordinarios se pueden incrementar mediante las ventas o nuevos clientes como consecuencia de una buena reputación en el mercado. Los costos se pueden reducir debido a mejoramientos de los procesos y a la disminución en las multas regulatorias.

## 6.1.2. Principios de la sostenibilidad organizacional

Para entender la sostenibilidad como compromiso en las organizaciones, se hace necesario conocer los principios que resaltan lo que es más importante en la administración de los impactos sobre las partes interesadas; y bajo los cuales toda estrategia de sostenibilidad, como lo es el modelo de recirculación del agua para QMax, deben fundamentarse:

**Tabla 1. Nueve principios del desempeño de la sostenibilidad**

Principio	Acciones
1. Ética	La organización establece, promueve, monitorea y mantiene estándares y prácticas de ética con sus partes interesadas (Entorno, clientes, trabajadores, entorno político, proveedores y sociedad).
2. Gobierno	La organización administra de manera consciente y efectiva todos sus recursos, reconociendo los deberes fiduciarios de las juntas y de los administradores corporativos para centrarse en los intereses de todas las partes interesadas de la organización.
3. Transparencia	La organización informa de manera sincera las características de sus productos, servicios y actividades, permitiendo que sus partes interesadas tomen decisiones informadas.
4. Relaciones de negocio	La organización se compromete con prácticas justas de negociación con sus proveedores, contratistas y socios.

Principio	Acciones
5. Retorno financiero	La organización compensa a los proveedores de capital con retornos competitivos sobre la inversión y con la protección de los activos de la organización.
6. Participación de la comunidad / desarrollo económico	La organización hace parte del desarrollo económico, social y ambiental de las comunidades circundantes y fomenta relaciones de beneficio mutuo con ellas.
7. Calidad de sus productos y servicios	La organización respeta las necesidades, deseos y derechos de sus clientes e intenta suministrarle los niveles más altos de calidad del producto y del servicio.
8. Prácticas laborales	La organización se compromete en prácticas de administración de recursos humanos que promuevan el desarrollo personal y profesional de los empleados, la diversidad y el empoderamiento; y promueve el trabajo local.
9. Protección del medio ambiente	La organización mitiga sus impactos negativos, protege y restaura el medio ambiente y promueve el desarrollo sostenible con productos y servicios menos contaminantes.

Fuente: Elaboración propia a partir de Epstein (2009, pág. 48)

## 6.2. Agua y desarrollo sostenible

El presente proyecto tiene como actor principal el recurso hídrico y la búsqueda de estrategias para mitigar su contaminación y que mediante la recirculación por ósmosis inversa se logre un ciclado infinito del agua dentro del tratamiento de aguas, beneficiando así cada una de las partes interesadas de QMax y generando desarrollo sostenible; para La UNESCO (2015), el agua es la base del desarrollo sostenible; la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental se sustentan en los recursos hídricos y en los distintos servicios que proporcionan. Desde la alimentación, el suministro energético, la salud humana y ambiental, el agua contribuye a mejorar el bienestar social.

La demanda mundial de agua está muy condicionada por el crecimiento demográfico, la urbanización, las políticas de seguridad alimentaria y energética y los

procesos macroeconómicos como la globalización del comercio, los cambios en la alimentación y el aumento del consumo. Se prevé que la demanda mundial de agua aumente un 55% en 2050 (UNESCO, 2015), debido principalmente a las crecientes necesidades de la industria, la producción agrícola y energética, y el uso doméstico; la extracción excesiva se da principalmente por modelos obsoletos de uso y gestión de los recursos naturales, en los que el uso de los recursos para el crecimiento económico no está lo suficientemente regulado y se lleva a cabo sin los controles adecuados. Los suministros de aguas subterráneas también están disminuyendo, y estos son la fuente principal del suministro de agua en la industria minera y la razón por la que muchas veces se niegan los permisos y licencias para su extracción; se calcula que en la actualidad se están explotando en exceso el 20% de los acuíferos mundiales (UNESCO, 2015). La alteración de los ecosistemas a través de la incesante urbanización, las prácticas agrícolas inadecuadas, la deforestación y la contaminación son algunos de los factores que están socavando la capacidad del medio ambiente de proporcionar servicios del ecosistema, como agua limpia.

### 6.2.1. El agua y las tres dimensiones del desarrollo sostenible

Las tres dimensiones del desarrollo sostenible corresponden a los aspectos social, económico y ambiental; el progreso de cada uno de ellos está circunscrito dentro de los límites que imponen los recursos hídricos y la proporción de servicios y beneficios. Aunado a ello, las interrelaciones entre el agua y el desarrollo sostenible, va mucho más allá de estas dimensiones, puesto que la salud humana, la seguridad alimentaria y energética, la urbanización, el crecimiento industrial y el cambio climático, constituyen desafíos importantes en los que las políticas y las acciones en la base del desarrollo sostenible de las organizaciones y gobiernos, pueden fortalecerse o debilitarse a través del agua.

Entendiendo lo anterior, el contexto y árbol del problema del proyecto, se ve que el desarrollo de modelos de recirculación hídrica como el planteado para QMax, aporta en cada una de las dimensiones del desarrollo sostenible propuestas por La UNESCO (2015) y los cuales el agua juega un papel importante frente a estos retos:

- **Pobreza e igualdad social**

El acceso al suministro de agua de uso doméstico es crucial para la salud de las personas y la dignidad social, sin embargo, el acceso al agua para usos agrícolas e

industriales también son de vital importancia, para el abastecimiento de los alimentos, productos de necesidad básica, generación de ingresos y productividad económica; y la inversión en estrategias de mejora en la gestión del agua y de los servicios hídricos contribuye en reducir la pobreza, sustentar el crecimiento económico, mejorar los servicios hídricos y sanitarios a través de la prevención de enfermedades y la reducción de los costos sanitarios.

- **El desarrollo económico**

El agua es un recurso esencial en la producción de la mayoría de los bienes y servicios, incluidos los alimentos, la energía y las manufacturas. Los beneficios de invertir en el uso de tecnologías para el tratamiento y suministro del agua facilitan los cambios estructurales necesarios para impulsar los avances en muchas áreas productivas de la economía, generando ingresos, mejoras en los gastos de la salud y a su vez una dinámica autosostenida de desarrollo económico.

- **Protección ambiental y servicios para el ecosistema**

La mayoría de los modelos económicos no valoran los servicios esenciales que proporcionan los ecosistemas de agua dulce, que a menudo conducen a un uso insostenible de los recursos hídricos y al deterioro del ecosistema. La contaminación debida a las aguas residuales residenciales e industriales y a la escorrentía agrícola también debilita la capacidad del ecosistema de proporcionar servicios relacionados con el agua (UNESCO, 2015).

Los servicios de los ecosistemas siguen estando infravalorados, poco reconocidos e infrautilizados en la mayoría de los actuales enfoques económicos y de gestión de recursos. Un enfoque integral de los ecosistemas para el agua y el desarrollo, que mantenga una mezcla beneficiosa entre infraestructuras naturales y artificiales, puede garantizar la sostenibilidad a largo plazo.

## **6.2.2. El agua y su papel en los ODS**

La integridad en la gobernanza en el sector del agua es condición indispensable para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS); no solo los objetivos en materia de agua, sino también los que apuntan a poner fin al hambre, a promover la agricultura sostenible, a lograr la igualdad de género y a generar fuentes de energía





sostenible confiables. La integridad es esencial para proteger el medio ambiente y los ecosistemas y para construir ciudades seguras y sostenibles (UNDP, 2021).

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) reflejan la aspiración global de transformar el mundo antes del año 2030, e incluyen 17 compromisos principales, que abarcan desde poner fin a la pobreza y al hambre hasta promover la igualdad de género y el crecimiento económico. Los ODS reconocen la importancia de las cuestiones relacionadas con el agua por derecho propio y como requisito para hacer realidad muchos de los otros objetivos. No obstante, entre los obstáculos principales que se interponen a la consecución de estos objetivos, dos de los más pertinaces son la corrupción y la falta de integridad.



Entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible, el objetivo 6 “garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos” reconoce el carácter central del agua, el saneamiento y la higiene en el desarrollo y la estabilidad de las personas. También se reconoce que un sector del agua próspero y sostenible es vital para muchos de los demás objetivos y metas.

Para comprender la relación e importancia que tienen los Objetivos de Desarrollo Sostenible con el agua, presentamos la siguiente tabla:

**Tabla 2. Agua y Objetivos de Desarrollo Sostenible**

ODS	Relación con el ODS 4 (Agua limpia y saneamiento)
	Agua y saneamiento disminuyen vulnerabilidad y mejoran ingresos familiares.
	El agua es clave para la productividad agrícola y la producción de alimentos.
	La contaminación del agua y la falta de saneamiento básico generan enfermedades y producen muertes.
	Agua y saneamiento mejoran el rendimiento escolar y disminuye el absentismo.

ODS	Relación con el ODS 4 (Agua limpia y saneamiento)
	<p>Derechos al agua y saneamiento muchas veces son vulnerados en mujeres y niñas.</p>
	<p>La producción energética es altamente dependiente del agua.</p>
	<p>Agua y saneamiento aumentan productividad laboral y crecimiento económico.</p>
	<p>Agua y saneamiento generan espacios para la innovación e industria y también aporta como recurso en la infraestructura.</p>
	<p>Agua y saneamiento claves para la inclusión social y económica de los más pobres.</p>
	<p>Muertes y pérdidas económicas por desastres relacionados con el agua.</p>
	<p>Contaminación del agua por sustancias químicas y residuos.</p>
	<p>El agua es clave en la adaptación al cambio climático y resiliencia de personas, actividades económicas y ecosistemas.</p>
	<p>Reducción de la contaminación marina y costera requiere mejoras en la calidad del agua.</p>
	<p>Ecosistemas de agua dulce y humedales y efectos de especies invasoras en ecosistemas acuáticos.</p>

ODS	Relación con el ODS 4 (Agua limpia y saneamiento)
	Acuerdos internacionales de países que comparten recursos hídricos para evitar conflictos.
	Relación del agua con todos los objetivos, hace el agua un ámbito clave para fomentar alianzas y cooperación.

Fuente: Elaboración propia a partir de Guijarro (2016)

### 6.3. El sector de hidrocarburos y el esquema de perforación de pozos

La industria del sector hidrocarburos es una de las más importantes y consolidadas a nivel mundial, en Colombia se ha venido consolidando a través de la empresa del estado Ecopetrol y otras operadoras presentes en el mercado. Esta industria se compone de dos (2) áreas, una llamada upstream, que comprende las actividades de exploración y producción, y la segunda denominada downstream, que ejecuta las actividades de transporte, refinación y comercialización; para el caso en especial de este proyecto se hace referencia al primero (EITI Colombia, 2020).

El área de upstream en términos generales comprende las siguientes actividades:

- **Contratación:** En primera instancia se presenta la fase de evaluación técnica de exploración y producción. Esta puede llevarse a cabo por la empresa del Estado o por otras operadoras ya sea nacionales o extranjeras con las cuales se establece la firma de un contrato en el cual se establecen términos tales como área asignada, la duración del contrato, las actividades de exploración y producción, y las obligaciones generales, entre otros aspectos.
- **Exploración:** En esta fase a la vez se constituye una primera instancia en la cual se realiza la consolidación de la información geográfica (sísmica), y una segunda (perforación exploratoria), en donde se busca identificar formaciones geológicas que posean potenciales yacimientos de hidrocarburos.

- Perforación de pozos: Una vez hay una probabilidad de detectar formaciones con la presencia de hidrocarburos se procede a la perforación del proyecto, los pozos pueden clasificarse como exploratorios o de desarrollo. Se llaman exploratorios si su objetivo es descubrir un nuevo yacimiento; mientras que los de desarrollo tienen como objetivo la explotación de un yacimiento ya conocido. siendo esta etapa en la cual se consolida el presente proyecto.
- Evaluación y desarrollo: En esta fase se desarrollan los procesos técnicos para preparar la comercialización del hidrocarburo, lo cual proviene derivado de la etapa de perforación de pozos exploratorios cuando se realiza un descubrimiento, donde se efectúa un programa de evaluación, el cual permitirá conocer los métodos de extracción, el tipo de estructura geológica, entre otros aspectos que definen la comercialidad del hallazgo y los costos asociados con el desarrollo del proyecto de explotación.
- Producción: En esta etapa se realiza la extracción del hidrocarburo y la estabilización de pozos para mantener su productividad estimada, se define así mismo, el medio de transporte, el proceso de explotación, dentro del cual se realizan mantenimientos para garantizar la productividad estimada de los pozos.

### **6.3.1. Residuos de perforaciones petroleras**

La exploración para la producción de crudo y gas es una operación industrial que inevitablemente genera desechos y la gran mayoría de estos son simplemente no peligrosos. Los lodos de perforación, fragmentos de roca y el agua de producción son sustancias con la adición de pequeñas cantidades de aditivos químicos (ilustración 5).

Dentro de los principales residuos de perforación se pueden mencionar, los siguientes:

- Lodos de perforación: En la perforación y rotación juegan un papel importante los lodos, que son fluidos de mezclas de arcilla cuya composición predominante son los filosilicatos, bentonita, barita, y otras sustancias naturales usadas para cumplir con objetivos como el transporte de fragmentos de roca a la superficie, lubricación y refrigeración de las brocas de perforación, control de las altas presiones que se encuentran



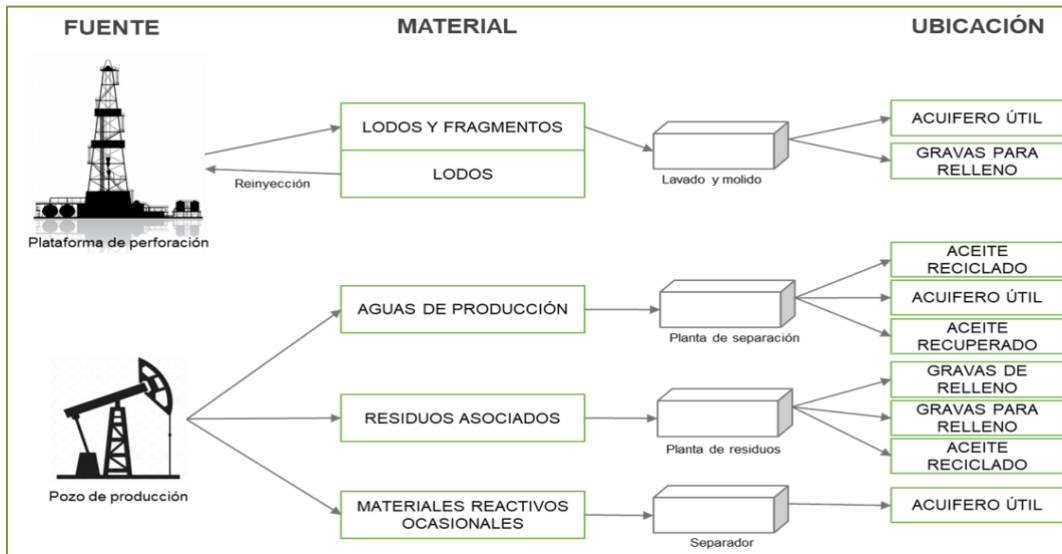
cuando un pozo de petróleo o gas es perforado miles de pies bajo la superficie terrestre y el mantener las paredes del pozo; sin lodos de perforación sería imposible perforar de manera segura. (Moreno, 1992).

- Fragmentos de perforación: Son fragmentos de suelos y roca que son removidos a medida que la broca penetra en los estratos generando el orificio que llegará a ser el pozo productor. Durante el desarrollo de esta fase pueden ser encontrados materiales de todo tipo de granulometrías y litologías lo cual va a influir en el volumen de fragmentos gruesos, extraídos durante la perforación (Moreno, 1992).
- Agua de producción: Asociada con el aceite y debe ser separada antes de que este sea enviado a través de los oleoductos a los centros de refinación. Esta separación ocurre en estaciones y centros de flujos donde se separa con fines de ser inyectada dentro de los reservorios en los procesos que ayudan a obtener recobros adicionales de petróleo (Moreno, 1992).

Generalmente los desechos asociados son tratados de dos maneras: los líquidos son inyectados en acuíferos apropiados a través de pozos de inyección y los materiales sólidos, previamente lavados y descontaminados, son reubicados en la superficie como material de rellenos. En la actualidad, la ubicación de los lodos y fragmentos de roca en las piscinas ha permitido la disposición de algunos de sus componentes relativamente benignos en el ambiente.

Si las piscinas no son manejadas apropiadamente el volumen de lodos y fragmentos podrían sobrepasar cerca de los diez mil barriles por pozo, razón por la cual desde que se desarrollan campos con cientos de pozos en producción, exploración y planeación, el manejo de los sistemas de lodo y residuos es realmente importante.

Ilustración 5. Principales fuentes, tipo de residuos y su destinación.



Fuente. Elaboración propia a partir de Moreno (1992)

### 6.3.2. Los fluidos de perforación

Antes de entender el papel que juega la ósmosis inversa en el tratamiento de aguas de perforación petrolera, es necesario conocer cuáles fluidos son los que se desean tratar y qué papel juegan en el proceso de perforación.

Como se ha mencionado en el numeral anterior, para realizar la perforación de pozos petroleros se utilizan fluidos que permiten: controlar la presión de la formación, remover los recortes del pozo, sellar las formaciones permeables encontradas durante la perforación, enfriar y lubricar la barrena, transmitir energía hidráulica a las herramientas de fondo de pozo y a la barrena y, lo más importante mantener la estabilidad y control del pozo (Saltie, 2016).

Los sistemas de fluidos de perforación presentan una fase discontinua que está compuesta por sólidos y otra fase continua que comprende una fase líquida y a veces combinada con otra fase gaseosa. Esta última fase se puede presentar por diseño del fluido de perforación o por arrastre de gas de formación al momento de la perforación.

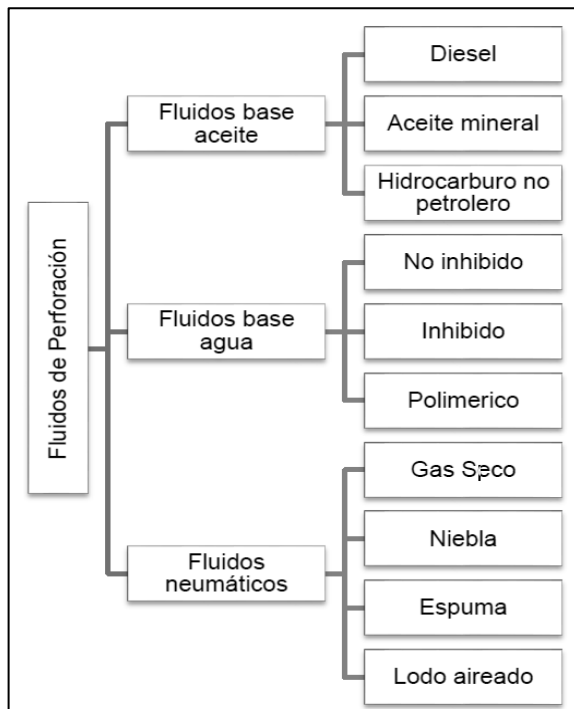
La fase continua permite clasificar los fluidos de perforación en tres tipos: **gaseosos**, **acuosos** y **no acuosos** como se muestra en la ilustración 6; y en donde los gaseosos, se utilizan en formaciones con rocas fracturadas ya que ayudan a remover los recortes del pozo. Los acuosos, son los fluidos más utilizados en la mayoría de las

operaciones de perforación del mundo, es el fluido base agua formulado con agua fresca y algunas veces con sales (para cambiar la reactividad que se encuentra entre el filtrado y la formación), arcilla y sistemas complejos de fluidos de perforación denominados inhibidores o estabilizadores de arcillas (Ortiz M. , 2016).

Los no acuosos, también denominados lodos a base sintético son usados para ambientes de perforación desafiantes (perforación en zonas saladas, de shales y en ambientes muy calientes o muy fríos) y presentan una fase continua que puede ser de aceites minerales, esteres biodegradables, olefinas, etc. Económicamente, estos aceites minerales son más costosos que los lodos base agua, pero lo compensa el hecho de aportar estabilidad térmica, lubricidad, velocidad de penetración y control al pozo, permitiendo disminuir el costo total de la operación.

Al momento de diseñar un fluido de perforación, se presenta una primera etapa de planeación en el cual los especialistas en fluidos miran y estudian diferentes tipos y sistemas de fluidos de perforación para cada sección del pozo, cumpliendo con especificaciones de densidad, estabilidad del pozo, gradientes térmicos, asuntos ambientales, entre otros. Normalmente, el primer fluido que se utiliza es agua, para perforar hasta la profundidad de entubación inicial. Posteriormente, dicho fluido se convierte o se desplaza por un lodo inhibidor espesado a base agua debido al aumento de la temperatura, de la presión de formación y la presencia de formaciones más complejas a medida que se profundiza. Finalmente, se utiliza un fluido de perforación no acuoso.

**Ilustración 6. Tipos de fluidos de perforación.**



Fuente. (Ortiz M. , 2016).

#### **6.4. El consumo de agua en los proyectos de perforación de pozos petroleros en Colombia**

Colombia es un país que tiene una riqueza hídrica y de ella hacen parte seis nevados (Santa Marta, Cocuy, Huila, Ruiz, Tolima y Santa Isabel), cinco vertientes hidrográficas (Caribe, Orinoco, Amazonas, Pacífico y Catatumbo), más de treinta grandes ríos y ciénagas, lagos, lagunas, embalses y represas; por lo que pensar hace 60 años en sequías y crisis hídricas en el país era poco creíble. Sin embargo, se ha visto un crecimiento exponencial de las actividades agrícolas, la expansión de ciudades con efectos sobre humedales, afectación de rondas de los ríos para viviendas, crecimiento minero con consumos altos del recurso, entre otras, ha llevado a repensar en estrategias, para organizaciones como QMax, en favor de la protección del recurso hídrico que logre mitigar de alguna manera la contaminación y los altos consumos en la industria petrolera.

La producción de agua en esta industria se encuentra directamente relacionada con su producción, es por ello por lo que a medida que se realice mayor exploración que lleve a un aumento en la producción de crudo, mayor será la cantidad de agua producida en

superficie. Esto genera un mayor reto para la industria, que deberá ocuparse de la disposición final de los volúmenes de agua obtenidos.

Según la información recopilada, el lugar en Colombia con mayor producción de volumen de agua es el departamento del Meta, en donde se produce aproximadamente la mitad del agua de la industria del petróleo en el país. Este mismo departamento se encarga de producir crudo de tipo ligero (Mesa, Orjuela, Ortega, & Sandoval, 2018).

La principal estrategia que se emplea en el país para el manejo de los volúmenes de agua producidos en la industria del petróleo corresponde a la disposición subterránea con el 58,2%, equivalente a 120 millones de metros cúbicos de agua.

En Colombia, con base en las licencias ambientales y demás fuentes estudiadas, la mayor parte del tratamiento para el agua residual se concentra en tratamientos primarios ya sea de tipo físico, químico o biológico, con tecnologías convencionales como desengrasado, remoción de compuestos orgánicos, evaporación y tratamientos con membranas bajo cambios de presión, que poco a poco se han venido optimizando en algunos casos ya sea de manera individual o en configuraciones, también llamados sistemas híbridos. Sin embargo, con base en la revisión realizada, se puede afirmar que es incipiente la investigación en técnicas no convencionales, pues, aunque se han desarrollado tecnologías como procesos de oxidación avanzada simple y combinada (fotocatálisis, electro oxidación, oxidación de agua supercrítica, entre otras), predominan las técnicas de biorremediación.

#### **6.4.1. Manejo de agua de producción en la industria petrolera colombiana**

Teniendo en cuenta que la industria petrolera en Colombia usa el agua en las fases de exploración, producción, transporte y refinación, pero en la fase donde más se consume de este recurso es en la producción; fase en la cual QMax presta servicios de tratamiento de aguas de producción y fluidos de perforación, razón que nos lleva a indagar sobre las diferentes estrategias de tratamiento más usadas por la industria en Colombia y a su vez que conocer la viabilidad de la ósmosis inversa como mecanismo sostenible para la recirculación de las aguas de producción y perforación de pozos.

Actualmente dentro de los servicios QMax viene realizando el tratamiento de manera convencional, el cual consiste que, durante la circulación del fluido de perforación, el lodo asciende a superficie por el espacio anular y llega directamente a un centro de

tratamiento y recuperación de desechos que está compuesto por un equipo de control de sólidos y una unidad de Dewatering, para su posterior disposición final.

### **6.4.2. Equipo de control de sólidos**

El equipo de control de sólidos facilita la remoción progresiva de los sólidos perforados, permitiendo así optimizar el desempeño de los equipos que se encuentran después de realizar este proceso. Para Ortiz (2016, pág. 44) dentro de los principales equipos de control de sólidos se encuentra las zarandas, y las cuales están diseñadas para procesar fluidos de perforación y remover los sólidos; estas zarandas están constituidas de mallas que llevan alambres entretnejidos con ciertos tamaños de apertura. Su capacidad depende del tejido y la textura, del tamaño de la apertura y del área total de la superficie de la malla.

Otros de los equipos del control de sólidos, son los hidrociclones, que funcionan a través de una bomba centrífuga que permite la entrada del fluido de perforación enviándolo tangencialmente a una cámara de alimentación, una vez ahí, se crea una fuerza centrífuga debido al movimiento generado en el recipiente cónico, forzando a las partículas más pesadas a desplazarse hacia las paredes del recipiente y por el contrario conduce a las partículas más livianas hacia el centro del cono, para posteriormente ser expulsadas por la parte superior del equipo a través de un orificio de descarga. Las partículas más pesadas son descargadas en el extremo inferior del hidrociclón en forma de spray (Ortiz M. , 2016).

Los desarenadores y los desarcilladores, hacen una función similar a la de las zarandas, pero manejan tamaños de entre 74 micrones los desarenadores y 12 a 24 micrones los desarcilladores, su diferencia radica en el tamaño de los conos.

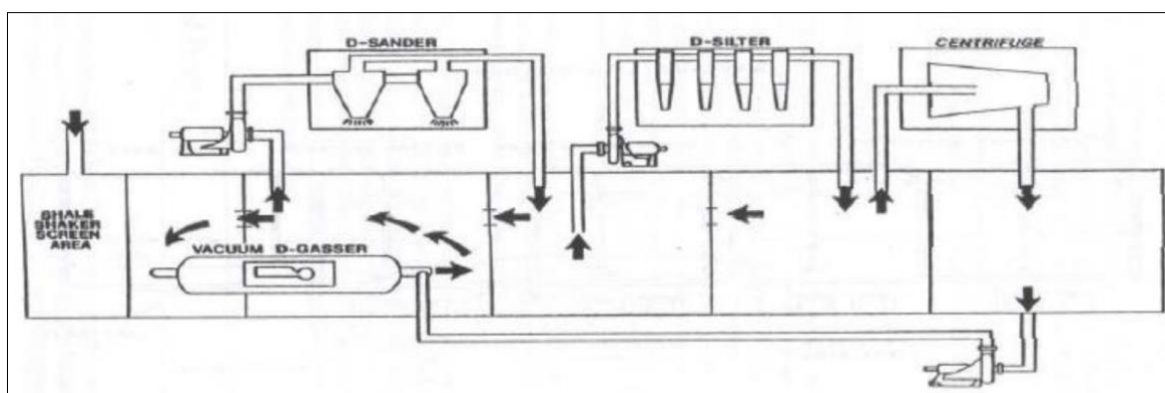
Posteriormente, aparecen las centrifugas decantadoras, que separan los sólidos de la fase líquida y que no han sido removidos por las zarandas ni por los hidrociclones. De acuerdo con Ortiz (2016, pág. 47) las centrifugas se pueden clasificar en centrifugas de baja y alta velocidad. Las primeras, recuperan la barita mientras se van descartando los sólidos perforados de los fluidos densificados; para los fluidos no densificados estas centrifugas descartan los sólidos perforados. Las segundas, se utilizan para los fluidos no densificados, descartan y controlan los sólidos del fluido, además permiten la deshidratación del fluido con ayuda de agentes floculantes (proceso dewatering).

Cuando hay presencia de gas en el lodo, este debe ser extraído, puesto que sabe generar daños en la bomba y en los equipos del taladro por corrosión, además puede llegar

a ser un problema potencial de control del pozo. Es por ello, que se utilizan desgasificadores instalados entre la trampa de arena y los primeros hidrociclones.

Para la instalación que hacen parte del control de sólidos, se debe tener en cuenta que los desarenadores se instalen después del desgasificador y antes del desarcillador; El lodo de alimentación de los desarenadores se debe tomar del tanque de descarga del desgasificador y la descarga de dichos lodos se debe hacer en un tanque adyacente al tanque de succión, como se ve en la ilustración 7. En cuanto a los desarcilladores, el lodo debe ser succionado del tanque de descarga del desarenador y su descarga procesada en el tanque adyacente (Ortiz M. , 2016).

#### Ilustración 7. Distribución de algunos equipos de control de solidos



Fuente. (Ortiz M. , 2016).

### 6.4.3. Unidad Dewatering

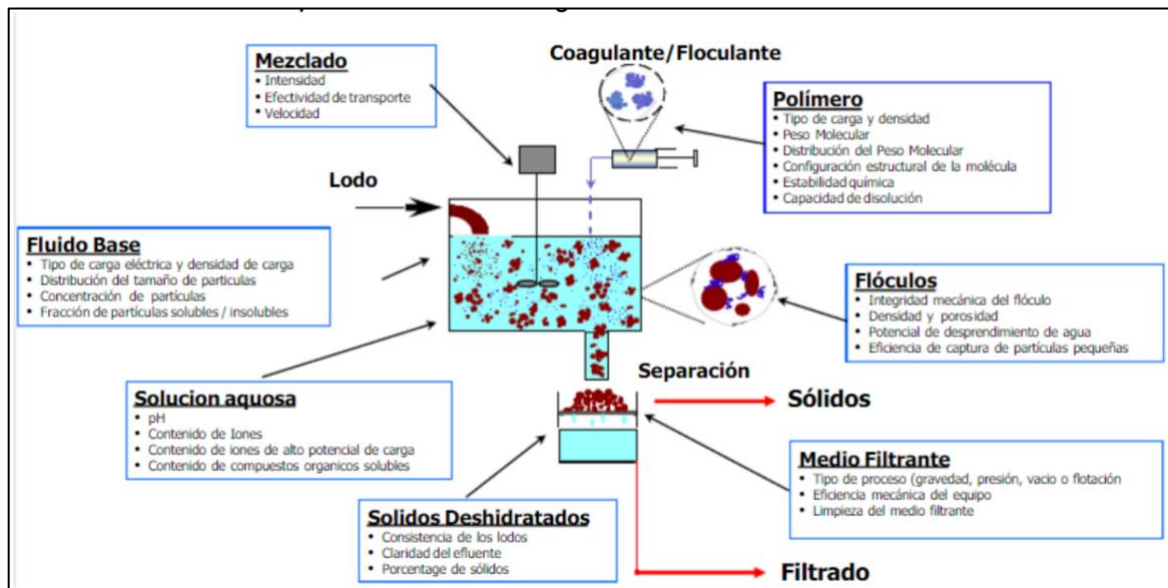
Una vez finaliza el control de sólidos, se procede con el tratamiento mediante la unidad Dewatering, que consiste básicamente en separar la fase sólida de la líquida mediante la combinación de un tratamiento físico por medio de centrifugación y un tratamiento químico de coagulación y floculación.

Una vez separadas se verifica la calidad del efluente y se descarga en un compartimiento para reutilizar como polímero o se envía a piscinas o tanques de tratamiento para su disposición final con proveedores autorizados; en caso de reutilización se debe garantizar el cumplimiento de los parámetros exigidos por la legislación colombiana, como lo es la resolución 1207 de 2014. Los sólidos por su parte son enviados a un tanque de almacenamiento denominado Catch Tank, donde se mezclan con cal, suelos, arcilla y otro material secante para obtener un secado óptimo. Este nuevo material

se dispone luego en las piscinas de cortes para ser posteriormente revegetalizado o darle disposición final, siempre y cuando cumpla con monitoreo de lixiviados de acuerdo al decreto 4741/2005.

En la ilustración 8, Ortiz (2016, pág. 50) no muestra las variables a tener en cuenta durante el proceso de Dewatering, dentro de las cuales se destacan el fluido base, la solución acuosa y el medio filtrante, entre otros.

### Ilustración 8. Variables del proceso Dewatering



Fuente. (Ortiz M. , 2016).

### 6.4.4. Método de ósmosis inversa para tratamiento de aguas en QMAX

La desmineralización de agua industrial tratada por ósmosis Inversa es un proceso implantado por QMAX como sistema para el tratamiento de aguas en perforación y producción, complementario a los sistemas convencionales anteriormente mencionados.

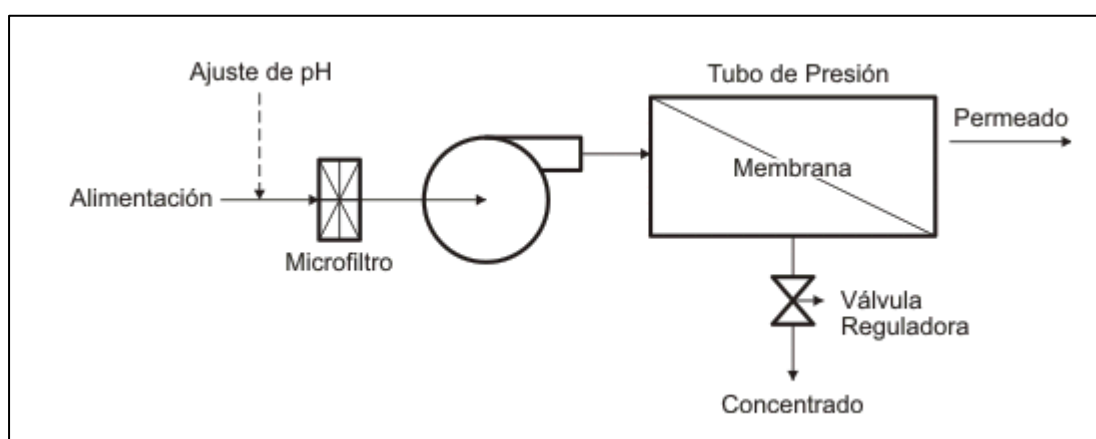
En el sistema de ósmosis realiza la remoción de las sales presentes en las distintas aguas residuales de perforación (dewatering - domésticas) y producción; y por consiguiente es posible disminuir la conductividad del feed water (corriente de agua de alimentación) y obtener agua de características superiores a la que se obtiene mediante el tratamiento convencional.



Dicha tecnología se ha venido aplicando de manera creciente en diversas industrias y procesos, algunos de ellos son: alimentos y bebidas, calderas y generación de vapor, circuitos de enfriamiento, potabilización, industria farmacéutica, desalinización de agua de mar, agricultura, etc., esto teniendo en cuenta que constituye un desarrollo tecnológico de bajo o nulo impacto ambiental, con alta calidad en el agua producto.

Para entender el concepto de ósmosis inversa, a continuación, se presenta la ilustración 9.

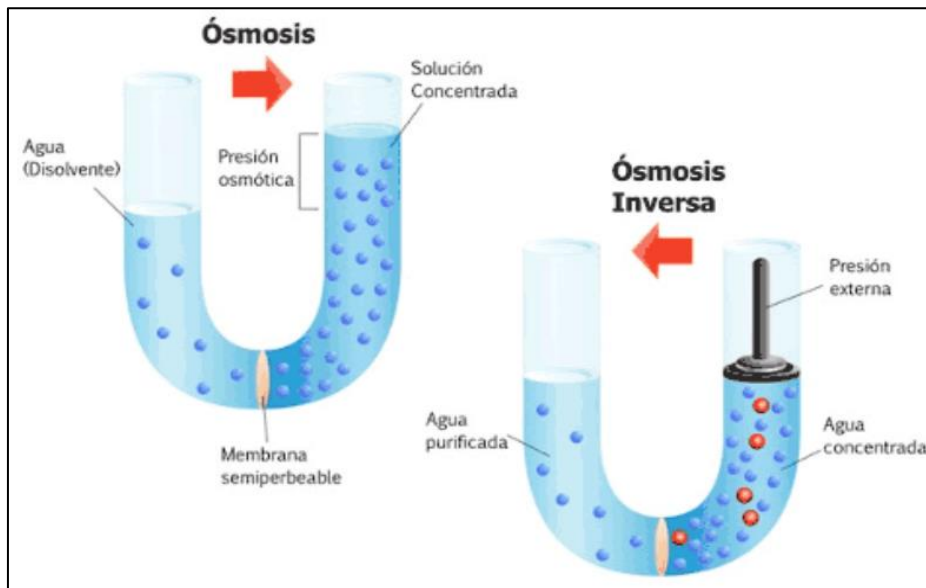
**Ilustración 9. Esquema de un sistema de ósmosis inversa.**



**Fuente: (Dominighini, Muscia, Cataldi, Scurati, & Marcelo Olivero, 2016).**

La ósmosis inversa es un proceso en el cual se reduce el caudal a través de una membrana semipermeable y se ejerce una fuerza de empuje superior a la presión osmótica en dirección opuesta al proceso de ósmosis (ilustración 10). De esta forma se logra separar las sustancias que se encuentran en el agua en un lado de la membrana (concentrado) y del otro lado se obtiene una solución diluida baja en sólidos disueltos (permeado) (Carbotecnia, 2020).

Ilustración 10. Diagrama de proceso de ósmosis y ósmosis inversa



Fuente: (Carbotecnia, 2020)

## 7. Marco institucional

### 7.1. Identificación de la organización

QMAX es un proveedor de soluciones de fluidos totales diseñados para la innovación y la excelencia en las necesidades de perforación de pozos de hidrocarburos. Durante décadas, han maximizado el rendimiento de pozos, especializándose en fluidos de perforación y terminación, control de sólidos y gestión de desechos de perforación, limpieza de pozos y pruebas y análisis técnicos. En Colombia, inició operaciones en octubre de 2001; desde entonces ha operado en varias regiones como: Magdalena medio, alto magdalena, Putumayo, Catatumbo, Llanos Orientales, Cundinamarca y Tolima.

**QMAX Solutions Colombia**, cuyo alcance de servicios está basado en:

- Fluidos de Perforación y completamiento
- Herramientas de completamiento
- Control de sólidos
- Tratamiento de aguas
- Tratamiento de cortes (Acosta, 2018)

### 7.2. Reseña histórica

Fundada en 1993 en Canadá desarrollándose hasta convertirse en líder en el Mercado Latinoamericano, QMAX Solutions Colombia establece las operaciones en Colombia en 2001, con la finalidad de satisfacer necesidades específicas de la industria petrolera.

Desde su creación ha desarrollado sus operaciones con excelentes resultados diversos proyectos con empresas petroleras; se establecieron las políticas necesarias para ofrecer un servicio efectivo, ágil y eficiente, que cumpla con los más altos estándares de excelencia, calidad, ética y seguridad, contando con personal altamente capacitado y tecnología acorde con las necesidades de los proyectos, de forma que se garantiza la permanencia y crecimiento de la organización, una mejor calidad de vida de nuestros empleados y resultados rentables para la compañía.

En el año 2014 fue adquirido por un fondo de inversión con sede en Houston (Texas), desde donde se ha proyectado un crecimiento de la organización a nivel mundial con expansión en el mercado Americano y de Medio oriente (QMax, 2020).

### **7.3. Misión**

QMAX es una empresa especializada en la prestación de servicios para la industria de hidrocarburos, agregando valor a los procesos de nuestros clientes y excediendo sus expectativas (QMax, 2020).

### **7.4. Visión**

En el 2023 QMAX Solutions Colombia será reconocida como el aliado estratégico de los clientes, alcanzando una participación del mercado superior al 24%, mediante la innovación y el fortalecimiento de nuestros procesos (QMax, 2020).

### **7.5. Principios**

- Siempre proveemos productos y servicios que encajen de la mejor manera con las necesidades de nuestros clientes.
- Rentabilidad para sostener nuestro éxito y crecimiento.
- Estamos en el negocio para crear rentabilidad para nuestros clientes.
- Comunicamos una dirección clara para el futuro de nuestro negocio.
- Nuestra estructura permite la flexibilidad con control a través de la autodisciplina.
- La gente es el conductor de nuestro éxito para que creemos un ambiente que aliente a la gente talentosa a enrolarse en nuestra compañía.
- Recordamos las cosas pequeñas acerca de nuestra gente y sus familias.
- Demostramos un comportamiento abierto, honesto y ético en todas nuestras interacciones (QMax, 2020).

### **7.6. Valores corporativos**

La cultura de QMAX se basa en el compromiso inquebrantable de alcanzar la excelencia en nuestra industria de manera ética y segura. Nos hacemos responsables del compromiso asumido incorporando los cinco Valores Centrales a nuestra vida diaria.

Nuestros valores centrales 'EXCIITES' (por sus siglas en inglés) no constituyen solamente una guía, sino que nos impulsan y desafían a superar nuestras expectativas. Estos valores son:

**Excelencia:** Nos esforzamos por ser el líder de la industria y la primera opción de quien requiere contratar servicios críticos. Para lograrla, no solo prestamos un excelente servicio de ingeniería, innovación, atención al cliente y gestión de operaciones, sino que además colocamos a la seguridad por encima de todo. Nos desafiamos a ser el estándar en materia de excelencia y nos exigimos a nosotros mismos ser los mejores en todo lo que hacemos (QMax, 2020).

**Trabajo en equipo:** En QMAX somos un solo equipo, ya sea en el campo en México o en oficinas en la India. Nuestra reputación nos pertenece a todos, y es nuestra obligación cuidarla y mejorarla constantemente en todo el mundo. La colaboración continua entre las distintas funciones en QMAX es lo que nos distingue del resto. Esto nos permite ofrecer soluciones sencillas para que nuestros clientes puedan maximizar el valor de sus activos.

**Seguridad:** Estamos comprometidos con la seguridad de nuestros empleados y de quienes trabajan con ellos. Ofrecemos capacitación y supervisión para asegurarnos de prevenir incidentes y aprender permanentemente de nuestras experiencias. Facultamos a nuestros empleados para que denuncien prácticas inseguras y les brindamos soporte para que no continúen trabajando en un ambiente inseguro. Nuestro deseo es que todos los empleados regresen sanos y salvos a sus hogares, día tras día aportando a la promoción de la calidad de vida laboral.

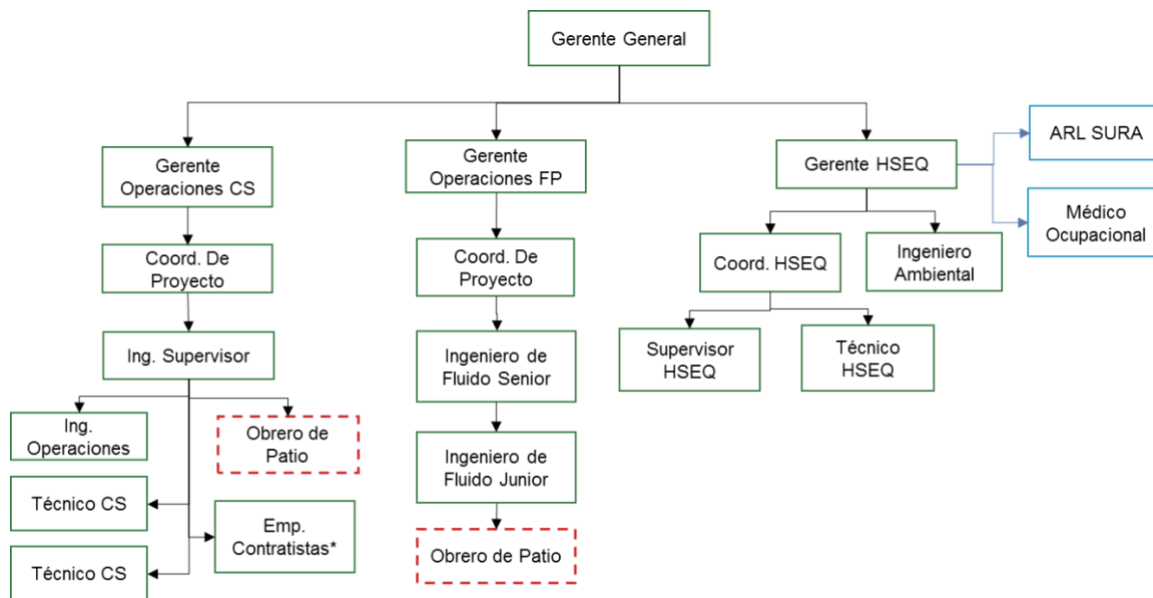
**Innovación:** QMAX se enorgullece por su constante empeño en satisfacer las necesidades de sus clientes. Permanentemente buscamos nuevas maneras de aplicar la tecnología, de manera tal de superar las expectativas de los clientes. Estos aportes pretenden enriquecer no solamente a nuestra industria, sino también a nosotros mismos y las comunidades a las cuales servimos. El estancamiento, ya sea personal o profesional, no es una opción (QMax, 2020).

**Integridad:** Ser el líder de la industria requiere más que servir a los clientes. Consiste en establecer el estándar más alto en materia de seguridad, ética y prácticas comerciales lícitas. Todos los empleados de QMAX se han comprometido a desempeñar sus actividades observando los valores aquí dispuestos. Nuestro comportamiento siempre reflejará este compromiso; nunca pondremos en peligro nuestra integridad, reputación y estándares.

## 7.7. Estructura organizacional

En QMAX Solutions Colombia, la responsabilidad y la autoridad de cada cargo son establecidas de acuerdo con su nivel organizacional, la cual esta diagramada de manera jerárquica, enmarcados dentro de las necesidades específicas de los procesos, los requisitos legales y del cliente. A continuación, en la ilustración 11 se puede evidenciar el extracto de la estructura organizacional del área operacional, la cual es objeto del presente documento, sin embargo, es de considerar que la organización cuenta con trece (13) procesos establecidos en un mapa el cual representa de manera general la secuencia e interacción de los procesos del Sistema de Administración QMAX (QMax, Manual del Sistema de Gestión Integral. V08., 2020).

**Ilustración 11. Estructura Organizacional**



\*(Retroexcavadora, Volqueta, Camioneta)

Fuente. Elaboración propia a partir de QMAX (2020).

## 7.8. Identificación del sector

QMAX es una compañía perteneciente al sector de Oil and Gas, enfocada en generar estrategias para la satisfacción de las necesidades de los clientes, a lo cual basa su desarrollo de mercado en cuatro (4) aspectos fundamentales:

- Permanecer en contacto permanente con los clientes.
- Asignar personal altamente calificado para cada proyecto.
- Dar soluciones oportunas en el lugar indicado.
- Generar soluciones integrales a los requerimientos del cliente.

## 7.9. Análisis del contexto general del tratamiento convencional de agua

A continuación, se realiza una contextualización general del tratamiento de aguas enfocado en los servicios prestados por QMAX:

- Preparación del fluido de perforación: El lodo de perforación es una solución que cumple de manera simultánea varias funciones, tales como enfriar la broca, controlar presión y temperatura, lubricar la tubería de perforación, entre otras, a lo cual para su preparación requiere la adición de una base de agua y productos químicos hasta lograr las características físico-químicas requeridas de acuerdo a las condiciones del proyecto; una vez usada este fluido, va retornando con unos sólidos suspendidos en el mismo.
- Sistema de transferencia de fluidos: El lodo utilizado se descarta o desecha del sistema y es transferido para tratamiento, así mismo se generan otros fluidos como los provenientes del contra pozo, drenado de lixiviado del catch tank de cortes.
- Sistema de Tratamiento de Lodo (Unidad de Dewatering): Una vez recibidos lodos y otros fluidos para tratamiento, se realiza el proceso de deshidratación a través de la adición de unos polímeros acondicionados con agitadores para mezcla de los productos. De este tratamiento por separación se genera el agua que se deberá tratar y a disponer.
- Sistema de Tratamiento de Agua: Para el tratamiento del agua producida durante el proceso de dewatering, se realiza en un tanque para la preparación y dilución de los productos químicos, que permiten convertirla en agua industrial con ciertos parámetros, llamada agua industrial tratada y deberá disponerse según plan de manejo ambiental (esto teniendo en cuenta que los parámetros finales logrados no permiten el reusó en las operaciones) el cual puede dar opciones de:

- Traslado a planta de tratamiento lo cual repercute en costos de transporte.
- Riego en vías o aspersión, a lo cual los parámetros con los cuales a través de este tratamiento convencional sale el agua no se estaría cumpliendo con la legislación actual, así mismo se genera un impacto social en la zona donde se realiza la actividad.

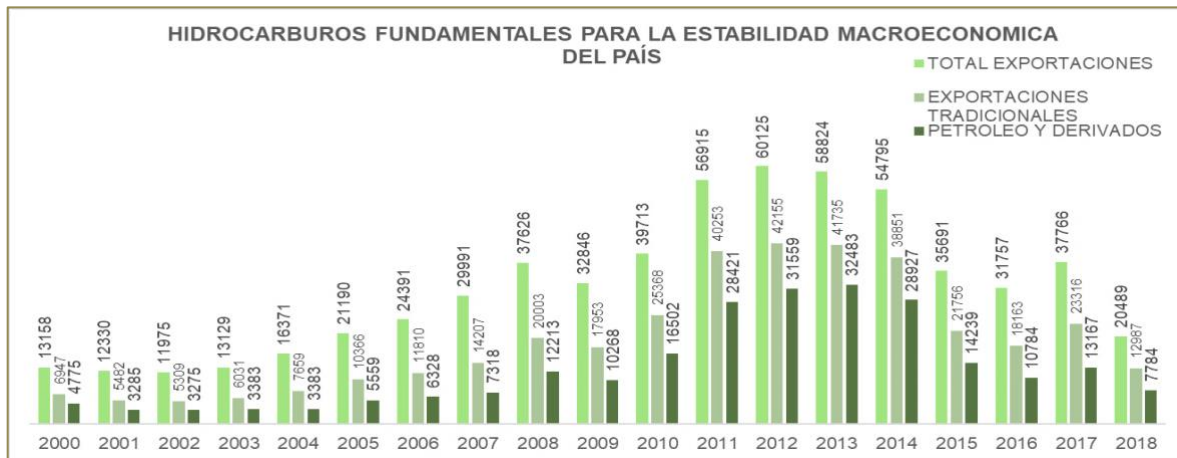
Teniendo en cuenta lo expuesto se genera la necesidad de estructurar un esquema complementario de tratamiento para que el agua pueda ser reusada en las operaciones.

### 7.10. Análisis del sector económico

Como se ha mencionado, la organización objeto de estudio pertenece al sector oil and gas, el cual en el año 2018 completa 100 años de historia, sin embargo en los últimos tiempos se viene recuperando de la fuerte crisis que inició en el año 2014 y llegó hasta 2016, la cual le ocasionó una fuerte reducción de los márgenes de utilidad, obligando a las compañías involucradas directa o indirectamente con el sector a realizar cambios para optimizar sus procesos en busca de una mayor eficiencia y redefinir sus estrategias. Sin embargo, es necesario tener claro que este sector aporta ampliamente al desarrollo económico en Colombia ya que tiene una enorme dependencia de este y la volatilidad del comportamiento de los precios internacionales influyen en el desempeño económico.

Las ilustraciones 12 y 13 son compatibles con el comportamiento de la perforación de pozos, a continuación, se puede evidenciar la tendencia del mercado en cuanto a número de proyectos perforados:

**Ilustración 12. Comportamiento del Petróleo en las Exportaciones**





Fuente. Elaboración propia con base en información publicada en diario La República (Acosta, 2018).

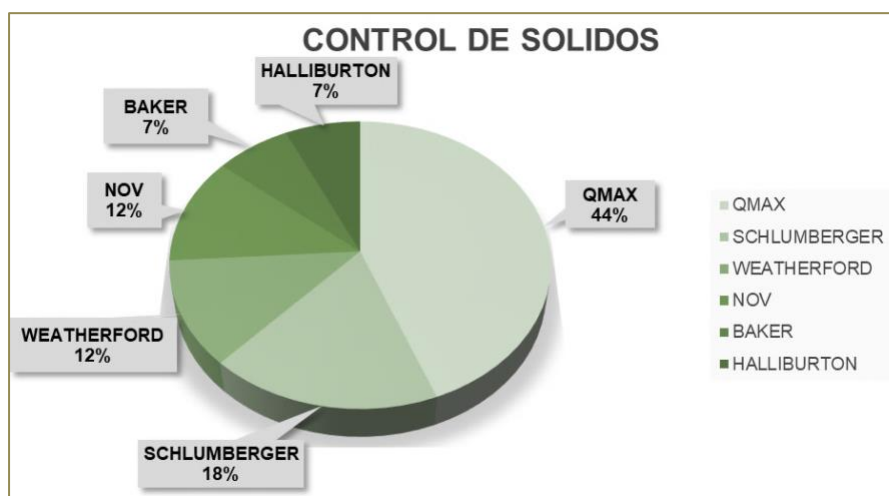
Ilustración 13. Histórico de pozos perforados



Fuente. Elaboración propia a partir de (ANH, 2019).

QMAX por su parte ha creado estratégicamente un equipo con la experiencia requerida para el éxito óptimo con los clientes, derivado de esto, a continuación, se muestra en la ilustración 14 del comportamiento del mercado colombiano con cierre de año 2019.

Ilustración 14. Participación de Mercado en Control de Sólidos



Fuente. Elaboración propia a partir de (QMax, Rendición de Cuentas Proceso Desarrollo de Negocios, 2020).

Actualmente, QMAX es la organización líder del mercado en el tratamiento de aguas en perforación en Colombia, así mismo, se prevé continuar con la operación estable con las diferentes operadoras.

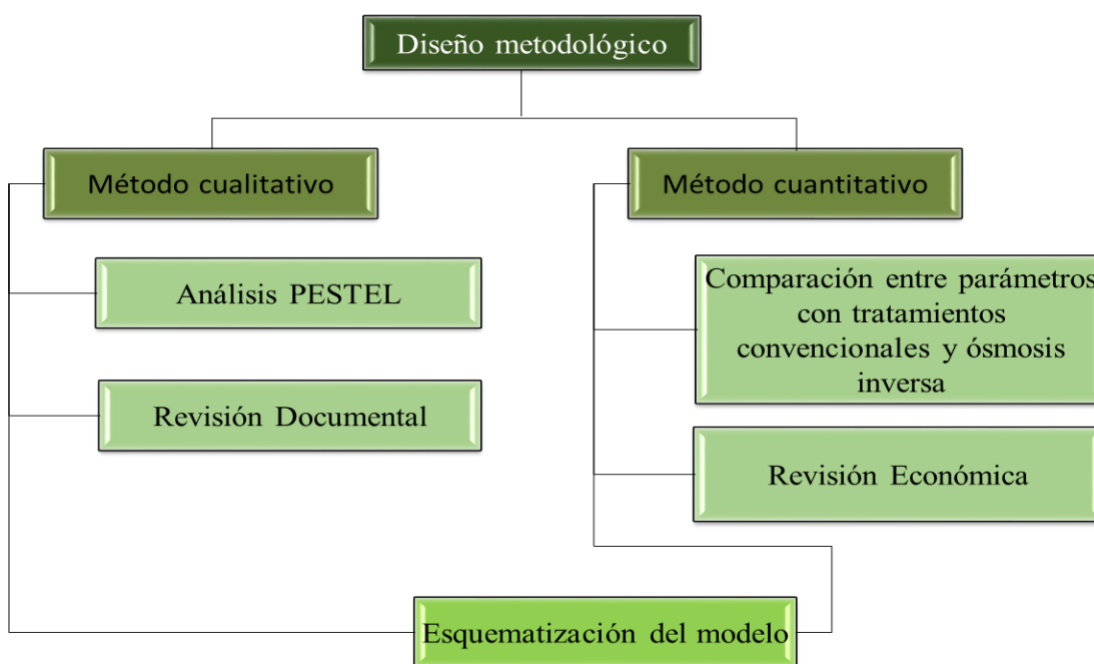
No obstante, en este momento es importante referirse a las perspectivas del sector, donde es claro que uno de los limitantes se centra en problemas relacionados con el orden público y la conflictividad social, así mismo el tema de las licencias y/o permisos ambientales lo cual se ve altamente afectado por la posible alternativa de optar por la utilización de técnicas de perforación no convencionales como la estimulación hidráulica o fracking, el cual genera un amplio debate en base a los posibles impactos ambientales. En línea con lo anterior, todas las compañías involucradas en el sector deberán impulsar planes o estrategias que permitan fortalecer la participación ciudadana en la industria y con ello minimizar el riesgo de desaceleración de este sector económico, a lo cual QMAX puede convertirse en una alternativa de enfoque con la presentación de un modelo de recirculación hídrica en las operaciones.

## 8. Diseño metodológico

### 8.1. Generalidades

Para el presente proyecto se desarrolla una investigación de tipo mixto (Cuantitativo y Cualitativo), el cual implica la recolección de información propuesta en el marco teórico, y usualmente se habla de dos (2) tipos de fuentes de recolección de información: las primarias y las secundarias (Bernal, 2010).

Ilustración 15. Investigación mixta



Fuente. Elaboración propia

A continuación, se hace el desglose de las técnicas de recolección de información utilizadas para este trabajo

1. Método cualitativo, con la descripción del entorno en el que se desenvolverá el proyecto y la revisión detallada de tipo descriptivo acerca de lo que está desarrollando QMax, para el tratamiento de agua
  - a. Análisis PESTEL (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental, Legal) para identificar los factores del entorno general que puedan afectar el proyecto, a continuación, se esquematiza el abordaje del análisis dentro de la organización QMax:

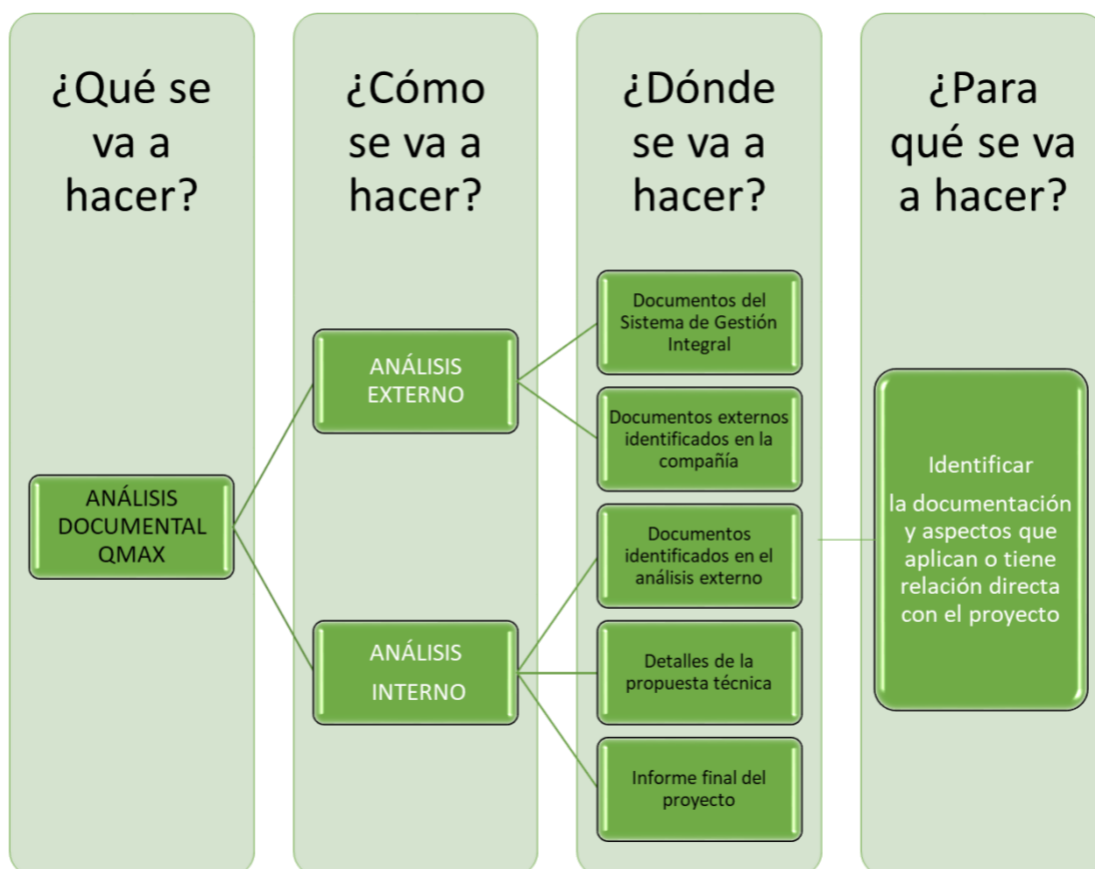
**Tabla 3. Metodología de aplicación del análisis PESTEL**

ASPECTO	DESCRIPCIÓN
1. Selección de la herramienta	Teniendo en cuenta las diferentes herramientas de diagnóstico se ha definido aplicar el análisis PESTEL en la organización objeto de estudio para conocer el contexto externo de la misma.
2. Definición del mecanismo de aplicación	Por las características de trabajo de la organización, se define un cuestionario para aplicación en línea con unas preguntas base en referente a la temática objeto de estudio.
3. Selección de la muestra	Con base en el mecanismo de aplicación y contando con la comprensión, afinidad y afectación del personal de la compañía en las diversas líneas se ha establecido con la compañía enviar el cuestionario a la población de la línea de control de sólidos (17 colaboradores) emitiendo un plazo de respuesta de 15 días calendario para el registro de esta.
4. Análisis de resultados	Una vez finalizado el periodo otorgado para la realización de las encuestas, se procede a realizar el análisis de resultados, los cuales serán plasmados en una tabla por cada uno de los factores de análisis.

**Fuente. Elaboración propia**

- b. Revisión documental: Esta revisión será realizada sobre la documentación de la compañía objeto de estudio para identificar aquellos documentos y aspectos que aplican o tienen relación directa con el desarrollo del proyecto.

**Ilustración 16. Esquematación del análisis documental**

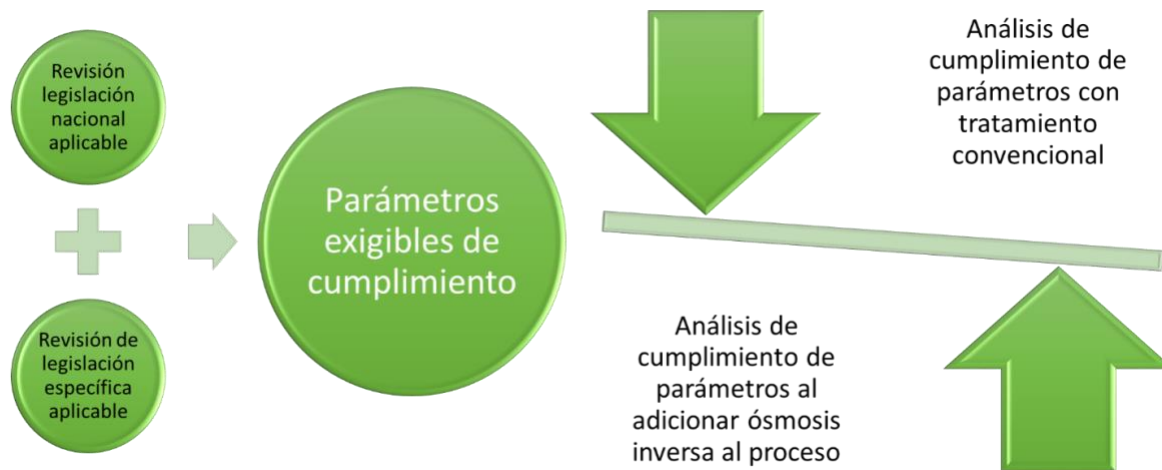


**Fuente. Elaboración propia**

**2. Método cuantitativo:**

- a. Análisis y verificación de datos: Se realiza revisión previa de las exigencias en la legislación hasta llegar a una tabla comparativa que incluya los datos de los parámetros arrojados por un tratamiento convencional de agua y parámetros arrojados por un tratamiento de ósmosis inversa.

**Ilustración 17. Metodología análisis y verificación de datos**



**Fuente. Elaboración propia**

- b. Revisión económica: Se realiza revisión previa de las inversiones económicas que conlleva la implementación de la ósmosis inversa.

**Ilustración 18. Metodología revisión de costos globales de la integración de la ósmosis**



**Fuente. Elaboración propia**

Una vez realizado el análisis cualitativo y el análisis cuantitativo, con base en la información recolectada se hace la definición del modelo de gestión circular que garantice el reúso del agua mediante osmosis inversa, dentro del proceso de tratamiento de aguas en QMax.

**Tabla 4. Metodología para la esquematización del modelo**

<b>Esquematización del modelo de recirculación hídrica</b>	
Revisión de los procesos actuales en la perforación de proyectos	Esquematización del modelo lineal para el tratamiento de aguas de perforación en QMax
Revisión de procesos que permiten el reúso del agua para lograr la recirculación hídrica	Diseño de Modelo circular para el tratamiento de aguas de perforación en QMax

Fuente. Elaboración propia

## 8.2. Segmento de estudio

De acuerdo con el planteamiento inicial el segmento de mercado está ligado al Rig de operación M47 y Pw 157; a raíz de las condiciones actuales en la industria petrolera como causa de la pandemia del COVID-19, y por lo cual QMAX ha tenido que detener algunos de sus proyectos, se tomará como base dos (2) proyectos desarrollados en los Rig mencionados: Rubiales 1638H y Rubiales 1771H, sin embargo es necesario aclarar que el alcance del proyecto en cuanto al planteamiento del modelo no se va a ver afectado.

## 9. Diagnóstico organizacional

Siguiendo el diseño metodológico establecido para el desarrollo del proyecto, se continúa con un análisis de la situación actual a través de la verificación de los parámetros establecidos por la legislación para luego llevar a cabo los muestreos de las aguas provenientes del tratamiento primario convencional y los muestreos provenientes de la planta de ósmosis inversa, previamente instalada en los pozos Rubiales pozos RB 1638 H del M47 y RB 1771H del PW157.

Posteriormente y para conocer el contexto externo del proyecto se realizó una encuesta con los colaboradores de la línea de servicio de la compañía, identificando las oportunidades, amenazas y la viabilidad del proyecto relacionado con los factores político, económico, sociocultural, tecnológico, ecológicos y legales.

Así mismo se hace una revisión documental de aquella información que pudiera ser considerada insumo para verificar y aplicar al contexto del proyecto.

Por último, se realizará un encuentro con la persona encargada de los procesos de tratamiento de aguas en la empresa, considerando el contexto de la organización y demás documentos relacionados, para verificar las fortalezas de la organización y las oportunidades de mejora que denotan la definición del tratamiento como un modelo de recirculación hídrica para este proceso.

### 9.1. Análisis del entorno

#### 9.1.1. Análisis PESTEL

El análisis PESTEL consiste en identificar de forma sistemática, los distintos factores de estudio (políticos, económicos, socioculturales, tecnológicos, ecológicos y legales) para analizar el entorno en el que nos moveremos en el desarrollo del proyecto y de esta manera poder actuar estratégicamente sobre los mismos.

De acuerdo con Parada (2013), los factores de la herramienta PESTEL son:

- **Políticos:** Aquellos factores asociados a la clase política que puedan determinar e influir en la actividad de la empresa en el futuro como las políticas de los



gobiernos locales, nacionales e internacionales, modificaciones en tratados comerciales, políticas fiscales, entre otros.

- **Económicos:** Consiste en analizar, pensar y estudiar sobre las cuestiones económicas actuales y futuras nos pueden afectar en la ejecución de nuestro proyecto o empresa, tales como los ciclos económicos de nuestro país y demás países donde se opere, las políticas económicas del gobierno, los tipos de interés, la inflación y los niveles de renta, los tipos de cambio o el nivel de inflación, la tasa de desempleo, entre otras.
- **Socioculturales:** De este hacen parte los elementos de la sociedad que pueden afectar nuestro proyecto y como están cambiando, como lo son cambios de preferencias y gustos del consumidor o cliente, aumento o disminución de ingresos, estilos de vida, hábitos de consumo, aspectos de orden cultural como la religión, etnias y multiculturalidad, entre otros.
- **Tecnología:** Aspectos innovadores de la tecnología que se involucran con el sector, avances en temas de investigación científica y técnica, patentes, posibilidad de identificar tecnologías sustitutas, normatividad y regulación del ámbito tecnológico, uso de aplicaciones en el desarrollo de la actividad comercial, son algunos de los elementos que se pueden considerar en términos de tecnología para el análisis de algún actor económico bien sea una empresa, un sector o un país.
- **Ecológicos:** Estos factores puede parecer que a priori sólo afectan a las empresas de sectores muy específicos, pero en realidad es todo lo contrario. Nos interesa estar al tanto no sólo sobre los posibles cambios normativos referidos a la ecología, sino también en cuanto a la conciencia social de este movimiento, de este hacen parte las regulaciones de protección medioambiental, regulación sobre el consumo de energía, preocupación por el calentamiento global y la contaminación, entre otros.
- **Legales:** Todas las disposiciones de la normatividad de diferentes entes institucionales. En este sentido, las medidas legislativas, el desarrollo de las leyes que ayuden a potencializar el sector, legislación y normativas contractuales que permitan salvaguardar la fuerza laboral del sector; son las principales cuestiones que se tienen en cuenta en términos de la definición de factores externos desde una perspectiva legal.

El propósito es evaluar el entorno externo de QMAX, con ayuda de una encuesta dirigida al personal de la organización vinculadas a la línea de operaciones, como se mencionó en el marco metodológico, y en total se recibieron un total de 11 participaciones en los plazos establecidos y estos corresponden al 62% del total de personas involucradas.

En la encuesta se solicitó a los funcionarios, identificar cuáles de las 34 variables propuestas del entorno externo (Tabla 5), pueden intervenir positiva o negativamente en el desarrollo del proyecto; posterior a ello se seleccionaron las variables con mayores resultados (entre 6 y 11 elecciones) e iniciar con el análisis de las variables.

**Tabla 5 Variables PESTEL**

Factores		Variable del entorno
<b>P</b>	Políticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios de gobierno en Colombia.</li> <li>• Estabilidad política e importancia del sector de servicios petroleros en la economía del país.</li> <li>• Legislación para la ejecución de contratos.</li> <li>• Regulaciones comerciales y aranceles relacionados con los servicios petroleros.</li> <li>• Burocracia y corrupción para la prestación de servicios petroleros.</li> <li>• Regulaciones de precios por los servicios en el sector.</li> <li>• Legislación salarial.</li> <li>• Legislación de seguridad y salud en el trabajo para el sector.</li> </ul>
<b>E</b>	Económicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caída del precio del petróleo.</li> <li>• Disminución de la producción de petróleo en Colombia.</li> <li>• Fluctuaciones de la moneda local.</li> <li>• Tasa de interés e inflación.</li> <li>• Incremento de impuestos locales.</li> <li>• Tasa de crecimiento económico y recesión.</li> <li>• Disminución de la inversión en el sector, para el tratamiento de aguas residuales por parte de las operadoras.</li> </ul>

Factores		Variable del entorno
<b>S</b>	Socioculturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Generación de empleo.</li> <li>• Desarrollo local.</li> <li>• Agua limpia, saneamiento y salud pública.</li> </ul>
<b>T</b>	Tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto de la tecnología en la oferta de los servicios.</li> <li>• Impacto en la estructura de costos en la industria de servicios petroleros.</li> <li>• Mayor competitividad por el uso de nuevas tecnologías.</li> <li>• Financiamiento para el desarrollo de nuevas tecnologías en los diferentes servicios.</li> </ul>
<b>E</b>	Ecológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Legislación ambiental</li> <li>• Alteraciones en la disponibilidad del recurso hídrico.</li> <li>• Recirculación de recursos y productos en la prestación de los servicios.</li> <li>• Preocupación por el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación ambiental.</li> <li>• Concientización ambiental actual y futura.</li> <li>• Actitudes hacia los productos y servicios verdes o ecológicos.</li> <li>• Actitudes y apoyo en el desarrollo de energías renovables.</li> </ul>
<b>L</b>	Legales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Negociación de contratos para la prestación de servicios petroleros.</li> <li>• Legislación de protección a trabajadores.</li> <li>• Legislación de propiedad intelectual.</li> <li>• Protección de la información de clientes.</li> <li>• Licenciamiento ambiental.</li> </ul>

**Fuente. Elaboración propia**

El resultado de la encuesta arrojó que 15 de las 34 variables presentan algún grado de impacto. Una vez identificadas las variables, se hace el análisis facilitando la comprensión del entorno, mediante factores que influyen en la operación de QMAX, y de

esa misma manera lograr preparar estrategias de respuesta ante cambios que se vayan presentando en el sector:

**Tabla 6. Análisis variables PESTEL**

<b>Factor</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>Grado de impacto</b>	<b>Justificación</b>	<b>Fuente</b>
Políticos	Estabilidad política e importancia del sector de servicios petroleros en la economía del país.	NEGATIVO (Bajo)	Riesgo político por cambios de gobierno en elecciones, causan desconfianza en los inversionistas. La actualización de planes de ordenamiento territorial es ejemplo de esto.	(Westreicher, 2020)
	Regulaciones de precios en el sector.	NEGATIVO (Bajo)	El control de precios en Colombia está a cargo de la SIC, pero esta entidad solo regula precios para compra de agroquímicos, leche cruda, medicamentos y dispositivos médicos. No incluye regulación en precios por bienes y servicios en la industria petrolera; sin embargo, los costos de servicios en QMAX deben ser precios competitivos.	(SIC, 2020)
	Legislación de seguridad y salud en el trabajo para el sector.	NEGATIVO (Bajo)	Incumplimiento de las políticas de protección de los trabajadores colombianos como el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST).	(Mintrabajo, 2018)

Factor	Variables	Grado de impacto	Justificación	Fuente
Económicos	Caída del precio del petróleo.	NEGATIVO (Alto)	Desde junio de 2014, el precio del petróleo comenzó a caer en forma sostenida y pasó de 118 dólares el barril de Brent, en esa fecha, hasta 37 dólares el barril en diciembre de 2015; y ahora en pandemia por el COVID-19 vuelve a caer por debajo de los 20 dólares el barril. Esta evolución de la cotización internacional del crudo tiene impactos no solo en las empresas del sector sino también en el ingreso del gobierno nacional y en las finanzas territoriales.	(Martínez, 2016)
	Tendencias PIB	POSITIVO (Alto)	El sector Petrolero aporta 7 % del PIB, sin incluir las empresas de servicios, y más de 12 % teniendo en cuenta estas compañías. Además, genera más de una tercera parte (34 %) de la Inversión Extranjera Directa (IED) y constituye el 56 % de las exportaciones totales de Colombia.	(ANH, 2020)
Socio-culturales	Generación de empleo.	POSITIVO (Medio)	Según las políticas empresariales del sector de hidrocarburos, las empresas con actividades de exploración, producción y transporte de petróleo buscan generar oportunidades laborales para los grupos de interés en las áreas de operación.	(ACP, 2016)

Factor	Variables	Grado de impacto	Justificación	Fuente
	Desarrollo local.	POSITIVO (Medio)	Los Contratos de Exploración y Producción de Hidrocarburos contempla que como parte de los proyectos se lleven a cabo acciones de inversión social, con lo cual se busque contribuir al fortalecimiento del entorno social, cultural y económico, y mejorar las condiciones de bienestar en los entornos de operación.	(ANH, 2018)
	Agua limpia, saneamiento y salud pública.	POSITIVO (Alto)	El acceso a métodos de abastecimiento y tratamiento de agua adecuados es un tema que impacta de manera directa el bienestar y salud de todos los colombianos. Los esfuerzos en este frente buscan llevar al país a la cobertura total en 2030, actualmente está en 92,9%.	(DNP, 2018)
Tecnológicos	Impacto de la tecnología en la oferta de los servicios.	POSITIVO (Alto)	Las tecnologías han jugado un papel fundamental en la historia del manejo del agua, a nivel mundial. Para enfrentar algunos retos como el abasto, la contaminación y el desperdicio se han diseñado alternativas tecnológicas, que además de ser eficientes, operan sin impactar las condiciones del entorno y los ecosistemas	(UNESCO & CODIA, 2019)
	Impacto en la estructura de costos en la industria de servicios petroleros.	POSITIVO (Bajo)	En estudios realizados por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se ha demostrado que la ósmosis inversa con membranas de nano filtración es totalmente viable, económica y técnica para potabilizar agua (Villegas, 2018). Lo mismo ocurre con la clarificación acoplada a	

Factor	Variables	Grado de impacto	Justificación	Fuente
	Mayor competitividad por el uso de nuevas tecnologías.	POSITIVO (Alto)	la nanofiltración viable para potabilizar agua proveniente del laboreo de una mina subterránea (Pérez, 2015).	
Ambientales	Alteraciones en la disponibilidad del recurso hídrico.	POSITIVO (Medio)	Mejoramiento en los índices ambientales del sector, debido a la disminución del volumen de agua industrial captada y una recuperación de hasta el 90% del agua tratada.	Propia de los autores
	Recirculación de recursos y productos en la prestación de los servicios.	POSITIVO (Alto)	El agua desmineralizada tiene un porcentaje de reutilización del 100% y es usada como agua para preparación de lodo, cementación, lavado de equipos y agua de contingencia.	Propia de los autores
	Actitudes hacia los productos y servicios verdes o ecológicos.	POSITIVO (Medio)	Dentro de la misión de crecimiento verde en Colombia, está la línea estratégica de generación de información para la gestión integral del recurso hídrico con énfasis en el control de la contaminación, que reconoce que el principal impacto que tiene la actividad minera sobre el recurso hídrico está dado por los vertimientos y el deterioro de la calidad del agua.	(DNP, 2018)
Legales	Licenciamiento ambiental.	POSITIVO (Medio)	Una de las ventajas del proyecto es la de ajustarse a los parámetros físico-químicos de acuerdo con lo establecido en la resolución 631 de 2015, donde se establecen los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público; también	Propia de los autores



Factor	Variables	Grado de impacto	Justificación	Fuente
			es importante mencionar que las actividades mineras son licenciadas y la reutilización de agua desmineralizada viabiliza proyectos petroleros donde la licencia ambiental no permite vertimientos en vías o cuerpos de agua.	

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 7. Oportunidades y amenazas en el sector según análisis PESTEL**

Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• QMAX cuenta con experiencia en Colombia desde el año 2001 y existe gran expectativa para la industria petrolera.</li> <li>• Reducción en costos de tratamiento, transporte y disposición de aguas domésticas tratadas y enviadas a terceros.</li> <li>• La reutilización de agua desmineralizada viabiliza proyectos donde la licencia ambiental no permite vertimientos en vías o cuerpos de agua.</li> <li>• Ajuste de parámetros físico-químicos de acuerdo con lo establecido en la legislación ambiental.</li> <li>• Mejoramiento de los índices ambientales debido a la disminución del volumen de agua industrial captada.</li> <li>• Disponibilidad de volúmenes de agua industrial para inicio y mantenimiento de pozos.</li> <li>• Mayor competitividad en el servicio de tratamiento de aguas, e innovación por el uso de nuevas tecnologías.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los cambios de gobierno en Colombia pueden generar cambios de políticas que a su vez perjudiquen la estabilidad del sector petrolero y sus servicios.</li> <li>• Los competidores pueden llegar a ofrecer ventajas en materia de precios, mano de obra, condiciones y beneficios laborales.</li> </ul>

**Fuente. Elaboración propia**

## 9.2. Revisión documental en la organización

Actualmente QMAX cuenta con un sistema de gestión certificado y ha establecido dentro de alcance: “Servicio de administración de fluidos de perforación y completamiento, herramientas de completamiento, control de sólidos, tratamiento de aguas (dewatering, tratamiento convencional y ósmosis inversa) y tratamiento de cortes de perforación” (QMax, 2020).

A lo cual se puede inferir que la organización ya cuenta con documentación asociada a este proceso dentro de lo cual se destaca:

**Tabla 8. Documentación asociada al manejo de aguas**

Nombre del documento	Observaciones
Pc CS 011 PROCESO DE DESMINERALIZACIÓN CON Q - ABSORVER	Establece la metodología para adecuado proceso de desmineralización con Q - Absorber en una localización en operaciones de pozos petroleros durante las fases de perforación, completamiento y/o producción.
Pc CS 012 FILTRADO Q-ABSORVER	Establecer la metodología para una adecuada puesta en marcha de la planta de Q - Absorber en una localización en operaciones de pozos petroleros durante las fases de perforación, completamiento y/o producción.
Pc CS 013 CAMBIO DE MEMBRANAS	Establecer la metodología para un adecuado cambio de las membranas de la planta de Q - Absorber en una localización en operaciones de pozos petroleros durante las fases de perforación, completamiento y/o producción.
Pc CS 014 PROCEDIMIENTO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	Establece la metodología general para asegurar que el tratamiento de aguas residuales en los proyectos de QMAX Solutions Colombia se realice siguiendo una metodología adecuada, cumpliendo los estándares de seguridad y garantizando la confiabilidad y calidad del proceso, minimizando el riesgo de contaminación de suelos, aguas superficiales o subterráneas por un mal efluente de agua al final del tratamiento.

**Fuente: Elaboración propia.**

De acuerdo con la verificación, estos documentos engloban el tratamiento de aguas de manera transversal y las especificaciones que conlleva un tratamiento a través de la unidad de ósmosis inversa, así mismo los documentos ya están abordados e incorporados dentro del sistema de gestión en el proceso denominado control de sólidos.

### 9.2.1. Verificación de propuesta técnica para desarrollo de proyectos

La organización QMAX establece diferentes modalidades de contratación dependiente del cliente y de las condiciones establecidos por los mismos, donde se presenta una propuesta de valor que interrelaciona el recurso humano como factor clave

para el desarrollo de cualquier proceso, los resultados obtenidos con el análisis respectivo de los datos y la información y por último la gestión bajo estándares de calidad, prácticas ambientales que responden a la necesidad del medio donde se desarrollan las operaciones y condiciones controladas de seguridad y salud en el trabajo, esto se hace a través de:

- Participación en procesos de licitación de uno o varios servicios
- Recibir solicitudes directas de los clientes

De acuerdo con estas asignaciones se procede a revisar las especificaciones técnicas del proyecto y demás requerimientos del cliente, donde se elabora un programa de manejo de desechos el cual está soportado en las condiciones del proyecto a ejecutar, variables de la formación, plan de manejo y licencia ambientales, lo anterior con la finalidad de verificar los criterios para:

- Solicitar los recursos (Recurso humano, material químico, equipos, documentación, infraestructura) para la ejecución del proyecto.
- Verificar y alistar equipos, herramientas y accesorios en Base.
- Recibir los recursos en la localización y administrar inventario.
- Realizar arrendamiento de acuerdo con las condiciones de la localización.
- Entrega de Equipos al cliente para iniciar operaciones.
- Realizar el servicio de Control de Sólidos, tratamiento de aguas, dewatering, cortes de acuerdo con los requerimientos establecidos por la operadora, la licencia ambiental y procedimientos internos definidos.
- Realizar pruebas físico-químicas de las aguas.
- Realizar las pruebas físico-químicas de los cortes de perforación.
- Elaborar el informe final del proyecto – Recap.

Es importante tener en cuenta y resaltar que las actividades inherentes al segmento de mercado vinculado al presente proyecto están integradas dentro de un contrato marco que tiene la compañía y el cual contempla lo siguiente: Contrato marco a nivel nacional suscrito con la operadora Ecopetrol bajo el número 3018657 cuyo objeto es “Prestación de los servicios y materiales necesarios para la perforación y completamiento de las operaciones de Ecopetrol S.A. En el territorio nacional”, dicho contrato fue firmado en el mes de diciembre del año 2018 para dos (2) servicios (fluidos de perforación y completamiento y herramientas de limpieza) e inicia operaciones en el mes de enero de 2019 con una perspectiva de duración de cuatro (4) años y posibilidad de extensión hasta por un (1) año; el mencionado contrato ha tenido una adhesión del servicio de control de

sólidos y manejo de desechos, a través de un otrosí 24 de junio de 2020, los cuales son los servicios directos vinculados al desarrollo del presente proyecto.

### **9.2.2. Análisis del informe final del desarrollo de los proyectos**

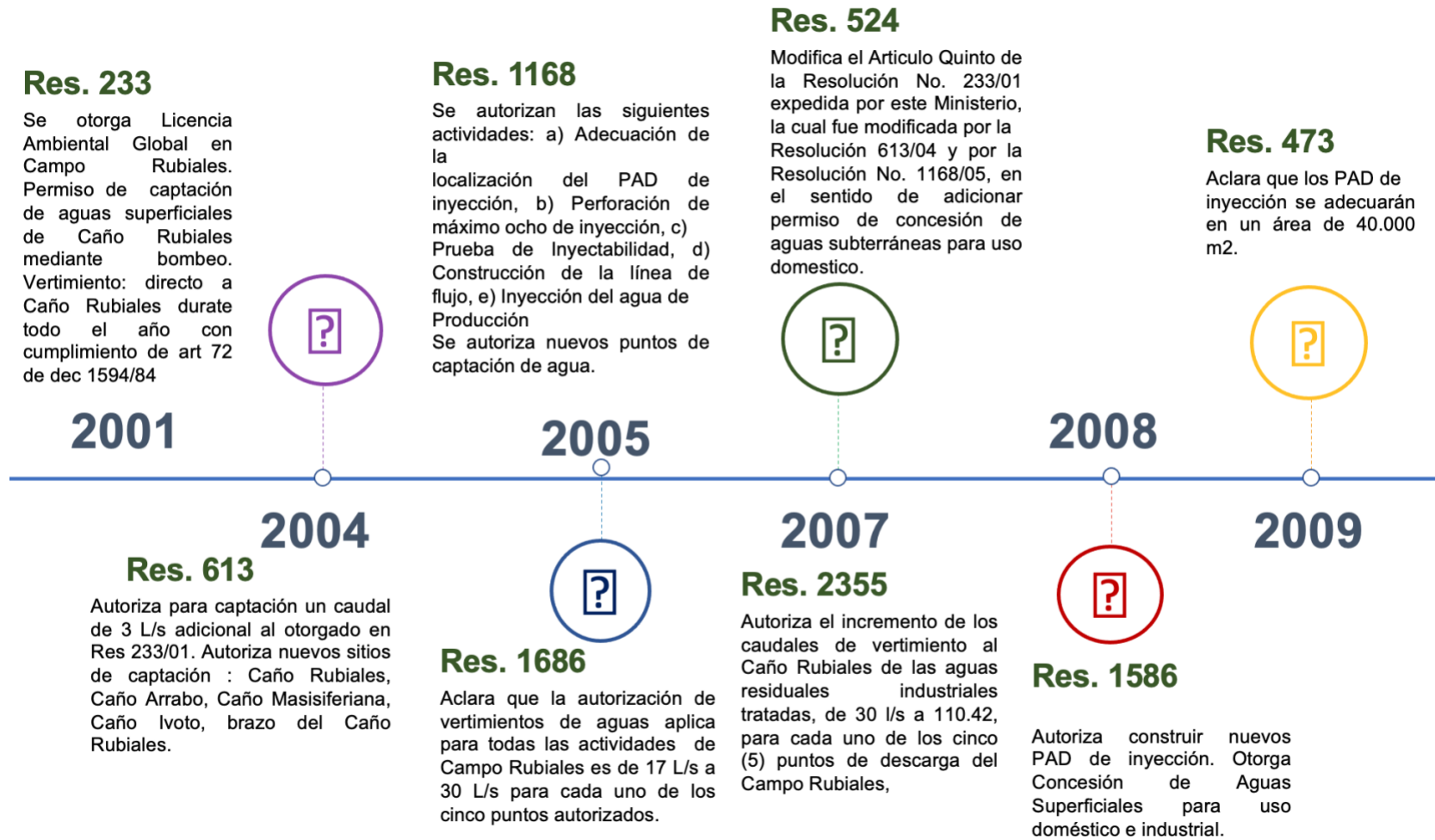
También conocido con el recap del proyecto, este informe permite la consolidación de la información de la gestión una vez se ha ejecutado el proyecto, a lo cual la organización QMAX realiza este tipo de informes y son presentados a la compañía operadora. El propósito de la generación de este documento es presentar la coordinación y optimizar de las operaciones relacionadas con control de sólidos, manejo de desechos sólidos y líquidos y disposición de estos de acuerdo con el plan de manejo ambiental y licencias del proyecto, donde se hace la rendición de cuentas referente a los equipos manejados en el proyecto, los insumos utilizados, los esquemas de transferencia de fluidos, el balance de los volúmenes y de costos durante la prestación del servicio.

### **9.2.3. Revisión de parámetros establecidos por la legislación y aplicables al campo de operación**

En Colombia se encuentra establecido a través de la legislación expedida por los entes gubernamentales que, para desarrollar un proyecto de perforación la Operadora acorde al cumplimiento del Decreto 1076 de 2015, debe tramitar una Licencia Ambiental de competencia de la ANLA (Agencia Nacional de Licencias Ambientales), es así como dentro de los proyectos que desarrolla la organización QMAX, sus actividades deberán estar sujetas a los requerimientos contenidos en dichas licencias que cobijan los campos de operación.

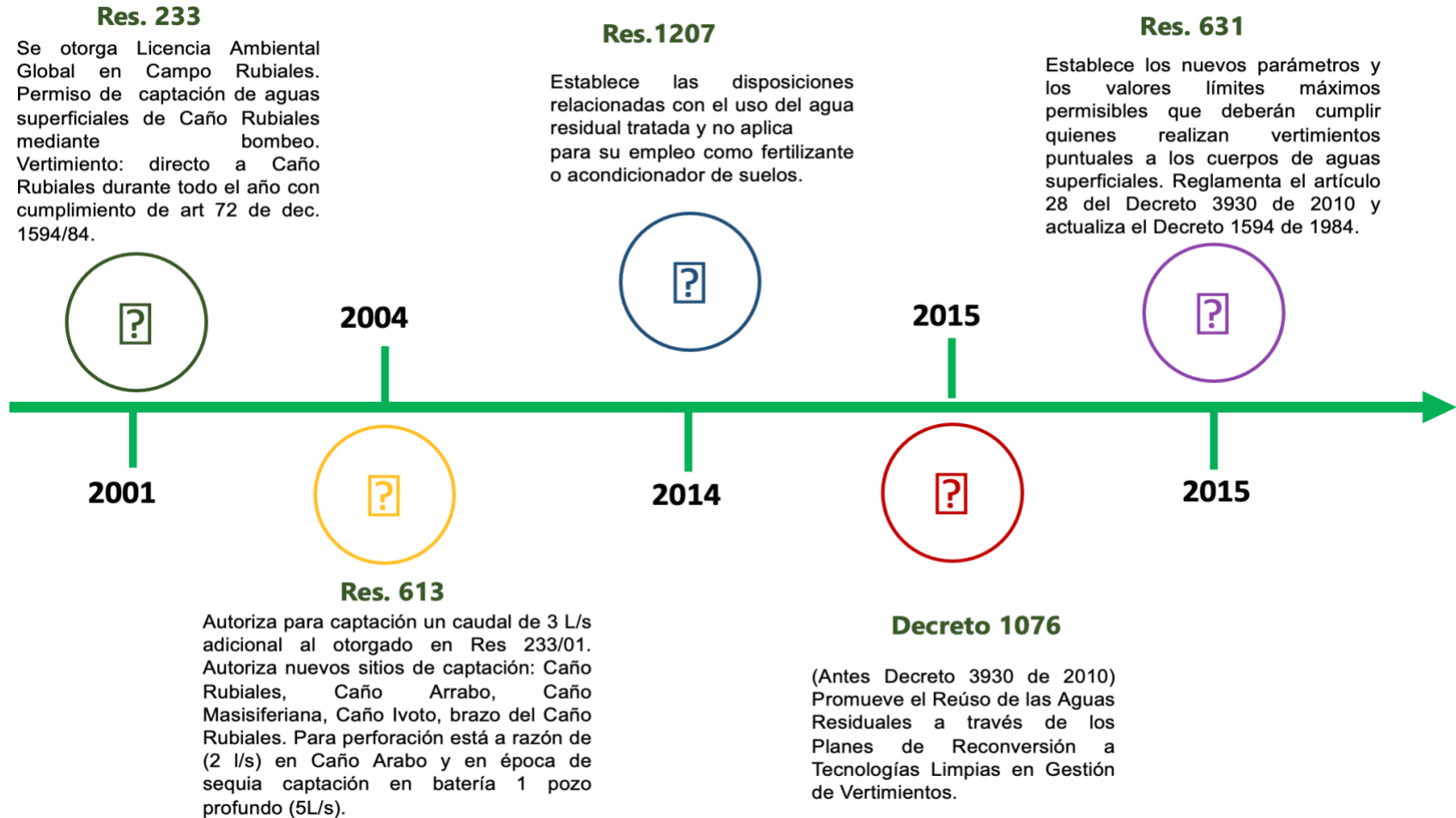
Para el caso del presente proyecto donde se realiza el análisis de dos taladros en el campo Rubiales se tiene la siguiente información:

**Ilustración 19. Historial licencias campo rubiales**



Fuente. Elaboración propia

## Ilustración 20. Legislación y licencias vigentes y aplicables.



Fuente. Elaboración propia

De acuerdo con lo establecido en la legislación colombiana, bajo los términos en los cuales se mueven las entidades para expedición de las licencias se tienen como última normatividad la resolución 0631 de 2015, la cual está enfocada en reducir el aporte de las sustancias contaminantes a los cuerpos de agua, con el objetivo de que los generadores de vertimientos gestionen adecuadamente los mismos, y facilitar a las autoridades ambientales el control sobre los vertimientos de los diferentes procesos productivos en el país y obtener una mejora en la calidad de los vertimientos, y la resolución 1207 de 2014 Por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

La tabla 9 muestra algunos parámetros de la resolución 631 a cumplir para vertimientos de actividades asociadas con hidrocarburos, junto a los criterios de calidad según la resolución 1207 de 2014 para el uso industrial del agua residual tratada.

**Tabla 9 Parámetros límites máximos permisibles**

Parámetro	Unidad	Rango Res. 631 de 2015, Art. 11	Rango Res. 1207 de 2014, Art 7
Acidez total mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--
Alcalinidad mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--
Arsénico (AS) mg/L	mg As/L	0,1	0,1
Bario (Ba) mg/L	mg Ba/L	Análisis y reporte	--
Cadmio (Cd) mg/L	mg Cd/L	0,1	0,01
Cianuro(CN-) mg/L	mg C-/L	1	--
Cloruros (Cl-) mg/L	mg Cl/L	1200	300
Cobre (Cu) mg/L	mg Cu/L	1	1
Color real mg/L	--	Análisis y reporte	--
Compuestos orgánicos volátiles (BTEX)	mg/L	Análisis y reporte	0,001
Cromo (Cr) mg/L	mg Cr/L	0,50	0,1
DBO5 (Demanda biológica de oxígeno) mg/L O <sub>2</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	200	30
DQO mg/L O <sub>2</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	400	--
Dureza cálcica mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--
Dureza total mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--
Fenoles mg/L	mg Fenol/L	0,2	0,002
Fluoruros (F-) mg/L	mg F-/L	Análisis y reporte	1
Fosforo total (P) mg/L	mg P/L	Análisis y reporte	--
Grasas y aceites mg/L	mg/L	15	--
Halógenos absorbibles enlazados orgánicamente (AOX)	mg/L	Análisis y reporte	--



Parámetro	Unidad	Rango Res. 631 de 2015, Art. 11	Rango Res. 1207 de 2014, Art 7
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) mg/L	mg/L	Análisis y reporte	0,01
Hidrocarburos Totales (TPH)(mg/L)	mg/L	10	--
Hierro (Fe)	mg Fe/L	3	5
Mercurio(Hg) mg/L	mg Hg/L	0,01	0,001
Níquel (Ni) mg/L	mg Ni/L	0,5	0,2
Nitratos mg/L	mg NO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--
Nitritos mg/L	mg NO <sub>2</sub> /L	Análisis y reporte	--
Nitrógeno amoniacal (N-NH <sub>3</sub> ) mg/L	mg/L NH <sub>3</sub> -N	Análisis y reporte	--
Nitrógeno Total (N) mg/L	mg N/L	10	--
Ortofosfatos	mg PO <sub>4</sub> /L	Análisis y reporte	--
pH	Unidades de pH	6 - 9	6,0 - 9,0
Plata (Ag) mg/L	mg Ag/L	Análisis y reporte	--
Plomo (Pb) mg/L	mg Pb/L	0,2	5
Selenio (Se) mg/L	mg/L	0,2	0,02
Sólidos sedimentables mg/L	mL/L	1	--
Sólidos suspendidos totales	mg/L	50	--
Sulfatos (SO <sub>4</sub> 2-) mg/L	mg S <sub>04</sub> /L	300	500
Sulfuros (S 2-) mg/L	mg S <sub>2</sub> -/L	1	--
Surfactantes: Anionicos como (SAAM) mg/L	mg SAAM/L	Análisis y reporte	--
Vanadio (V) mg/L	mg V/L	1	0,1
Zinc (Zn) mg/L	mg Zn/L	3	3

Fuente: Elaboración propia

#### 9.2.4. Análisis de las propiedades fisicoquímicas del agua en tratamiento convencional

Actualmente en los proyectos perforación se viene realizando un tratamiento convencional que consiste en la deshidratación de lodos (dewatering) y dentro de este proceso el agua es sometida a un tratamiento químico que consisten en diluir el agua en un tanque con productos químicos, permitiendo convertirla en agua industrial con ciertos parámetros que hace que se deba disponer con proveedores externo como un residuo peligroso; esto teniendo en cuenta que los parámetros finales logrados no permiten el reúso en las operaciones y tampoco un vertimiento en fuentes superficiales dado a los requerimientos exigidos en las licencias.

La comparación de parámetros se hizo con los muestreos realizados por QMAX a las aguas generadas por el sistema de tratamiento convencional (Anexo A y B) durante el mes de septiembre de 2020 en los pozos Rubiales 1638 H y Rubiales 1771H. La tabla 10 muestra las características de las aguas con el tratamiento convencional, apreciándose que parámetros como Cloruros, DBO5, DQO, Fenoles, Nitrógenos, Sólidos suspendidos totales y Sulfatos, están por encima de las normas y así no se puede lograr un reúso del agua tratada.

**Tabla 10. Resultados análisis a tratamiento convencional**

Parámetro	Unidad	Rango Res. 631 de 2015, Art.11	Res. 1207 de 2014, Art. 7	Tratamiento primario Convencional
Acidez total mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--	34,4
Alcalinidad mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--	503
Arsénico (AS) mg/L	mg As/L	0,1	0,1	<0,0025
Bario (Ba) mg/L	mg Ba/L	Análisis y reporte	--	<0,500
Cadmio (Cd) mg/L	mg Cd/L	0,1	0,01	<b>0,014*</b>
Cianuro(CN-) mg/L	mg C-/L	1	--	0,013
Cloruros (Cl-) mg/L	mg Cl/L	1200	300	<b>548*</b>
Cobre (Cu) mg/L	mg Cu/L	1	1	<0,1
Color real mg/L	--	Análisis y reporte	--	0,570-0,002-0,000
Compuestos orgánicos volátiles (BTEX)	mg/L	Análisis y reporte	0,001	<0,1
Cromo (Cr) mg/L	mg Cr/L	0,5	0,1	<0,100
DBO5 (Demanda biológica de oxígeno) mg/L O <sub>2</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	200	30	<b>1261*</b>
DQO mg/L O <sub>2</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	400	--	<b>2231*</b>
Dureza cálcica mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--	1262
Dureza total mg/L	mg CaCO <sub>3</sub> /L	Análisis y reporte	--	1156
Fenoles mg/L	mg Fenol/L	0,2	0,002	<b>3,98*</b>
Fluoruros (F-) mg/L	mg F-/L	Análisis y reporte	1	<0,1
Fosforo total (P) mg/L	mg P/L	Análisis y reporte	--	0,119
Grasas y aceites mg/L	mg/L	15	--	9,53
Halógenos absorbibles enlazados orgánicamente (AOX)	mg/L	Análisis y reporte	--	0,32

Parámetro	Unidad	Rango Res. 631 de 2015, Art.11	Res. 1207 de 2014, Art. 7	Tratamiento primario Convencional
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) mg/L	mg/L	Análisis y reporte	0,01	<0,002
Hidrocarburos Totales (TPH) (mg/L)	mg/L	10	--	4,81
Hierro (Fe)	mg Fe/L	3	5	<0,200
Mercurio(Hg) mg/L	mg Hg/L	0,01	0,001	<0,0010
Níquel (Ni) mg/L	mg Ni/L	0,5	0,2	<0,2
Nitratos mg/L	mg NO3/L	Análisis y reporte	--	2,27
Nitritos mg/L	mg NO2/L	Análisis y reporte	--	<0,0200
Nitrógeno amoniacal (N-NH3) mg/L	mg/L NH3-N	Análisis y reporte	--	10,7
Nitrógeno Total (N) mg/L	mg N/L	10	--	<b>14,7*</b>
Ortofosfatos	mg PO4/L	Análisis y reporte	--	0,234
pH	Unidades de pH	6 - 9	6,0 - 9,0	7,25
Plata (Ag) mg/L	mg Ag/L	Análisis y reporte	--	<0,05
Plomo (Pb) mg/L	mg Pb/L	0,2	5	0,11
Selenio (Se) mg/L	mg/L	0,2	0,02	<0,0025
Sólidos sedimentables mg/L	mL/L	1	--	<0,1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	50	--	<b>56*</b>
Sulfatos (SO4 2-) mg/L	mg S04/L	300	500	<b>479*</b>
Sulfuros (S 2-) mg/L	mg S2-/L	1	--	<1,0
Surfactantes: Anionicos como (SAAM) mg/L	mg SAAM/L	Análisis y reporte	--	<0,5
Vanadio (V) mg/L	mg V/L	1	0,1	0,236
Zinc (Zn) mg/L	mg Zn/L	3	3	<0,050

Fuente: Elaboración propia

Nota: (\*) Parámetros que están por encima de los valores límites máximos establecidos por las resoluciones 631 de 2015 y 1207 de 2014.

Como se evidencia en la tabla anterior, parámetros como la DBO5, DQO, fenoles, nitrógeno y sulfatos no cumplen con los valores límites máximos permisibles según la resolución 631 de 2015 para el vertimiento a cuerpos de aguas superficiales, conllevando a realizar una disposición final con proveedores externos; en relación con el uso de aguas residuales tratadas según lo expuesto en la resolución de 1207 de 2014, se evidencia que 5 de los parámetros (Cadmio, cloruros, DBO5, fenoles y vanadio) están por encima de los

límites máximos permisibles, evitando así que estas aguas puedan ser reutilizadas en los procesos de perforación.

### 9.2.5. Análisis de las propiedades fisicoquímica del agua en el tratamiento con ósmosis inversa

La desmineralización de agua industrial tratada por el método de ósmosis inversa, es un proceso que viene siendo implantado por QMAX como sistema complementario para el tratamiento de aguas en perforación y producción; en el sistema de ósmosis, se realiza la remoción de las sales presentes en las distintas aguas residuales de perforación (dewatering - domésticas) y producción; por consiguiente es posible disminuir la conductividad y obtener agua de características superiores a la que se obtiene mediante el tratamiento convencional.

Para este caso, la comparación de parámetros se hizo con los muestreos realizados por el laboratorio externo Chemilab quien cuenta con la debida acreditación por el IDEAM bajo el número Resolución 0288 de 2019, (Anexo A y B). La tabla 11 muestra el resultado de los parámetros que se tomaron posteriores al tratamiento en la planta de ósmosis inversa en los dos pozos de estudio (Rubiales 1638H y 1771H).

**Tabla 11. Resultados análisis agua permeada**

Parámetro	Unidad	Rango Res. 631 de 2015, Art.11	Res. 1207 de 2014, Art. 7	Tratamiento primario	Planta de desmineralización - Ósmosis Inversa	
					Rubiales 1638H	Rubiales 1771H
Aluminio Total	mgAL/L	1,0	1,0	34,4	<0,1	<0,1
Arsénico (AS) mg/L	mg As/L	0,1	0,1	<0,0025	<0,0025	<0,0025
Cadmio (Cd) mg/L	mg Cd/L	0,1	0,01	<b>0,014*</b>	0,00315	<0,00025
Cloruros (Cl-) mg/L	mg Cl/L	1200	300	<b>548*</b>	24,0	28,3
Cobre (Cu) mg/L	mg Cu/L	1	1	<0,1	<0,1	<0,1
Compuestos orgánicos volátiles (BTEX)	mg/L	Análisis y reporte	0,001	<0,1	<0,1	<0,1
Cromo (Cr) mg/L	mg Cr/L	0,5	0,1	<0,100	<0,100	<0,100
DBO5 (Demanda biológica de oxígeno) mg/L O2	mg O2/L	200	30	<b>1261*</b>	68,7	42,3

Parámetro	Unidad	Rango Res. 631 de 2015, Art.11	Res. 1207 de 2014, Art. 7	Tratamiento primario	Planta de desmineralización - Ósmosis Inversa	
					Rubiales 1638H	Rubiales 1771H
DQO mg/L O <sub>2</sub>	mg O <sub>2</sub> /L	400	--	2231*	137	118
Fenoles mg/L	mg Fenol/L	0,2	0,002	3,98*	<0,100	<0,100
Fluoruros (F-) mg/L	mg F-/L	Análisis y reporte	1	<0,1	<0,1	<0,1
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) mg/L	mg/L	Análisis y reporte	0,01	<0,002	<0,002	<0,002
Hierro (Fe)	mg Fe/L	3	5	<0,200	0,658	<0,200
Mercurio(Hg) mg/L	mg Hg/L	0,01	0,001	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Níquel (Ni) mg/L	mg Ni/L	0,5	0,2	<0,2	<0,2	<0,2
pH	U. pH	6 - 9	6,0 - 9,0	7,25	7,34	6,70
Plomo (Pb) mg/L	mg Pb/L	0,2	5	0,11	5	<0,1
Selenio (Se) mg/L	mg/L	0,2	0,02	<0,0025	<0,0025	0,0025
Sulfatos (SO <sub>4</sub> 2-) mg/L	mg S <sub>04</sub> /L	300	500	479*	6,53	<5,0
Vanadio (V) mg/L	mg V/L	1	0,1	0,236*	<0,01	<0,01
Zinc (Zn) mg/L	mg Zn/L	3	3	<0,050	<0,050	<0,050

Fuente: Elaboración propia

Nota: (\*) Parámetros que están por encima de los valores límites máximos establecidos por las resoluciones 631 de 2015 y 1207 de 2014.

Según esto podemos evidenciar que el sistema de tratamiento de ósmosis inversa ejecutado en los Campos Rubiales 1638H y 1771H por QMAX, permitieron dar cumplimiento a lo parámetros exigidos por la legislación aplicable en Colombia, ya sea para su recirculación y/o vertimiento.

## 9.2.6. Revisión económica de la integración de la ósmosis inversa en el tratamiento de aguas

En la revisión de la información no se logra acceder a los costos particulares de la organización, sin embargo, es pertinente establecer lo siguiente:

Como inversión inicial se tienen la inclusión de algunos equipos y accesorios a los cuales se les atribuye rubros estimados de alquiler dado que la organización no contempla tener estos equipos dentro de sus activos, sin embargo, el número de equipos y la variabilidad de estos, depende de las condiciones del lugar de instalación, en relación con sí es una localización independiente o instalación conjunta al taladro de perforación.

En la siguiente tabla (12) se puede evidenciar los costos unitarios por día de los equipos y elementos necesarios tomados como búsqueda o inversión inicial:

**Tabla 12. Equipos y elementos en la inversión inicial**

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)
Unidad de ósmosis	Día	1	980.000
Bomba de transferencia (Eléctrica)	Día	1	62.000
Bomba de transferencia (Neumática)	Día	1	60.000
Compresor	Día	1	65.000
Tanque aireado	Día	1	78.000
Tanque de almacenamiento *	Día	1	90.000
Tanque de combustible*	Día	1	50.000
Generador*	Día	1	110.000
Accesorios** (incluye mangueras, conexiones, entre otros)	Global	1	15.000.000

**Fuente: Elaboración propia**

Nota: (\*) Se requieren en caso de estar en una localización independiente a un taladro de perforación.

(\*\*) Son adquiridos por la compañía.

Así mismo, se deben definir los temas contractuales para la instalación a lo cual y dependiendo de lo pactado entre instalación independiente o instalación conjunta en un taladro de perforación, se tienen los siguientes costos (tabla 13):

**Tabla 13. Costos asociados a la instalación**

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unitario	Observaciones
Tarifa de transporte Cabezote Ruta Base – Campo Rubiales	Viaje	1	6.100.000	Incluye una cama alta desde Base hasta el campo tarifa global
Mano de Obra en la instalación	Día	1	500.000	Personal directo de la compañía con

				experiencia, formación EPP, cursos propios del cliente etc.
Equipo de izaje*	Día	1	3.000.000	Tarifa de Grúa capacidad min 50 Ton

**Fuente: Elaboración propia**

Nota: (\*) Se requieren en caso de estar en una localización independiente a un taladro de perforación.

Teniendo instalado el equipo y pactadas las condiciones con el cliente se puede inferir en la siguiente tabla las condiciones y costos del tratamiento así:

**Tabla 14. Costos asociados a la operación en la integración de la desmineralización**

Concepto	Unidad	Costo (\$)	Observación
Tarifa Global tratamiento	Barril	8.500	Tarifa por barril tratado
Mano de obra	Día	810.000	Incluye 1 Operador por turno 12 horas / capacidad de trabajo
Disposición de fluido de Rechazo	Barril	70.000	Depende de la zona geográfica puede variar por la tarifa de transporte.
Tarifa carrotanque sencillo	Día	565.000	Tarifa día con Operador y combustible
Tarifa carro tanque doble troque	Día	710.000	Tarifa día con Operador y combustible

**Fuente: Elaboración propia.**

De acuerdo con las variables identificadas, a continuación, se establece un comparativo entre la instalación de la planta en la localización del taladro o en una localización independiente, tomando como base un proyecto con una duración promedio de siete (7) días:

**Tabla 15. Comparativo de costos por localización**

<b>Concepto</b>	<b>Instalación en la Localización del taladro (\$)</b>	<b>Instalación en localización diferente al taladro (\$)</b>	<b>Diferencia x tipo de instalación (\$)</b>	<b>Observación</b>
Instalación del equipo	1.000.000	6.000.000	5.000.000	La variabilidad depende del alquiler del equipo de izaje
Alquiler de equipo Básico	8.750.000	10.500.000	1.750.000	Incluye el alquiler global de todos los equipos el cual varía dependiendo de la cantidad de equipos requeridos
Tarifa Global tratamiento	21.760.000	21.760.000	-	Se cobra por barril tratado
Mano de obra	11.340.000	11.340.000	-	Incluye 1 Operador por turno 12 horas / capacidad de trabajo
Disposición de fluido de Rechazo	14.400.000	14.400.000	-	Depende de la zona geográfica puede variar el costo de transporte
Tarifa carrotanque sencillo	-	4.970.000	4.970.000	Tarifa día con Operador, el cual es requerido para transportar el agua hacia la planta
	<b><u>57.250.000</u></b>	<b><u>68.970.000</u></b>	<b><u>11.720.000</u></b>	

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene como consideraciones que el mantenimiento convencional de los equipos involucrados está a cargo del proveedor y se encuentra contemplado dentro de la tarifa de alquiler. En el análisis de costos se evidencia un aumento del 17% en costos realizando el tratamiento en locaciones diferentes al taladro de perforación esto en un estimado de un proyecto de siete (7) días de duración y único proyecto.

Así mismo se establecen lo siguiente, previendo un rendimiento estimado de la planta de 1000 Bbls día, se tiene el siguiente comparativo en caso de que el agua se debería tratar en una planta externa con las debidas autorizaciones ambientales:



**Tabla 16. Comparativo de costos en localización vs planta externa**

<b>Comparación costos por localización vs tratamiento en planta externa</b>		
Tipo de tratamiento	Localización con equipo de perforación	Localización diferente al equipo de perforación
Costo Barril con ósmosis inversa.	\$ 57.250,0	\$ 68.970,0
Costo Barril planta externa D.F.	\$ 70.000,0	\$ 70.000,0
<b>Diferencia</b>	<b>\$ 12.750,0</b>	<b>\$ 1.030,0</b>

Fuente: Elaboración propia.

Se tiene de la tabla anterior que independientemente de la localización donde se instale la planta de ósmosis inversa, sigue siendo una alternativa más económica que la disposición final con empresas autorizadas en planta externa, así mismo se genera como valor agregado la posibilidad de reusar el agua en la prestación del servicio global, sumado a su vez con la eliminación de todos los peligros asociados al transporte que se deja de realizar.

### 9.3. Fortalezas

Después de realizar la verificación del análisis cualitativo y cuantitativo referente al tema, se tiene:

- La organización cuenta con un soporte documental robusto para la justificación y consolidación de la gestión asociada a los procesos.
- La organización mantiene acuerdos comerciales para dar continuidad a la prestación de los servicios y amplia experiencia en el sector productivo.
- La organización al implementar la ósmosis inversa permite a las operaciones obtener agua desmineralizada con parámetros que permitan cumplir los decretos ambientales y así como suplir las necesidades de este recurso (agua) en la perforación y/o producción.
- En términos de desarrollo sostenible el cuidado del agua es un factor trascendental, es así como generar una alternativa que permita minimizar la captación en fuentes naturales se convierte en un beneficio para los

ecosistemas en términos de la contribución hacia la conservación de este valioso recurso.

#### **9.4. Oportunidades de Mejora**

A raíz del diagnóstico realizado en la organización la principal oportunidad de mejora se centra en estructurar el esquema de gestión circular para el manejo de aguas en procesos de perforación, de manera que pueda realizar su presentación como un valor agregado a las operadoras para que estas a su vez puedan demostrar:

- Cumplimiento de parámetros legales en el caso que requiera la disposición de agua.
- Viabilidad de reúso de agua para las mismas actividades de perforación de un proyecto.

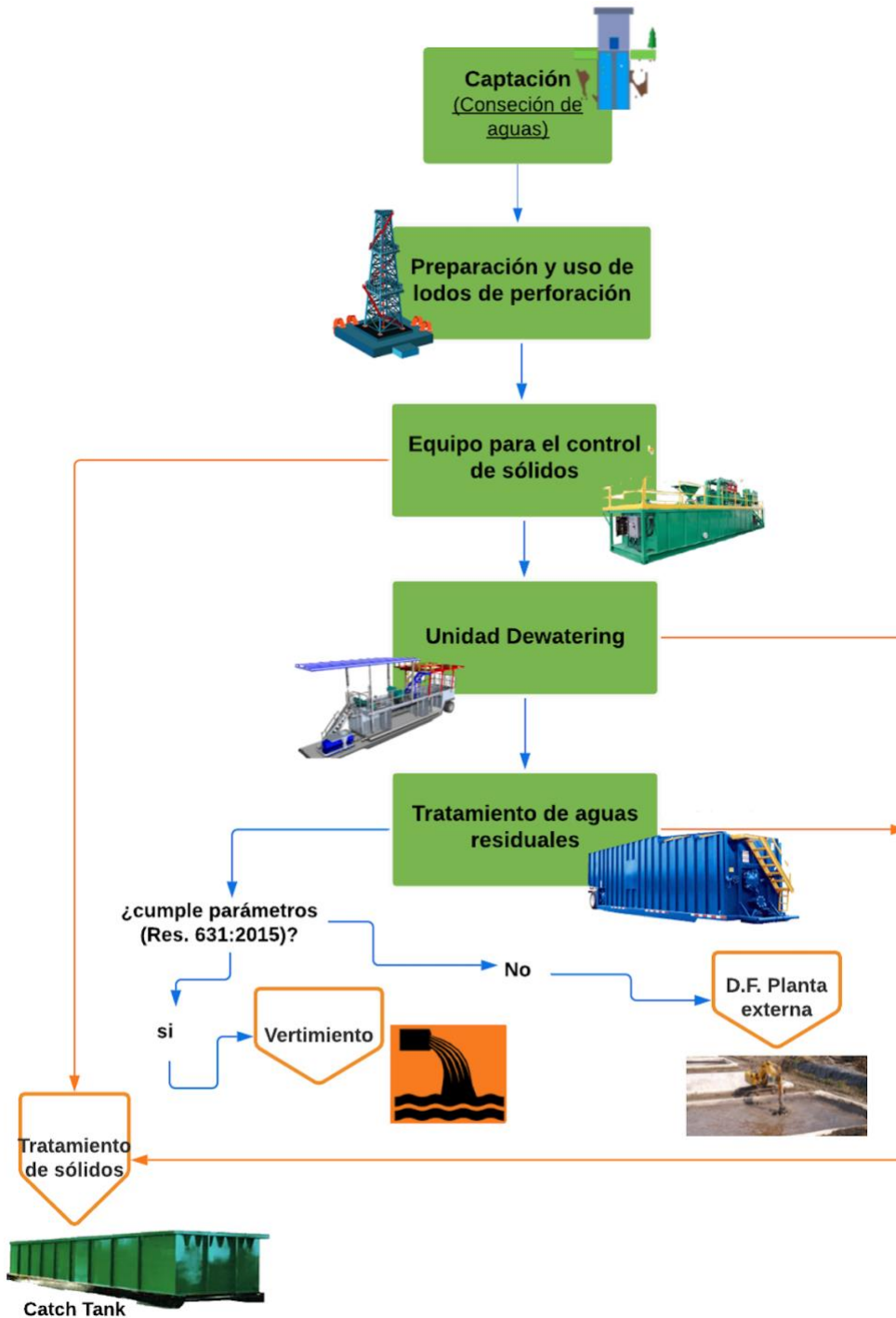
## 10. Plan de intervención

De acuerdo con la información recopilada y analizada en la organización se procede a realizar el planteamiento, definición y esquematización del modelo de recirculación hídrica el proceso de tratamiento de aguas en QMAX.

### 10.1. Conceptualización del modelo de gestión y tratamiento de actual de las aguas de perforación en QMAX

Actualmente, el uso del recurso hídrico en los procesos de perforación contempla estrategias lineales, en las cuales una vez usada el agua pasa por procesos de tratamiento primario y secundario para su posterior vertimiento y/o disposición final con empresas autorizadas, como se muestra en la ilustración 21.

**Ilustración 21. Modelo actual del tratamiento de aguas residuales en perforación de pozos en QMAX.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Para el inicio de la perforación de un proyecto de extracción petrolera se requiere del agua como insumo fundamental, puesto que es necesaria para la preparación del fluido

de perforación junto con una mezcla de aditivos químicos en tanques con esquema de agitación. En referencia a los términos contractuales, la **captación del agua** es responsabilidad de la compañía que presta los servicios de taladro de perforación y para el campo objeto de estudio está autorizada en razón a 2 lit/seg en el caño Arrabo ubicado en jurisdicción del municipio de Puerto Gaitán del departamento del Meta, dicha captación es realizada con carrotanques con capacidad aproximada de 80 Bbbs provistos por contratistas de la región. Se tiene que en un proyecto donde no hay la posibilidad de reúso del agua, la totalidad de esta para la preparación de los fluidos debe ser captada y oscila en un aproximado de 900-1000 Bbbs para la perforación de del proyecto, la cual está distribuida en las siguientes fases:

**Tabla 17 Relación de volúmenes fluido de perforación \***

Fase	Características	Volumen de Agua	Fluido reciclado	Volumen de fluido total	Fluido descartado a Unidad Dewatering
12 1/4"	Fluido a base de agua bentonita	120	260	380	80
8 1/2"	Nitrato de Calcio	50	450	500	500
	QMaxdrill	250	500	750	580
6 1/8"	Q Drilling	500	0	450	0

**Fuente: Elaboración propia.**

\*\* Proyecto tipo donde no se contemplan pérdidas de fluido.

De acuerdo con la experiencia del Ingeniero de Fluidos y las condiciones que se lleven en el proyecto se realiza el descarte del lodo para su respectivo tratamiento; el lodo desechado por los tanques del sistema, al igual que los fluidos recolectados desde el contra pozo y catch tank, se transfieren hacia la unidad de dewatering y al frac tank para realizar el respectivo tratamiento.

En este tipo de proyectos se cuenta con una **unidad dewatering**, con capacidad de t 60 bls en el tanque de lodo, la misma es un modelo compacto con escalera incluida, que incluye agitadores en los dos (2) tanques de polímero y tanque de lodo, aquí se hace la separación de las fases sólidas y líquidas por acción química y mecánica.

La fase líquida proveniente del sistema dewatering es sometida a un **tratamiento convencional** y que, para el caso, es adición de productos químicos en el cual intervienen

un catch tank de 250 bls, una bomba electro-centrífuga y la química necesaria para tratar el agua producida (previo tratamiento de jarras para monitoreo de los volúmenes).

En un modelo lineal posterior al tratamiento de aguas se procede a realizar el **vertimiento** de estas según el método, volumen y áreas que establezcan los permisos o licencias con que cuenta la operadora para el campo o jurisdicción del proyecto, el cual acarrea diversas afectaciones o riesgos establecidos desde la ficha del plan de manejo ambiental, como son:

- Alteración en las características fisicoquímicas y/o microbiológicas del suelo
- Alteración de las propiedades fisicoquímicas y bacteriológicas del agua subterránea
- Modificación de la calidad del hábitat acuático y variación en la composición hidrobiológica de las aguas superficiales
- Alteración de la calidad visual paisajística
- Modificación del hábitat de la fauna terrestre

Así mismo y como ya se justificó en la problemática del proyecto influye en el entorno social del mismo.

## **10.2. Procesos de perforación de pozos que intervienen en el modelo de recirculación hídrica**

Teniendo en cuenta el planteamiento del modelo de lineal, se procede a integrar la ósmosis inversa a los procesos de producción con un propósito fundamental:

- Obtener agua tratada con parámetros que den cumplimiento a la normatividad exigida.

Esto a su vez con tres (3) enfoques específicos:

- Reincorporar al sistema de fluidos aguas tratadas sin que sus parámetros generen desviaciones a la calidad del lodo de perforación.
- Disminuir la captación de agua para uso industrial.
- Minimizar el impacto socio-ambiental que se pueda generar por los vertimientos de agua residual.

A partir de estas premisas, a continuación, se hace la descripción de los procesos intervinientes y los cambios que conllevan frente al modelo lineal revisado en el apartado anterior:

- **Capacitación de agua:** Se realiza la captación inicial de agua para el desarrollo del proyecto de acuerdo en los sitios de captación autorizados para el uso y aprovechamiento de aguas superficiales, con fines de uso doméstico e industrial, de acuerdo con los requerimientos del proyecto, que como ya se había mencionado, está autorizada en razón a 2 lit/seg en el caño Arrabo ubicado en jurisdicción del municipio de Puerto Gaitán del departamento del Meta
- **Preparación del Fluido:** Se mantiene la estructuración del programa de fluidos elaborado para el proyecto y mencionado en el apartado 8.2., preparación de fluidos para perforación de tres (3) fases, a lo cual el agua insumo en su totalidad puede ser incorporada del agua proveniente del proceso de desmineralización de la ósmosis inversa (se han realizado las respectivas pruebas de compatibilidad y es viable su reutilización).
- **Dewatering de Lodo:** Se mantiene el esquema convencional del proceso de dewatering al lodo descartado por el Ingeniero, haciendo la separación de las fases sólidas y líquidas por acción química y mecánica.
- **Tratamiento de Agua Residual:** Se mantiene esquema de convencionales tratamientos en el proyecto a través de la adición de productos químicos al agua residual.  
Se omite paso de vertimiento y se procede a traslado a planta de desmineralización.
- **Desmineralización por ósmosis inversa:** En el sistema de osmosis el cual corresponde al paso del agua a través de una membrana de filtración se realiza la remoción de las sales presentes en las distintas aguas residuales de perforación (dewatering - domésticas) y producción; y por consiguiente es posible disminuir la conductividad y obtener agua de características superiores a la que se obtiene mediante el tratamiento convencional. La planta de tratamiento tiene un porcentaje de eficiencia en recuperación de agua de mínimo el 90% del volumen que a través de ella se procesa, y el producto de ella se ha denominado agua producto o agua permeada.

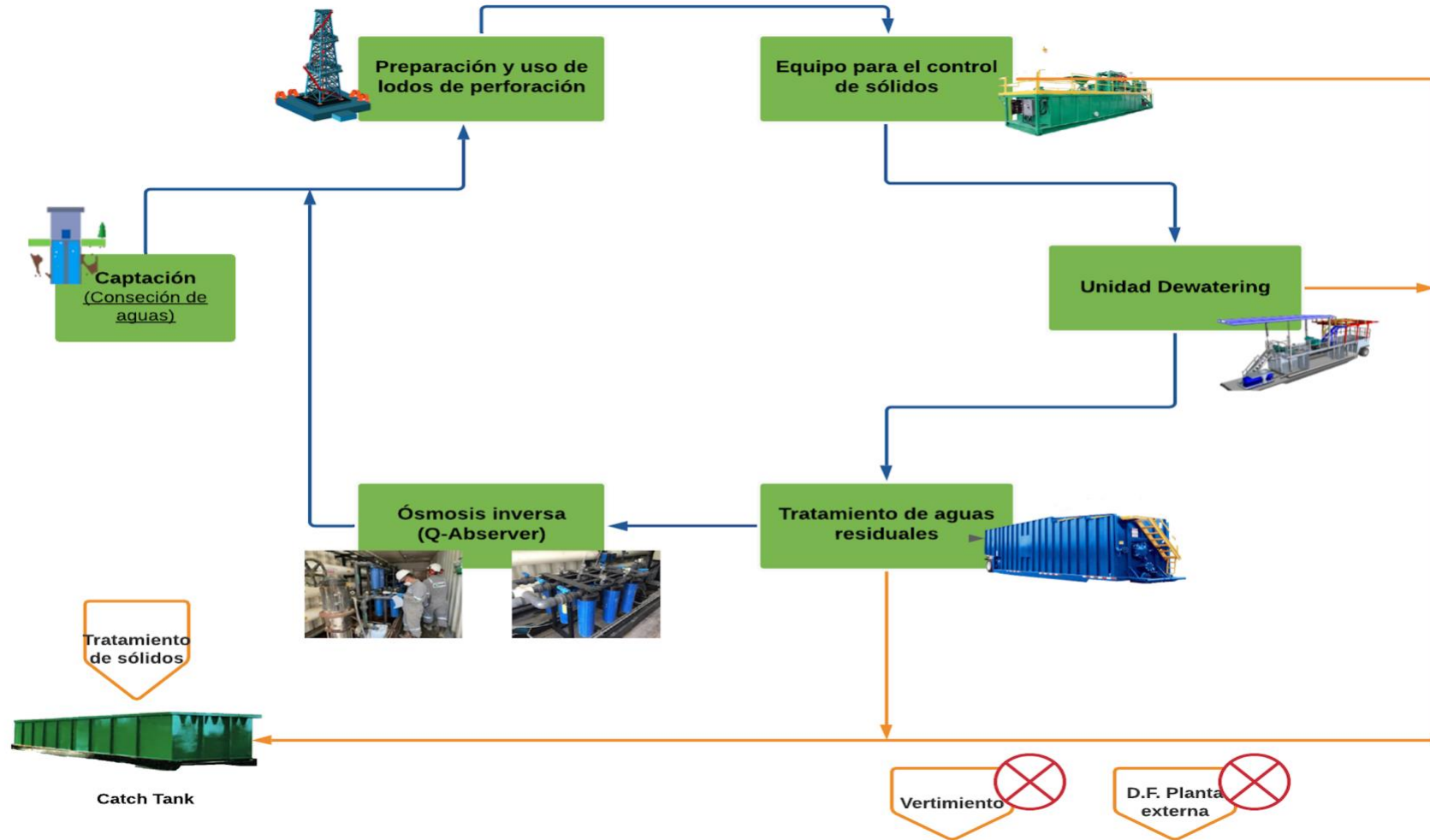
- **Rechazo:** Corresponde al fluido concentrado que se genera después de realizar el proceso de ósmosis, el cual posee alta conductividad y altos parámetros fisicoquímicos, por consiguiente, dadas estas características debe ser enviada a planta externa debidamente autorizada, este corresponde a máximo el 10% del total de fluido ingreso al sistema.

### **10.3. Diseño del modelo de recirculación hídrica dentro del proceso de tratamiento de aguas en QMAX**

De acuerdo con el numeral anterior, a continuación, en la ilustración 22 y 23, se presenta el modelo de recirculación hídrica propuesto para el proceso de tratamiento de aguas en QMax y el cual fue discutido previamente con la representante ambiental de la compañía.



**Ilustración 22. Descripción del modelo de recirculación hídrica para el tratamiento de aguas residuales en la perforación de pozos en QMAX.**



Fuente: Elaboración propia.

## 10.4. Datos en la aplicación en el segmento de estudio

Con la concepción y montaje del modelo de recirculación hídrica para la compañía se tienen los siguientes datos generados en el segmento de estudio:

En la tabla 18 se expresa la relación de volúmenes que se presenta en un proyecto en campo rubiales con una duración aproximada de siete (7) días, el cual brinda la información base para el análisis del esquema de reúso del agua.

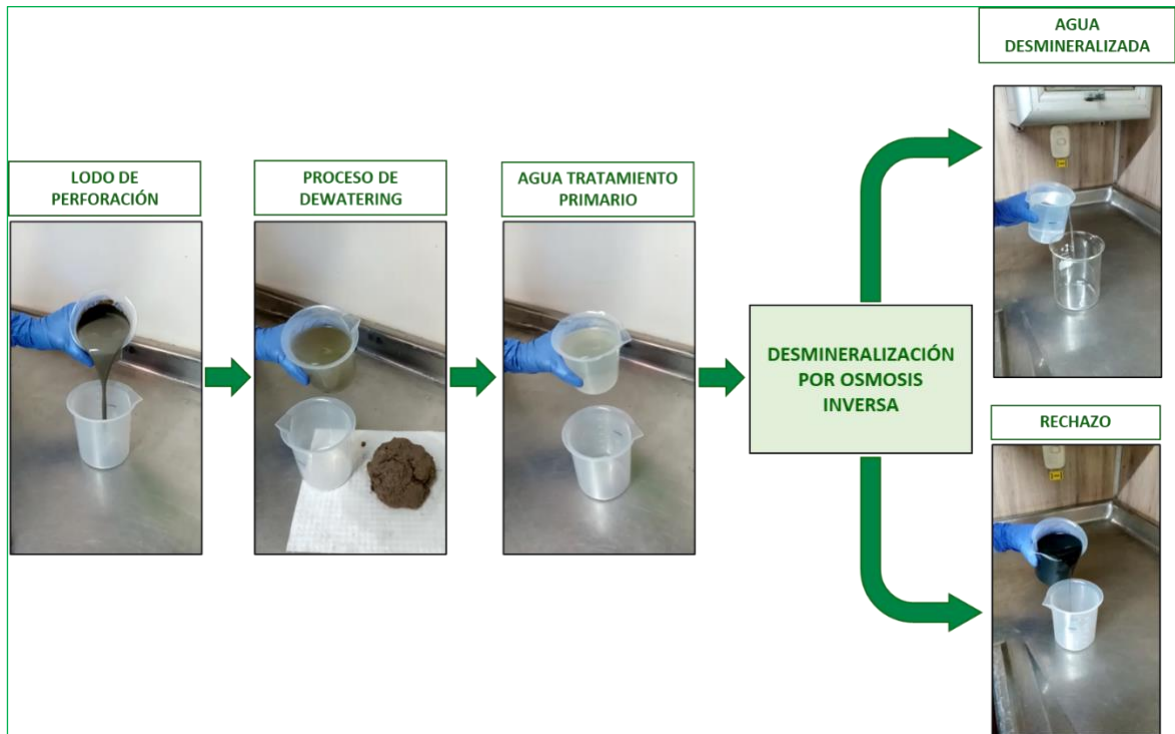
**Tabla 18 Relación promedio de volúmenes en el segmento de estudio.**

<b>Referencia</b>	<b>Valor (Bbls)</b>
Volumen de captación de agua	1000
Volumen fluido reciclado de proyectos anteriores	1210
Volumen de lodo preparado	2080
Volumen de dewatering	1160 fluidos descartados + 440 Otras fuentes = 1600
Volumen de tratamiento convencional	1560
Volumen de agua permeada (desmineralizada)	1435
Volumen de Rechazo	125

**Fuente: Elaboración propia.**

De acuerdo con la tabla anterior a continuación se esquematiza de manera visual la evolución del fluido en las distintas etapas del tratamiento:

**Ilustración 23. Transformación del fluido en el tratamiento**



**Fuente: Elaboración propia a partir de QMAX (2020).**

A partir de la información suministrada, como datos globales de la organización se tienen los siguientes logros con la implementación de este sistema de reúso en el lapso Julio a diciembre de 2020:

- Volumen dejado de captar en las fuentes hídricas en campo Rubiales: 30.650 Bbls, esto son más de 4,8 millones de litros de agua.
- Volumen recibido agua residual industrial tratada: 48.490 Bls.
- Volumen de agua producto de ósmosis inversa (agua permeada): 43.990 la cual es 100% reutilizada.
- Volumen de rechazo enviado a planta externa: 4.500 Bbls.
- Eliminación de vertimiento de agua derivada del tratamiento convencional en el 100% de volumen, es decir 43.990 Bbls dejaron de ser enviados a plantas externas.
- Eliminación de 244 movimientos de transporte calculados en carrotanques doble troque con capacidad unitaria de 180 Bbls.

- Prueba del esquema continuo de reúso del agua que ha sido permeada y se evidencia la circularidad permanente de la misma para reincorporarla a las operaciones sin afectación de la calidad de los fluidos de perforación. Se pierde o descarta de manera definitiva un 10% de lodo como rechazo y se logra aprovechar el 90% del volumen total recibido para reutilizar en su totalidad dentro del proceso.
- Cero (0) incumplimientos ambientales en los parámetros de vertimientos.
- Cero (0) quejas de la comunidad asociadas a vertimientos de agua.
- Ahorros en disposición de agua, por cuenta de la eliminación del transporte y disposición en planta externa por alrededor de \$ 5.000.000.

## 11. Discusión de resultados

Después del desarrollo del presente trabajo dirigido, se hace la discusión de los resultados y los cuales son abordados con base en los aspectos centrales determinados en la descripción del problema, los objetivos desarrollados a lo largo del documento y las consideraciones establecidas en el marco teórico.

QMax en busca de mejorar y hacer que sus servicios en la industria petrolera sean cada día más amigables con el medio ambiente y socialmente responsables, viene innovando en la implementación de tecnologías y estrategias de sostenibles; una de ellas es la “ósmosis inversa” en los procesos de tratamiento de aguas en las actividades de perforación y producción de pozos. Estrategia que le ayudo a la organización a aplicar principios de desempeño en sostenibilidad, como lo son la ética mediante la promoción de prácticas responsables con sus partes interesadas (clientes, comunidades, proveedores y trabajadores); protección del medio ambiente al mitigar los impactos negativos sobre el recurso hídrico en las zonas de influencia de sus actividades; calidad en la prestación de servicios mediante el uso de tecnologías que contribuyen a mitigar efectos negativos sobre los recursos naturales, garantizando la continuidad del negocio de tratamiento de aguas; participación de la comunidad, con la generación de empleo y formación de personal técnico en control sólidos; retorno financiero, al dar ventajas competitivas a sus clientes con precios justos y logrando ahorros económicos en las actividades de perforación de pozos; y relación de negocio, en el cual QMax se ha comprometido a desarrollar prácticas justas de negociación con sus clientes, proveedores y contratistas.

El recurso hídrico en QMax está presente en los servicios de fluidos de perforación y de control de sólidos, dos (2) de los tres (3) servicios prestados, por lo que lograr una recirculación eficiente de las aguas en las actividades de perforación y producción de pozos petroleros, permitiría al país lograr ahorros significativos en el consumo de agua de la industria petrolera, que si bien es cierto no es el consumo más alto de todos los sectores económicos, sí representa el 0,35% del agua total que se consume en el país (Portafolio, 2014); esto a su vez beneficia la consecución de los ODS, y no solo los objetivos en materia de agua, sino los 17 compromisos de la agenda 2030 como lo se pudo evidenciar en el numeral 6.2.2.

En línea con lo anterior, cabe resaltar que desde el contexto del problema se planteó abordar los aspectos económico, social, ambiental y político para dar una respuesta integral a la base del problema que es el “inadecuado uso del recurso hídrico en la perforación de proyectos de hidrocarburos”.

En el aspecto económico se había establecido que QMax y sus clientes debían asumir costos elevados en el tratamiento, transporte y disposición de aguas domésticas e industriales tratadas y enviadas a terceros, lo cual es afirmativo en mediana proporción, es decir, es real que al hacer el comparativo entre los costos de instalar la planta y los costos de enviar el agua a tratamiento con un tercero es más económico incorporar la tecnología en la cercanía del proyecto y que esto genera ahorros monetarios tangibles además de los beneficios conexos (ambientales, sociales). Sin embargo, no es totalmente cierta esta afirmación, ya que se está diciendo que tanto QMax como los clientes deben asumir costos, esto teniendo en cuenta que en cualquiera de los dos (2) mecanismos, instalación de la planta o disposición del agua en planta externa, ese costo debe ser asumido por el cliente; se tiene que para la compañía QMax es favorable que el servicio le sea contratado a través de la incorporación de la planta, ya que constituye otra fuente de ingreso para la prestación de sus servicios.

En el aspecto social se mencionaron problemas de saneamiento relacionados con la disposición final de aguas residuales industriales, así como la disponibilidad del recurso hídrico para consumo humano; como se evidenció en el numeral anterior para el periodo de estudio QMax evitó una captación superior a los 4,8 millones de litros de agua beneficiando así su disponibilidad en las áreas de influencia de los proyectos, y también permitió que la empresa operadora dejara de 43.990 Bbls de aguas contaminadas a plantas externas, como solución rápida y poco sostenible.

En el aspecto ambiental se habían planteado los impactos negativos que generan en los ecosistemas aledaños al desarrollo de los proyectos por su disponibilidad; y los cambios en la calidad de las corrientes superficiales y subterráneas por los vertimientos realizados a cuerpos de aguas superficiales. La recirculación del recurso hídrico en las actividades de perforación de pozos efectivamente evidencia beneficios a corto y largo plazo sobre disponibilidad y calidad del agua.

En los aspectos político y legal, se mencionaba las implicaciones que tienen las autoridades ambientales locales por la ausencia de controles eficaces para la emisión de permisos de concesión de aguas; el poco seguimiento que se realizan a las empresas locales que prestan los servicios de gestión y disposición final de los residuos; y los

cumplimientos por parte de los clientes de QMax con la legislaciones de aprovechamiento de aguas residuales tratadas (resolución 1209:20) y de vertimiento (resolución 631:2015). El primero, sobre la emisión de concesiones de agua, es importantes mencionar que el modelo de recirculación hídrica lograría viabilizar más permisos, pero con un aprovechamiento más austero; respecto al seguimiento y control sobre las empresas que hacen la gestión y disposición final de residuos líquidos peligrosos, ayuda el solo hecho de evitar realizar la gestión con ellos; por último, el modelo de recirculación hídrica permite el vertimiento y aprovechamiento de las aguas provenientes de las plantas de ósmosis inversa, puesto que las características fisicoquímicas de las aguas provenientes de las plantas de ósmosis inversa cumple con los parámetros.

En cuanto a los objetivos general y específicos se puede expresar que se cumplieron cada uno de ellos de la siguiente manera:

Se previó la realización de un diagnóstico al contexto del tratamiento del agua y disposición de aguas residuales el cual fue desarrollado a través de un análisis PESTEL para identificar los factores del entorno general que puedan afectar el proyecto, con un resultado en el cual 15 de las 34 variables presentan algún grado de impacto. Una vez identificadas las variables, se hace el análisis facilitando la comprensión del entorno, mediante factores que influyen en la operación de QMax, y de esa misma manera lograr preparar estrategias de respuesta ante cambios que se vayan presentando en el sector:

Otro de los objetivos, era realizar una comparación del proceso de disposición final convencional frente al cumplimiento de la legislación aplicable, y allí se logra evidenciar parámetros como la DBO5, DQO, fenoles, nitrógeno y sulfatos no cumplen con los valores límites máximos permisibles según la resolución 631 de 2015 para el vertimiento a cuerpos de aguas superficiales, y en relación con el uso de aguas residuales tratadas según lo expuesto en la resolución de 1207 de 2014, se evidencia que 5 de los parámetros (Cadmio, cloruros, DBO5, fenoles y vanadio) están por encima de los límites máximos permisibles, evitando así que estas aguas puedan ser reutilizadas en los procesos de perforación.

El tercer objetivo consistió en evaluar la integración de la ósmosis inversa con los procesos de tratamiento de aguas de perforación; y es allí donde se muestra que al cumplirse los parámetros de la legislación vigente, se puede realizar el aprovechamiento de las aguas en el desarrollo de las actividades de los campos y también se lograría realizar los vertimientos.

Como último objetivo se planteó un modelo de recirculación hídrica dentro del proceso de tratamiento de aguas, llegando a un tratamiento terciario en el cual se puede

lograr aprovechar el agua proveniente de los lodos de perforación y también poder viabilizar proyectos en donde no se permite el vertimiento de estas aguas.

En línea con lo anterior el objetivo general se relaciona con los objetivos específicos de manera total, a lo cual estos se ratifican conforme al desarrollo del documento y los resultados obtenidos, de manera tal que se ha llegado a la esquematización del modelo de recirculación hídrica dentro del proceso de tratamiento de aguas en QMax en la ilustración 22 y 23.

Otro de los aspectos referidos en el marco teórico es que en Colombia, con base en las licencias ambientales y demás fuentes estudiadas, la mayor parte del tratamiento para el agua residual se concentra en tratamientos primarios ya sea de tipo físico, químico o biológico, con tecnologías convencionales como desengrasado, remoción de compuestos orgánicos, evaporación y tratamientos con membranas bajo cambios de presión, que poco a poco se han venido optimizando en algunos casos ya sea de manera individual o en configuraciones, también llamados sistemas híbridos. Sin embargo, con base en la revisión realizada, se puede afirmar que es incipiente la investigación en técnicas no convencionales, pues, aunque se han desarrollado tecnologías como procesos de oxidación avanzada simple y combinada (fotocatálisis, electro oxidación, oxidación de agua supercrítica, entre otras), predominan las técnicas de biorremediación.

Se establece también que dentro del proceso de revisión no se encontraron investigaciones anteriores relacionadas con el objeto del presente trabajo dirigido, razón por la cual no se hacen apreciaciones frente a otras investigaciones.

Se admiten y exponen con honestidad las carencias de los datos reales en referente a la revisión económica por temas de confidencialidad en la organización a lo cual se ha realizado un estimado de los mismos de manera teórica que permite el desarrollo y análisis de la incorporación de la tecnología. Así mismo se exponen limitaciones en aspectos de acceso a la información de manera rápida lo cual ha sido altamente influenciado por la disponibilidad del personal del proyecto en términos de limitación de cantidad de funcionarios por la exposición al coronavirus y los nuevos controles establecidos.

Por último, es pertinente decir que actualmente la compañía fue pionera en la incorporación de esta tecnología, sin embargo, por las múltiples limitaciones en temas de licenciamientos, se ha visto la incursión de otras organizaciones en el mismo sector económico tales como Clariant y Schlumberger para campos diferentes a rubiales, pero con este mismo tipo de propuesta de tratamiento de aguas.



## 12. Recomendaciones y conclusiones

A continuación, se presentan las recomendaciones para la implementación del plan de intervención propuesto y las conclusiones de cierre del trabajo dirigido.

### 12.1. Recomendaciones

- La realización de un análisis similar debería ser aplicado para el proceso de tratamiento de los cortes de perforación, ampliando el proceso de investigación referente al uso que se puede dar a los cortes residuales del proceso después del tratamiento.
- El modelo de recirculación hídrica propuesto debería ser incorporado en el brochure y/o presentaciones organizacionales, para lograr la captación de nuevos clientes y que estos a su vez se beneficien con mejores resultados en su gestión medio ambiental y de sostenibilidad.
- La organización puede considerar incorporar mecanismos de recolección de datos alimentados de manera sistémica para poder emitir información en cifras reales de manera periódica o cuando sean solicitadas a requerimiento de alguna de sus partes interesadas.
- Continuar implementando estrategias de sostenibilidad dentro de las actividades o procesos de QMax, e iniciar con la elaboración, registro y medición de sus memorias de sostenibilidad.

## 12.2. Conclusiones

A lo largo del desarrollo del presente trabajo dirigido se logró:

- La realización de un diagnóstico del contexto general del tratamiento del agua y disposición de aguas residuales de los procesos de perforación y producción de hidrocarburos con los cuales se obtiene el conocimiento organizacional de la compañía objeto de estudio, QMax.
- La realización de un análisis comparativo de disposición final convencional, como sistemas de tratamiento de agua y lodos de perforación y producción de hidrocarburos, frente a la legislación aplicable al segmento de estudio con el cual se ha establecido que el tratamiento convencional no proporciona el cumplimiento mínimo exigido por las licencias.
- La evaluación de la ósmosis inversa como parte del proceso de tratamiento de aguas en los proyectos de perforación en los servicios prestados por QMAX en el segmento de estudio, pozo Rb 1771 H y RB 1638H, a lo cual se da cumplimiento a la legislación aplicable en Colombia, ya sea para realizar vertimiento o reutilizar el agua nuevamente en el proceso.
- El diseño de un modelo de recirculación hídrica que integra la ósmosis inversa dentro de la reutilización del agua y con lo cual se ha puede viabilizar proyectos donde la licencia ambiental no permite vertimientos en vías o cuerpos de agua.
- El diseño de un modelo de recirculación hídrica permite mejorar los indicadores ambientales y de sostenibilidad en la industria.

## 13. Referencias

- Acosta, A. (10 de 11 de 2018). La dependencia del petróleo. Obtenido de La República: <https://www.larepublica.co/analisis/amykar-d-acosta-m-557896/la-dependencia-del-petroleo-2792214>
- ACP. (2016). Asociación Colombiana del Petróleo. Obtenido de Informe gestión social 2016: <https://acp.com.co/web2017/es/generacion-de-empleo>
- ANH. (2018). Agencia Nacional de Hidrocarburos. Obtenido de La Inversión Social: <https://www.anh.gov.co/portalregionalizacion/Paginas/La-inversion-social.aspx>
- ANH. (2019). Reactivación del sector de Hidrocarburos en Colombia. Colombia Genera 2019. Bogotá.
- ANH. (2020). Agencia Nacional de Hidrocarburos. Obtenido de [www.anh.gov.co](http://www.anh.gov.co): <https://www.anh.gov.co/Sala-de-Prensa/Documents/CLIC%20ANH%204.pdf>
- ANH. (JUNIO de 2020). Clicanh Edición No.4. Obtenido de <http://www.anh.gov.co/Sala-de-Prensa/Documents/CLIC%20ANH%204.pdf>
- BBVA. (2017). ¿Por qué sube o baja el precio del petróleo? Obtenido de <https://www.bbva.com/es/sube-baja-precio-petroleo/>
- Bernal, C. (2010). Metodología de la investigación. Tercera edición. Colombia: PEARSON EDUCACIÓN.
- Cancillería de Colombia. (2020). Economía circular. Obtenido de <https://www.cancilleria.gov.co/economia-circular>
- Carbotecnia. (2020). ¿Qué es la ósmosis inversa? Obtenido de [Carbotecnia.info](http://Carbotecnia.info): <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/osmosis-inversa/que-es-la-osmosis-inversa-purificador/>
- Congreso Nacional del Agua Orihuela. (2019). Agua y economía circular. En J. Melgarejo. Alicante: Instituto del Agua y de las Ciencias Ambientales. Obtenido de RUA Institucional: [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88467/1/Congreso\\_Nacional\\_Agua\\_2019\\_27-52.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/88467/1/Congreso_Nacional_Agua_2019_27-52.pdf)
- Corpouraba. (2020). Sistema Nacional Ambiental SINA. Obtenido de <http://corpouraba.gov.co/que-es-el-sistema-nacional-ambiental-sina/>
- Cullum, D. (2013). Fundamentos de los fluidos de perforación. Colombia: Schulumberger.

- DNP. (2016). POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS . Obtenido de Documento CONPES 3874: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- DNP. (2018). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de Las 16 grandes apuestas de Colombia para cumplir los Objetivos de Desarrollo Sostenible: <https://www.dnp.gov.co/Paginas/Las-16-grandes-apuestas-de-Colombia-para-cumplir-los-Objetivos-de-Desarrollo-Sostenible.aspx>
- DNP. (2018). Departamento Nacional de Planeación. Obtenido de MISIÓN CRECIMIENTO VERDE : [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/INFORME\\_PROPUESTAS%20FINAL\\_18\\_05\\_18.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Agua/INFORME_PROPUESTAS%20FINAL_18_05_18.pdf)
- DNP. (2018). Documento CONPES 3934. Obtenido de POLÍTICA DE CRECIMIENTO VERDE: <https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/Pol%C3%ADtica%20CONPES%203934/CONPES%203934%20-%20Pol%C3%ADtica%20de%20Crecimiento%20Verde.pdf>
- DNP. (2018). PND 2018-2022. Obtenido de Plan Nacional de Desarrollo 2018 - 2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad.: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Resumen-PND2018-2022-final.pdf>
- DNP. (2020). Documento CONPES 4004. Obtenido de ECONOMÍA CIRCULAR EN LA GESTIÓN DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y MANEJO DE AGUAS RESIDUALES: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/4004.pdf>
- Dominighini, C., Muscia, L., Cataldi, Z., Scurati, C., & Marcelo Olivero, M. G. (2016). Análisis de membranas de ósmosis inversa en potabilización de agua para consumo humano. Obtenido de <https://copec.eu/congresses/shewc2016/proc/works/29.pdf>
- EITI Colombia. (2020). Sector Hidrocarburos. Obtenido de La cadena del petróleo : [http://www.eiticolombia.gov.co/es/informes-eiti/informe-2016/marco-institucional/sector-hidrocarburos/#:~:text=El%20sector%20hidrocarburos%20se%20compone,\(figuras%201%20y%202\).](http://www.eiticolombia.gov.co/es/informes-eiti/informe-2016/marco-institucional/sector-hidrocarburos/#:~:text=El%20sector%20hidrocarburos%20se%20compone,(figuras%201%20y%202).)
- EL PAÍS. (30 de Octubre de 2015). De la economía lineal a la circular: un cambio necesario. (L. Alcubilla, Productor) Obtenido de <https://elpais.com/elpais/2015/10/30/alterconsumismo/1446190260:144619.html>
- Epstein, M. (2009). Sostenibilidad empresarial: administración y medición de los impactos sociales, ambientes y economía. . Obtenido de Ecoe Ediciones: <https://elibro-net.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/es/ereader/bibliotecaean/691>

- Gómez, (. (2018). Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad. Bilbao, España: Hegoa.
- Guijarro, A. (2016). El agua en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Obtenido de [agua.es:](https://www.iagua.es/) <https://www.iagua.es/blogs/alberto-guijarro-lomena/infografia-agua-objetivos-desarrollo-sostenible>
- lagua. (2020). [iagua.es.](https://www.iagua.es/) (A. Valdivielso, Productor) Recuperado el Febrero de 2021, de ¿Qué es el agua?: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua>
- IDEAM. (2018). Reporte de avance del estudio nacional del agua. Obtenido de [http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla\\_ENA\\_%202018.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Cartilla_ENA_%202018.pdf)
- Lenntech. (2019). Water treatment solutions. Obtenido de [https://www.lenntech.com/Data-sheets/LT\\_Oil-&Gas-Industry-rev01-es.pdf](https://www.lenntech.com/Data-sheets/LT_Oil-&Gas-Industry-rev01-es.pdf)
- Lopera, Maria. (11 de 2012). Proyecto: Desarrollo de capacidades para el uso seguro de aguas servidas en agricultura. Obtenido de [unwater:](https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/127/COLOMBIA.pdf) [https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod\\_page/content/127/COLOMBIA.pdf](https://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/127/COLOMBIA.pdf)
- Mancilla, R., & Mesa, H. (2012). Metodología para el manejo de aguas de producción en un campo petrolero. Obtenido de <http://noesis.uis.edu.co/bitstream/123456789/17968/1/145188.pdf>
- Mapfre. (2018). Obtenido de ¿Qué es la sostenibilidad, o desarrollo sostenible?: <https://blogmapfre.com/responsabilidad-social/que-es-la-sostenibilidad-o-desarrollo-sostenible/>
- Martín, J. (2019). Economía circular, un nuevo paradigma para nuestras ciudades. Tiempo de Paz.
- Martínez, A. (2016). PNUD. Obtenido de Impacto de un nuevo panorama de los precios del petróleo en las diferentes regiones de Colombia: [file:///Users/cristophercarrillo/Downloads/undp-co-Impacto%20de%20un%20nuevo%20panorama%20de%20los%20precios%20del%20petr%C3%B3leo%20en%20las%20diferentes%20regiones%20de%20Colombia-2016%20\(2\).pdf](file:///Users/cristophercarrillo/Downloads/undp-co-Impacto%20de%20un%20nuevo%20panorama%20de%20los%20precios%20del%20petr%C3%B3leo%20en%20las%20diferentes%20regiones%20de%20Colombia-2016%20(2).pdf)
- Mesa, S., Orjuela, J., Ortega, A., & Sandoval, J. (2018). Revisión del panorama actual del manejo de agua de producción en la industria petrolera colombiana. Obtenido de <http://bdbiblioteca.universidadean.edu.co:2173/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=5d6b3058-1198-4680-80f7-d40b50a24aa0%40sessionmgr103>
- MinAmbiente. (Noviembre de 2018). Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

- Mintrabajo. (2018). Riesgos laborales. Obtenido de Mintrabajo.gov: <https://www.mintrabajo.gov.co/web/guest/relaciones-laborales/riesgos-laborales/sistema-de-gestion-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo>
- Moreno, J. (1992). Reinyección: Una herramienta en geología ambiental. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Ordoñez, J. L. (28 de 09 de 2020). Nuevos límites máximos permisibles de vertimientos para aguas residuales. Obtenido de <https://revista-mm.com/>: <https://revista-mm.com/administracion/nuevos-limites-maximos-permisibles-de-vertimientos-aguas-residuales/>
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). Cumbre de la tierra. Rio de Janeiro: ONU.
- Ortiz, M. (2016). Manejo ambiental de la disposición final de los fluidos base utilizados en la perforación de algunos pozos petroleros en Colombia. Bogotá, Colombia: Universidad América. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/633/1/5131638-2016-2-GA.pdf>
- Ortiz, M. (2016). MANEJO AMBIENTAL DE LA DISPOSICIÓN FINAL DE LOS FLUIDOS BASE UTILIZADOS EN LA PERFORACIÓN DE ALGUNOS POZOS PETROLEROS EN COLOMBIA. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/633/1/5131638-2016-2-GA.pdf>
- Parada, P. (2013). Análisis PESTEL, una herramienta de estrategia empresarial de estudio del entorno. Obtenido de <http://www.pascualparada.com/analisis-pestel-una-herramienta-de-estudio-del-entorno/>
- Portafolio. (2014). *Sector petrolero usa 0,35 % del agua que se consume*. Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/sector-petrolero-35-agua-consume-48518>
- Pureaqua. (2018). Estudio de Caso Serie Ósmosis Inversa-400. Obtenido de <https://es.pureaqua.com/content/pdf/sistema-osmosis-inversa-para-refiner%C3%ADa-de-petr%C3%B3leo-159000-gpd-bangladesh.pdf>
- QMax. (2020). Manual del Sistema de Gestión Integral. V08.
- QMax. (2020). Rendición de Cuentas Proceso Desarrollo de Negocios.
- Saltie, G. (30 de 8 de 2016). Iagua. Obtenido de ¿Qué significa una economía circular en el sector del agua para América Latina?: <https://www.iagua.es/blogs/gustavo-saltiel/que-significa-economia-circular-sector-agua-america-latina>

- Sanín, H. (2008). Marco Lógico para la Formulación de Proyectos de Desarrollo. Obtenido de <https://eigenwesentliche.files.wordpress.com/2010/02/marco-logico-para-la-formulacion-de-proyectos.pdf>
- Schroeder, (. y. (2018). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.12732>
- SIC. (2020). Control de precios. Obtenido de Superintendencia de industria y comercio: <https://www.sic.gov.co/control-de-precios>
- Trujillo, H., Losada, J., & Rodríguez, H. (2017). Amazonia colombiana, petróleo y conflictos socioambientales. Obtenido de <https://revistacientificaesmic.com/index.php/esmic/article/view/181/353>
- UNDP. (2021). CLEAN WATER AND SANITATION. Obtenido de SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS : <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- UNESCO. (2015). AGUA PARA UN MUNDO SOSTENIBLE. Obtenido de Informe de las Naciones Unidas sobre los Recursos Hídricos en el Mundo 2015: [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_SPA_web.pdf)
- UNESCO, & CODIA. (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Obtenido de Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos: [https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef\\_0000370289&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach\\_import\\_24441c7a-66fe-40a4-9e29-076507090bce%3F\\_%3D370289spa.pdf&locale=es&multi=true&ark=/ark:/48223/p](https://unesdoc.unesco.org/in/documentViewer.xhtml?v=2.1.196&id=p::usmarcdef_0000370289&file=/in/rest/annotationSVC/DownloadWatermarkedAttachment/attach_import_24441c7a-66fe-40a4-9e29-076507090bce%3F_%3D370289spa.pdf&locale=es&multi=true&ark=/ark:/48223/p)
- Universidad de Cataluña. (2017). Obtenido de <https://www.prevencionintegral.com/comunidad/blog/upcplus/2017/10/18/fin-economia-lineal>
- Westreicher, G. (2020). Riesgo político. Obtenido de Economipedia.com: <https://economipedia.com/definiciones/riesgo-politico.html>

## **14. Anexos**

- A. Anexo. Acta de resultados con tratamiento convencional, desmineralización y laboratorio externo pozo RB 1638H.**



**B. Anexo. Acta de resultados con tratamiento convencional,  
desmineralización y laboratorio externo pozo RB 1771H.**

## C. Anexo. Resultado encuesta del contexto en QMAX