



**Afectaciones económicas y ecológicas generadas por el vertimiento de
aguas residuales en la perforación exploratoria de hidrocarburos en
campos de Casanare durante el periodo 2010-2015**

Ana María Murillo Aguirre

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2017

**Afectaciones económicas y ecológicas generadas por el vertimiento de
aguas residuales en la perforación exploratoria de hidrocarburos en
campos de Casanare durante el periodo 2010-2015**

Ana María Murillo Aguirre

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director (a):

Msc. Diego Hernández García

Línea de Investigación:

Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas

Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Manizales, Colombia

2017

Este trabajo presenta las opiniones personales de los autores, por lo que los posibles errores y conceptos emitidos son de responsabilidad exclusiva de éstos y no comprometen a la Universidad de Manizales ni a sus directores, asesores y jurados.

AGREDECIMIENTOS

Doy gracias a Dios por ser la fuente de amor incalculable que mueve todas las energías del universo que impulsan nuestros sueños y deseos.

A mi familia por el apoyo, la paciencia y colaboración incondicional brindada en todos los procesos de superación de mi vida.

Al profesor Diego Hernández por sus orientación, paciencia y motivación para culminar este proyecto académico.

A la Universidad de Manizales y sus directivos por buscar a través de la academia y desarrollo de investigaciones forjar un país mejor y sostenible.

Y a todas aquellas personas que de una forma u otra colaboraron en la realización de esta investigación, mi más sincero agradecimiento.

Resumen

El objeto de la presente investigación es la identificación de las afectaciones económicas y ecológicas generadas por el vertimiento de aguas residuales en el proceso de perforación exploratoria de hidrocarburos en campos del departamento del Casanare. Este estudio se efectuó a partir del enfoque mixto de tipo descriptivo a través del análisis de los elementos ecológicos y socioeconómicos, y su interacción con las actividades de exploración de hidrocarburos con la finalidad de identificar y describir los efectos generados por el vertimiento de aguas residuales en la perforación exploratoria, lo cual se complementó con el análisis de información secundaria.

La evaluación ambiental realizada en la investigación permitió establecer que el desarrollo de las actividades del proyecto modifican la calidad de los recursos naturales en áreas con características bióticas, abióticas y socioeconómicas comunes existentes en los Llanos Orientales, siendo el vertimiento de residuos líquidos, caracterizado por los criterios de calidad definidos en la normatividad ambiental, una de las actividades que mayor genera impactos sobre el medio respecto a las alteraciones en la disponibilidad del recurso hídrico superficial, la calidad del agua de corrientes superficiales, las dinámicas poblacionales de fauna acuática, las actividades productivas tradicionales y el cambio en la sensibilidad ambiental.

Palabras clave: Vertimiento, Elementos ambientales, Afectaciones ecológicas, Calidad de agua, Perforación exploratoria.

Abstract

The object of the present investigation is the identification of the economic and ecological affectations generated by the releases of wastewater in the process of exploratory exploration of hydrocarbons, in fields of the department of Casanare. This study was carried out from the qualitative approach through the analysis of the ecological and socioeconomic elements and their interaction with the hydrocarbon exploration activities in order to identify and describe the effects generated by the dumping of wastewater in exploratory drilling, which was complemented with secondary information analysis.

The environmental evaluation carried out in the investigation made it possible to establish that the development of the project activities modify the quality of natural resources in areas with common biotic, abiotic and socioeconomic characteristics in the Eastern Plains, with the discharge of liquid waste, characterized by quality criteria defined in environmental regulations, one of the activities that generates the greatest impact on the environment with respect to alterations in the availability of surface water resources, the quality of water from surface streams, the population dynamics of aquatic fauna, productive activities traditional and the change in environmental sensitivity

Keywords: Releases, Environmental elements, Ecological effects, Water quality, Exploratory drilling.

Tabla de contenido

Resumen	5
Abstract	6
Introducción.....	10
Capítulo 1 Contexto ambiental y social.....	12
Capítulo 2 Problema de investigación	17
2.1. Pregunta de investigación	24
2.2. Justificación	24
2.3. Objetivos	27
2.3.1. Objetivo general.....	27
2.3.1 Objetivos específicos	28
2.4. Categorías de análisis.....	28
Capítulo 3 Marco teórico.....	30
3.1. Antecedentes investigativos.....	40
3.2. Marco de referencia	48
3.2.1. Antecedentes.....	48
3.3. Marco legal	53
3.4. Metodología.....	54
Capítulo 4 Análisis de la información	59
4.1. Identificación de afectaciones ecológicas y económicas	59
4.2. Caracterización de vertimientos de aguas residuales de los procesos de perforación exploratoria de hidrocarburos	68
4.3. Cumplimiento normativo de los vertimientos de la perforación exploratoria de hidrocarburos.....	81
5. Conclusiones y recomendaciones	92
5.1. Conclusiones	92
5.2. Recomendaciones	96
6. Referencias.....	98
7. Anexos	102

Lista de Figuras

Figura 1. <i>Mapa de Tierras ANH departamento del Casanare.</i>	20
Figura 2. <i>Perforación exploratoria y reservas incorporadas.</i>	50
Figura 3. <i>Variación del pH en la entrada y salida del sistema.</i>	82
Figura 4. <i>Variación de la temperatura en la entrada y salida del sistema.</i>	82
Figura 5. <i>Variación del oxígeno disuelto en la entrada y salida del sistema.</i>	83
Figura 6. <i>Variación de los sólidos suspendidos totales y turbiedad en la entrada y salida del sistema.</i>	84
Figura 7. <i>Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la entrada y salida del sistema.</i>	84
Figura 8. <i>Variación de los aceites y grasas en la entrada y salida del sistema.</i>	85
Figura 9. <i>Concentración de cloruros en la entrada y salida del sistema.</i>	85
Figura 10. <i>Concentración de fenoles totales en la entrada y salida del sistema.</i>	86

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Categorías de análisis.</i>	28
Tabla 2. <i>Características de agua residual en actividades de perforación.</i>	37
Tabla 3. <i>Impactos ambientales causados por las actividades de perforación exploratoria.</i> ..	39
Tabla 4. <i>Descripción metodología empleada en la investigación.</i>	57
Tabla 5. <i>Inventario de factores ambientales.</i>	60
Tabla 6. <i>Impactos identificados.</i>	61
Tabla 7. <i>Atributos y criterios de calificación de la metodología utilizada para la evaluación de impactos.</i>	62
Tabla 8. <i>Actividades en la perforación exploratoria.</i>	65
Tabla 9. <i>Identificación de actividades e impactos en la etapa de Perforación.</i>	65
Tabla 10. <i>Caracterización agua residual industrial tratada perforación pozo Rumba 1.</i>	70
Tabla 11. <i>Caracterización agua residual doméstica tratada perforación pozo Bazar 2.</i>	76
Tabla 12. <i>Identificación cumplimiento legal vertimientos de perforación exploratoria Campo Rico.</i>	87

Introducción

La presente investigación se refiere al tema de las afectaciones ecológicas y económicas derivadas de la actividad de exploración de hidrocarburos desarrollada en los campos ubicados en el departamento del Casanare, considerando la afectación de todos los aspectos positivos o negativos que se generan por la ejecución de un proyecto en un área determinada de este tipo.

Uno de los elementos que acompaña en mayor o menor grado el desarrollo de las fases de la exploración comercial de hidrocarburos corresponde a la modificación de las condiciones ambientales y las zonas donde se encuentran estas acumulaciones a medida que son intervenidas, directa o indirectamente, para posibilitar su rentabilidad.

Cada una de las actividades y operaciones típicas de la exploración de hidrocarburos involucran múltiples interacciones con el ambiente. Cada una de estas interacciones implica el uso y aprovechamiento de recursos naturales, entre ellos el recurso hídrico y la generación de residuos sólidos y líquidos.

Respecto a los residuos líquidos es importante referir que como consecuencia del desarrollo y crecimiento de la actividad petrolera suelen presentarse como consecuencia: alteraciones de las condiciones físicas del suelo, del aire y/o del agua, ya sea por uso inapropiado o por la presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran su ciclo de recuperación natural, específicamente por la incorrecta disposición de residuos resultantes en el proceso de exploración.

Para abordar esta problemática se hace evidente la necesidad de profundizar sobre los efectos de las actividades de exploración en los elementos sociales y ambientales, mediante el análisis de las afectaciones que se generan producto de las actividades; asimismo, conocer los efectos de los vertimientos sobre los componentes ecológicos y económicos.

Conocer estos efectos, le permitirá al Casanare realizar la planeación de sus recursos en función del desarrollo de proyectos que impliquen el uso y aprovechamiento de los recursos naturales (la exploración de hidrocarburos).

Por otra parte, mediante el análisis de los efectos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de las aguas residuales, producidas como parte de la exploración y explotación de hidrocarburos, se pretende analizar la compatibilidad de la gestión de los recursos naturales con la conservación y protección del medio ambiente, con el fin de garantizar el mejoramiento de la calidad de vida y el adecuado manejo del ambiente.

Se espera que con los resultados de la presente investigación se aporte una base de conocimiento sólida que permita ser soporte en las discusiones que a nivel local, regional y nacional se viene desarrollando respecto al desarrollo de la explotación petrolera y su incidencia en la calidad de los recursos naturales.

Finalmente, la caracterización fisicoquímica y verificación del cumplimiento de los vertimientos de aguas de la exploración petrolera pretendió valorar la calidad de las aguas para dimensionar las afectaciones que se pueden generar cuando se supera la capacidad de carga de un recurso, y así, proponer una gestión ambiental acorde con las necesidades particulares, a manera de instrumento de planificación y regulación de los recursos naturales, como un paso importante en la construcción del camino hacia un desarrollo sostenible de la región.

Capítulo 1

Contexto ambiental y social

La investigación tomó como base de información los proyectos de exploración petrolera del Casanare, por medio de los que, durante el periodo de 2010-2015, se llevaron a cabo perforaciones exploratorias y vertimiento de aguas residuales. Los municipios con mayor porcentaje de esta actividad fueron: Paz de Ariporo, San Luis de Palenque, Aguazul, Tauramena y Maní. Es importante describir ambientalmente el estado inicial de estas áreas de interés y confrontarlas con las actividades que se están llevando a cabo y que son propias de la región, lo cual permitirá identificar afectaciones existentes que no dependen de la exploración de hidrocarburos.

A continuación, se listan las actividades más comunes que generan impacto en la área de influencia de los proyectos de perforación exploratoria en los municipios referidos:

- **Ganadería extensiva**

La mayoría de los predios de las zonas de estudio están dedicados a la ganadería extensiva, para lo cual se han establecido áreas donde domina la vegetación de tipo herbácea, comprendida por pastos naturales o introducidos como *Brachiaria humidicola* y *Brachiaria decumbens* (pastos manejados). Esta actividad trae consigo deterioro en el componente suelo, principalmente por la compactación (causado por el pisoteo). La ganadería es una actividad que está asentada hace ya bastantes años y se prevé que se seguirá desarrollando en un futuro dada su importancia económica en la zona, ya que es una de las principales fuentes de trabajo y por lo tanto de ingreso económico para la comunidad.

- **Agricultura industrial**

La actividad agrícola es una de las actividades más importantes en la región, razón por la cual se han destinado grandes extensiones de tierra al cultivo tecnificado de arroz, como ocurre en inmediaciones de los ríos principales. Al igual que la ganadería, esta es una actividad que se desarrolla desde hace varios años y se prevé que se seguirá desarrollando en un futuro, dada su importancia económica en la zona.

Además del suelo, el componente hídrico es otro elemento que se ve afectado por la actividad agrícola (en especial el cultivo de arroz). Dicha actividad requiere el uso de fungicidas, bactericidas, insecticidas, nematocidas, acaricidas, roenticidas y otros plaguicidas, los cuales aportan o incrementan el contenido de compuestos químicos (nitratos y metano), alterando con ello los ciclos biogeoquímicos. Siendo importante mencionar la actividad de fumigación aérea y el funcionamiento de sistemas de riego, lo que favorece el desarrollo de estas actividades con la dispersión de agroquímicos que por procesos de escorrentía y dirección de canales finalmente son depositados en las corrientes hídricas presentes en el área de estudio. Otros impactos generados por el uso de agentes químicos son: la baja biodegradabilidad que hace que su toxicidad persista largo tiempo en el ambiente, especialmente los clorados y los fosforados, aún con peligro de que los absorba el organismo humano; posibilidad de que percolen hasta los acuíferos que sirven como agua de consumo humano; creación de resistencia a las plagas, lo que hace necesario aumentar frecuencias de aplicación; resurgimiento de plagas ya tratadas y de nuevas plagas; afectación de la polinización y las cadenas tróficas y; mortalidad a la fauna silvestre.

La actividad agrícola ha traído consigo la construcción de canales para el riego de los cultivos de arroz, lo que puede provocar en época seca, la disminución de caudales y conflictos sociales entre los pobladores, usuarios aguas abajo de las corrientes hídricas.

Se presentan en las áreas de influencia de los proyectos cultivos de pancoger transitorios de yuca, maíz, caña y permanentes de plátano, cacao y frutales (en menor escala), en inmediaciones a las viviendas o en cercanías de los ríos, los cuales son destinados al autoconsumo y en algunos casos a la comercialización.

- **Deforestación**

A lo largo de los años, el incremento de áreas para agricultura y ganadería ha ido reduciendo visiblemente el porcentaje de cobertura vegetal arbórea, arbustivo y herbácea de origen natural. Esta se ha desarrollado en distintos lugares del área de estudio, principalmente en los bosques de galería y en áreas de la sabana donde se inicia un proceso sucesional de la vegetación. En este contexto, la cobertura vegetal se convierte en un obstáculo para ampliar la frontera agropecuaria y la deforestación aparece como la mejor alternativa para el establecimiento de áreas de pastos (manejados) y cultivos extensivos de arroz; adicionalmente, la demanda de madera para el uso cotidiano (leña y construcción de cercas y viviendas), contribuye sustancialmente a la presión sobre el recurso forestal, conduciendo a la generación de impactos negativos en el ambiente, favoreciendo la pérdida de cobertura vegetal, la compactación del suelo y la disminución de las fuentes hídricas. En la zona de estudio se identifican procesos de deforestación en las riberas de los ríos principales y en inmediaciones de caños menores y cuerpos de agua lénticos (esteros y lagunas).

- **Quemas**

En época seca, en algunos sectores se desarrollan actividades como las quemas, que contribuyen al deterioro de la calidad del suelo perdiendo su cohesión y por tanto propiciando que sea fácilmente arrastrado por procesos de escorrentía. La pérdida de la capa orgánica, afecta la productividad y fertilidad de estos suelos. Esta actividad se desarrolla con frecuencia

en época seca, principalmente para el establecimiento de las áreas a ser sembradas con arroz y como sistema de manejo de basuras.

- **Cacería**

Otro aspecto importante en la zona ha sido el desplazamiento de fauna original a causa de la pérdida de hábitat, con el subsecuente desarrollo de especies generalistas o que se han adaptado a la presencia humana, utilizando las zonas de pastos y cultivos como zonas de refugio, alimento y reproducción. Igualmente, se presenta cacería ocasional y captura de especies (principalmente por el riesgo para los habitantes en el caso de felinos o reptiles de tamaño considerable), lo que ha ocasionado reducción de algunas especies.

- **Vertimientos domésticos (manejo de aguas residuales domésticas)**

La mayoría de la población posee unidades sanitarias con pozo séptico (inodoro, lavamanos y/o alberca y ducha). Adicionalmente, la gobernación de Casanare hizo entrega de unidades sanitarias que reemplazan el pozo séptico por un tanque plástico en varias veredas del departamento. En un porcentaje aproximado del 10 % en las áreas de influencia no se tienen baño y sus habitantes se ven obligados a depositar sus excretas en campo abierto. Igualmente, en algunos casos, dirigen directamente las aguas negras mezcladas con aguas grises (provenientes de la cocina, ducha y lluvias) a ríos aledaños a través de canales o zanjas diseñadas para tal fin.

- **Disposición de residuos sólidos**

La práctica más común de los pobladores es realizar la quema de sus residuos, los dispone en botadero, o en un porcentaje muy alto no implementan ningún sistema de disposición.

De acuerdo con el panorama descrito, es evidente que a pesar de que la actividad agrícola y ganadera representa el sustento de un alto porcentaje de la población (lo que se traduce en un impacto de carácter positivo) son actividades que generan y seguirán generando una fuerte presión sobre los recursos naturales.

Capítulo 2

Problema de investigación

La actividad petrolera se constituye en una de las principales fuentes de energía de la sociedad moderna, recurso natural no renovable, que aporta el mayor porcentaje de energía que se consume en el mundo.

En el año 2003 se consolidó la reestructuración del sector hidrocarburífero colombiano con la creación de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), la cual adquirió de Ecopetrol la labor de administrador y regulador del recurso hidrocarburífero de la nación, y comenzó la transformación de Colombia en un país prospectivo y atractivo para los inversionistas nacionales y extranjeros.

Con la creación de la ANH se adoptó la nueva forma de contrato de regalías, impuestos y derechos, que reemplazó el contrato de asociación. Este modelo contempla tres (3) etapas diferentes y separadas: exploración, evaluación y explotación; cuya duración está alineada con los estándares internacionales y genera una participación para el Estado entre el 50 % y 60 %.

La actividad exploratoria se ha incrementado después de la drástica caída que se observó hasta el año 2000. Desde la creación de la ANH, ha aumentado el área bajo exploración, el número de contratos de explotación y producción (E&P) firmados, los kilómetros equivalentes 2D¹ de sísmica adquiridos y los pozos perforados. Igualmente, se han invertido importantes recursos en la adquisición de información geológica que permita identificar oportunidades en campos maduros y áreas de frontera.

¹ La sísmica 2D permite obtener imágenes en dos dimensiones: las capas de la tierra, sus formas y sus estructuras (Castaño, 2013).

Uno de los elementos que acompaña, en mayor o menor grado, el desarrollo de las fases de la exploración comercial de hidrocarburos corresponde a la modificación de las condiciones ambientales y de las zonas donde se encuentran estas acumulaciones, a medida que son intervenidas, directa o indirectamente, para posibilitar su rentabilidad.

Estos cambios en el ecosistema suelen presentarse como consecuencia de la alteración de condiciones física del suelo, del aire y/o del agua, ya sea por uso inapropiado o por la presencia de agentes físicos, químicos y/o biológicos que alteran su ciclo de recuperación natural, específicamente por la incorrecta disposición de residuos resultantes en el proceso de exploración. En consecuencia, en las distintas fases de la explotación petrolera y las prácticas operacionales típicas de la industria petrolera se produce destrucción de la biodiversidad y del ambiente en general (Almeida, 2006).

Cada una de las actividades y operaciones típicas de la exploración de hidrocarburos involucran múltiples interacciones con el ambiente. Cada una de estas implica el uso y aprovechamiento de recursos naturales, entre ellos, el recurso hídrico y la generación de residuos sólidos y líquidos.

En muchas partes del mundo, la descarga a cuerpos de agua superficiales y subterráneas representa las principales opciones para disponer del agua producida a partir de la exploración y producción de petróleo y gas.

Las aguas residuales de la exploración de hidrocarburos, específicamente de la perforación de pozos, se componen de las aguas residuales domésticas originadas en los campamentos y las aguas industriales que comprenden las aguas provenientes de la perforación, lavado y limpieza de equipos, bodegas, talleres y aguas lluvias contaminadas con aceite, químicos o combustible debido a que han tenido contacto con los equipos.

Estas aguas traen consigo problemas, debido a que contienen sales diversas, compuestos sulfurosos y metales pesados que al ser vertidos causan alteración de la calidad de agua y en los ecosistemas acuáticos.

En el departamento de Casanare, desde la década de los años sesenta se iniciaron las exploraciones en los pozos ubicados en los municipios de Tauramena y el Morro (Aguilar, Galeano y Pérez, 2000), aunque sin resultados positivos para las empresas. En la década de los años setenta se hicieron exploraciones, también sin resultados. Fue hasta una década más tarde que se firman catorce contratos de exploración que involucran más de seis mil kilómetros de sísmica y veintidós pozos perforados.

Después de los descubrimientos de los años 90, vinieron otros pequeños hallazgos que lograron que la industria petrolera penetrara casi que en su totalidad el departamento casanareño; hoy en día, y de acuerdo con el mapa del Sistema General de Regalías, hay producción petrolera en 13 de los 19 municipios del departamento (Figura 1). De acuerdo con los datos reportados por la ANH (2015) en su informe de producción fiscalizada de petróleo por campo para el departamento del Casanare se reportó un funcionamiento de 150 pozos, con una producción promedio de 182.573 BPDC (Barriles Promedio por Día Calendario) en los municipios de Aguazul, Maní, Orocué, Paz de Ariporo, San Luis de Palenque, Tauramena, Trinidad y Yopal (ANH, 2015).

El avance petrolero ha crecido de tal manera, que, para el primer semestre de 2013, Casanare se ubicó en el segundo lugar del país en producción petrolera con 171.898 BPDC (Banco de la República, 2013).

MAPA DE TIERRAS ANH

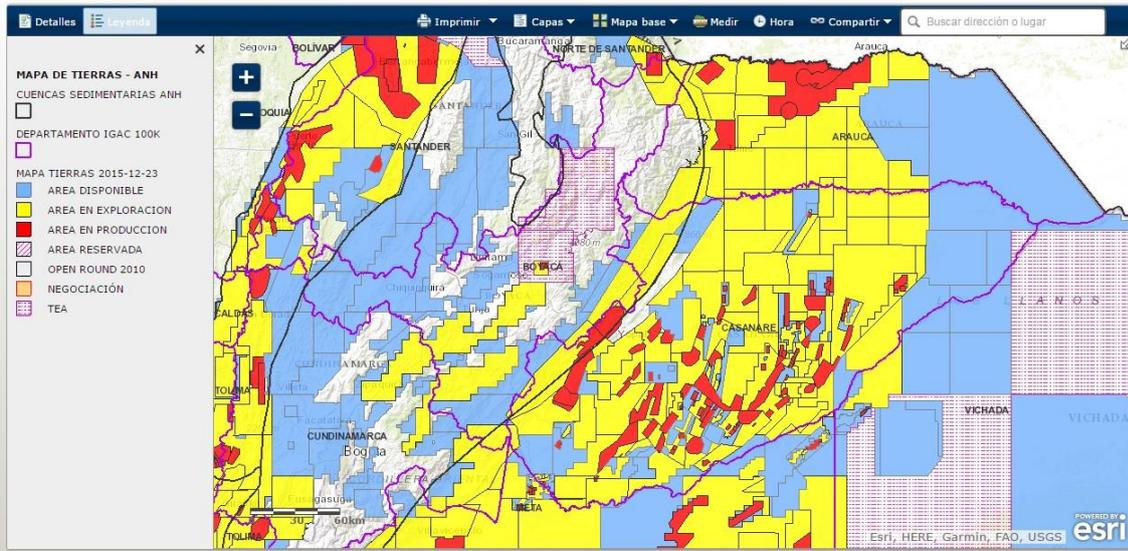


Figura 1. Mapa de Tierras ANH departamento del Casanare.
Fuente: tomado de ANH (2015).

En los municipios referidos con mayor actividad petrolera desarrollan actividades las empresas operadoras: Pacific Rubiales, Geo Park, Cecolsa, Petrominerales, Emerald Energy Plc Sucursal Colombia, Ecopetrol, New Granad y Parex; quienes para poder realizar las actividades de exploración en Bloques otorgados por la ANH mediante contratos de exploración, realizaron el trámite y obtención de licencia ambiental, la cual lleva implícito el uso y aprovechamiento de recursos naturales, dentro de los cuales se encuentra el permiso de vertimientos. De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 (artículo 2.2.2.3.2.2.) para las licencias ambientales otorgadas a las empresas referidas en los Bloques de exploración, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), como autoridad competente, otorga permisos de vertimientos para las diferentes fases de la exploración de hidrocarburos en diferentes alternativas: sistema de aspersión en áreas aledañas a las plataformas, riego en vías de acceso a las plataformas, vertimiento mediante reinyección y vertimiento directo a cuerpos de agua.

Es importante referir que, como consecuencia del desarrollo y crecimiento de la actividad petrolera en el Casanare, en promedio, por cada barril de petróleo se utilizan seis barriles de agua (Vanegas, 2012), que al final de proceso se convierten en desechos líquidos.

De acuerdo con lo referido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el Estudio Nacional del Agua (2014), el volumen de agua usada para el proceso productivo de hidrocarburos se calcula como la sumatoria del agua utilizada en los procesos productivos y el uso doméstico, así el volumen de agua consumida por fases de producción en unidad de exploración es de 120 m³/1.000 pies perforación y el agua de vertimiento es de 88 m³/1.000 pies perforación.

Con estas cifras, es evidente la necesidad de profundizar sobre los efectos de las actividades de exploración sobre los elementos sociales y ambientales. A nivel social, se pueden generar los siguientes impactos: en torno a la aparición de la industria, comienzan a generarse migraciones laborales de personal no calificado y calificado, lo que aumenta la población del municipio productor. De igual forma, se inician las primeras frustraciones de las comunidades locales porque las petroleras operadoras tercerizan o proveen sus servicios con empresas y mano de obra foránea.

En Casanare (Fundación para la Educación Superior y el Desarrollo [Fedesarrollo], 2012) el 66 % del empleo generado por el sector de bienes y servicios petroleros se encuentra en la etapa de exploración, el 26 % en la etapa de evaluación y desarrollo, y el 8 % en la etapa de desarrollo y producción. En términos agregados, un 64 % del empleo en la etapa de exploración es local. En evaluación y desarrollo un 59 % y, en desarrollo y producción un 41 % (Cámara de Comercio de Casanare [CCC], 2015). Por lo tanto, cualquier alteración de la actividad petrolera tendría un impacto socio económico importante para las comunidades del área de influencia de los proyectos de esta naturaleza, ya que generan aproximadamente el 16,5 % del empleo departamental (Observatorios Regionales del Mercado de Trabajo [ORMET], 2010).

Otro impacto está asociado al efecto del ruido, el cual genera un desplazamiento de la fauna silvestre, lo que para las comunidades indígenas que practican ancestralmente la caza para sobrevivir termina siendo un impacto muy importante. Algunas veces las captaciones y los vertimientos sin control terminan por dejar sin agua a las comunidades de influencia (González *et al.*, 2013).

Otros impactos de carácter social están relacionados con la oferta laboral, la inversión social, el desarrollo de proyectos sociales por parte de la administración municipal, la valorización de las tierras, la adecuación de las vías, la generación de conflictos internos, el aumento de población foránea, la falta de credibilidad en las empresas, la generación de inseguridad, el incremento en el costo de vida, la desintegración familiar, el cambio del rol de las organizaciones comunitarias, la conformación de monopolios comerciales y el cambio en el proyecto de vida (Contreras y Morales, 2014).

Según las evaluaciones ambientales realizadas en los diferentes estudios de impacto ambiental presentados para la obtención de las licencias ambientales en campos de exploración petrolera de Casanare durante la etapa de exploración con la perforación de pozos, el medio abiótico es el más afectado, dado que las actividades contempladas en esta fase (captación, conducción y uso del agua y vertimiento de residuos líquidos) impactan de forma directa los elementos como el suelo, el recurso hídrico y el aire, evidenciando una fuerte tendencia a presentarse afectación negativa sobre los recursos (disponibilidad de tierras para usos agropecuarios, de cuerpos de agua, pérdida de biodiversidad, desplazamiento, entre otros).

Con las diferentes alternativas de vertimiento aprobadas en las licencias ambientales para áreas de perforación exploratoria de hidrocarburos en los municipios de Aguazul, Maní, Orocué, Paz de Ariporo, San Luis de Palenque; las principales afectaciones que se refieren son las siguientes: cambio de las propiedades físicas y químicas de los suelos, aceleración en

los procesos de remoción en masa, cambios en el uso del suelo, cambio en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua superficial y, cambio en la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua subterránea; las cuales se constituyen en una de las mayores preocupaciones de los habitantes de las zonas de influencia de los proyectos, quienes perciben las alteraciones del entorno (cambios en el uso de los recursos naturales destinados a ganadería y cultivos).

Según datos referidos por la Corporación Autónoma Regional de la Orinoquía (CORPORINOQUIA), en el diagnóstico de fuentes hídricas para la formulación del POMCA del río Pauto, la alteración de la hidrobiota presente en los cuerpos de agua se da como consecuencia de una mala disposición y vertimiento indiscriminado de residuos líquidos provenientes de la exploración de hidrocarburos sin tratamiento, causando un cambio en las propiedades fisicoquímicas y en la oferta alimentaria del cuerpo de agua, alterando de forma directa la oferta de nicho para las poblaciones actuales, lo que llevará a la modificación de la comunidad íctica en cuanto a composición y dinámica.

En concordancia con el diagnóstico presentado en los estudios de impacto ambiental en las áreas de los municipios donde se desarrolla actividad petrolera exploratoria, las determinantes más sensibles y tendientes al conflicto socioambiental durante la ejecución de los proyectos, se relacionan con variables sociales, económicas y políticas por uso del agua y/o alteración de su calidad que se pueden presentar en relación con la captación de agua de fuentes superficiales y subterráneas y con las actividades de disposición de residuos sólidos y líquidos (domésticos e industriales).

Con base en lo anterior se presentan, entre otros aspectos, transformaciones de medios productivos con el detrimento de extensiones de terreno inicialmente aptos para usos agropecuarios, desplazamientos de familias por el cambio obligado de actividad económica y reducción de sus posibilidades de aprovechamiento del recurso suelo, cambio en uso de suelo

para desarrollo de actividades productivas debido a la contaminación e insuficientes medidas de mitigación de impactos.

2.1. Pregunta de investigación

¿Cuáles han sido las afectaciones económicas y ecológicas, generadas por el vertimiento de aguas residuales en el proceso de perforación exploratoria de hidrocarburos, en campos del departamento del Casanare, durante el período 2010 - 2015?

2.2. Justificación

Colombia, considerado como uno de los países con mayor diversidad ecológica, ha visto a través de su historia como la actividad minera ha degradado su patrimonio natural debido a los excesos en la explotación e inadecuados procesos industriales (Márquez, 2001).

Lo anterior ha ocasionado cambios sustanciales en los usos del suelo que tienen una alta incidencia en aspectos económicos, sociales y ecosistémicos. En el orden de lo económico no garantiza la explotación minera equidad y crecimiento económico en toda la cadena de producción. Es indiscutible, que los asentamientos mineros generan cambios culturales que inciden en la transformación de valores y a su vez en el comportamiento social de las comunidades aledañas. En tal sentido, el proceso de investigación propuesto es importante en la medida, que permitirá: evaluar los impactos sociales, económicos y ambientales desde diferentes categorías y subcategorías.

Asimismo, permitirá entender las percepciones de las comunidades en relación con los aspectos sociales, económicos y ecosistémicos, por medio de la descripción y el análisis de las afectaciones positivas o negativas de la explotación minera en sus zonas de hábitat.

Se espera que los resultados del estudio aporten una base de conocimiento sólida y científica que sea soporte en las discusiones que a nivel local, regional y nacional se viene desarrollando en este campo de la minería.

El tema medio ambiental es un ámbito de máxima relevancia para el bienestar humano, puesto que del buen o mal uso de los recursos naturales disponibles hoy, dependerán las generaciones venideras.

Por tanto, aun cuando la exploración y explotación de hidrocarburos en Colombia está regida por una amplia normatividad y debe realizarse bajo la adjudicación de Bloques por parte de la ANH, se generan impactos negativos tanto sociales y económicos como ecosistémicos, que son observados y denunciados por diferentes organizaciones y contextos (públicos y privados) que a toda luz vulneran derechos de la sociedad colombiana en general (Hernández, 2012).

De acuerdo con Aguilar *et al.* (2000) el departamento de Casanare ha cobrado importancia nacional a partir de los descubrimientos, exploración y explotación de los campos de Cusiana y Cupiagúa, ubicados en los municipios de Tauramena y Aguazul respectivamente. Esta bonanza del oro negro, a pesar, de traerle grandes beneficios socioeconómicos, puede generar problemas consustanciales derivados del proceso de desarrollo en el territorio casanareño. Es importante anotar que Casanare reporta regalías desde 1990, y que de los 19 municipios que la componen, 9 de ellos son productores, lo cual le permite al departamento percibir regalías tanto en el orden departamental como en el orden municipal.

En los últimos años, Casanare se ha convertido en centro de transformación económica, social y política tanto a nivel nacional como internacional. La explotación de los campos petroleros de Cusiana y Cupiagua y las reservas energéticas probables a lo largo del

pie demonte, le otorgan una condición crítica para el desarrollo nacional y de posibilidades para superar las carencias de los habitantes de su región en los próximos años.

Por consiguiente, el departamento tiene el reto de generar condiciones para superar las tendencias divergentes y apoyar la creación de nuevos espacios que le permitan la realización plena de las fuerzas productivas y unas mejores posibilidades de desarrollo a la población en general.

Los impactos y la importancia dadas por parte de las comunidades radican en la evolución histórica de las relaciones sociales que se tejen en el territorio y que constituyen en sí los pilares de la identidad territorial, cimentada no solo en las relaciones económicas de la producción, sino además en la definición de un código común alrededor de las relaciones humanas con la naturaleza (González *et al.*, 2013).

Para Navas (2010) hasta hace poco se creía que la naturaleza por su capacidad de renovación recuperaba el medio ambiente y nadie se preocupaba por los residuos generados, sin embargo, a medida que aumentaba la carga contaminante y complejidad de estos residuos, su capacidad renovadora disminuyó, a tal punto que el suelo, el agua y el aire se están convirtiendo en un recurso no renovable.

Una de las principales herramientas para la planeación de los recursos en función del desarrollo de proyectos que implican el uso y aprovechamiento de recursos naturales (exploración de hidrocarburos) es el análisis de las afectaciones que puedan generarse producto de las actividades.

Mediante el análisis de los efectos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de las aguas residuales generadas como parte de la exploración y explotación de hidrocarburos, se pretende analizar la compatibilidad de la gestión de los

recursos naturales con la conservación y protección del medio ambiente, con el fin de garantizar el mejoramiento de la calidad de vida y el adecuado manejo del ambiente.

Teniendo en cuenta que el agua de vertimiento es un residuo que resulta de la exploración de hidrocarburos y que genera afectaciones en los ecosistemas, que son influenciados por la disposición de estas y por ende los habitantes de las áreas de influencia, se hace importante conocer cómo se da cumplimiento a los parámetros de calidad para el agua han sido establecidos para proteger el recurso y asegurar la correcta disposición de residuos generados por las actividades antrópicas.

Los resultados de la investigación serán de amplia utilidad para las entidades encargadas de desarrollar las operaciones de exploración de hidrocarburos, las entidades de control como las Corporaciones Autónomas Regionales, para las administraciones municipales y para la comunidad en general de las áreas de influencia a través de las Juntas de Acción Comunal, tanto para conocer los impactos que las actividades de exploración pueden causar como para diseñar y hacer cumplir las medidas de mitigación, que deben ser tenidas en cuenta.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general.

Analizar las afectaciones económicas y ecológicas generadas por el vertimiento de aguas residuales en el proceso de perforación exploratoria de hidrocarburos, en campos del departamento del Casanare características, durante el período 2010 – 2015.

2.3.1 Objetivos específicos

- Identificar los factores y los elementos que inciden en las afectaciones económicas y ecológicas generadas por el vertimiento de aguas residuales de la perforación exploratoria de hidrocarburos.
- Determinar las características de los vertimientos de las aguas residuales de los procesos de perforación exploratoria de hidrocarburos.
- Determinar el cumplimiento de los vertimientos de la perforación exploratoria de hidrocarburos respecto a la normatividad ambiental.

2.4. Categorías de análisis

A continuación, se describen las categorías de análisis tenidas en cuenta para la investigación.

Tabla 1.
Categorías de análisis.

Categorías	Sub-Categorías	Componentes	Dimensión
Afectaciones	Afectaciones Económicas	Cambio de actividad económica Empleabilidad, Permanencia en el empleo Costo de vida	Socioeconómica
	Afectaciones Ecológicas	Cambio en la estructura ecológica Alteración ecosistémica del entorno Pérdida de biodiversidad Contaminación del ecosistema, Migraciones Aumento poblacional.	
Características de los vertimientos	Características físicas	Temperatura, Turbidez Color.	Hidrobiológica
	Características químicas	pH Metales pesados conductividad.	
	Características microbiológicas	Coliformes Totales Coliformes Fecales	
Cumplimiento normativo	Leyes, Acuerdos, Resoluciones.	Legislación colombiana	Jurídica

Fuente: creación propia.

- **Afectaciones:** se entienden como todos aquellos aspectos positivos o negativos que se generan por la ejecución de un proyecto de exploración de hidrocarburos en un área determinada.
- **Características de los vertimientos:** se entienden como todas aquellas condiciones físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales que han sido empleadas en un proyecto de exploración de hidrocarburos.
- **Cumplimiento normativo:** se entiende como el nivel o grado de cumplimiento de los diferentes parámetros característicos de los vertimientos de aguas empleadas en los proyectos de exploración acorde con lo establecido por la legislación colombiana.

Capítulo 3

Marco teórico

El establecimiento de lineamientos teóricos respecto a la perforación exploratoria de hidrocarburos como actividad que interactúa con los elementos físicos, bióticos y sociales de un área específica donde se desarrolla permite realizar el análisis de la información recolectada.

La necesidad de contar con recursos energéticos en los países, sumada a la importante riqueza que representa el hallazgo de una formación productora de hidrocarburos, han hecho que estas tareas se hayan convertido en importantes generadoras de nuevas tecnologías aplicadas para intensificar la actividad exploratoria, con la cual se busca incorporar nuevas reservas y asegurar, en lo posible, el abastecimiento de estos energéticos provenientes de fuentes domésticas y el crecimiento económico en el mediano y el largo plazo.

La exploración es la primera actividad que deberá desarrollar el contratista a quien se le haya asignado un contrato de E&P en un determinado Bloque y el fin principal es la búsqueda de estructuras favorables para la acumulación de hidrocarburos. Requiere de inmensos recursos económicos para adelantar todas las actividades geológicas, geofísicas y demás operaciones, todas las cuales implican un enorme riesgo financiero para el contratista.

Los nuevos hallazgos resultados de la exploración desarrollada, han permitido adiciones de reservas probadas, actividad en la cual ha venido creciendo la participación de pequeños inversionistas. La exploración a gran escala se considera necesaria para aumentar las probabilidades de encontrar importantes depósitos y adición de grandes volúmenes de reservas y puede enunciarse que en lo corrido del siglo ha sido parca, lo que ha implicado que una gran parte del territorio no haya sido objeto de evaluación de prospectivas de hallazgos petroleros.

La sísmica, como primera actividad que se desarrolla en la fase de exploración de hidrocarburos, corresponde a la determinación en profundidad de la forma y disposición de las diferentes unidades rocosas o capas de la tierra, realizada mediante la detección de ondas acústicas, propagadas a través del subsuelo según la elasticidad de las capas, que se detectan en la superficie tras reflejarse o refractarse. Su finalidad, es la de localizar las rocas porosas que almacenan los hidrocarburos (petróleo y gas). Para Bravo (2007):

La sísmica es un proceso geofísico que consiste en crear temblores de tierra, con el uso de explosivos que causan ondas con las que se hace una ecografía del subsuelo, donde aparecen diversas estructuras existentes, incluyendo la estructura que potencialmente pueden almacenar hidrocarburos.

Con la información obtenida se producen mapas del subsuelo donde aparecen las diversas estructuras presentes en el área objeto de estudio, incluidas aquellas que potencialmente pueden almacenar hidrocarburos.

Después de la realización del programa sísmico, para tener una definición concreta sobre la existencia o no de crudo se eligen las zonas con mayor probabilidad para realizar los llamados pozos exploratorios; en esos pozos se define la viabilidad de la explotación del recurso mediante las pruebas de producción.

La perforación de pozos exploratorios, actividad objeto de análisis en el presente estudio, es la única manera de saber realmente si hay hidrocarburos en el lugar donde la investigación geológica sugiere la posibilidad de encontrar un depósito, esta corresponde a la segunda etapa del proceso exploratorio, considerándose una de las más costosas y de gran riesgo, pues se trata de la investigación directa del subsuelo, única forma de comprobar la existencia de hidrocarburos y de obtener información que ayude a determinar si un descubrimiento es rentable económicamente.

La perforación exploratoria es un proceso que consiste en realizar en el subsuelo un orificio vertical, inclinado u horizontal para alcanzar profundidades de van en promedio de 3 a 6 km de largo con el objetivo de llegar a sitios conocidos como formaciones posiblemente productoras que pueden tener hidrocarburos o gas condensado o una mezcla de estos (CENSAT, 2005).

Cuando se descubren hidrocarburos, alrededor de un pozo exploratorio se perforan otros pozos, llamados de "avanzada", con el fin de delimitar la extensión del yacimiento y calcular el volumen que puede contener, así como la calidad del mismo. Pero los resultados no siempre son positivos, en muchas ocasiones los pozos resultan secos o productores de agua, por ello esta actividad se cataloga como inversión de alto riesgo.

En las diferentes actividades del proceso de perforación exploratoria se presentan elementos que pueden interactuar con el medio ambiente, ya sea con el uso o aprovechamiento de recursos naturales, uso de equipos y productos químicos y la generación de residuos sólidos y líquidos, lo que conlleva a implicaciones ambientales del entorno.

La perforación exploratoria como actividad, requiere la obtención de licencia ambiental, que al ser otorgada esta lleva implícito el uso, aprovechamiento y afectación de los recursos naturales renovables; la cual se puede entender como el uso de cualquier recurso natural (el agua), incluye tanto los aprovechamientos, uso de los elementos naturales para la satisfacción de necesidades humanas, como las afectaciones referidas a utilizar un elemento de la naturaleza como receptor de los residuos generados por las actividades humanas, es decir, como sumideros de cargas contaminantes (Londoño, 2007).

Los recursos naturales afectados dentro de la operación de perforación son el suelo y el agua, siendo este último el de mayor utilización durante toda la etapa de perforación. El aprovechamiento del recurso suelo durante la operación de perforación obedece a la

movilización, instalación y puesta en funcionamiento de los equipos de perforación, así como el uso para actividades de vertimiento y riego sobre las vías al exterior del área donde se desarrolla la perforación. El agua es el principal recurso del que se debe disponer, ya que no sólo se requerirá para consumo humano, sino además para consumo industrial y para las labores domésticas. En cuanto al consumo doméstico (baños y lavandería) e industrial preparación de lodos y lavado de equipos se utilizará la concesión de aguas aprobadas según licencia ambiental. El funcionamiento de los equipos a usar será a partir de motores de combustión interna (Diesel) y de energía eléctrica, suministrada por generadores.

La perforación genera residuos sólidos de carácter doméstico originados en el casino, cocina, dormitorios y oficinas; tales como cartones, papeles, latas, textiles, plásticos, vidrios, empaques de comida y residuos de tipo orgánico (comida) e industrial generados en las actividades propias de la perforación, como corte de perforación impregnados con lodo (base agua) elementos y material de chatarra, empaques de ácido y químicos, baterías y canecas.

Los residuos líquidos generados en la etapa de perforación del proyecto se pueden dividir en tres categorías que son: aguas residuales domésticas, industriales y aguas de escorrentía. Las aguas residuales domésticas producidas en áreas de campamentos debido a actividades antrópicas como el lavado de ropa, aseo, cocina, aseo personal y servicios sanitarios son efluentes con carga de materia orgánica y altos valores de DBO y coliformes, provenientes de los servicios sanitarios. Los residuos líquidos industriales son los provenientes del sistema de circulación (lodo contaminado que se desecha), aguas de formación, residuos de actividades de lavado mantenimiento y funcionamiento de equipos; Las sustancias contaminantes presentes en esta agua son pequeñas cantidades de aceite, lubricantes, combustibles, químicos disueltos del lodo y las lechadas de cemento propios de operaciones de perforación, esta agua presenta altos contenido de sólidos suspendidos. Y las aguas de escorrentía, son aguas con sedimentos constituidas por aguas lluvias que caen en

perímetro de la locación y por aguas contaminadas con grasas y aceites conformadas por aguas lluvias que caen o pasan por el área de plataforma de operación.

Los residuos líquidos provenientes de la perforación exploratoria de hidrocarburos se constituyen en residuos líquidos que deben ser tratados y requieren una disposición final.

Para mayor entendimiento sobre los efectos de los vertimientos en la industria petrolera, es importante definir el concepto de vertimiento en este contexto, el cual hace alusión directa a la descarga de aguas residuales, tal cual lo define el numeral 35 del artículo tercero del Decreto 3930 del 25 de octubre de 2010, se considera como vertimiento: "... Descarga final a un cuerpo de agua, a un alcantarillado o al suelo, de elementos, sustancias o compuestos contenidos en un medio líquido" (Decreto 3930, 2010).

Es así como en las licencias otorgadas para esta actividad, la autoridad ambiental autoriza los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales en diferentes alternativas: sistema de aspersión en áreas aledañas a las plataformas, riego en vías de acceso a las plataformas, vertimiento mediante reinyección y vertimiento directo a cuerpos de agua.

Como ya se había mencionado en un proyecto de perforación exploratoria, los procesos o actividades que generan efluentes son el tratamiento de aguas y cortes de perforación y las labores domésticas que se desarrollan dentro del campamento. Para que dichas actividades no sean causantes de deterioros ambientales en el entorno se deben realizar una serie de acciones encaminadas a manejar adecuadamente los desechos líquidos generados durante todas las etapas de perforación.

Las aguas provenientes de los procesos industriales, actividades domésticas, limpieza y mantenimiento y aguas lluvias contaminadas recolectadas sobre las áreas aledañas se someterán al respectivo tratamiento químico y/o biológico de acuerdo con sus características,

con el fin de adecuar la calidad del agua a las condiciones establecidas en la normatividad ambiental colombiana, previo a su vertimiento.

Las características del agua residual a verter son un agua típica generada en actividades de exploración en las que el mayor volumen de agua residual generada es de origen industrial proveniente del tratamiento de cortes y lodos de perforación que son mezclas preparadas con gran adición de productos químicos usados para enfriar y lubricar la broca, proporcionar estabilidad a la formación perforada y llevar los cortes de la roca perforada hasta la superficie y a la vez, se extraen otras sustancias también contaminantes (Torres, 2014).

La composición química de los lodos incluye: arcilla, baritina y aditivos químicos, muchos de los cuales son altamente tóxicos y pueden incluir biocida, bactericidas, anticorrosivos, espesantes y sustancias químicas para controlar el pH. Los desechos producidos por los lodos de perforación pueden hallarse mezclados con petróleo y sales provenientes del pozo y pueden ser sumamente alcalinos. Estudios realizados establecen que las composiciones químicas de los desechos de perforación normalmente contienen cantidades considerables de una variada gama de contaminantes tóxicos como aluminio, antimonio, arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, plomo magnesio, mercurio, níquel, zinc, benceno, naftalina fenatrena y otros hidrocarburos, así como niveles tóxicos de sodio, y cloruros (CENSAT, 2002).

Teniendo en cuenta el origen de los vertimientos generados a partir del tratamiento de los cortes de perforación, las características de estas aguas son:

- Sólidos en suspensión: estos pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaeróbicas cuando se vierte agua residual sin tratar en el entorno acuático.

- **Materia orgánica biodegradable:** compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales; se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y de la demanda química de oxígeno (DQO). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica, puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.

Los contaminantes químicos comprenden tanto productos químicos inorgánicos como orgánicos dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. El resultado más importante por estos tipos de contaminantes es un posible efecto tóxico, más que la disminución de oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo, los sulfitos y los nitritos, por ejemplo, toman oxígeno para oxidarse a sulfatos y nitratos respectivamente (Muñoz, 2008).

Los principales son: cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfúrico) (Muñoz, 2008).

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en las aguas residuales son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos. Los organismos bacterianos patógenos se dan por las excretas del ser humano (Muñoz, 2008).

A continuación, se presentan las características de un agua residual compuesta (doméstica e industrial), determinada a partir de registros de calidad de agua de tres campos petroleros: dos en Casanare y uno en Arauca, que a la fecha se encuentran operando.

Tabla 2.

Características de agua residual en actividades de perforación.

PARÁMETRO	UNIDAD	CONCENTRACIÓN TÍPICA	VALOR MEDIO	DECRETO 1594/84 ART. 38
Hidrocarburos Totales	mg/l	0.5 – 5.0	2.75	
Oxígeno Disuelto	Mg/l	4.0 – 7.0	5.5	
Temperatura	°C	25 – 29	27	
Grasas y Aceites	mg/l	10 - 20	15	Ausente
Cloruros	mg/l	70 - 200	103.5	250
DBO5	mg/l	100 - 250	175	
DQO	mg/l	150 - 400	275	
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	100 - 700	400	
Sólidos Totales	mg/l	800 - 1500	1150	
pH	Unidad	6.0 – 8.0	7	5 - 9
Alcalinidad Total	mg/l	40 - 150	95	
Fosfatos	mg/l	5.0 – 25.0	15	
F. Orgánico	Mg/l	0.01 – 0.08	0.045	
N. Orgánico	mg/l	0.1 – 0.6	0.35	
N. Amoniacal	mg/l	0.01 – 0.1	0.055	
Nitratos	mg/l	0.3 – 4.0	2.15	10
Nitritos	Mg/l	0.001 – 0.01	0.0055	1
Conductividad eléctrica	uS/cm	300 - 1000	650	
Turbiedad	NTU	50 - 200	125	
Sulfatos	mg/l	1 - 50	25.5	400
Sulfuros	mg/l	0.5 – 5.0	25.25	

PARÁMETRO	UNIDAD	CONCENTRACIÓN TÍPICA	VALOR MEDIO	DECRETO 1594/84 ART. 38
Cianuros	mg/l	Ausente*		0.2
Bario	mg/l	0.7 – 2.0	1.35	1.0
Mercurio	mg/l	Ausente*		0.002
Aluminio	mg/l	0.1 – 2.0	1.05	
Arsénico	mg/l	Ausente*		0.05
Cadmio	mg/l	Ausente*		0.01
Cromo	mg/l	Ausente*		0.05
Hierro	mg/l	0.5 - 2.0	1.25	
Plomo	mg/l	Ausente*		0.05
Plata	mg/l	Ausente*		0.05
Selenio	mg/l	Ausente*		0.01
Coliformes Totales	NMP/100m l	1000 - 20000	10500	20000
Coliformes Fecales	NMP/100m l	50 - 1000	525	2000

Fuente: tomado de NEXEN-GEOINGENIERÍA (2006). PMA pozo exploratorio Guainí-1.

Es así como el vertimiento sin control de estos residuos líquidos se constituye en una de las principales afectaciones de las actividades desarrolladas en la perforación exploratoria de hidrocarburos sobre el medio ambiente, reconociendo que el ambiente no se trata sólo del lugar en el que se desarrolla la vida sino que además de englobar a los seres vivos, comprende objetos: agua, suelo, aire y las relaciones entre ellos, así como elementos tan intangibles como la cultura (Trinca, 2010; Vargas y León, 2016).

Por lo demás, su transformación responde a negociaciones entre actores sociales en distintos niveles de poder: “es un principio social, que se distingue de otros, como:

ecosistema, bioma o geo sistema, que hacen una valoración del estado de la naturaleza a partir de posturas analíticas fundamentalmente biofísicas” (Bocco y Urquijo, 2013, p.84).

En este sentido, Sabatini (1997) indica que la diferencia entre conflicto ambiental y conflicto socioambiental es muy poca y por lo tanto es necesario eliminar esta barrera, ya que de acuerdo con Fontaine (2004), la distinción entre estos conflictos es discutible pues no existe “conflicto ambiental” sin dimensión social.

Hablar de afectaciones ambientales, implica identificar y valorar el grado de afectación que presentan los elementos del ambiente con la ejecución del proyecto de perforación exploratoria en un área específica, lo que implícitamente lleva a abordar el término “impacto ambiental” como cualquier cambio o modificación en el ambiente, ya sea adversa o benéfica, total o parcialmente resultante de las actividades, productos o servicios de una organización.

En la siguiente tabla se identifican los principales impactos ambientales de la etapa de perforación:

Tabla 3.

Impactos ambientales causados por las actividades de perforación exploratoria.

Actividad	Impactos
Montaje de equipos de perforación. Perforación. Depósitos de cortes de perforación. Disposición de basuras y aguas residuales. Uso de gran cantidad de aditivos. Químicos contaminantes.	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de gran cantidad de trabajadores con el correspondiente aumento de recursos y desechos. • Generación de residuos sólidos. • Presencia de sustancias químicas • Contaminación por sustancias químicas incluyendo radiactivas. • Ruido y vibraciones • Desplazamiento de fauna e interrupción permanente de corredores. • Contaminación del agua.

	<ul style="list-style-type: none"> • Interrupción de drenajes naturales.
--	---

Fuente: tomado de OILWATCH, Manual de Monitoreo Ambiental para la Industria Petrolera 2006-2007.

Bravo (2007) plantea como impactos sociales conocidos producto de la perforación exploratoria los siguientes:

- Frustración de las comunidades frente al acceso de empleo de la industria, que lo por lo general es bastante limitado en mano de obra no calificado, y mucho más para mano de obra técnica.
- Desempleo a la comunidad local, luego de que se ensamblan todas las estructuras dispuestas en la perforación.
- Aumento de los precios locales de la canasta familiar, por lo que, actividades no relacionadas con los hidrocarburos terminan siendo inviables
- Crisis social por aumento de los servicios sexuales, aumento del consumo de licor y drogas en los municipios productores
- Militarización de la vida: tanto por presencia institucional del Estado como por la presencia de actores armados ilegales.
- Conflictos socio ambientales que distorsionan el orden público de manera permanente entre la empresa, el municipio y la comunidad.

3.1. Antecedentes investigativos

Se consultaron las siguientes investigaciones que soportan el proceso de investigación realizado dados sus contenidos y desarrollos:

- *Caracterización ambiental de la industria petrolera: tecnologías disponibles para la prevención y mitigación de impactos ambientales.*

Autor: Jorge Emilio Calao Ruiz.

Tipo de documento: investigación, trabajo de grado.

Temas del documento: presenta una recopilación actualizada de los diferentes procedimientos y tecnologías disponibles para la mitigación de los posibles impactos ambientales causados por la industria petrolera.

El principal aporte de este documento es presentar una recopilación actualizada de los diferentes procedimientos y tecnologías disponibles para la mitigación de los posibles impactos ambientales causados por la industria petrolera.

Este documento permite entender de manera fácil y precisa los impactos que ocasionan actividades no guiadas y planificadas, e igualmente presenta las posibilidades que ayudarán al buen desarrollo de los proyectos de la industria.

Resumen textual:

La industria petrolera desarrolla una serie de actividades y operaciones típicas que se consideran implícitas en todos los proyectos. Actividades tales como: la sísmica, la producción y la conducción, implican múltiples interacciones con el entorno natural, por lo que representan una oportunidad para prevenir, minimizar o mitigar los impactos ambientales causados por la industria petrolera por medio de la implementación de planes de manejo ambiental basados en buenas prácticas ambientales y la implementación de tecnologías ambientales costo eficiente.

La afectación que puede causar al medio la industria petrolera por no implementar planes de manejo adecuados puede ser considerable. Los daños ambientales en la mayoría de los casos, se deben principalmente a la falta de conocimiento e investigación por parte de las entidades involucradas en el manejo del medio ambiente intervenido

Actualmente los esfuerzos por encontrar nuevas reservas de hidrocarburos y optimizar el recobro de las reservas existentes se encuentra en uno de sus niveles históricos más altos. Dicha situación ha hecho que la actividad de las empresas presentes en Colombia atraviese uno de los momentos de mayor actividad. Este panorama plantea la necesidad de evaluar con practicidad, claridad y conocimiento, los efectos causados por las actividades de la industria petrolera y proponer soluciones ajustadas a la normatividad ambiental existente y a los avances tecnológicos disponibles.

La implementación de nuevos procedimientos y tecnologías ofrecen una mejor relación entre las petroleras y el medio ambiente. De acuerdo con lo anterior este trabajo tiene como objeto caracterizar los posibles impactos ambientales adecuados al entorno ambiental intervenido y a la naturaleza de las actividades realizadas por la industria petrolera, para posteriormente describir los procedimientos y tecnologías ambientales disponibles, con base en la literatura disponible. (Calao, 2007, p.5)

Palabras Claves: Impactos ambientales, Petróleo, Tecnologías Ambientales, Procesos, Residuos Sólidos, Aguas Residuales, Derrames.

- *Procesos para la obtención del petróleo y los impactos ambientales generados por las actividades petroleras.*

Autor: Diana Alexandra Navas Torres y Paola Andrea Rodríguez Rincón.

Tipo de documento: investigación trabajo de grado.

Temas del documento: recopilación actualizada de los diferentes procedimientos de localización, perforación, recuperación ambiental de los impactos negativos causados por la industria petrolera.

Resumen textual:

El deterioro ambiental que sufre nuestro planeta ha llevado a tomar medidas y procedimientos que contribuyen a reducir los daños y el detrimento de los recursos naturales y del medio ambiente ocasionado por las actividades antrópicas.

La actividad petrolera es una de las principales fuentes de energía de la sociedad moderna, recurso natural no renovable que aporta mayor porcentaje total de la energía que se consume en el mundo , siendo una de las actividades más importantes y contaminantes actualmente; de ahí la necesidad de implantar medidas en el tratamiento de los problemas ambientales, teniendo en cuenta que sus efectos se prolongan por mucho tiempo y que cada vez son más frecuentes los derrames en las aguas oceánicas y el suelo producto de la explotación.

Hasta hace poco se creía que la naturaleza por su capacidad de renovación recuperaba el medio ambiente y nadie se preocupaba por los residuos generados, sin embargo a medida que aumentaba la carga contaminante y la complejidad de estos residuos, su capacidad renovadora disminuyó, a tal punto que el suelo, el agua y el aire, se están convirtiendo en un recurso no renovable; de ahí la importancia de generar tratamientos y guías para tratar y prevenir los efectos producidos por la explotación de hidrocarburos.

Es así como a través de este trabajo se proporciona una guía que permita minimizar y prevenir los impactos negativos causados por la industria petrolera y que permita el desarrollo sostenible en las diferentes etapas de los proyectos petroleros, definiendo uno de los procesos más importantes en la industria petrolera como es la obtención del recurso desde su yacimiento hasta su destino final; teniendo como principal objetivo

los impactos ambientales generados por el desarrollo de esta actividad y su recuperación ambiental. (Navas y Rodríguez, 2010, p.11)

Palabras Claves: Antrópica, Renovación, Explotación, Aguas oceánicas.

- *Análisis de la normatividad aplicada al vertimiento de aguas de producción en la explotación de recursos hidrocarburos en Colombia.*

Autor: Alejandra Prieto Castañeda, Natalia Grajales García.

Tipo de documento: investigación, trabajo de grado.

Temas del documento: el documento se enfoca en la realización de un análisis técnico de las normativas vigentes para el vertimiento en afluentes naturales, considerando el mejor equilibrio posible entre el menor impacto tanto ambiental como económico.

Igualmente, las autoras analizan la legislación colombiana relacionada con los vertimientos de agua de producción petrolífera dentro de un contexto de normativas existentes a nivel regional, identificando oportunidades y proponiendo cambios que las orienten hacia un marco de desarrollo sostenible.

Resumen textual:

Los parámetros de calidad para el agua han sido establecidos para proteger el recurso y asegurar la correcta disposición de residuos generados por la actividad del ser humano. El agua de producción es un residuo que resulta de la explotación de recursos hidrocarburos genera no solo problemas operacionales y aumento en los costos sino también impactos en los ecosistemas que son influenciados por la disposición de esta.

En este trabajo se estudian y comparan las normatividades de Colombia, Venezuela, México, Brasil y Estados Unidos, intentando establecer diferencias, semejanzas y oportunidades, ubicando a Colombia en un contexto internacional y tomando como objeto de estudio el campo Castilla para la posterior evaluación de este en normas mencionadas, entregando el nivel de cumplimiento y las oportunidades para el desarrollo de nuevos proyectos como potabilización de agua producida.

A partir del análisis realizado, se identifican posibles recomendaciones técnicas a la normativa colombiana y se plantea una propuesta específica para las aguas de producción de la industria de hidrocarburos, con base al proyecto de norma número cuatro planteado por el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), que permita encontrar el escenario más viable tanto económicamente como en términos de desarrollo sostenible. (Prieto y Grajales, 2012, p.19)

Palabras Claves: Normatividad, Vertimiento, Aguas de producción.

- *Evaluación del riesgo ambiental y social por amenaza de explotación de hidrocarburos: caso de estudio río Las ceibas Huila.*

Autores: Diana Cerón Vanegas y Dayhana Gómez Santos.

Tipo de documento: investigación, trabajo de grado.

Temas del documento: el documento se enfoca en la realización de un análisis técnico a las normativas vigentes para su vertimiento en afluentes naturales, considerando el mejor equilibrio entre el menor impacto tanto ambiental como económico posible.

Igualmente analiza la legislación colombiana relacionada a los vertimientos de agua de producción petrolífera dentro de un contexto de normativas existentes a nivel regional,

identificando oportunidades y proponiendo cambios que las orienten hacia un marco de desarrollo sostenible.

Resumen textual:

El presente documento tiene como objetivo principal evaluar los riesgos ambientales y sociales que generan la exploración y explotación de petróleo en la cuenca hidrográfica del río Las Ceibas, Huila.

La propuesta de trabajo de grado se realiza teniendo en cuenta las problemáticas que se vienen presentando por la explotación de hidrocarburos y que afectan el medio ambiente y el aspecto social. Para la respectiva evaluación de los riesgos a los que se enfrentaría la zona de estudio, fue necesario realizar una investigación de todos los tipos de metodologías de evaluación para riesgos ambientales y sociales.

A partir de la investigación realizada se creó una matriz de evaluación que indicó la mejor metodología y la más acertada para el caso de estudio, y adicionalmente se realizó la caracterización de la zona afectada.

Se realizó la evaluación del riesgo en la zona de estudios con la Matriz de Leopold y el resultado se obtuvo con múltiples interpretaciones de los factores valorados, los cuales arrojaron en sus resultados que los impactos más negativos se reflejan en el entorno social y ambiental afectando significativamente los cambios del suelo, la fauna y especies en peligro, flora, vida y espacios silvestres, calidad de vida silvestre, gestión ambiental de los residuos sólidos y calidad del agua. (Cerón y Gómez, 2015, p.13)

Palabras Claves: Amenaza, Riesgo, Perforación exploratoria, Impacto Ambiental.

- *Análisis de los impactos sociales y culturales generados por la exploración de hidrocarburos en el municipio de San Martín de los Llanos, departamento del Meta en el periodo 2009 – 2014.*

Autor: Xiomara Contreras Pineda y Stelia Morales Orostegui.

Tipo de documento: Investigación, trabajo de grado.

Temas del documento: el documento presenta el análisis de los impactos sociales y culturales generadas por la exploración de hidrocarburos en el municipio de San Martín de los Llanos en el departamento del Meta en el periodo 2009 – 2014. La investigación se desarrolló con el interés de conocer a partir de las vivencias de los habitantes del área rural y urbana de este municipio qué sucedió en su entorno desde la incursión de la industria de los hidrocarburos.

El desarrollo de la investigación permitió la identificación y análisis de los impactos sociales y culturales, tales como migración, desarraigo y deficiencia en las políticas públicas; las cuales evidencian la necesidad de efectuar un trabajo tripartita entre empresa, comunidad y autoridades municipales, que conlleven a desarrollar políticas y lineamientos en pro de minimizar dichas afectaciones negativas.

Resumen textual:

La intervención de la industria de los hidrocarburos desde hace 6 años en el Municipio de San Martín de los Llanos con la presencia de diferentes empresas de tipo nacional, presenta situaciones de tipo social y cultural que fueron de interés para esta investigación y permitieron por medio de las técnicas de investigación cualitativa validarla la suposición de que la industria de los Hidrocarburos genera cambios sociales y culturales, tales como: la migración, desarraigo y deficiencia en las políticas

públicas. Con la investigación se identificaron los impactos generados en el municipio, cambios y causas de estas; evidenciando que las actividades de la industria de hidrocarburos son “satanizadas” y se les retribuye que las sociedades son afectadas negativamente por dicho ingreso, pero también a su vez han generado procesos de organización comunitaria en pro del desarrollo veredal y municipal y se han conformado grupos direccionados a conservar los recursos naturales, y tradiciones culturales y fortalecer los procesos comunitarios. Se plantean lineamientos de trabajo en los cuales las empresas conjuntamente con las comunidades y autoridades municipales puedan lograr el cumplimiento de sus objetivos particulares. (Contreras y Morales, 2014, p.9)

Palabras Claves: Migración, Desarraigo, Tradición, Políticas, Comunidad.

3.2. Marco de referencia

3.2.1. Antecedentes.

La historia de la exploración en suelo colombiano se inició en 1921 y en noventa años de actividad se ha transitado a través de las diferentes etapas que ha vivido el mundo de los hidrocarburos: desarrollo de la industria, introducción permanente de nuevas tecnologías, crisis del mercado petrolero, diferentes políticas de contratación tales como las concesiones, los contratos de asociación y los contratos de E&P actuales.

Durante el siglo pasado se perforaron cerca de 1.800 pozos exploratorios (los denominados A-3) de los cuales 576 presentaron resultados positivos, pues demostraron presencia de hidrocarburos. En lo corrido del nuevo siglo la perforación exploratoria ha reportado 793 pozos, de los cuales han sido exitosos 21, indicando que la probabilidad de hallar un pozo con hidrocarburos en el país fue en promedio de 38,5 %, rango alto con

respecto al promedio mundial. La actividad de perforación exploratoria en nuestro país ha permitido la incorporación de más de 8.200 millones de barriles de petróleo equivalentes en reservas.

Históricamente, entre 1921 y 1980 en el país se perforaron cerca de 10 pozos exploratorios promedio por año, de los cuales resultaron exitosos cerca del 30 %, los que se concentraron inicialmente en las cuencas de los Valles Medio e Inferior del Magdalena con 63 % de la actividad y hacia la mitad del siglo pasado se expandieron a las áreas de Putumayo (9 %), Valle Superior del Magdalena (9 %), Llanos Orientales (8 %) y región del Catatumbo (6%).

Todo este esfuerzo significó el descubrimiento de alrededor 4.700 millones de barriles equivalentes de petróleo, lo que representa en promedio 20,43 millones de barriles por cada pozo exitoso, advirtiéndose que muchos de estos pozos presentaron pobres resultados frente a los más importantes de la época en los campos de La Cira - Infantas, en las cercanías de Barrancabermeja, que alcanzaron en su época más de 800 millones de barriles. La Figura 2 presenta la evolución de la actividad de perforación exploratoria y sus resultados durante los últimos 12 años.

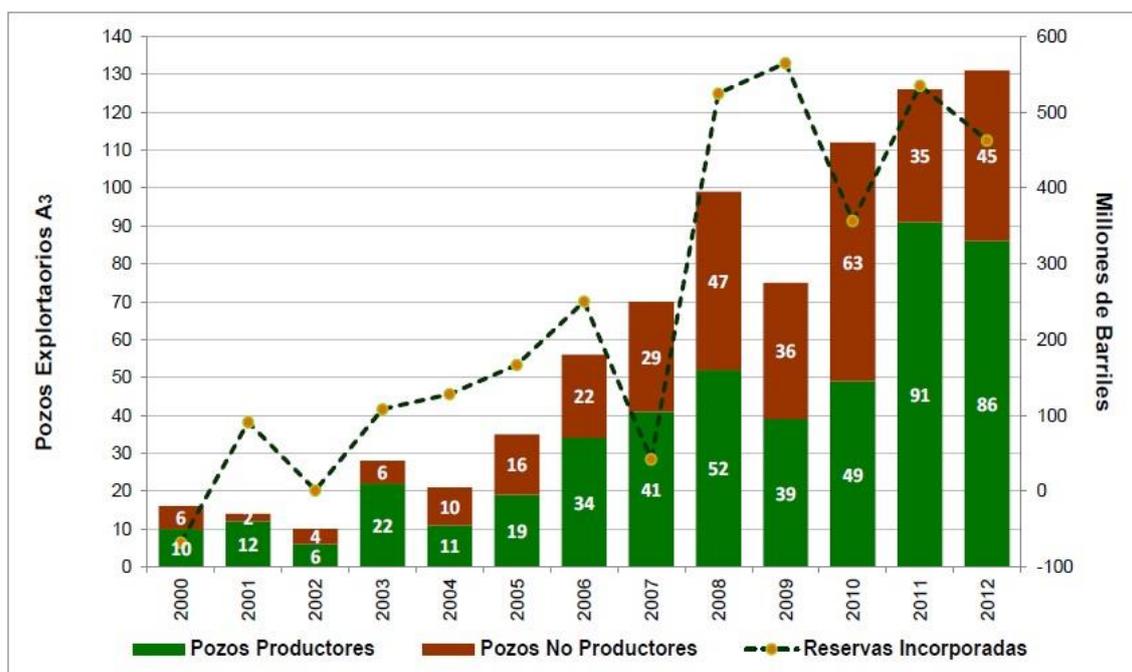


Figura 2. Perforación exploratoria y reservas incorporadas.

Fuente: tomado de ANH, Estadísticas de la Industria Petrolera 2006 -ECOPETROL – UPME.

Las poblaciones relativamente pequeñas del país para la época, ligadas al incipiente crecimiento económico, permitieron que las reservas disponibles representaran tranquilidad en cuanto al abastecimiento. Sin embargo, el crecimiento del país hizo que hacia los años 70 del siglo pasado se llegase a la insuficiencia y el país se convirtiera en importador de petróleo para alimentar sus refinерías.

Surgió entonces la necesidad de reactivar la búsqueda de reservas, lo que llevó a una agresiva actividad exploratoria en los años 80 con un promedio de 40 pozos por año, actividad que declinó en los años 90 (20 pozos por año) y un posterior crecimiento en el nuevo siglo cuando el promedio anual ha sido de 60 pozos por año, lo cual da un promedio de 41 pozos en el período 1980-2012.

La intensificación de la actividad exploratoria que involucró el conocimiento de nuevas cuencas dio como resultado el descubrimiento de grandes reservas especialmente en la cuenca de los Llanos Orientales y Valles Superior y Medio del Magdalena, cuyas reservas son las que en mayor proporción están actualmente abasteciendo las necesidades del país.

Pese a que los resultados con éxito de la actividad exploratoria del nuevo siglo ha sido muy superior a los promedios de las últimas dos décadas del siglo pasado, la suma de nuevas reservas no permite mucho optimismo en el panorama futuro, aunque el promedio de pozos productores en relación con los perforados ha sido superior a los promedios históricos. Sin embargo, no debe perderse de vista que los reportes sobre potencial real del campo y consecuente definición de nuevas reservas requieren de un período de evaluación de tres a cinco años.

No puede descartarse la probabilidad de que la intensa actividad de exploración dará como resultado el hallazgo de importantes nuevas reservas. Debemos recordar que dentro de las 23 cuencas sedimentarias del país aún existen territorios en los cuales la exploración ha sido muy escasa (casi nula), ya que los esfuerzos se han concentrado en las zonas en las cuales los análisis han considerado como potencialmente productoras de hidrocarburos, zonas que abarcan el 22% de la superficie total.

Es un hecho que la actividad exploratoria es de altos costos y relativamente bajas probabilidades de éxito, lo que representa riesgos financieros, pero igualmente elevados retornos en caso de éxito. Estas circunstancias han impulsado el desarrollo de nuevas tecnologías en la búsqueda de petróleo, enfocadas a reducir el citado riesgo, lo cual ha permitido a los países a aventurarse a explorar en áreas remotas, en las cuales era impensable incursionar en el siglo pasado.

Las nuevas tecnologías pueden, en efecto, requerir mayores recursos financieros para la exploración, pero la toma de decisiones se hace con mejores elementos de juicio, lo que implica un mejor retorno en los capitales invertidos.

Al comentar sobre nuevas tecnologías, se hace referencia a los modernos equipos de perforación de pozos profundos en plataforma submarina, la creación de imágenes

tridimensionales en profundidad y la combinación de perforación vertical y horizontal, que permiten diseños acordes con las especificidades de su geología. Bajo estas consideraciones, siempre existirá la posibilidad de encontrar yacimientos de grandes dimensiones, aunque cada día sea menor la frecuencia de estos hallazgos, no sólo a nivel local sino también mundial.

En 2011 la exploración se desarrolló en tres cuencas sedimentarias que registraron: Llanos Orientales 95 pozos perforados (33 pozos productores), el Valle Superior del Magdalena 8 pozos perforados y la cuenca Caguán-Putumayo 6 pozos perforados. De los 126 pozos exploratorios perforados, el 87 % (109) lo hicieron empresas privadas, en su mayoría extranjeras; el 10 % (12 pozos) se perforaron en asociación con Ecopetrol, y el 4 % (5 pozos) fueron perforados por Ecopetrol.

En cumplimiento de los compromisos exploratorios se destaca que durante 2012 la actividad exploratoria desarrollada en los contratos E&P condujo a la perforación de 130 pozos exploratorios, con un aumento de 4 pozos respecto a 2011, mientras que por convenios E&P se perforó un pozo, para un total de 131 en 2012, constituyendo un récord histórico en el país.

En el período comprendido entre el 1 de enero de 2004 y 31 de diciembre de 2012, en desarrollo de los contratos de exploración y producción (E&P) suscritos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos, 483 pozos probaron presencia de hidrocarburos, cifra que incluye los pozos exploratorios, de desarrollo y de avanzada (Unidad de Planeación Minero Energética [UPME], 2013).

En el departamento de Casanare, desde la década de los años 60 se iniciaron las exploraciones en los pozos ubicados en los municipios de Tauramena y el Morro (Aguilar *et al.*, 2000), aunque sin resultados positivos para las empresas. En la década de los años 70 se hicieron exploraciones, también sin resultados. Fue hasta una década más tarde que se firman

catorce contratos de exploración que involucran más de seis mil kilómetros de sísmica y veintidós pozos perforados.

Después de los descubrimientos de los años 90, vinieron otros pequeños hallazgos que lograron que la industria petrolera penetrara casi que en su totalidad el departamento casanareño; hoy en día, y de acuerdo con el mapa del Sistema General de Regalías, hay producción petrolera en 13 de los 19 municipios del departamento (Figura 1). De acuerdo con los datos reportados por la ANH en su informe de producción fiscalizada de petróleo por campo para el departamento del Casanare, se reportó un funcionamiento de 150 pozos con una producción promedio de 182.573 BPDC en los municipios de Aguazul, Maní, Orocué, Paz de Ariporo, San Luis de Palenque, Tauramena, Trinidad y Yopal (ANH, 2015).

3.3. Marco legal

A continuación, se relacionan las normas legales que deben ser tenidas respecto a la realización de vertimientos producto de actividades de perforación exploratoria:

La Constitución Política de Colombia en su artículo 49 establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado. Por su parte, los artículos 79 y 80 establecen como obligación del Estado, proteger la diversidad e integridad del ambiente; fomentar la educación ambiental; prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental; imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados.

El Decreto 3930 de 2010, dispone en su artículo 29, que la autoridad ambiental competente con fundamento en el Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico (PORH), podrá fijar valores más restrictivos a las normas de vertimiento que deben cumplir los vertimientos al cuerpo de agua o al suelo asociado a un acuífero, igualmente, la autoridad ambiental competente podrá exigir valores regionales más restrictivos en el vertimiento y realizar

exigencias particulares a aquellos generadores que aun cumpliendo con la norma de vertimiento, ocasionen concentraciones en el cuerpo receptor que excedan los criterios de calidad para el uso o usos asignados al recurso, debiéndose realizar en todos los casos los estudios técnicos que lo justifiquen.

La Resolución 1207 de Julio de 2014, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, determina la adopción de las disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas.

Finalmente, la Resolución 0631 de marzo de 2015, del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, establece los parámetros y valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y dicta otras disposiciones.

Igualmente, para cada proyecto exploratorio la autoridad ambiental en este caso ANLA genera obligaciones de cumplimiento mediante licencias ambientales obtenidas mediante resoluciones que se constituyen en instrumento de manejo y cumplimiento ambiental.

3.4. Metodología

Para conocer los cambios en el estado de los recursos naturales y el entorno económico dentro del departamento de Casanare ocasionados por el desarrollo de las actividades exploratorias de hidrocarburos, se hace necesario identificar y describir las actividades desarrolladas, el contexto social y ambiental dentro del entorno estudiado, con el propósito de identificar las interrelaciones que se generan y por ende las consecuencias de estas.

Para determinar la calidad de las aguas de vertimiento y sus posibles afectaciones sobre los recursos naturales, se realizó el análisis los datos cuantificables, que para este caso corresponden a resultados numéricos de concentración de elementos físicos, químicos y microbiológicos tanto de las aguas generadas por parte de la actividad petrolera como las de la fuente hídrica donde serán vertidas dichas aguas. Al obtener estos datos o información numérica es posible compararlos con límites de cumplimiento y calidad establecidos en la legislación colombiana, lo cual permite determinar el grado de cumplimiento o afectación sobre el agua y el uso que se le puede dar.

La investigación que se desarrolló sobre los proyectos de exploración petrolera del Casanare donde se realizó perforación exploratoria y vertimiento de aguas residuales. Se efectúa a partir del enfoque mixto de tipo descriptivo, el cual pretendió analizar las categorías sugeridas (afectaciones ecológicas, afectaciones socioeconómicas, características de los vertimientos y cumplimiento normativo) y la magnitud en que se encuentra el sujeto analizado, que en este se refiere a los elementos ecológicos y socioambientales del área objeto de estudio. La fuente de información para identificar las afectaciones corresponde a los proyectos ejecutados durante el periodo 2010-2015 en Bloques Exploratorios ubicados dentro de la llanura casanareña y que comparten características físicas, bióticas y socioeconómicas comunes. Los siguientes son los municipios del departamento donde en este periodo de tiempo se ha desarrollado en mayor porcentaje esta actividad: Bloque Llanos 40, Bloque Los Ocarros, Bloque Llanos 26; Bloque Llanos 32 , Bloque Campo Rico, ubicados en los municipios de Paz de Ariporo, San Luis de Palenque, Aguazul, Tauramena y Mani respectivamente; se partió entonces del objeto analizado (elementos ecológicos y socioeconómicos) para identificar y describir los efectos generados por el vertimiento de aguas residuales en la perforación exploratoria de hidrocarburos, lo cual se logró a través análisis de información secundaria.

Para de determinar e identificar las afectaciones económicas y ecológicas en esta investigación se realizó una evaluación de los impactos basada en la metodología propuesta por CONESA (1995). El método utilizado para la evaluación corresponde a una matriz en la cual se relacionan las actividades del proyecto que pueden causar alteraciones a los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico, con los distintos criterios de valoración del impacto.

Los pasos seguidos para la evaluación de impactos corresponden a:

1. Recopilación de información.
2. Identificación de escenarios.
3. Identificación de factores ambientales.
4. Identificación de impactos.
5. Calificación de impactos.

Respecto al cumplimiento de los objetivos relacionados con la caracterización de los vertimientos de las aguas residuales de los procesos de perforación exploratoria de hidrocarburos y el cumplimiento de los vertimientos realizados respecto a la normatividad ambiental, se toma como información de referencia los resultados de los monitoreos ambientales realizados a los vertimientos realizados sobre el río Cravo Sur durante el año 2014, provenientes del pozo Campo Rico 1 ubicado en el municipio de Maní, Casanare, perteneciente al Bloque Campo Rico A, realizando el análisis de tendencias de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y el cumplimiento normativo respecto a vertimiento sobre fuente hídrica.

Tabla 4.
Descripción metodológica empleada en la investigación.

Objetivos	Momentos	Actividades	Metodología
Determinar las afectaciones económicas y ecológicas generadas por el vertimiento de aguas residuales en el proceso de perforación exploratoria de hidrocarburos, en campos del departamento del Casanare, durante el período 2010 - 2015.	Revisión bibliográfica. Evaluación socio ambiental Análisis de información.	i. Se realizó la revisión de la información secundaria, identificando factores ambientales y afectaciones. ii. Se procedió al análisis de los planes de manejo ambiental de los Bloques de Exploración en Casanare respecto a vertimiento de aguas residuales en la perforación exploratoria.	Análisis documental. Evaluación de Impacto Ambiental.
Identificar las afectaciones económicas y ecológicas generadas por el vertimiento de aguas residuales de la perforación exploratoria de hidrocarburos.		iii. Con la información obtenida y la integración de la misma, se logró una valoración real de las condiciones ambientales y los	
Determinar las características de los vertimientos de las aguas residuales de los procesos de			Análisis numérico de los resultados de monitoreos y comparación con

Objetivos	Momentos	Actividades	Metodología
perforación exploratoria de hidrocarburos.		impactos generados por el vertimiento de aguas residuales.	normatividad aplicable.
Determinar el cumplimiento de los vertimientos de la perforación exploratoria de hidrocarburos respecto a la normatividad ambiental.		<p>iv. Con la información obtenida de los monitoreos ambientales obtenidos de los Informes de Cumplimiento Ambiental se realizó la caracterización y calidad del agua de vertimiento</p> <p>iv. Finalmente, se analizó la calidad de los vertimientos realizados para evaluar con la normatividad ambiental aplicable el grado de cumplimiento.</p>	

Fuente: elaboración propia con base a los objetivos y metodología planteada para esta investigación.

Capítulo 4

Análisis de la información

4.1. Identificación de afectaciones ecológicas y económicas

A continuación, se presentan los resultados del análisis documental para la determinación e identificación de afectaciones:

- **Recopilación de información:** se realizó una revisión y análisis de la información existente referente a la descripción y características técnicas de las actividades de exploración a realizar y sus estrategias de desarrollo. Asimismo, a través de la revisión de la descripción y caracterización ambiental del área de estudio de cada uno de los Planes de Manejo Ambiental específicos de los proyectos a evaluar, se revisaron y analizaron los componentes de los medios abiótico, biótico y socioeconómico - cultural de la zona.
- **Identificación de escenarios:** de acuerdo con lo consultado durante la revisión bibliográfica se estableció, en la etapa perforación exploratoria con en el vertimiento de aguas residuales, las actividades que generan impactos, así como los componentes ambientales que serán afectados en cada medio por las actividades realizadas.
- **Identificación de factores ambientales:** en las matrices de interacción se consideran todos los elementos del ambiente, que podrían verse afectados por las acciones del proyecto. La alteración de uno de los elementos relacionados o parámetro en particular por causa de una de las acciones o actividades del proyecto se convierte en un impacto. Se identificaron y definieron los factores ambientales para cada componente que son o pueden ser potencialmente afectados.

Se identificaron y definieron los factores ambientales para cada componente que son o pueden ser potencialmente afectados (Tabla 5).

Tabla 5.
Inventario de factores ambientales.

AMBIENTE		
MEDIO	COMPONENTE	FACTOR
ABIÓTICO	EDAFOLOGÍA	Uso del suelo
		Propiedades
	HIDROLOGÍA	Patrones de drenaje
		Caudal, dinámica y uso
		Calidad fisicoquímica y bacteriológica
		PAISAJE
BIÓTICO	FAUNA ACUÁTICA (Perifiton, Plancton, Bentos, Macrófitas, Peces)	Hábitat
		Abundancia
		Diversidad
	FLORA	Cobertura
		Estructura
		Diversidad
		Composición
	SOCIO- ECONÓMICO- CULTURAL	DIMENSIÓN DEMOGRÁFICA
DIMENSIÓN ECONÓMICA		Estructura de la propiedad
		Nivel de costo de vida
		Procesos productivos y tecnológicos
DIMENSIÓN CULTURAL		Valores y prácticas culturales
		Uso y manejo del entorno

Fuente: tomado de CONESA (1995).

- Identificación de impactos: Se identificaron los impactos por componente que son generados por las actividades propias de ejecución del proyecto (Tabla 6).

Tabla 6.

Impactos identificados.

AMBIENTE			IMPACTOS
MEDIO	COMPONENTE	FACTOR	
ABIÓTICO	EDAFOLÓGIA	Uso del suelo	Alteración y/o cambio de uso del suelo.
		Propiedades	Alteración y/o deterioro del suelo.
	HIDROLOGIA	Patrones de drenaje	Alteración del patrón de drenaje.
			Alteración de lecho de cauces.
		Caudal, dinámica y uso	Alteración en la disponibilidad del recurso hídrico superficial.
		Calidad físicoquímica y bacteriológica	Alteración de la calidad del agua de corrientes superficiales.
	PAISAJE	Fisionomía	Alteración y/o cambio en la fisionomía natural del paisaje.
	BIOTICO	FLORA	Cobertura
Estructura			Alteración de la estructura, diversidad y composición florística.
Diversidad			
Composición			
FAUNA ACUÁTICA (Perifiton, Plancton, Bentos, Macrófitas, Peces)		Hábitat	Alteración del hábitat y comportamientos.
		Diversidad	Alteración de las dinámicas poblacionales.
	Alteración de la diversidad.		

AMBIENTE			IMPACTOS
MEDIO	COMPONENTE	FACTOR	
SOCIO-ECONOMICO-CULTURAL	DIMENSIÓN DEMOGRÁFICA	Movilidad espacial	Modificación en la estructura poblacional.
			Alteración de la calidad de vida.
	DIMENSIÓN ECONÓMICA	Estructura de la propiedad	Cambio en el costo de la tierra.
		Nivel de costo de vida	Modificación de los niveles de ingresos económicos.
		Procesos productivos y tecnológicos	Alteración en las actividades productivas tradicionales.
		Estructura comercial	Modificación de las actividades comerciales.
	DIMENSIÓN CULTURAL	Valores y prácticas culturales	Modificaciones en los valores y prácticas culturales.
		Uso y manejo del entorno	Cambio en la sensibilidad ambiental.

Fuente: tomado de CONESA (1995).

- Calificación de Impactos: para la calificación de impactos se utilizan atributos de impacto y para cada uno de ellos se establecen rangos de calificación numérica de acuerdo con la metodología de CONESA (1995).

A continuación, en la Tabla 7, se presentan los atributos y criterios de calificación de la metodología utilizada para la evaluación de los impactos:

Tabla 7.

Atributos y criterios de calificación de la metodología utilizada para la evaluación de impactos.

VARIABLE	CONCEPTO	VALORACIÓN	
NATURALEZA (NA)	Determina si el impacto es beneficioso (+) o es perjudicial (-)	Beneficioso	(+)
		Perjudicial	(-)
INTENSIDAD (IN)	Define el grado de alteración. (Grado de destrucción).	Muy Baja: Si es mínima. Menor al 20%	(1)
		Baja: Si es baja. Entre 21%- 40%.	(2)
		Media: Si es media. Entre 41%-60%.	(4)
		Alta: Si es alta. Entre 61%-80%.	(8)

VARIABLE	CONCEPTO	VALORACIÓN	
		Muy Alta o Total: Si es de 81%- 100%.	(12)
EXTENSIÓN (EX)	Área de influencia del impacto.	Puntual	(1)
		Parcial	(2)
		Extenso	(4)
		Total	(8)
MOMENTO (MO)	Plazo de manifestación, tiempo que transcurre para percibir los efectos del impacto.	Largo plazo: efectos se perciben en más de 5 años.	(1)
		Medio plazo: efectos se perciben entre 1 a 5 años.	(2)
		Corto plazo: Efectos se perciben en menos de 1 año.	(3)
		Inmediato: Se percibe el efecto de manera inmediata.	(4)
PERSISTENCIA (PE)	Se refiere al tiempo de permanencia de los efectos del impacto, transcurrido este tiempo el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras.	Fugaz o Momentánea: Permanecen los efectos menos de 1 año.	(1)
		Temporal: Permanecen los efectos entre 1 y 5 años.	(2)
		Permanente: Permanecen los efectos más de 5 años.	(4)
REVERSIBILIDAD (RV)	Se refiere a la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción, por medios naturales.	Corto plazo: Menos de 1 año.	(1)
		Medio plazo: Entre 1 año y 5 años.	(2)
		Largo plazo: Más de 5 años.	(3).
		Irreversible: Nunca volverá a las condiciones iniciales por medios naturales.	(4)
SINERGIA (SI)	Si el impacto se relaciona con otros impactos y esta relación puede ocasionar reforzamiento de los efectos.	Sin sinergismo: Cuando no hay relación con otros impactos.	(1)
		Sinérgico: si presenta una relación moderada,	(2)
		Muy sinérgico: si está altamente relacionado con más impactos.	(4)
ACUMULACIÓN (AC)	De presentarse el impacto de manera continua sus efectos aumentan o disminuyen o por el contrario no varían los efectos.	Simple: Cuando una acción no produce efectos acumulativos (acumulación simple)	(1)

VARIABLE	CONCEPTO	VALORACIÓN	
		Acumulativo: Si el efecto producido es acumulativo	(4)
EFECTO (EF)	Relación causa-efecto, forma de manifestación de las consecuencias del impacto.	Indirecto: o secundario, su manifestación no es consecuencia directa del impacto, sino que tiene lugar a partir de otro impacto.	(1)
		Directo: o primario. Los efectos del impacto son la consecuencia directa de éste.	(2)
PERIODICIDAD (PR)	Regularidad de manifestación de las consecuencias del impacto.	Irregular o sin período y discontinuo: los efectos se presentan de forma impredecible en el tiempo (efecto irregular).	(1)
		Periódico: los efectos se presentan de forma cíclica o recurrente (efecto periódico).	(2)
		Continuo: los efectos se presentan de forma constante en el tiempo (efecto continuo).	(4)
RECUPERABILIDAD (RB)	Se refiere a la posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del medio afectado como consecuencia del proyecto, es decir, la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación, por medio de la intervención humana (introducción de medidas correctoras).	Recuperable de manera inmediata: Se recupera en menos de 1 año. Totalmente recuperable.	(1)
		Recuperable a medio plazo: Se recupera en más de 1 año y menos de 5 años. Totalmente recuperable.	(2)
		Mitigable: Se recupera parcialmente.	(4)
		Irrecuperable: Alteración imposible de reparar por la acción humana.	(8)
IMPORTANCIA (IT)	Medida cualitativa del impacto a partir de la calificación de cada uno de sus atributos, se calcula mediante la siguiente fórmula: IM =NA[3IN+2EX+MO+PE+REV+S I+AC+EF+PR+REC]	Impacto irrelevante	Menor de (+;-)25.
		Impacto moderado	Entre (+;-)25 a (+;-)50.
		Impacto severo	Entre (+;-)50 a (+;-)75.
		Impacto crítico	Más de (+;-) 75.

Fuente: tomado de CONESA (1995).

La evaluación de impactos consideró los aspectos ambientales relacionados con todas las actividades de vertimiento de aguas residuales, durante la etapa de perforación.

El desarrollo de las actividades del proyecto modifica la calidad de los recursos naturales en el área, a partir de lo cual se establecen los impactos ambientales. Con base en el conocimiento de este escenario, se identifican los aspectos ambientales y se realiza una identificación de los posibles impactos.

Para establecer la influencia del proyecto debido al desarrollo de las actividades durante perforación de pozos exploratorios, se presentan los impactos ambientales identificados para cada actividad que pueden afectar los componentes del ambiente (Tabla 8).

Tabla 8.
Actividades en la perforación exploratoria.

ETAPA	ACTIVIDAD
PERFORACIÓN	Movilización de insumos, maquinaria, equipos y personal.
	Montaje y puesta en marcha de equipos de perforación.
	Operación de taladro y generadores.
	Preparación y manejo de lodos.
	Almacenamiento de químicos e insumos.
	Captación de agua.
	Disposición de residuos líquidos en fuente hídrica superficial.
	Manejo de residuos sólidos.
	Limpieza de área y desmantelamiento de equipos.

Fuente: tomado de Guía Ambiental proyectos petroleros (1997).

Tabla 9.
Identificación de actividades e impactos en la etapa de Perforación.

AMBIENTE			IMPACTO AMBIENTAL	ETAPA: PERFORACIÓN								
MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	FACTOR AMBIENTAL		Movilización de insumos, maquinaria, equipos y personal	Montaje y puesta en marcha de equipos de perforación	Operación de taladro y generadores	Preparación y manejo de lodos	Almacenamiento de químicos e insumos	Disposición de residuos sólidos	Captación de agua	Vertimiento de residuos líquidos en fuente hídrica superficial	Limpieza de área y desmantelamiento de equipos
ABIOTICO	EDAFOLOGÍA	Uso del suelo	Alteración y/o cambio de uso del suelo					57				
		Propiedades	Alteración y/o deterioro del suelo				33	33	57			
	HIDROLOGÍA	Patrones de drenaje	Alteración del patrón de drenaje						34			
			Alteración de lecho de cauces	43						47		
		Caudal, dinámica y uso	Alteración en la disponibilidad del recurso hídrico superficial							44	57	
		Calidad fisicoquímica y bacteriológica	Alteración de la calidad del agua de corrientes superficiales	43			57	57	38		57	
PAISAJE	Fisionomía	Alteración y/o cambio en la fisionomía natural del paisaje	47	27	33		31	42	34	44	39	
BIÓTICO	FLORA	Cobertura	Alteración de la cobertura vegetal						41	42		
			Fragmentación de ecosistemas									
	FAUNA ACUÁTICA (Perifiton, Plancton, Bentos, Macrófitas, Peces)	Hábitat	Alteración del hábitat y comportamientos	38			30		30	35	42	
		Diversidad	Alteración de las dinámicas poblacionales	42			37		30	35	57	
SOCIO-ECONOMICO-CULTURAL	DIMENSIÓN DEMOGRÁFICA	Movilidad espacial	Modificación en la estructura poblacional	44	38	49					27	
			Alteración de la calidad de vida	41	36	45				39	44	
	DIMENSIÓN ECONÓMICA	Estructura de la propiedad	Cambio en el costo de la tierra									
			Nivel de costo de vida	Modificación de los niveles de ingresos económicos								44
		Procesos productivos y tecnológicos	Alteración en las actividades productivas tradicionales	47	36							57
		Mercado laboral	Cambio en la dinámica de empleo									
			Cambio en el nivel de capacitación de la mano de obra									
		Alteración de las relaciones entre los miembros de la comunidad									47	
	Estructura comercial	Modificación de las actividades comerciales	41								41	
	DIMENSIÓN CULTURAL	Valores y prácticas culturales	Modificaciones en los valores y prácticas culturales	38								
Uso y manejo del entorno		Cambio en la sensibilidad ambiental					28	34	43	57		

Fuente: elaboración propia con base en la metodología planteada para esta investigación.

Una vez finalizada la evaluación de para toda la etapa de perforación exploratoria se encontraron 52 impactos en total, clasificados en 9 impactos severos y 43 impactos moderados

En la etapa de perforación exploratoria, se encuentra que las actividades de preparación y manejo de lodos, disposición de residuos sólidos, vertimiento de residuos líquidos en fuente hídrica superficial y almacenamiento de químicos e insumos son

actividades que generan mayor número de impactos. En total se identificaron 9 impactos severos relacionados con estas actividades sobre los elementos biótico, abiótico, socioeconómico y cultural.

Dentro de los impactos valorados como severos, se identificó el vertimiento de residuos líquidos en fuente hídrica superficial como la actividad que mayor genera impactos sobre el medio abiótico en cuanto a la alteración en la disponibilidad del recurso hídrico superficial y alteración de la calidad del agua de corrientes superficiales; biótico en alteración de las dinámicas poblacionales de fauna acuática; socio-económico-cultural en alteración en las actividades productivas tradicionales y cambio en la sensibilidad ambiental.

Es evidente que las actividades de preparación y manejo de lodos, disposición de residuos sólidos, y almacenamiento de químicos e insumos se relacionan directamente con el vertimiento de residuos líquidos en fuente hídrica superficial, pues son elementos que se incorporan durante todo el proceso y directamente son productos que hacen parte de las aguas residuales a verter. En consecuencia, estas actividades aportan en mayor número a la generación de impactos severos y moderados sobre los elementos ambientales.

Para el recurso agua, la mayor afectación se genera por los vertimientos; el paisaje se ve afectado por la inclusión de nuevos elementos ajenos al entorno natural. En el aspecto socioeconómico y cultural, al considerarse el recurso hídrico como prioritario el consumo local, para prácticas como la pesca y la recreación, el vertimiento genera alteración en las actividades productivas tradicionales y por ende cambio en la sensibilidad ambiental.

Al ser las fuentes hídricas usadas para el vertimiento de aguas residuales de la exploración petrolera altamente intervenidas por la ganadería, a la agroindustria arroceras y palmera el vertimiento realizado agrava el estado del recurso respecto a su calidad y capacidad de asimilación.

4.2. Caracterización de vertimientos de aguas residuales de los procesos de perforación exploratoria de hidrocarburos

Respecto al cumplimiento de los objetivos relacionados con la caracterización de los vertimientos de las aguas residuales de los procesos de perforación exploratoria de hidrocarburos, se presenta la caracterización típica de agua de perforación y la comparación respecto a criterios de calidad definidos en la normatividad colombiana.

Como se describió en el marco teórico en un proyecto de perforación exploratoria, los procesos o actividades que generan efluentes son el tratamiento de aguas y cortes de perforación y las labores domésticas que se desarrollan dentro del campamento.

Para el caso de la perforación exploratoria de los pozos Rumba 1 y Bazar 2 y coincidente con lo referido, las aguas residuales las constituyen, en su mayoría, las aguas de formación y los lodos de perforación desplazados; es decir, aquella fase líquida separada de los cortes mediante los equipos de control de sólidos del sistema de circulación (*dewatering*, zarandas, tamizadores y centrifugas); en menor grado por las aguas resultantes del lavado y funcionamiento de equipos y las aguas producidas en áreas de campamentos producto de actividades antrópicas como el lavado de ropa, cocina, aseo personal y servicios sanitarios.

Teniendo en cuenta que la licencia ambiental Resolución 0230 de febrero 15 de 2011 autoriza el vertimiento de aguas residuales domésticas e industriales mediante riego por aspersión en época de verano, en áreas aledañas a las locaciones de cada plataforma, y/o mediante riego en época de verano sobre las vías de acceso al proyecto sin pavimentar al interior del área licenciada.

Las aguas generadas durante el desarrollo de las actividades que comprende el Proyecto Bloque Exploratorio Llanos 26, fueron previamente tratadas y dando cumplimiento

a la normatividad, para las aguas provenientes de los pozos Rumba 1 y Bazar 2 ubicados en el municipio de Aguazul, departamento de Casanare y que pertenecen al Bloque de Perforación Exploratoria Llanos 26; se realizó tratamiento mediante sistema conformado por una caja API o Skimmer encargada de retirar por densidad los residuos aceitosos remanentes y por piscinas de tratamiento, donde se realizan tratamientos físicos convencionales: floculación, coagulación, aireación y estabilización, para las aguas industriales; y tratamiento en una planta compacta que realiza filtración gruesa, aireación, clarificación y filtración y desinfección para las aguas domésticas donde su principal característica es alta carga orgánica.

Para determinar la caracterización de estas aguas y sus criterios de calidad de vertimiento establecidas en el Decreto 1594 de 1984 y el uso de aguas residuales tratadas definidas en la Resolución 1207 de 2014, se realizó monitoreos de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos mediante laboratorio acreditado por IDEAM (Anexo 1).

La comparación de los parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles, permitieron identificar si a estas aguas después de realizado el tratamiento se les puede dar un uso definido ya sea agrícola o industrial, y evaluar si su destino sea únicamente el vertimiento con las implicaciones ambientales y sociales que este conlleva.

A continuación, en la Tabla 10 se presentan los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados del agua residual industrial tratada proveniente de la perforación del pozo Rumba 1, en monitoreo ambiental realizado en agosto de 2015.

Tabla 10.

Caracterización agua residual industrial tratada perforación pozo Rumba 1.

Nombre análisis	Unidad Análisis	Resultado
A-Alcalinidad Total ®	mg/L CaCO ₃	441,1
A-Aluminio ICP	mg/L Al	0,038
A-Arsénico ICP	mg/L As	< 0.005
A-Berilio ICP	mg/L Be	< 0.01
A-BTEX	mg/L Total	17.43**
A-Cadmio ICP	mg/L Cd	< 0.0005
A-Cloruros (IC)	mg/L	2866,29*
A-CN Libre (ISE)	mg/L CN-	< 0.05
A-Cobalto ICP	mg/L Co	< 0.005
A-Cobre ICP	mg/L Cu	< 0.01
A-Color Verdadero ®	Pt-Co	63
A-Conductividad (Campo) ®	µS/cm	10540***
A-Cromo ICP	mg/L Cr	< 0.003
A-DBO5 (LBOD)®	mg/L O ₂	398 **
A-DQO Colorimétrico ®	mg/L O ₂	512
A-Dureza Total ®	mg/L CaCO ₃	1126
A-Fenoles (Alto Rango) ®	mg/L Fenol	1,145 *
A-Fluoruros (IC)	mg/L F	< 0.05
A-Grasas y Aceites (Part Grav) ®	mg/L	498,2

Nombre análisis	Unidad Análisis	Resultado
A-HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)	µg/L Total	1743,7**
A-Hierro ICP	mg/L Fe	4,293
A-Litio ICP	mg/L Li	1,399
A-Magnesio ICP	mg/L Mg	0,808*
A-Mercurio ICP	mg/L Hg	< 0.0019
A-Molibdeno ICP	mg/L Mo	< 0.002
A-Niquel ICP	mg/L Ni	< 0.002
A-Nitratos (IC)	mg/L NO ₃ - N	3,221
A-Oxígeno Disuelto (LDO)	mg/L O ₂	<0.01
A-pH (Campo) ®	Unidades	6,81
A-Plomo ICP	mg/L Pb	< 0.001
A-Selenio ICP	mg/L Se	< 0.005
A-Sodio ICP	mg/L Na	1122,03****
A-Sólidos Disueltos Totales (TDS) ®	mg/L	7378
A-Sólidos Suspendidos Totales ®	mg/L	86
A-Sulfatos (IC)	mg/L	10,488
A-Temperatura Muestra	°C	29,7
A-Turbiedad ®	NTU	110
A-Vanadio ICP	mg/L V	C
A-Zinc ICP	mg/L Zn	< 0.006

Nombre análisis	Unidad Análisis	Resultado
B-Huevos de Helminetos	Unidades	0
M-Coliformes Fecales (NMP)	NMP /100mL	< 2
M-Coliformes Totales (NMP)	NMP/100mL	7
M-Confirmación (E. Coli Fecal)	UFC/100 mL	0

Fuente:

Los valores obtenidos fueron comparados contra la Resolución 1207 del 25 de julio de 2014, por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas, obteniéndose los siguientes resultados:

- El parámetro de manganeso se encuentra fuera de los límites establecidos en el artículo 7 numeral 1 de la Resolución 1207 de 2014, el cual reglamenta los usos agrícolas en cultivos y jardines; al igual incumple con lo establecido en el artículo 7 numeral 2 de la misma resolución que reglamenta el uso industrial en cuanto a intercambio de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de las vías y riego de vías para el control de material particulado; lo cual nos indica que esta agua no podrían ser empleadas con estos fines.
- El parámetro sodio se encuentra fuera de los límites establecidos en el artículo 7 numeral 1 de la Resolución 1207 de 2014, el cual reglamenta los usos agrícolas en cultivos, siendo dicho valor muy elevado con respecto a lo establecido en la resolución en cuestión.
- Los demás metales analizados cumplen con los criterios estipulados en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en cuanto a usos agrícolas en cultivos y jardines, y en cuanto a usos industriales en usos en intercambiadores de

calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado; cabe mencionar que no se evidenció la presencia de arsénico, berilio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, mercurio, molibdeno, níquel, plomo, selenio, vanadio o zinc en la muestra analizada, ya que los valores obtenidos son menores que los límites de detección de los métodos empleados para su determinación.

- El valor de conductividad obtenido en la muestra analizada es muy alto respecto a los límites establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en su artículo 7 numeral 1, el cual estipula los criterios para usos agrícolas en cultivos y jardines, lo cual corresponde a un valor alto de cloruros obtenido en la muestra analizada, el cual es superior a los límites establecidos en la misma resolución en el artículo 7 en el numeral 1 en cuanto a uso agrícola en cultivos y en el numeral 2 en cuanto a uso industrial en usos en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado y para sistemas de redes contraincendios.
- El valor de BTEX obtenido supera los límites establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 numeral 2 el cual reglamenta los usos industriales en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado, cabe mencionar que el valor obtenido fue muy elevado en comparación con el límite estipulado en la resolución en mención.
- No se evidenció la presencia de cianuros en la muestra analizada, ya que el valor obtenido es menor que el límite de detección del método empleado para su determinación, dando cumplimiento a lo establecido en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en los numerales 1 y 2.

- Los valores obtenidos de DBO y de DQO nos indican una alta carga orgánica en la muestra analizada, al igual el valor de DBO es mayor que el límite establecido en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 numeral 2 en el apartado de limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado.
- El valor de fenoles obtenido es elevado y es superior a los límites establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en sus numerales 1 y 2 en los apartados de uso agrícola en jardines y en los apartados de usos industriales en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado; sin embargo, dicho valor cumple con lo estipulado para uso agrícola en cultivos reglamentado en el mismo artículo en el numeral 1.
- No se detectó la presencia de fluoruros en la muestra analizada, ya que el valor obtenido es menor que el límite de detección del método empleado para su determinación, dando cumplimiento con lo establecido en la Resolución 1207 del 2014 en el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en los apartados de uso agrícola en cultivos y jardines, y en uso industrial en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas.
- Se obtuvieron valores elevados de hidrocarburos totales y de hidrocarburos aromáticos policíclicos en la muestra analizada, lo cual incumple con los criterios establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en los apartados de uso agrícola en cultivos y jardines, y en el apartado de usos industriales en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado.
- Para los parámetros de nitratos y sulfatos, se obtuvieron valores menores que los límites establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en cuanto uso agrícola e industrial.

- El valor de pH en la muestra se encuentra dentro de los rangos establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en los numerales 1 y 2 en sus apartados de uso agrícola en cultivos y jardines, y en sus apartados de uso industrial en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, en la descarga de aparatos sanitarios, en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado y en los sistemas de redes contraincendios.
- No se detectó la presencia de huevos de helmintos dando cumplimiento a lo establecido en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en los numerales 1 y 2 en sus apartados de uso agrícola en cultivos y jardines, y en sus apartados de uso industrial en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, en la descarga de aparatos sanitarios, en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado y en los sistemas de redes contraincendios.
- No se evidenció la presencia de *E-Coli* o de coliformes fecales en la muestra analizada, sin embargo, se obtuvo un valor positivo de coliformes totales en la muestra analizada.
- La cantidad de sólidos disueltos en la muestra son elevados, lo cual corresponde con el valor de conductividad obtenido, indicándonos un alto contenido de sales disueltas en la muestra analizada; para los sólidos suspendidos se obtuvo un valor normal para el tipo de muestra analizada.
- No se detectó la presencia de oxígeno disuelto en la muestra analizada, probablemente por el alto contenido de carga orgánica e inorgánica presente en la muestra analizada.

Respecto a la caracterización de las aguas residuales domésticas a continuación en la Tabla 11 se presenta los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados del pozo Rumba 1, en el monitoreo ambiental realizado en agosto de 2015.

Tabla 11.

Caracterización agua residual doméstica tratada perforación pozo Bazar 2.

Nombre análisis	Unidad Análisis	Resultado
A-Alcalinidad Total ®	mg/L CaCO ₃	235,84
A-Aluminio ICP	mg/L Al	0,155
A-Arsénico ICP	mg/L As	< 0.005
A-Berilio ICP	mg/L Be	< 0.01
A-BTEX	mg/L Total	< 0.01
A-Cadmio ICP	mg/L Cd	< 0.0005
A-Cloruros (IC)	mg/L	352,27*
A-CN Libre (ISE)	mg/L CN-	< 0.05
A-Cobalto ICP	mg/L Co	< 0.005
A-Cobre ICP	mg/L Cu	< 0.01
A-Color Verdadero ®	Pt-Co	<1
A-Conductividad (Campo) ®	µS/cm	1834***
A-Cromo ICP	mg/L Cr	< 0.003
A-DBO ₅ (LBOD)®	mg/L O ₂	12
A-DQO Colorimétrico ®	mg/L O ₂	< 0.0005
A-Dureza Total ®	mg/L CaCO ₃	15,9
A-Fenoles (Alto Rango) ®	mg/L Fenol	< 0.0005
A-Fluoruros (IC)	mg/L F	0,07
A-Grasas y Aceites (Part Grav) ®	mg/L	< 0,5
A-HAP (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)	µg/L Total	< 2,3
A-Hierro ICP	mg/L Fe	0,482
A-Litio ICP	mg/L Li	< 0.005
A-Magnesio ICP	mg/L Mg	0,107
A-Mercurio ICP	mg/L Hg	< 0.0019
A-Molibdeno ICP	mg/L Mo	< 0.002
A-Niquel ICP	mg/L Ni	< 0.002

Nombre análisis	Unidad Análisis	Resultado
A-Nitratos (IC)	mg/L NO ₃ -N	0,344
A-Oxígeno Disuelto (LDO)	mg/L O ₂	6,38
A-pH (Campo) ®	Unidades	5,4*
A-Plomo ICP	mg/L Pb	< 0.001
A-Selenio ICP	mg/L Se	0,011**
A-Sodio ICP	mg/L Na	232,99***
A-Sólidos Disueltos Totales (TDS) ®	mg/L	1283
A-Sólidos Suspendidos Totales ®	mg/L	5,36
A-Sulfatos (IC)	mg/L	137,035
A-Temperatura Muestra	°C	27,7
A-Turbiedad ®	NTU	5,9
A-Vanadio ICP	mg/L V	< 0.01
A-Zinc ICP	mg/L Zn	0,078
B-Huevos de Helmintos	Unidades	0
M-Coliformes Fecales (NMP)	NMP /100mL	< 2
M-Coliformes Totales (NMP)	NMP/100mL	< 2
M-Confirmación (E. Coli Fecal)	UFC/100 mL	0

Fuente:

Los valores obtenidos fueron comparados contra la Resolución 1207 del 25 de julio de 2014, por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas, obteniéndose los siguientes resultados:

- El parámetro sodio se encuentra fuera de los límites establecidos en el artículo 7 numeral 1 de la Resolución 1207 de 2014, el cual reglamenta los usos agrícolas en cultivos, siendo dicho valor mayor a lo establecido en la resolución en cuestión.

- El parámetro selenio se encuentra fuera de los límites establecidos en el artículo 7 numeral 2 de la Resolución 1207 de 2014, el cual reglamenta los usos industriales en usos en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas; cabe mencionar que los valores obtenidos en este parámetro cumple con los criterios establecidos en el artículo 7 numeral 1 de la resolución en mención en cuanto a usos agrícolas en cultivos y jardines y en el numeral 2 en el apartado de usos industriales en limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control del material particulado.
- Los demás metales analizados cumplen con los criterios estipulados en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en cuanto a usos agrícolas en cultivos y jardines, y en cuanto a usos industriales en usos en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado; cabe mencionar que no se evidenció la presencia de arsénico, berilio, cadmio, cobalto, cobre, cromo, litio, mercurio, molibdeno, níquel, plomo o vanadio en la muestra analizada, ya que los valores obtenidos son menores que los límites de detección de los métodos empleados para su determinación.
- El valor de conductividad obtenido en la muestra analizada es alto respecto a los límites establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en su artículo 7 numeral 1 el cual estipula los criterios para usos agrícolas en cultivos y jardines, lo cual corresponde con el valor alto de cloruros obtenido en la muestra analizada el cual es superior a los límites establecidos en la misma resolución en el artículo 7 en el numeral 1 en cuanto a uso agrícola en cultivos; en el numeral 2 en cuanto a uso industrial, en usos en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado y para sistemas de redes contraincendios

- No se evidenció la presencia de BTEX en la muestra analizada, ya que el valor obtenido es menor que el límite de detección del método empleado para su determinación, dando cumplimiento en cuanto a este parámetro, con los límites establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 numeral 2 el cual reglamenta los usos industriales en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado.
- No se evidenció la presencia de cianuros en la muestra analizada, ya que el valor obtenido es menor que el límite de detección del método empleado para su determinación, dando cumplimiento a lo establecido en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en los numerales 1 y 2.
- Los valores obtenidos de DBO y de DQO indican una baja carga orgánica en la muestra analizada a la salida del sistema de tratamiento; al igual el valor de DBO es menor que el límite establecido en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 numeral 2 en el apartado de limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado.
- No se evidenció la presencia de fenoles en la salida del sistema de tratamiento, ya que el valor obtenido es menor que el límite de detección del método empleado para su determinación, dando cumplimiento con lo establecido en la Resolución 1207 de 2014 en sus numerales 1 y 2 en los apartados de uso agrícola en jardines y cultivos, y en los apartados de usos industriales en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado.
- El valor obtenido de fluoruros en la muestra analizada a la salida del sistema de tratamiento, es menor que los límites establecidos en la Resolución 1207 del 2014 en

el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en los apartados de uso agrícola en cultivos y jardines y en uso industrial en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas.

- No se detectó la presencia de hidrocarburos totales o de hidrocarburos aromáticos policíclicos en la muestra analizada, lo cual cumple con los criterios establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en los apartados de uso agrícola en cultivos y jardines y en el apartado de usos industriales en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, y en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado.
- Para los parámetros de nitratos y sulfatos, se obtuvieron valores menores que los límites establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en sus numerales 1 y 2 en cuanto uso agrícola e industrial; cabe mencionar que el valor de sulfatos aumento en la salida del sistema de tratamiento.
- El valor de pH en la muestra a la salida del sistema de tratamiento, se encuentra fuera de los rangos establecidos en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en los numerales 1 y 2 en sus apartados de uso agrícola en cultivos y jardines y en sus apartados de uso industrial en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, en la descarga de aparatos sanitarios, en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado y en los sistemas de redes contraincendios, siendo dicho valor menor que los límites inferiores de los rangos establecidos, indicando una característica ligeramente acida en la muestra analizada.
- No se detectó la presencia de huevos de helmintos dando cumplimiento a lo establecido en la Resolución 1207 de 2014 en el artículo 7 en los numerales 1 y 2 en sus apartados de uso agrícola en cultivos y jardines, y en sus apartados de uso industrial en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, en la

descarga de aparatos sanitarios, en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado y en los sistemas de redes contraincendios.

- No se evidenció la presencia de *E-Coli*, ni de coliformes fecales ni de coliformes totales en la muestra analizada.
- La cantidad de sólidos disueltos en la muestra son elevados, lo cual corresponde con el valor de conductividad obtenido, indicándonos un alto contenido de sales disueltas en la muestra analizada; para los sólidos suspendidos se obtuvo un valor bajo para el tipo de muestra analizada.

4.3. Cumplimiento normativo de los vertimientos de la perforación exploratoria de hidrocarburos

El cumplimiento normativo de los vertimientos de la perforación exploratoria del pozo Campo Rico, ubicado en el municipio de Maní, departamento de Casanare, se realizó tomando como referencia información reportada en los monitoreos ambientales realizados durante el año 2014 incluidos en los Informes de Cumplimiento Ambiental que presentó a la autoridad ambiental la empresa Emerald operadora del Bloque Campo Rico.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en aguas, se fundamenta en la presentación de los resultados y la comparación con los criterios de calidad permisibles del recurso hídrico de acuerdo con el uso (consumo humano y/o doméstico, uso agropecuario y preservación de flora y fauna), estipulado en la normatividad ambiental vigente (Decreto 1594/84).

En el Anexo 2 se indican los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas evaluadas.

Al evaluar los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica del agua a verter generada de la perforación exploratoria en el pozo Campo Rico, se obtiene:

- El pH presentó un valor para la entrada de 7,39 y para la salida de 8,19, cumpliendo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984, en donde debe estar entre 5 – 9 unidades de pH cuando se vierte a un cuerpo de agua (Figura 3).

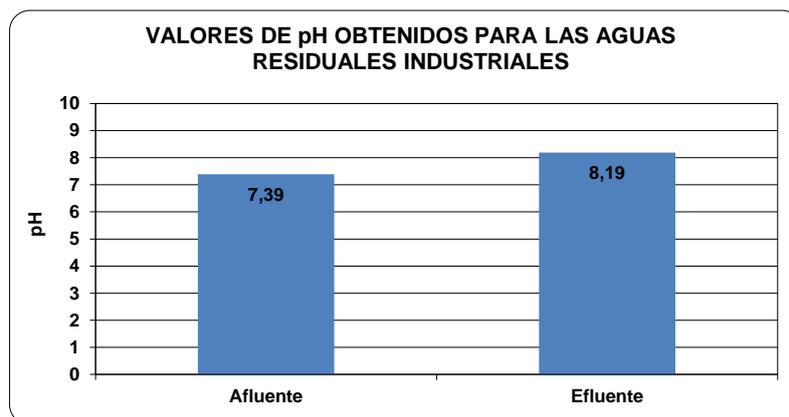


Figura 3. Variación del pH en la entrada y salida del sistema.
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S. (2014)

- Por otro lado, la temperatura presentó un valor de 72,4°C a la entrada y 31,5°C a la salida del sistema, lo que indica que el vertimiento al cuerpo de agua no excede el valor establecido en el Decreto 1594 de 1984, puesto que éste solicita que la temperatura sea inferior a 40°C (Figura 4).

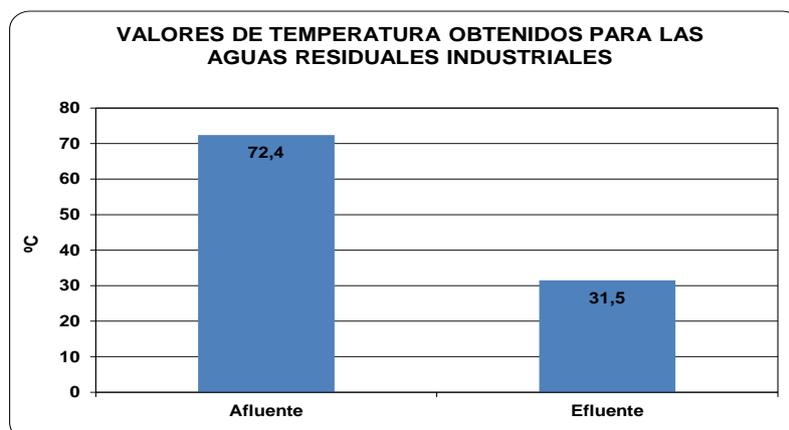


Figura 4. Variación de la temperatura en la entrada y salida del sistema.
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S. (2014)

- El oxígeno disuelto reportó un valor de 5,59 mg/L a la entrada y 6,65 mg/L a la salida del sistema, evidenciando así un aumento durante el tratamiento. Esto sucede debido a que a la entrada la temperatura es muy alta y por lo tanto el oxígeno disuelto se pierde (pues la solubilidad de este gas es inversamente proporcional a la temperatura), por su parte, a la salida (tomada en el canal disipador de energía), el agua se airea por el sistema de cascada presentado en el lugar, lo cual favorece la aireación mecánica (Figura 5).

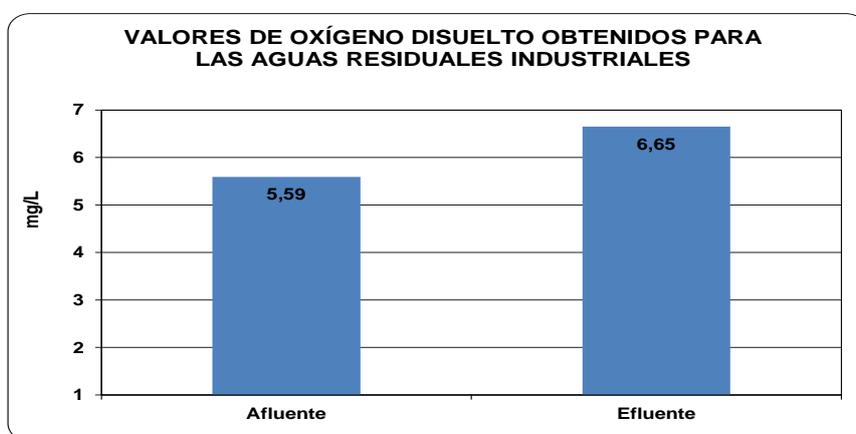


Figura 5. Variación del oxígeno disuelto en la entrada y salida del sistema.
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S. (2014).

- Los sólidos suspendidos totales presentaron una concentración de 48 mg/L a la entrada y 5 mg/L a la salida, con un porcentaje de remoción del 84,2% (Figura 6), evidenciando así la disminución en la concentración a la salida del sistema de tratamiento, con una remoción que da cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1594/84, al superar el 80%. No obstante, se recomienda continuar con los procesos de mejora y el mantenimiento del sistema, con el fin de continuar dando cumplimiento a la normatividad ambiental.
- Una situación similar se observó para la turbiedad, parámetro que es proporcional a la concentración de sólidos suspendidos presentes, señalando una reducción a la salida al pasar de 31,5 NTU a 20,1 NTU (Figura 6).

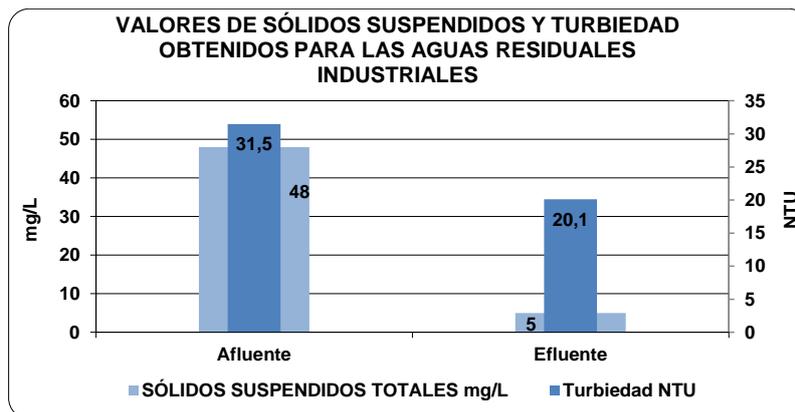


Figura 6. Variación de los sólidos suspendidos totales y turbiedad en la entrada y salida del sistema

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S. (2014).

- Los resultados obtenidos para la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO5 muestran una concentración a la entrada de 82 mg/L y a la salida de 10 mg/L, presentando así un porcentaje de remoción de 81,5% (Figura 7); dando cumplimiento a lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 el cual solicita un porcentaje de remoción superior al 80%.

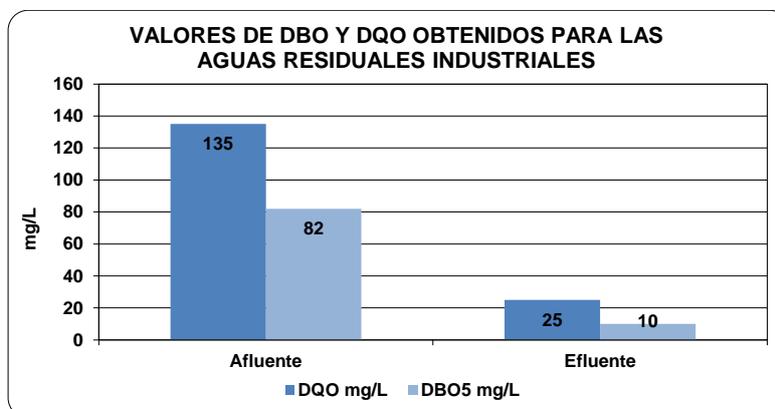


Figura 7. Variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) en la entrada y salida del sistema.

Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S. (2014).

- En cuanto a las grasas y aceites, presentaron una concentración a la entrada de 18 mg/L y 2,1 mg/L a la salida del sistema con un porcentaje de remoción de 82,3 % (Figura 8), cumpliendo con lo establecido en el Decreto 1594/84.

- Los Hidrocarburos totales presentaron el mismo comportamiento que el exhibido por las grasas y aceites pasando de 17 mg/L a 9,09 mg/L, lo cual corrobora una reducción de dicho parámetro en el agua residual industrial.

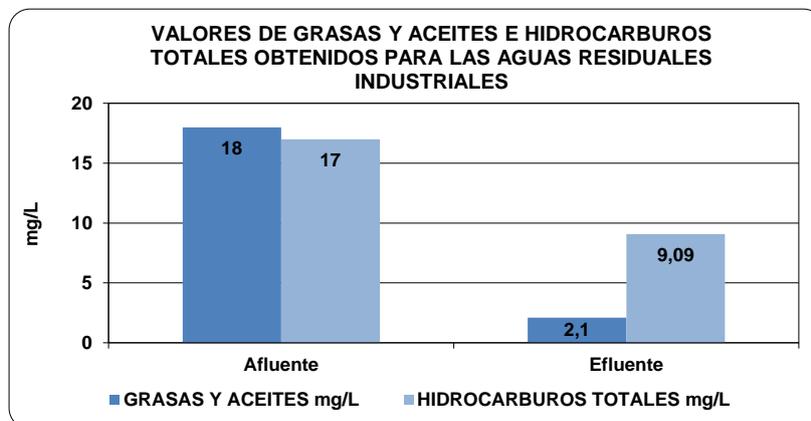


Figura 8. Variación de los aceites y grasas en la entrada y salida del sistema.
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S., 2014.

- Los cloruros presentaron un aumento durante el proceso de tratamiento pasando de 55,32 mg/L a 61,26 mg/L (Figura 9).

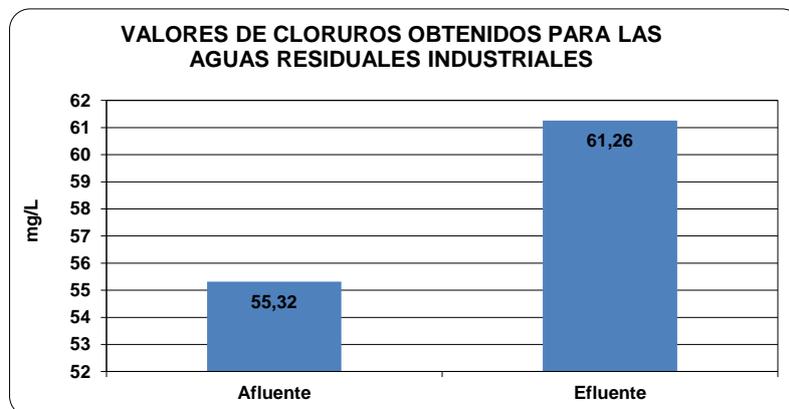


Figura 9. Concentración de cloruros en la entrada y salida del sistema.
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S. (2014).

- Los fenoles presentaron una reducción en el sistema de tratamiento pasando de 0,999 mg/L a 0,152 mg/L (Figura 10).

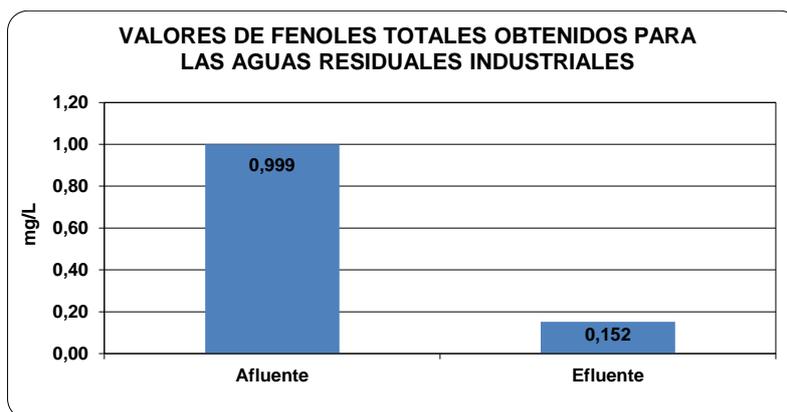


Figura 10. *Concentración de fenoles totales en la entrada y salida del sistema.*
Fuente: MCS Consultoría y Monitoreo Ambiental S.A.S. (2014).

Respecto a la calidad del agua superficial del cuerpo de agua del río Charate por vertimiento directo de agua tratada producto de perforación exploratoria en el pozo Campo Rico, los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas evaluadas en las estaciones dispuestas en el área de estudio, ubicadas en el departamento del Casanare, específicamente en el municipio de Maní, se compararon con los criterios de calidad permisibles del recurso hídrico de acuerdo con el uso (consumo humano y/o doméstico, uso agropecuario y preservación de flora y fauna), estipulado en la normatividad ambiental vigente (Decreto 1594/84).

En la Tabla 12, se presentan los valores obtenidos para cada una de las variables fisicoquímicas y bacteriológicas analizadas en las aguas superficiales del río Charate durante el año 2014, incluyendo su comparación y verificación de cumplimiento con los Artículos 38, 39, 40, 41, 42 y 45 del Decreto 1594 de 1984.

Tabla 12.

Identificación cumplimiento legal vertimientos de perforación exploratoria Campo Rico.

Parámetros	Unidad de medición	CUMPLIMIENTO NORMATIVO				OBSERVACIONES
		No. Norma	Valor	Sí	No	
Temperatura	°C	N/A		X		No se presentan variaciones significativas.
Oxígeno disuelto	mg O ₂ / lt	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984		X		Los valores de pH se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma.
pH	Unidades	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984	5-9	X		No se presentan variaciones significativas.
Conductividad	μS /cm	N/A			X	Se registraron valores superiores a lo definido en la Norma en los meses de mayo a octubre, tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de vertimiento.
Turbiedad	NTU	Artículo 39 Decreto 1594 de 1984	190		X	Se registraron valores superiores a lo definido en la Norma en los meses de mayo a octubre, tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de vertimiento.
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	N/A			X	Se registró un valor atípico en el mes de abril, tanto aguas arriba como aguas abajo.
Sulfatos	mg/L	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984	400	X		Los valores registrados son inferiores a lo requerido en la Norma.
Cloruros	mg/L	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984	250	X		Los valores registrados son inferiores a lo requerido en la Norma.
DBO	mg O ₂ / lt	N/A		X		No se presentan variaciones significativas.

DQO	mg O ₂ / lt	N/A		X		No se presentan variaciones significativas.
Bario	mg/L	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984	1	X		Los valores reportados se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma.
Plomo	mg/L	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984	0,05	X		Los valores reportados se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma.
Hierro	mg/L	Artículo 40 Decreto 1594 de 1984	5		X	Se reportaron dos (2) registros superiores a lo establecido en la Norma, uno en el mes de abril y otros en el mes de agosto, tanto aguas arriba como aguas, el resto del año los valores cumplen con lo requerido.
Mercurio	mg/L	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984	0,002	X		Los valores reportados se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma.
Fenoles	mg/L	Artículo 38 Decreto 1594 de 1984	0,002	X		Los valores reportados se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma.
Grasas y Aceites	mg/L	N/A	0,002	X		No se presentan variaciones significativas en los resultados obtenidos.

Fuente: elaboración propia con base en el análisis de monitoreos ambientales de agua residual presentados en Informe de Cumplimiento Ambiental pozo Campo Rico 2014.

En los monitoreos realizados al río Charte durante los 12 meses del año 2014, se pudo evidenciar que el comportamiento de los parámetros fue similar tanto aguas arriba como aguas debajo de los puntos de vertimiento:

- Para la temperatura se observa que los valores tienen un mismo comportamiento, evidenciando que el agua procedente del vertimiento no modifica la temperatura del cuerpo de agua, los mayores valores se registraron en los meses de marzo (30,8°C) aguas arriba y septiembre (30,30°C) aguas abajo, el promedio de temperatura fue

28,9°C aguas arriba y 28,05°C aguas abajo y los menores valores se registraron en 25,9°C tanto aguas arriba como aguas abajo.

- El oxígeno disuelto registró sus mayores valores en el mes de marzo tanto aguas arriba (10,00 mg/L) como aguas abajo (8,20 mg/L), manteniendo un promedio de 7,09 mg/L aguas arriba y 7,05 mg/L aguas abajo, los valores mínimos correspondieron a 4,79 mg/L aguas arriba y 6,30 aguas abajo; manteniendo siempre un valor superior a 4 mg/L que es lo establecido en el artículo 45 del Decreto 1594 de 1984 para destinación del recurso a la preservación de fauna y flora.
- En cuanto al pH los valores se mantuvieron dentro de los límites establecidos en el Decreto 1594 de 1984 en el artículo 38 (5 - 9 Unidades), el menor valor se registró aguas arriba en 5,85 unidades en el mes de junio y 5,98 unidades aguas abajo en este mismo mes, y el mayor valor correspondió a 8,70 unidades aguas arriba y 7,86 aguas abajo en los meses de marzo y febrero respectivamente.
- Se registraron valores superiores a lo establecido en el artículo 39 del Decreto 1594 de 1984 para turbiedad que corresponde a 10 UJT es decir 190 NTU, obteniéndose incluso para el mes de abril un valor superior a los 1000 NTU, los valores más bajos se registraron en el mes de diciembre con 91,50 NTU y 91,60 NTU aguas arriba y aguas abajo respectivamente.
- Los sólidos suspendidos registraron un valor variable a lo largo del año obteniéndose los registros más altos en el mes de abril con 1203 mg/L aguas arriba y 987 mg/L aguas abajo y los más bajos en el mes de diciembre con 103 mg/L y 82 mg/L, los cuales están asociados a las épocas de invierno y verano respectivamente.
- Para el parámetro sulfatos, los valores estuvieron muy por debajo del límite establecido en el Decreto 1594 de 1984 que corresponde a 400 mg/L; se obtuvieron aguas arriba valores que oscilaron entre los 27,20 mg/L y 8 mg/L con un promedio de

14,06 mg/L, mientras que aguas abajo los valores oscilaron entre 8,13 mg/L y 29 mg/L, se descartó el dato obtenido en el mes de agosto el cual fue <5, para lograr un promedio de 14,65 mg/L.

- Para cloruros se observa también una gráfica muy variable, con registros inferiores a lo requerido en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984, siendo los mayores valores aguas arriba y aguas abajo 8,56 mg/L y 12,82 mg/L respectivamente.
- Para DBO se observan tendencias similares para aguas arriba y aguas abajo, aunque los datos fueron variables a lo largo del año, registrando los mayores valores en el mes de abril con 40 mg/L y 34 mg/L y los menores en el mes de febrero con 3 mg/L y 4 mg/L aguas arriba y aguas abajo respectivamente.
- La DQO al igual que la DBO, aunque presentó una tendencia similar aguas arriba y aguas abajo registro valores muy variables a lo largo del año, llegando a tener registros de <10 en el mes de febrero y pasando a registrar los valores más altos en el mes de abril con 63 mg/L y 61 mg/L aguas arriba y aguas abajo respectivamente.
- Los registros de bario a partir del mes de mayo se mantuvieron constantes en <0,50; en el mes de abril se registró el valor más alto con 0,22 y 0,19 mg/L; a lo largo del año se dio cumplimiento a lo establecido en el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984 que corresponde a 1 mg/L.
- En cuanto al parámetro plomo, se mantuvo constante todo el año con registros <0,050, cumpliendo con el artículo 38 del Decreto 1594 de 1984 que corresponde a 0,05 mg/L
- El comportamiento del hierro a lo largo del año fue variable, sin embargo, se mantuvo la misma tendencia tanto aguas arriba como aguas abajo del punto de vertimiento, registrando los valores más altos en el mes de abril con 13,70 mg/L y 13,80 mg/L y los más bajo en el mes de marzo con 0,15 mg/L y 0,14 mg/L aguas arriba y aguas

abajo respectivamente, cumpliendo con lo establecido en el artículo 40 del Decreto 1594 de 1984.

- En cuanto al mercurio y los compuestos fenólicos se obtuvieron valores de $<0,0019$ y $<0,002$ mg/L cumpliendo con lo establecido en el Decreto 1594 de 1984 artículo 38 que corresponde 0,002.
- Para grasas y aceites solamente se registra un dato fuera de la tendencia en el mes de julio correspondiente a 2,74 mg/L aguas abajo del punto de vertimiento, el resto del año se registraron valores de $<0,50$.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

La evaluación ambiental realizada basada en la metodología propuesta por CONESA (1995), donde se relacionaron las actividades del proyecto y los componentes de los medios: abiótico, biótico y socioeconómico, con los distintos criterios de valoración del impacto, permitió determinar que en la etapa de perforación exploratoria, las actividades de preparación y manejo de lodos, disposición de residuos sólidos, vertimiento de residuos líquidos en fuente hídrica superficial y almacenamiento de químicos e insumos son actividades que generan mayor número de impactos. En total se identificaron 9 impactos severos relacionados con estas actividades sobre los elementos biótico, abiótico, socioeconómico y cultural.

Dentro de los impactos valorados como severos, se identificó el vertimiento de residuos líquidos en fuente hídrica superficial como la actividad que mayor genera impactos sobre el medio abiótico en alteración en la disponibilidad del recurso hídrico superficial y alteración de la calidad del agua de corrientes superficiales; biótico en alteración de las dinámicas poblacionales de fauna acuática; socio-económico-cultural en alteración en las actividades productivas tradicionales y cambio en la sensibilidad ambiental.

Es evidente que las actividades de preparación y manejo de lodos, disposición de residuos sólidos, y almacenamiento de químicos e insumos se relacionan directamente con el vertimiento de residuos líquidos en fuente hídrica superficial, pues son elementos que se incorporan durante todo el proceso y directamente son productos hacen parte de las aguas residuales a verter. En consecuencia, estas actividades aportan en mayor número a la generación de impactos severos y moderados sobre los elementos ambientales.

Para el recurso agua, la mayor afectación se genera por los vertimientos; el paisaje se ve afectado por la inclusión de nuevos elementos ajenos al entorno natural. En el aspecto socioeconómico y cultural al considerarse el recurso hídrico como prioritario el consumo local, para prácticas como la pesca y la recreación, el vertimiento genera alteración en las actividades productivas tradicionales y por ende cambio en la sensibilidad ambiental.

Al ser las fuentes hídricas usadas para el vertimiento de aguas residuales de la exploración petrolera altamente intervenidas por la ganadería, la agroindustria arroceras y palmera, el vertimiento realizado agrava el estado del recurso respecto a su calidad y capacidad de asimilación.

Respecto a la caracterización de los vertimientos de las aguas residuales de los procesos de perforación exploratoria de hidrocarburos mediante los resultados de laboratorio obtenidos de cada una de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas analizadas para las aguas residuales industriales tratadas y las aguas residuales domésticas tratadas provenientes de la perforación exploratoria de los pozos Rumba 1 y Bazar del Bloque Llanos 26, se determinó que son aguas que al entrar en contacto con diferentes sustancias químicas adquieren altas concentraciones de sales, metales, alta carga orgánica y fenoles, que al ser vertidas sin control sobre elementos del ambiente son capaces de generar afectaciones en la calidad del recurso.

La comparación de los parámetros con sus respectivos valores límites máximos permisibles, permitió identificar si a estas aguas después de realizado el tratamiento se les puede dar un uso definido ya sea agrícola o industrial, y evaluar si su destino sea únicamente el vertimiento con las implicaciones ambientales y sociales que este conlleva. Para las aguas residuales industriales tratadas se concluye que, estas no pueden ser empleadas con fines agrícolas en cultivos o jardines o en fines industriales en intercambiadores de calor en torres

de enfriamiento y calderas, ni en la descarga de aparatos sanitarios, ni en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado ni en los sistemas de redes contraincendios, ya que no cumple con los criterios establecidos en la Resolución 1207 de 2014. Para la muestra analizada de agua residual doméstica tratada se estableció que esta no puede ser empleada con fines agrícolas en cultivos o jardines o en fines industriales en intercambiadores de calor en torres de enfriamiento y calderas, ni en la descarga de aparatos sanitarios, ni en la limpieza mecánica de vías y riego de vías para el control de material particulado ni en los sistemas de redes contraincendios, ya que no cumple con los criterios establecidos en la Resolución 1207 de 2014.

Al evaluar los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica del sistema de tratamiento de agua residual tratada, generada en el proceso de perforación exploratoria del pozo Campo Rico, se concluye que hay un total cumplimiento de la normatividad ambiental en cuanto a remociones; sin embargo, para los parámetros de turbiedad, conductividad, y sólidos suspendidos totales no se cumple con los criterios establecidos en la normatividad ambiental para vertimiento a fuente hídrica, que se constituye como referente o nivel de grado de cumplimiento de los diferentes parámetros característicos de los vertimientos de aguas empleadas en los proyectos de exploración acorde con lo establecido por la legislación colombiana.

Mediante el análisis de los resultados de monitoreos realizados por laboratorio ambiental acreditado, a las aguas provenientes de la perforación exploratoria del pozo Campo Rico que se vertieron en el río Charte, previo tratamiento para el retiro de partículas de petróleo y sedimentos durante el año 2014 y su comparación con la normatividad aplicable, artículo 38 y 40 del Decreto 1594 de 1984 que hace referencia a los criterios de calidad admisibles para la destinación del recurso para consumo humano y uso agrícola, se pudo evidenciar que se dio incumplimiento normativo en las propiedades físicas del agua a verter

para los parámetros de turbiedad, conductividad y sólidos suspendidos totales, lo que indica que la calidad del agua en la fuente hídrica se pudo haber afectado por el aporte de los vertimientos directos realizados con la posible alteración en la calidad del agua superficial del cuerpo de agua del río Charte.

Aunque existe incumplimiento normativo en al agua vertida al cuerpo hídrico, al revisar los resultados de tendencias de calidad de agua una vez realizado el vertimiento, Según los valores de monitoreos y el análisis de resultados, los cuerpos de agua cercanos a Campo Rico no presentan contaminación por materia orgánica ni mineralización, ya que los valores fueron menores a 0,5. Por otro lado, los resultados en conjunto indican que en el punto de vertimiento aguas arriba hay una evidente afectación por sólidos suspendidos, lo que puede estar asociado a los procesos de arrastre que se den en ese punto, mientras que el punto aguas abajo no presenta afectación por este tipo de material.

De acuerdo con las concentraciones de las variables fisicoquímicas en todas los puntos de vertimiento analizadas para el río Charte, los cuerpos de agua presentan una condición de media calidad del agua; cumpliendo de manera parcial con la normatividad legal vigente, ya que el hierro y el aluminio en todas las estaciones del río Charte no cumple con el artículo 45 y, finalmente en el punto aguas arriba del vertimiento/aguas abajo de la captación, se hace necesario efectuar desinfección previa al uso del recurso, ya que las coliformes totales superaron los niveles de la norma.

En términos generales, los parámetros analizados presentan variaciones en sus concentraciones a través de las estaciones, reflejándose en algunos casos niveles que no cumplen con la norma, el hierro para las estaciones dispuestas en el río Charte (Art. 45) y los coliformes totales para el punto aguas arriba del vertimiento. Lo que puede estar relacionado

con procesos de arrastres de sedimentos y degradación de material orgánico adyacente a los puntos monitoreados y las características del suelo donde se encuentran los cuerpos de agua.

El agua del río Charate en los puntos de vertimiento no puede usarse directamente para consumo humano ni doméstico, según lo estipulado por el Decreto 1594 de 1984. Por otro lado, a esta agua se le puede usar para preservación de flora y fauna y uso agrícola, entendido su empleo para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias, y finalmente para uso pecuario relacionado con la utilización del recurso para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales.

5.2. Recomendaciones

Se hace necesario llevar un estricto control de los vertimientos sobre las fuentes hídricas, teniendo en cuenta que estas ya traen una carga contaminante generada por las actividades agrícolas y ganaderas típicamente desarrolladas en el Casanare y, que el aporte de elementos de los vertimientos de la industria petrolera puede modificar su capacidad de carga y por ende disminuir su índice de calidad, lo que repercute en la alteración de la disponibilidad del recurso hídrico superficial y alteración de la calidad del agua de corrientes superficiales; en lo biótico, en alteración de las dinámicas poblacionales de fauna acuática y en lo socio-económico-cultural en alteración de las actividades productivas tradicionales y cambio en la sensibilidad ambiental.

Es importante contar con los resultados de estas investigaciones con el propósito de ser soporte en las discusiones que a nivel local, regional y nacional se vienen desarrollando en el campo de la exploración y explotación de hidrocarburos.

Muchas de las concepciones de las afectaciones ambientales se basan únicamente en meras percepciones de las comunidades en diferentes zonas del país, en donde a través de un

discurso ambiental y social errado no se permite el desarrollo sostenible de los municipios. Es importante que la gente conozca la realidad de la exploración y explotación de los recursos y así poder comparar si los discursos ambientalistas son reales, y de esa manera intervenir, es decir, para que una comunidad pueda ser sostenible debe tener la verdad y de esa manera sabrá cómo actuar e intervenir en pro de mitigar las afectaciones presentadas.

Finalmente, el tema medio ambiental es un ámbito de máxima relevancia para el bienestar humano actual, como para el de las generaciones futuras. Del buen o mal uso de los recursos naturales disponibles hoy, dependerán las generaciones venideras.

6. Referencias

- Acción Ecológica (2001). *Estudios Ambientales del OCP*. Observaciones de Acción Ecológica. Alerta Verde.
- Aguilar, O., Galeano, C. y Pérez, L. (2000). *Petróleo y Desarrollo*. CORPES Orinoquía.
- Bravo, E. (2007). Documentos ambientales. Recuperado de http://www.inredh.org/archivos/documentos_ambiental/impactos_explotación_petrole_esp.pdf.
- Cámara de Comercio de Casanare (CCC). (2015). *Efectos de la situación petrolera en Casanare. Clúster servicios para la energía - oil & gas de la Orinoquía*.
- Calao, J. E. (2007). *Caracterización ambiental de la industria petrolera: tecnologías disponibles para la prevención y mitigación de impactos ambientales* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/823/1/15646742_2009.pdf.
- Castaño, J. (2013). *La sísmica, impacto ambiental de la industria petrolera*. Florencia, Colombia: CENSAT Agua Viva - Amigos de la Tierra Internacional.
- CENSAT. (2005). *Impactos Ambientales de la industria petrolera*. Bogotá: CENSAT Agua Viva - Amigos de la Tierra Internacional.
- CENSAT. (2013). *La sísmica: impacto ambiental de la industria petrolera*. Bogotá, Colombia: CENSAT Agua Viva - Amigos de la Tierra Internacional.
- Cerón, D. y Gómez, D. (2015). *Evaluación del riesgo ambiental y social por amenaza de Explotación de hidrocarburos: caso de estudio río Las ceibas, Huila* (tesis inédita). Universidad Católica, Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2936/4/EVALUACION%20DEL%20RIESGO%20AMBIENTAL%20Y%20SOCIAL%20POR%20AMENAZA%20DE%20EXPLORACION%20DE%20HIDROCARBUROS%20CASO%2>

ODE%20ESTUDIO%20RIO%20LAS%20CEIBAS%2C%20HUILA%20%281%29.pdf.

- Contreras, I. X. y Morales, S. (2014). *Análisis de los impactos sociales y culturales generados por la exploración de hidrocarburos en el Municipio de San Martín de los Llanos, Departamento del Meta en el periodo 2009-2014* (tesis inédita). Universidad de Manizales, Manizales, Colombia. Recuperado de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2074/Morales_stelia_Contreras_Ibed.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- CGR. (2014). *Problemática ambiental presentada en el municipio de Paz de Ariporo, Departamento del Casanare - 2014*. Bogotá, Colombia: Contraloría General de la República.
- Durán, G. (2015). *La influencia de la actividad petrolera en la (re)configuración territorial: Tauramena 1990-2000*. Bogotá, Colombia: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario.
- Dureau, F. y C.E., F. (1999). El sueño petrolero: Movilidad espacial y dinámicas urbanas en Yopal, Aguazul y Tauramena (Casanare). *Revista territorios*.
- Ecopetrol. (1997). *Gerencia plan de desarrollo "Primero Casanare"*. Yopal, Colombia: Ecopetrol.
- Fedesarrollo. (2012). *Coyuntura Económica: Investigación Económica y Social*. Bogotá, Colombia: Fedesarrollo.
- González, C., Ramírez, P., González, L., Mow, J., Álvarez, P., Montaña, T., . . . Barney, J. (2013). *Petróleo*. Bogotá, Colombia: Indepaz.
- Harman, J. (2013). *Petróleo*. Bogotá, Colombia: Indepaz.
- Harman, J. (2015). Petróleo y saqueo. *Revista Semillas*, 74-77.

- Hernández, D. (2012). *Análisis e interpretación de la exploración y explotación minera y de sus impactos, a partir de: la responsabilidad social, la gestión integral y la valoración socio-económica y ecosistémica en diferentes regiones de Colombia*. Manizales, Colombia: Centro de investigaciones en medio ambiente y desarrollo "CIMAD".
- Márquez, G. (2001). De la abundancia a la escasez: La transformación de ecosistemas en Colombia. En G. Palacios (ed.), *La naturaleza en disputa*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. UNIBIBLOS.
- Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (Minambiente). (2015). Decreto 1076 del 26 de mayo de 2015, por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Navas, D.A. y Rodríguez, P.A. (2010). *Procesos para la obtención del petróleo y los impactos ambientales generados por las actividades petroleras* (monografía inédita de especialización). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-01-14_09-00-02131567.pdf.
- Ormet. (2010). Ormet - Casanare. Obtenido de Red de Observatorios Regionales del Mercado de Trabajo. Recuperado de <http://www.redormet.org/ormet-casanare/>.
- Ruiz, D. (2011). *Impacto de la bonanza petrolera en el departamento de Casanare 1990 – 2005: una aproximación*. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes.
- Torres, K. (2014). *Análisis de los impactos ambientales generados por el tratamiento y disposición final de los residuos aceitosos (borras) generados en los distritos de producción de hidrocarburos*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). (2013). *Cadena del Petróleo*. Bogotá, Colombia: Unidad de Planeación Minero Energética.

7. Anexos

Anexo 1. Monitoreos Caracterización Agua Residual

Anexo 2. Monitoreo cumplimiento normativo