



**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL AGUA Y SUELO
GENERADOS POR LA INDUSTRIA PETROLERA EN LA SUBZONA
HIDROGRÁFICA RÍO TUA, DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

**OSCAR ORJUELA FRANCO
GUSTAVO CASTAÑO DUQUE**

Universidad de Manizales
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente
Manizales, Colombia
2019

**EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES EN EL AGUA Y SUELO
GENERADOS POR LA INDUSTRIA PETROLERA EN LA SUBZONA
HIDROGRÁFICA RÍO TUA, DEPARTAMENTO DEL CASANARE**

**OSCAR ORJUELA FRANCO
GUSTAVO CASTAÑO DUQUE**

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Director (a):
(Ph.D.) DIEGO HERNÁNDEZ GARCÍA

Línea de Investigación:
Medio ambiente

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

2019

«La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo»

Nelson Mandela

Agradecimientos

A Dios gracias por el privilegio que nos ha brindado al despertar no solo con vida, sino que también continuar con salud, fuerzas y empeño para avanzar en este propósito de vida, el cual con este documento damos un paso más para culminar este proyecto académico.

Un agradecimiento enorme al profesor Diego Hernández García de la Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas de la Universidad de Manizales, por su entera disposición para guiarnos en el desarrollo de la investigación y la elaboración del documento.

Resumen

La comunidad que habita la subzona hidrográfica del río Tua, Casanare. Se resiste a nuevos proyectos minero-energéticos, generando un conflicto por el desconocimiento de los impactos ambientales en el recurso hídrico (agua subterránea y superficial) y suelo. Debido a que la información con que se busca alertar los impactos es desvirtuada por la acción deficiente de la autoridad ambiental, se revisaron los ICA presentados a la ANLA entre 2011- 2015. Se analizaron los datos de monitoreos de aguas superficial, subterránea y suelos; adicionalmente, en el año 2017 se tomaron muestras del río Tua. En las aguas subterráneas se evidenció para cloruros concentraciones superiores a 250 mg/L, hierro con concentraciones mayores a 5 mg/L y turbiedad a 10 NTU, por tal motivo esta no puede ser utilizada en actividades domésticas de manera directa. En el agua superficial se encontraron concentraciones de coliformes superiores a 1000 NMP/100ml, aluminio a 5 mg/L, en bario mayores de 3 mg/L, hierro por encima de 5 mg/L y para selenio sobrepasaron 0,01 mg/L valores estipulados en el Decreto 1076 del 2015. Finalmente, en los suelos se halló que no fueron estabilizados de una manera adecuada.

Palabras clave: Río Tua, ANLA, Hidrocarburos, impactos, recurso, agua y suelo.

Abstract

The community that inhabits the hydrographic subzone of the Tua River, Casanare. It resists new mining-energy projects, generating a conflict over ignorance of environmental impacts on water resources (ground and surface water) and soil. Because the information that seeks to alert the impacts is distorted by the deficient action of the environmental authority, the ICAs submitted to the ANLA between 2011-2015 were reviewed. The data on surface, groundwater and soil monitoring were analyzed; Additionally, in 2017, samples were taken from the Tua River. In the groundwater, concentrations greater than 250 mg/L, iron with concentrations greater than 5 mg/L and turbidity at 10 NTU were evidenced for chlorides, for this reason it cannot be used directly in domestic activities. In the surface water concentrations of coliforms greater than 1000 NMP/100ml, aluminum at 5 mg/L, in barium greater than 3 mg/L, iron above 5 mg/L and for selenium exceeded 0.01 mg/L were found values stipulated in Decree 1076 of 2015. Finally, in soils there were that they were not stabilized in an adequate manner.

Keywords: Tua River, Hydrocarbons, ANLA, impacts, resource, water and soil.

Contenido

	<u>Pág.</u>
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XV
Lista de abreviaturas	XVI
Introducción	17
I. DISEÑO TEÓRICO	19
1.1 Título del Trabajo.....	19
1.2 Problema de investigación.....	20
1.3 Descripción del Área Problemática	22
1.4 Antecedentes investigativos.....	24
1.5 Justificación	29
1.6 Objetivos, General y específicos.....	30
1.7 Hipótesis y variables	31
II. MARCO TEÓRICO	33
1.8 Impactos	33
1.9 Exploración y explotación de hidrocarburos.....	35
1.9.1 Sísmica.....	36
1.9.2 Perforación	36
1.9.3 Producción.....	37
1.9.4 Desmantelamiento.....	38
1.10 Legislación ambiental	39
III. DISEÑO METODOLÓGICO	41
1.11 Población y Muestra -Área de estudio (Unidad espacial)	41
1.12 Unidad de Análisis	42
1.13 Obtención de datos (fuentes de información y periodicidad)	42
1.14 Procesamiento de datos	43
1.15 Análisis estadístico (Técnicas e instrumentos).....	44
IV. ANALISIS DE INFORMACIÓN	45
1.16 Aguas subterráneas.....	45
1.17 Aguas Superficiales	50
1.21.1 Afluentes a la subzona hidrográfica río Tua.	50
1.21.2 Subzona hidrográfica río Tua	58
1.18 Suelos.	64

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
VI. BIBLIOGRAFIA	73

Lista de figuras

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1 Ubicación geográfica de los diferentes bloques a lo largo de la subzona hidrográfica río Tua.	41
Figura 4.1 Variación de los cloruros en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	46
Figura 4.2 Variación de la demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ y demanda química de oxígeno DQO en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	47
Figura 4.3 Variación del hierro en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	48
Figura 4.4 Variación de la turbiedad en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	49
Figura 4-5. Valores de Oxígeno disuelto registrados en los cuerpos de agua afluentes al Río Tua.	51
Figura 4-6. Concentraciones de DBO ₅ y DQO obtenidas en las afluentes al Río Tua.....	52
Figura 4-7 Valores de pH, de los afluentes al río Tua.....	53
Figura 4-8 Conductividad obtenida en los afluentes al Río Tua.....	54
Figura 4-9 Grasas y aceites e Hidrocarburos totales.....	55
Figura 4-10 Metales evaluados en los afluentes al Río Tua.....	56
Figura 4-11 Coliformes totales y fecales obtenidos en los afluentes al río Tua.....	57
Figura 4-12 Variación del pH en la subzona hidrográfica río Tua.....	58
Figura 4-13 Oxígeno disuelto en la subzona hidrográfica río Tua.....	59
Figura 4-14 DBO ₅ y DQO obtenido en la subzona hidrográfica río Tua.....	59
Figura 4-15 Variación de los nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal en las aguas superficiales del río Tua.	60
Figura 4-16 Variación del color en las aguas superficiales del río Tua.	61
Figura 4-17 Metales evaluados en la subzona hidrográfica río Tua.....	62
Figura 4-18 Variación de los coliformes totales y fecales en las aguas superficiales del río Tua.....	63
Figura 4-19 Variación del pH en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	65
Figura 4-20 Variación de la conductividad en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	66
Figura 4-21 Variación del Arsénico en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	66
Figura 4-22 Variación del Bario en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.....	67

Figura 4-23 Variación del RAS en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río
Tua..... 68

Lista de tablas

	<u>Pág.</u>
Tabla 1. Principales fuentes de contaminación por aporte de hidrocarburos y sustancias químicas y sus respectivas cuencas afectadas (García et al.,2001).	26

Lista de abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ANH</i>	Agencia nacional de hidrocarburos
<i>ANLA</i>	Agencia nacional de licencias ambientales
<i>CORANTIOQUIA</i>	Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
<i>DBO</i>	Demanda biológica de oxígeno
<i>DQO</i>	Demanda química de oxígeno
<i>EIA</i>	Estudio de impacto ambiental
<i>HAP</i>	hidrocarburos aromáticos polinucleares
<i>ICA</i>	Informes de cumplimiento ambiental
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>PMA</i>	Plan de manejo ambiental
<i>PTAR</i>	plantas de tratamiento de aguas residuales

:

Introducción

El conflicto minero energético que se está presentando a nivel mundial entre la sociedad civil y el estado radica en la eficiencia que se le atribuye al petróleo hoy en día, ya que a lo largo del tiempo ha sido monopolizado por el modelo económico capitalista, puesto que se puede manipular, transportar y almacenar con facilidad (Delgado 2012), por tal motivo ha generado una infinidad de políticas públicas, que tienen como finalidad brindar beneficio a los ciudadanos, lo complejo del asunto es que dichas ideas no han sido amigables con el medio ambiente; lo anterior ha desencadenado el boom de los proyectos minero energético en algunos países, ya que al ser una inversión de capital extranjero se ven beneficiados por un sistema burocratizado y corrupto en el manejo del subsuelo, situación que favorece el inicio de los proyectos de manera rápida dando vía libre a la intervención de zonas en donde no se había llegado a contemplar la explotación minero energética (Vélez-Torres & Ruíz-Torres 2015)

En Colombia la principal fuente de riqueza en el país ha sido la explotación de petróleo, ya que es el principal producto de exportación, por tal motivo es la actividad económica que ha contribuido a hacer realidad las políticas de desarrollo (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2010), por tal motivo en los últimos años se ha presentado un incremento en los proyectos minero energéticos en la Orinoquia colombiana, en donde las actividades exploratorias iniciaron a mediados de los años 40, sin embargo hasta la década del 80 tuvo su primer descubrimiento exitoso “Yacimiento Caño limón” mediante la figura de concesión (Agencia nacional de hidrocarburos, 2017), de este modo el gobierno empezó a entregar áreas donde existe la posibilidad de algún yacimiento de hidrocarburos en concesión con la participación del estado mediante Ecopetrol, lo cual facilita la autorización la construcción de vías y canales, explotación del lecho de los ríos, cantera, depósitos de asfalto y aceites minerales.

Teniendo en cuenta el desarrollo que pueden generar los proyectos minero-energéticos en Colombia y la dinamización de algunos sectores económicos, la sugerencia de planeación nacional es incluir a este sector como una de las grandes fuentes de riqueza para generar crecimiento sostenible y mayor equidad social, regional e intergeneracional (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2010). Por lo tanto, los impactos que esta actividad genera sobre el recurso hídrico se relacionan con la presencia de sustancias contaminantes en el agua superficial y subterránea, situación que limita el uso de estas en actividades domésticas o agrícolas, al ser causante de enfermedades en los seres humanos y en los animales que usen esta como alimento (Huiracocha, 2018); mientras que la presencia de contaminantes en el suelo genera afectación directa porque la planta asimila estas sustancias y transmitir las al consumidor final (Insusty et al., 2008) o en su defecto afectar directamente las condiciones del suelo hasta perder su fertilidad (Harter y Motis, 2016)

Lo anterior puede generar una afectación importante en las comunidades, ya que habría una serie de enfermedades gastrointestinales y cutáneas producto de la contaminación en el agua de uso doméstico (Londoño et al., 2016); sí el agua superficial presenta contaminantes generaría la disminución de la fauna y flora que habita dichos cuerpos de agua, por tal motivo se afecta la calidad del agua y disminuye la oferta alimenticia (Reyes et al., 2016), generando un impacto importante en la economía de las familias que se ven afectadas, ya que sus ingresos disminuyen de manera radical al no cultivar, al no pescar o al ver restringida su actividad económica primordial.

Esta subzona abarca área de los municipios Tauramena, Sabanalarga, Monterrey y Villanueva del departamento de Casanare, los datos fueron obtenidos de diversos informes de cumplimiento ambiental (ICA), presentados hasta el 2015 por cada una de las compañías que desarrollan los proyectos en los bloques a la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA), ya que está es la encargada de hacer seguimiento a las licencias ambientales (Decreto 3573, 2011). Posteriormente se realizó una visita para tomar muestras de agua superficial en puntos estratégicas del río Tua, las cuales el laboratorio CYANAM SAS las analizó, este cuenta con acreditación del IDEAM, con los datos obtenidos se realizó un análisis multitemporal para cada una de las matrices de interés (agua subterránea y superficial, y suelo).

I. DISEÑO TEÓRICO

1.1 Título del Trabajo

Evaluación de los impactos ambientales en el agua y suelo generados por la industria petrolera en la subzona hidrográfica río Tua, departamento del Casanare.

1.2 Problema de investigación

Las comunidades que habitan la subzona hidrográfica del río Tua atraviesan una serie de situaciones, que conllevan a una diversidad de problemáticas en lo que concierne a la cuenca, esto último teniendo en cuenta a la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y al organismo de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) definen una cuenca como “área de drenaje de un curso de agua, río o lago” (OMM, 2012).

En este sentido la cuenca del río Tua se ubica dentro de la jurisdicción de los municipios Tauramena, Sabanalarga, Monterrey y Villanueva en el departamento del Casanare, allí las aguas fluyen mediante un sistema natural interconectado; en la cual interactúan varios elementos biofísico-socioeconómicos y culturales (Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras 1985), los cuales se han visto afectados por los diferentes bloques que se han asignado para actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, como lo son Balay, Odisea, Cabretero, Llanos 25, Llanos 31 y Llanos 34, es así como la comunidad que habita el área de influencia de estos proyectos manifiesta conocer los impactos negativos en el agua y suelo que traen consigo las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, ya que los informes de cumplimiento ambiental (ICA), en donde se observa la ejecución de las medidas de control y seguimiento planteadas en las licencias ambientales y planes de manejo ambiental son presentados ante la autoridad ambiental en diferentes periodos de tiempo, es decir de manera semestral o anual; por tal motivo, sí se llega a presentar algún tipo de incumplimiento, estos se verán reflejados en un momento donde la posibilidad de resarcimiento es mínimo.

Ya que los impactos que estas actividades generan pueden estar relacionados con la presencia de sustancias contaminantes en el agua superficial y subterránea, situación que limita el uso de estas en actividades domésticas o agrícolas, al ser causante de enfermedades en los seres humanos y en los animales que usen esta como alimento, adicionalmente si se riega algún cultivo con esta agua puede causar daños al suelo al degradar sus condiciones o que el cultivo se vea afectado de manera directa (Huiracocha, 2018); mientras que la presencia de contaminantes en el suelo genera afectación directa porque la planta puede asimilar esto y transmitirlo al consumidor final (Insusty et al., 2008) o en su defecto afectar directamente las condiciones del suelo hasta perder su fertilidad (Harter & Tim Motis, 2016)

Lo anterior puede generar una afectación importante en las comunidades, ya que habría una serie de enfermedades gastrointestinales y cutáneas producto de la contaminación en el agua de uso doméstico (Londoño et al., 2016); si el agua superficial presenta contaminantes se presentaría la disminución de la fauna y flora que habita dichos cuerpos de agua, por tal motivo se presentaría una afectación en la calidad del agua y disminución en la oferta alimenticia (Reyes et al., 2016), lo anterior generaría un impacto importante en la economía de las familias que se vieran afectadas, ya que sus ingresos

disminuirían de manera radical al no poder cultivar, al no poder pescar o al ver limitado su actividad económica primordial.

Con relación a lo anterior es posible indicar que podría existir un incumplimiento en los valores límites para el tema aguas y suelo, esto teniendo como base que existe una normatividad vigente, unas medidas de control y de seguimiento planteadas en los planes de manejo, situación que toma bastante importancia cuando la actuación de las autoridades ambientales se ve reflejada por lo general 1 año después de la entrega del informe de cumplimiento ambiental (ICA), esto mediante la aplicación de multas a las empresas que incumplen con las medidas de control (no afectación del recurso hídrico, tratamiento de los cortes de perforación y disposición en el momento adecuado para el tema de suelos) y seguimiento; por otro lado y lo más grave aún es que las sanciones aplicadas no se ven retribuidas en la comunidad.

1.3 Descripción del Área Problemática

En las proyecciones para impulsar el progreso del país, la dinamización de los sectores económicos constituye una de las estrategias más importantes dentro de las alternativas propuestas en la planeación nacional. En los mismos se encuentra el sector Minero-Energético, de donde se desprende la explotación de hidrocarburos, que se instituye como una de las grandes fuentes de riqueza en Colombia y que con su explotación buscará “generar crecimiento sostenible y mayor equidad social, regional e intergeneracional”. (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, 2010)

En materia de Hidrocarburos en Colombia, dos focos esenciales constituyen la explotación de este elemento de desarrollo, el petróleo y el gas, siendo este primero uno de las principales fuentes de riqueza en el país, que en gran medida ha contribuido con su desarrollo. La exploración y posterior explotación de hidrocarburos en Colombia inicio con la concesión De Mares, la cual fue proferida el 28 de noviembre de 1905, allí se le otorgaron facultades al señor Roberto De Mares de extraer el petróleo crudo bajo una serie de condiciones donde es importante nombrar la siguiente “ en la extracción de petróleo crudo, en refinarlo y separar sus componentes, dándolo al consumo del país a un precio que permita hacerle competencia al que se importa de Europa a los Estados Unidos” (Ecopetrol, 2014), posteriormente con la ley 37 de 1931 se determina que el petróleo crudo es propiedad del nación , por tal motivo se inicia el otorgamiento de concesiones en el país, con este aliciente es importante indicar que en la Orinoquia colombiana a mediados de los años 40 inicio las actividades exploratorias (Agencia nacional de hidrocarburos, 2017.), en donde por maniobras del gobierno las áreas donde se creía haber presencian de hidrocarburos fueron dadas mediante concesión a Ecopetrol, dando autorización para otorgar privilegios en la construcción de canales, explotación del lecho de los ríos, cantera depósitos de asfalto y aceites minerales.

En ese entonces este tipo de obras no tuvieron un seguimiento ambiental establecido, por tal motivo a mediados de los años 60 con la implementación del INDERENA se empezaron a dar las bases para la autorización de explorar y explotar recursos naturales en diferentes áreas, sin embargo, los lineamientos ambientales eran bastante laxos al no existir una normatividad clara, puesto que los residuos líquidos como sólidos eran dispuestos sin mayor control.

Es así como con la creación en 1993 del ministerio del medio ambiente se comenzaron a tomar directrices en torno a la industria de los hidrocarburos, como la implementación de términos de referencia para las actividades que se relacionan con la exploración y posterior explotación. Sin embargo, los medios para realizar un control y seguimiento no fueron rigurosos, dando como resultado la afectación parcial de los recursos naturales en diferentes áreas de la Orinoquia Colombiana (Ministerio de Salud y Protección Social, 2015), ya que la afectación al medio ambiente repercute de manera directa en la disponibilidad de agua, siendo este el principal problema en la región.

Para el caso particular del departamento del Casanare es posible indicar que estas medidas de control no han sido lo suficientemente adecuadas, puesto que se han generado diversos impactos ambientales, como la afectación de la calidad del agua en los cuerpos de agua, debido al vertimiento de aguas residuales con una alta concentración de diversos compuestos (grasas y aceites, hidrocarburos totales y metales pesados), dichos compuestos han sido los causantes de la mortandad de peces en diferentes cuerpos de agua como es el caso del río Charte o el río Cravo Sur; las emisiones de ruido han generado el desplazamiento de fauna local por estrés, ya que el sonido que emiten diversos equipos usados en las diferentes fases del proyecto como lo son los generadores es considerado alto; afectación del suelo y al agua subterránea por el paso de lixiviados con presencia de metales pesados cuando la geomembrana donde se almacenan los cortes de perforación se fisura.

El departamento del Casanare se encuentra dentro de una de las ecorregiones que subdivide la Orinoquía colombiana, está incluye las sabanas inundables, localizadas al norte del río Meta en los departamentos de Arauca y Casanare, las cuales están conformadas por terrenos por debajo de los 100 metros de altitud, con una red fluvial variada y compleja que en épocas de invierno generan inundaciones cíclicas, dando lugar a sabanas húmedas y a grandes esteros que permanecen inundados buena parte del año, aportando una considerable riqueza de peces, aves, reptiles y mamíferos (Fedesarrollo, 2018); con base en lo anterior este departamento presenta una alta densidad de drenajes (caños, cañadas, quebradas, ríos) producto del nivel freático de la zona, es así como uno de los principales es el río Tua, el cual se encuentra dentro de la jurisdicción de los municipios Tauramena, Sabanalarga, Monterrey y Villanueva en el departamento del Casanare, y que alimenta a la gran mayoría de comunidades presenta áreas de su cauce, en esta zona se encuentran ubicados los bloques Balay, Odisea, Cabrestero, Llanos 25, Llanos 31 y Llanos 34 que se encuentran en fase de exploración y explotación, dichos proyectos se vienen desarrollando de manera normal, sin embargo un gran porcentaje de los habitantes se encuentra en desacuerdo debido a los efectos que negativos que ha tenido el río a lo largo del tiempo.

1.4 Antecedentes investigativos.

Cuando la humanidad tuvo acceso a fuentes altamente condensadas de energía, su expansión y complejidad tuvo lugar como nunca. La escala global de tal fenómeno incluyó lo espacial, lo poblacional y desde luego, lo energético. Se pasó de un consumo de unos miles de barriles de crudo al año a mediados del siglo XIX a más de 65 millones de barriles diarios para fines del siglo XX (Heinberg, 2003).

Según la Agencia Internacional de Energía (2018) al 2017, el 81% de la energía primaria utilizada en el mundo provino de fuentes fósiles.

Dentro del manejo de los hidrocarburos, no se ha podido controlar del todo el tema de los derrames, los cuales son una de las principales fuentes de contaminación de suelos y aguas ya que ocasionan perturbaciones en los ecosistemas al afectar su estructura y bioprocesos. Este tipo de contingencias ambientales originan efectos directos sobre la biota, ya que el petróleo contiene compuestos químicos tóxicos que producen daños a plantas, animales y humanos, pero principalmente sobre las poblaciones de microorganismos, los cuales representan parte importante del ecosistema y son claves para los procesos biogeoquímicos (Vasudevan & Rajaram, 2001).

La contaminación por petróleo crudo o refinado es generada accidental o deliberadamente: Se estima que 3 mil 800 millones de litros entran cada año a los océanos como resultado de las actividades humanas, de éstos, sólo ocho por ciento se debe a fuentes naturales; por lo menos 22 por ciento a descargas operacionales intencionales de los barcos, 12 % por derrames de buques y otro 36 % por ciento por las descargas de aguas residuales (Suchanek, 1993).

La unión de promotores populares de salud de la Amazonía ecuatoriana (1993) condujo un estudio sobre los efectos del petróleo en la salud, donde se concluyó que las comunidades expuestas a las zonas petroleras tenían más enfermedades (anemia, malnutrición, infecciones de piel), abortos y una mayor tasa de mortalidad que las que no estaban expuestas, además según un informe del Centro de Derechos Económicos y Sociales (1994), se documentaron peligrosos niveles de contaminación por petróleo en los ríos del nororiente ecuatoriano; en ese estudio, se encontraron concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en las aguas utilizadas para beber, bañarse o pescar de 10 a 10.000 veces superiores a los límites permitidos por la Agencia de Protección Medio Ambiental de Estados Unidos (EEUU).

El petróleo o sus componentes pueden entrar en contacto con el cuerpo humano a través de tres rutas: i) la absorción por la piel; ii) la ingestión de comida y bebida y, iii) la inhalación a través de la respiración. Los habitantes de las áreas de actividad petrolera del Oriente ecuatoriano se enfrentan con una potencial exposición a cualquiera de las tres rutas. Además, la exposición al petróleo no está limitada al área cercana a la contaminación. Cuando el petróleo contamina el medio ambiente, los componentes más pesados tienden a depositarse en los sedimentos desde donde pueden contaminar

repetidamente las fuentes de agua o ser consumidos por organismos que pueden entrar en la cadena alimenticia del hombre. Componentes más ligeros del petróleo pueden evaporarse en cuestión de horas y ser depositados a gran distancia de su lugar de producción a través del aire o del agua (Centro de Derechos Económicos y Sociales, 1994).

Los contaminantes del crudo pueden ser depositados en la tierra o ingeridos por organismos acuáticos en cantidades que pueden tener efectos adversos para la salud e incrementar las tasas de malnutrición, especialmente en niños y pescadores, cuando los peces contaminados o sus productos entran en la cadena alimenticia (Tchounwou et al., 1996).

En cuanto a las afectaciones causadas a los seres humanos, se halló que en un estudio realizado por el Instituto de Epidemiología y Salud Comunitaria "Manuel Amunárriz."(2000) en Ecuador, encontraron que las mujeres expuestas a pozos y estaciones de petróleo durante los últimos 12 meses, presentaron una mayor frecuencia de los siguientes síntomas: irritación de la nariz y los ojos, dolor de cabeza y la garganta, dolor de oído, diarrea y gastritis, además las mujeres de comunidades cercanas a los pozos y estaciones de petróleo presentaron un riesgo de abortos espontáneos 2,5 veces más alto, es decir un 150 % más, que las mujeres que viven en comunidades no contaminadas.

Un estudio realizado por Sathiakumar y colaboradores (1995) evaluó la relación entre la leucemia y los historiales laborales de los empleados activos y jubilados de una compañía petrolera, donde encontraron una tendencia con el desarrollo de este tipo de cáncer con el aumento del tiempo de empleo en estas compañías. Un estudio similar fue desarrollado en china por Yang y Zhang (1991) donde encontraron que la incidencia de leucemia en campos petroleros y áreas contaminadas fue significativamente mayor que en otras áreas evaluadas. Además, numerosos estudios realizados en residentes cercanos a industrias petroquímicas han sido asociados con un exceso en la tasa de cánceres y en su mortalidad (Olin et., al 1987; Pan et al., 1994; Yang et al., 1997).

En concreto los hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP) son los compuestos volátiles orgánicos del petróleo de mayor interés toxicológico (IARC, 1989). Everall y Dowd (1978) encontraron que los HAP inducen 4 veces más a desarrollar cáncer de escroto en los trabajadores vinculados a la industria petrolera, también han aumentado la incidencia de segundas primarias tanto de la piel como de los órganos internos. Bonassi y colaboradores (1989) indican que los HAP son un factor de riesgo para desarrollar cáncer de vejiga. Mientras Mastrangelo (et al., 1996) encontraron que las personas con más de 40 años de exposición a HAP, presentan una relación con el cáncer de pulmón y vejiga. A una conclusión similar llegó Boffetta (et al.,1997), donde encontraron que la exposición intensa a los HAP conlleva un riesgo sustancial de cáncer de pulmón, piel y vejiga.

También se han encontrado estudios de afectación de los hidrocarburos en aves, donde se mostró que las que habían ingerido petróleo, presentaron una disminución de glóbulos

rojos y blanco (Leighton, 1996). En otro estudio se relacionaron los patos marinos que sufrieron anemia hemolítica con aquellos que ingirieron algún tipo de hidrocarburo (Yamato et al., 1996).

En cuanto a la ictiofauna, estudios han mostrado la presencia de crudo en diferentes especies de peces tras derrames petroleros en el mar, encontrando rastros de hidrocarburos en la piel (Lockhart et al., 1992; Hellou et al., 1994), afectando directamente a las personas que se dedican a la pesca y al consumo.

En la industria petrolera también emplean ciertos metales para el desarrollo de sus actividades, de los cuales los de principal preocupación para la salud en relación con la exposición al petróleo a través del agua son principalmente el mercurio y el cadmio. En el caso del mercurio ocurre a través de la contaminación del agua superficial, o subterránea, también llega a los peces y al consumir estos peces llega al humano (Boischio y Henshel, 1996). Las concentraciones del cadmio se acumulan a lo largo de la vida, al igual que el mercurio a través del agua o el consumo de alimentos. En el estudio los individuos que consumieron arroz contaminado con cadmio en Japón desarrollaron un envenenamiento crónico de cadmio y experimentaron una disminución en su esperanza de vida (Nakagawa et al., 1990). Según un estudio desarrollado por Kido et al. (1990) consumo elevado de cadmio produce náusea, vómito, dolores abdominales, diarrea y enfermedades renales. También se ha reportado un incremento en la tasa de mortalidad por cáncer de pulmón en trabajadores expuestos al cadmio (Sorahan y Lancashire, 1997). También se encontró una relación entre el nivel de cadmio presente en el agua potable y el cáncer de próstata (Waalkes y Rehm, 1994).

En cuanto a las afectaciones en Colombia generadas por la contaminación de exploración y explotación de hidrocarburos, En la siguiente tabla se pueden observar las principales cuencas afectadas por los hidrocarburos y la región respectiva

Tabla 1. Principales fuentes de contaminación por aporte de hidrocarburos y sustancias químicas y sus respectivas cuencas afectadas (García et al.,2001).

Fuentes potenciales de Contaminación	Cuenca Afectada
Refinería de Barrancabermeja	Medio Magdalena
Refinería de Cartagena	Mar Caribe
Oleoducto Caño Limón - Coveñas	Catatumbo, Arauca, Bajo Magdalena
Oleoducto Central de los Llanos	Meta, Medio y Bajo Magdalena
Oleoducto Orito - Putumayo	Putumayo, Patía, Mira.

Dentro de las medidas de manejo de la contaminación del agua en Colombia, generada por vertimientos en las cuencas hidrográficas, fue la implementación de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en agosto del año 2002, Colombia sólo tenía

establecidas 237 PTAR distribuidas en 235 municipios, las cuales cubrían solo el ocho por ciento (8%) de los vertimientos generados por la industria petrolera (Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2002), cuando finalizó el año 2005 el número de PTAR se estimaba en 401, lo que abarcaba 345 municipios, aumentando a un 31% de cobertura. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007).

Prieto (1999) presenta una metodología para enfrentar la contaminación de las aguas por hidrocarburos, con el empleo de técnicas de análisis simples y con la garantía de un uso racional de los recursos (reactivos químicos, equipos y recursos humanos). La metodología hace posible identificar la fuente contaminante o al menos sugerirla, cuantificar la contaminación y realizar su seguimiento con una fácil ejecución.

Narváez (2000) realiza un estudio sobre Aguas de formación y derrames de petróleo, donde nombra los problemas ambientales relacionados con la actividad petrolera, en el Suelo: Erosión, Contaminación, Salinización, Modificaciones topográficas; en el agua se producen Cambios en la calidad del agua, Obstaculización y/o cambio en drenajes naturales, afectación recursos hidrobiológicos, Reducción de calidad disponible, Conflicto de usos, Contaminación y Contaminación de aguas subterráneas.

Gonzales y colaboradores (2010) realizaron un estudio para determinar las concentraciones de compuestos petroquímicos en las fuentes de agua de consumo para comunidades cercanas a campos petrolíferos del Chaco Boliviano, donde analizaron la distribución de la concentración y el cumplimiento de los estándares definidos en las normativas boliviana, europea y estadounidense, así como en las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud. En los resultados se encontró que en un 76,19% de las muestras existe algún contaminante petroquímico con concentraciones (HTP, HAP, aluminio, arsénico, manganeso y hierro) superiores a los límites establecidos en alguna de las cuatro normativas de referencia, donde según el estudio la mayor contaminación provenía de las muestras tomadas en los ríos y grifos.

Zamora y colaboradores (2010) realizaron un estudio para evaluar los cambios químicos y en la comunidad microbiana de un suelo contaminado con crudo y determinar la capacidad de restitución de la estructura funcional de las comunidades bacterianas luego de un período de incubación en condiciones de laboratorio; donde se concluyó que la contaminación con hidrocarburos ocasionó un aumento de la saturación con aluminio y disminución del pH, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico del suelo, modificación de la comunidad bacteriana y reducción de su diversidad por selectividad de grupos funcionales.

Según Delgado y Gian (2011), en el contexto mundial se han presentado varias contingencias en las industrias petroleras, las cuales han sido catalogadas como desastres socioambientales. Uno de los más recientes es el caso del pozo Macondo en el año 2010, anterior a este encontramos el del Prestige en España (2002), la guerra del Golfo Pérsico en Kuwait (1991), el accidente del Exxon Valdez en Alaska (1989), el caso Ixtoc I en México (1979), el de Amoco Cadiz en Bretaña, Francia (1978).

Según Agnello et al., (2016) para Europa se estiman 2.5 millones de lugares contaminados por hidrocarburos, en México según Maldonado et al., (2010) industria petrolera es una fuente importante de contaminación en el suelo y aguas.

En Colombia se calculan alrededor de 6000 ha afectadas, en terrenos potenciales agrícolas y pecuarios, 2600 km de cuerpos superficiales loticos y 1600 ha de cuerpos lenticos (Benavides et al., 2006). Esta contaminación por hidrocarburos o grasas afecta la calidad del agua ya que se presenta una disminución en la concentración de oxígeno disuelto debido, ya que, al reducir la entrada de la luz, reduce la transferencia de oxígeno u otros gases entre la fase atmósfera – agua, lo cual afecta el establecimiento de algunas especies al inhibir la fijación de nutrientes (Jiménez, 2006; Adams et al., 2008). Según Mendelssohn et al. (2012) los principales afectados son el plancton y los macroinvertebrados ya que estos habitan en el fondo del cuerpo de agua, además son básicos en las redes tróficas.

Otros estudios, tales como el de González et al. (2011) han reportado efectos nocivos y letales de hidrocarburos del petróleo en los peces. También, Chan et al. (2012) han reportado contaminación en crustáceos, tortugas y algunas especies de vertebrados costeros como patos marinos y nutrias.

Cuando estos hidrocarburos o derivados del petróleo entran en contacto con el suelo, este tiende a perder parámetros como la permeabilidad o la compactación (Serrano et al., 2013). Por otro lado, Shin y Das (2001) encontraron que suelos arenosos con concentraciones de aceites superiores hasta del 6% pueden reducir drásticamente la capacidad de carga de los suelos.

En el año 2015, en Tumaco, Nariño, un ataque de un grupo subversivo contra el oleoducto Trasandino vertió cerca de 4.000 barriles de crudo. Dicha catástrofe inició en la quebrada El Aguacate hasta el río Caunapí, y después avanzó al río Rosario, que desemboca en el océano Pacífico, contaminando todo a su paso. De igual forma, en el mismo año, esta vez en Puerto Asís, Putumayo, un derrame de cerca de 130.000 galones de crudo afectó suelos y aguas (Velasquez, 2017).

Aunque el caso más reciente en Colombia de derrame de crudo sucedió en el pozo La Lizama 158, en Barrancabermeja, afectando la quebrada La Lizama y otros cuerpos de agua cercano, afectando además al menos 60 familias (Ecopetrol, 2018).

1.5 Justificación

A través de esta investigación se busca verificar los impactos que generan los proyectos de exploración y explotación de hidrocarburos sobre los recursos naturales (agua y suelo) ubicados en la subzona hidrográfica del río Tua, teniendo en cuenta la importancia de este cuerpo de agua para la comunidad del departamento del Casanare, ya que este suministra agua para cuatro municipios del departamento.

Los datos para conocer los impactos fueron obtenidos de los informes de cumplimiento ambiental (ICA), informes donde se consignan las medidas de control y seguimiento que establece cada empresa, esto con relación a las diversas actividades desarrolladas sobre el bloque exploratorio o área explotada; además se realizó trabajo de campo a la subzona hidrográfica del río Tua verificando las condiciones actuales. De este modo establecer si las medidas fueron las adecuadas y así fijar un precedente para las nuevas medidas de control para este tipo de industria.

La revisión de las medidas de control y seguimiento establecidas en las licencias ambientales y en los planes de manejo ambiental busca establecer de cierto modo la eficacia de las autoridades ambientales al momento de aprobar los estudios y dar vía libre a la realización de los diversos proyectos, ya que los tiempos establecidos para presentar dicho seguimiento se encuentran en estos documentos; con relación a esto es posible indicar que en muchas ocasiones la periodicidad varía entre bloque y bloque (petrolero), lo cual limita el control que debe realizar cada una de las autoridades; por otro lado también se busca establecer la aplicabilidad de la normatividad vigente, ya que actualmente se tiene como base para ciertas actividades una normatividad obsoleta para verificar si se está o no generando una afectación al recurso hídrico y al suelo.

Es importante indicar que con la revisión y monitoreo se puede identificar cuáles fueron los impactos generados en el agua superficial, agua subterránea y suelo por las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, ya que el no cumplimiento de la normatividad ambiental vigente y de las medidas de manejo o control, genera una afectación a la comunidad que habita en el área de influencia de este proyecto, ya que al dañar el suelo, se ve afectado el sector agrícola, el cual es fuente de ingresos económicos, alimenticios y culturales. El recurso hídrico (aguas superficiales y subterráneas) es usado para consumo doméstico, además de ser la fuente para el recurso pesquero, el cual también es fuente alimenticia, económica y cultural de los habitantes de esta zona.

1.6 Objetivos, General y específicos

Objetivo General

- Evaluar los impactos ambientales en el agua y suelo de la subzona río Tua departamento del Casanare, utilizando la información contenida en los informes de cumplimiento ambiental (ICA)

Objetivos Específicos

- Identificar los impactos en la calidad del agua asociadas a la subzona río Tua, generados por la exploración y explotación de hidrocarburos.
- Conocer los impactos generados por la exploración y explotación de hidrocarburos en el recurso suelo perteneciente al área de influencia de la subzona del río Tua.
- Determinar la eficacia de la normatividad actual vigente colombiana para controlar o mitigar los impactos de la actividad petrolera sobre los recursos agua y suelo.

1.7 Hipótesis y variables

H0: Las actividades realizadas en la fase de exploración y explotación de hidrocarburos sobre la subzona hidrográfica del río Tua no generan impactos negativos sobre los recursos naturales agua y suelo.

H1: Las actividades realizadas en la fase de exploración y explotación de hidrocarburos sobre la subzona hidrográfica del río Tua generan impactos negativos sobre los recursos naturales agua y suelo.

II. MARCO TEÓRICO.

Colombia se encuentra en el extremo noroccidental de América del Sur, comprendida entre las coordenadas 4° 13' latitud sur y entre los 17° 50' de latitud norte y entre los 66° 50' de longitud oeste y los 84° 46' de longitud oeste de Greenwich, incluidos los territorios marítimos, lo cual le permite tener costas en el Atlántico y el Pacífico. Tiene un área continental de 1.141.742 km². Adicionalmente, tiene un área oceánica de 988.000 km². La zonificación y la codificación de las cuencas hidrográficas en el país permiten conocer la delimitación, distribución y jerarquización de las cuencas del territorio colombiano con fines de gestión del recurso hídrico y aplicación de las políticas y planes de ordenación y manejo de cuencas que se vienen implementando (IDEAM, 2013). Esto último facilita la integración de variables en el Sistema de Información de Recurso Hídrico (SIRH), que forma parte del Sistema de Información Ambiental del Colombia (SIAC), el cual está reglamentado en el decreto 1323 de 2007, que le asignan responsabilidades de sistematización de la información al IDEAM como coordinador de sistemas y a las diferentes entidades del Sistema Nacional Ambiental (SINA), con énfasis especial en las autoridades ambientales.

La zonificación de cuencas hidrográficas corresponde a tres niveles de jerarquía: áreas, zonas y subzonas hidrográficas. Las áreas hidrográficas corresponden a las regiones hidrográficas o vertientes que, en sentido estricto, son las grandes cuencas que agrupan un conjunto de ríos con sus afluentes que desembocan en un mismo mar. Ahora bien, en Colombia se distinguen cuatro vertientes, dos de ellas asociadas a ríos de importancia continental (vertiente del Orinoco y vertiente del Amazonas) y las vertientes del Atlántico y del Pacífico. Se delimita adicionalmente como área hidrográfica la cuenca Magdalena-Cauca, que, aunque tributa y forma parte de la vertiente del Atlántico, tiene importancia socioeconómica por su alto poblamiento y aporte al producto interno bruto (IDEAM, 2013).

1.8 Impactos

Cuando la humanidad tuvo acceso a fuentes altamente condensadas de energía, su expansión y complejidad tuvo lugar como nunca antes había ocurrido. La escala global de tal fenómeno incluyó lo espacial, lo poblacional y desde luego, lo energético. Se pasó de un consumo de unos miles de barriles de crudo al año a mediados del siglo XIX a más de 65 millones de barriles diarios para fines del siglo XX (Heinberg, 2003).

Los combustibles fósiles constituyen, según la Agencia Internacional de Energía (AIE) para el año 2008 el 81.3% de la energía primaria total mundial (Agencia Internacional de

Energía, 2010). De este porcentaje, la mayor parte del petróleo se emplea en motores de combustión interna destinados al transporte, el resto en generación de electricidad y en la petroquímica. La mitad del carbón se emplea en la generación de energía eléctrica y el resto en diversas funciones industriales y domésticas. El gas, se emplea crecientemente en la generación de electricidad pues se pasó del 12.1% de su uso en el total de energía eléctrica generada en 1973 a 21.3% en 2008. También se usa, y prácticamente en montos similares, por la industria, el comercio y usos domésticos. De precisar es que la mayoría de la electricidad, o energía secundaria, se emplea en usos industriales (54%) y doméstico-comerciales (46%).

Lo indicado implica que, en resumen, el destino general de los combustibles fósiles tiene tres grandes rutas: 1) generación de energía calórica; 2) de energía eléctrica; y 3) motores de combustión interna. Es un contexto en el que resulta imperante notar que de 1973 a 2008, si bien la cantidad de energía generada se ha duplicado, se pasó de 6,115 a 12,267 millones de toneladas de petróleo.

Los derrames de hidrocarburos de petróleo son una de las principales fuentes de contaminación de suelos y aguas ya que ocasionan perturbaciones en los ecosistemas al afectar su estructura y bioprocesos. Este tipo de contingencias ambientales originan efectos directos sobre la biota, ya que el petróleo contiene compuestos químicos tóxicos que producen daños a plantas, animales y humanos, pero principalmente sobre las poblaciones de microorganismos, los cuales representan parte importante del ecosistema y son claves para los procesos biogeoquímicos (Vasudevan y Rajaram, 2001).

La contaminación por petróleo crudo o refinado es generada accidental o deliberadamente: Se estima que 3 mil 800 millones de litros entran cada año a los océanos como resultado de las actividades humanas, de éstos, sólo ocho por ciento se debe a fuentes naturales; por lo menos 22 por ciento a descargas operacionales intencionales de los barcos, 12 % por derrames de buques y otro 36 % por ciento por las descargas de aguas residuales (Suchanek, T, 1993). Es así como podemos identificar los siguientes impactos en la flora y fauna por hidrocarburos

- Las aves que quedan impregnadas de petróleo pierden o ven reducida su capacidad de aislarse del agua pudiendo morir por hipotermia. Al intentar limpiarse el plumaje con el pico ingieren grandes cantidades de hidrocarburos por lo que se envenenan.
- Muerte de los organismos por envenenamiento, sea por absorción, o por contacto.
- Muerte por exposición a los componentes tóxicos del petróleo solubles en agua.
- Tras desaparecer el petróleo de la superficie, el agua presenta una falsa apariencia "limpia" dado que queda cristalina por la muerte del fitoplancton y fauna acuática que "enturbia" el agua.
- La falta o disminución de plantas fotosintéticas reduce el aporte de oxígeno y alimento al ecosistema.
- Los mamíferos marinos pueden sufrir el taponamiento de sus vías respiratorias o daños en el tracto respiratorio y su mucosa por efecto de los contaminantes químicos.

- También ingieren grandes cantidades de hidrocarburos por alimentarse de animales contaminados.
- Los quimiorreceptores de muchas especies marinas detectan el petróleo en el agua y les hacen variar sus migraciones y movimientos con lo que determinadas especies desaparecen o no se acercan al lugar.
- El petróleo se deposita sobre los fondos marinos matando o provocando efectos subletales sobre miles de animales y plantas vitales para el ecosistema.
- Las algas de los fondos y las orillas quedan cubiertas por una fina película aceitosa que dificulta la fotosíntesis y la reproducción.
- Los efectos subletales sobre los animales marinos pueden abarcar deformaciones, pérdida de fertilidad, reducción del nivel de eclosión de huevos, alteraciones en su comportamiento y gran cantidad de efectos derivados de la toxicidad del vertido.
- Los mejillones y otros moluscos que se adhieren a rocas u objetos pierden su capacidad de adhesión y caen al fondo, perdiendo su capacidad de alimentarse (Greenpeace, 2015).
- El petróleo o sus componentes pueden entrar en contacto con el cuerpo humano a través de tres rutas: la absorción por la piel; la ingestión de comida y bebida, y la inhalación a través de la respiración (Rodríguez et al., 2007).

Los habitantes de las áreas de actividad petrolera se enfrentan con una potencial exposición a cualquiera de las tres rutas. La exposición al petróleo no está limitada al área cercana a la contaminación. Cuando el petróleo contamina el medio ambiente, los componentes más pesados tienden a depositarse en los sedimentos desde donde pueden contaminar repetidamente las fuentes de agua o ser consumidos por organismos que pueden entrar en la cadena alimenticia del hombre. Componentes del petróleo más ligeros pueden evaporarse en cuestión de horas y ser depositados a gran distancia de su lugar de producción a través del aire o del agua (Centro de Derechos Económicos y Sociales. 1994)

1.9 Exploración y explotación de hidrocarburos

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 perforación de pozos, 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 con costos eficientes (Calao, 2007).

La afectación que puede ser causada al medio ambiente por la industria petrolera al no implementar planes de manejo adecuados puede ser considerable, en donde las principales causas pueden ser atribuidas al poco conocimiento e investigación por parte de las entidades involucradas en el manejo del medio ambiente intervenido. A continuación, se describen los principales procesos de la industria de los hidrocarburos después de tener la concesión pertinente donde se establezcan los permisos para operar en la zona, se procede a las siguientes fases:

1.9.1 Sísmica

Comúnmente la exploración comprende estudios geológicos y geofísicos realizados en áreas bastante amplias, con el fin de identificar los objetivos favorables para realizar las operaciones respectivas, generalmente en estos procesos se realizan pruebas de sísmica para determinar las zonas de interés. La sísmica es un proceso geofísico que consiste en crear temblores artificiales de tierra, mediante explosivos que causan ondas, con las que se hace una ecografía del subsuelo; con la información obtenida de la línea sísmica se producen mapas del subsuelo donde aparecen las diversas estructuras presentes en el área objeto de estudio, incluidas aquellas que potencialmente pueden almacenar hidrocarburos. Estas áreas se pueden predecir mediante la sísmica en dos dimensiones (2D), donde se identifican las capas de la tierra, sus formas y estructuras; o en tres dimensiones (3D), la cual permite generar gráficos con mayor detalle, siendo esta la más utilizada actualmente (Censat agua viva, 2013).

Los geólogos encargados de esta operación hacen un diseño de la malla sísmica en donde se abren trochas, que son caminos por donde pasarán los cables eléctricos y donde se realizarán las perforaciones. Las trochas pueden tener un ancho entre los 2 y los 5 metros (Greenpeace, 2007).

Para causar los temblores de tierra se utiliza por lo general un método que consiste en perforar pozos de poca profundidad, entre 2 y 20 metros sobre una línea recta). El diámetro del hueco oscila entre 5 y 10 centímetros y la distancia entre uno y otro varía de 15 a 100 metros. En estos pozos se deposita material explosivo, que se tapa con el material extraído durante la perforación. Al detonar el material genera las ondas requeridas (Oilwatch, 2007).

Antes de la explosión, se extienden cables que unen todo el sistema de la sísmica y se instalan los geófonos, que son aparatos para registrar las ondas que provoca la explosión de las cargas en los pozos. Esas ondas viajan en el subsuelo y se reflejan desde las profundidades de la tierra, al chocar con los diferentes tipos de rocas o de estructuras (Censat agua viva, 2001).

1.9.2 Perforación

La perforación es un proceso que consiste en realizar en el subsuelo un hueco vertical, inclinado u horizontal, para alcanzar profundidades que van en promedio de 3 a 6 Kilómetros de extensión con el objetivo de llegar a sitios conocidos como formaciones posiblemente productoras que pueden tener hidrocarburos, crudo, gas, condensados o una mezcla de estos (Oilwatch, 2007)

Lo que se pretende con la perforación de los pozos exploratorios es confirmar la existencia en la zona de estructuras que sirvan como yacimientos, en esta actividad se puede establecer si la reserva es comercialmente explotable ya que esto es el centro o motivo de toda la actividad realizadas. Si el pozo realizado no contiene ningún hidrocarburo es considerado como seco, pero si lo contiene, se llama productor. Cerca al

pozo productor se perforan otros pozos, también exploratorios que se conocen como pozos de extensión, con éstos se pretende determinar qué tan grande es el yacimiento. Después de descubierto y determinado el tamaño del yacimiento, los pozos exploratorios que resultaron productores sirven para extraer el petróleo. En el campo petrolero se perforan otros pozos llamados de desarrollo.

Estudios realizados establecen que la composición química de los desechos de perforación normalmente contiene 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 agua viva, 2002).

Es importante resaltar en esta etapa de la generación de grandes cantidades de residuos sólidos o cortes de perforación. En la región de la Orinoquia, más exactamente en el piedemonte donde por cuestiones geológicas la mayoría de los yacimientos se encuentra a profundidades considerables, es claro que la generación de estos residuos es un problema mayor.

Si luego de realizado el proceso de perforación el pozo resultara seco, la compañía petrolera debe rehabilitar el sitio de perforación y levantar la vía de acceso contando con la coordinación de las autoridades respectivas y la previa aceptación de comunidad del sector, si se realiza en una zona habitada (Oilwatch, 2007).

1.9.3 Producción

La etapa de producción consiste en la explotación de los hidrocarburos (petróleo y gas) que se encuentra en el yacimiento. Antes de realizar el proceso productivo se debe conocer qué tipo de crudo es el que se va a extraer, esto para saber el tipo de instalaciones que se deben construir, ya que estos pueden clasificarse en parafinicos, naftenicos, aromáticos o mixtos, lo cual se conoce mediante la proporción de moléculas de hidrocarburos similares (Montillier, 1983).

Una vez conocido las condiciones del crudo a extraer se procede a realizar el montaje de infraestructura en la zona establecida, pues la seguridad y la eficacia de la producción dependen en un grado alto de esta. Los componentes en superficie para la puesta en marcha de un pozo son principalmente:

Tuberías y líneas de recolección, Separadores, Tanques, Planta de tratamiento de gas, Planta de tratamiento del agua, Piscinas de recolección y Líneas de despacho o ductos.

Lo anterior es conocido en la industria petrolera como batería o facilidades de producción. Inicialmente para empezar a explotar el pozo se coloca en la boca de cada pozo el "árbol de navidad" que constituye un conjunto de tubos y válvulas que tienen la finalidad de regular la salida del petróleo hacia la estación de recolección donde se almacena el crudo de varios pozos. Cuando el pozo es nuevo generalmente el flujo del crudo hacia la superficie se da de manera natural por el diferencial de presión, pero conforme avanza la explotación, la tasa de flujo disminuye, hasta el punto que son necesarios métodos artificiales de extracción. En cada campo petrolero se habilita una

superficie para las instalaciones de producción, vías de acceso, fuentes de materiales, tratamiento y disposición de desechos. La principal instalación de producción constituye las estaciones de separación y bombeo (Oilwatch, 2007).

Durante la fase de producción es necesario construir líneas de flujo y troncales, ubicación de fuentes para captación y vertimientos de agua, la instalación de campamentos y la construcción y montaje de equipos. En la construcción de las instalaciones de producción se respetarán los patrones de drenaje natural del yacimiento. El crudo de los diferentes pozos es conducido a las estaciones de separación a través de líneas de flujo secundarias. En la estación se procede a separar el crudo del agua de formación que se encuentra en forma de emulsión, e inhibir la formación de espuma para lo cual se utilizan sustancias químicas desemulsificantes, antiespumantes, antioxidantes, etc., la mayoría de estas derivadas del benceno, sustancia extremadamente tóxica y cancerígena. De esta forma se almacena el crudo en grandes tanques para ser conducido hacia el oleoducto. La mayoría del gas es quemado en las estaciones como desperdicio no siempre siguiendo lineamientos ambientales (Calao, 2007).

1.9.4 Desmantelamiento

Cuando la vida comercial del campo llega a su fin, el proceso de finalización puede implicar el desmantelamiento de las instalaciones y la restauración de las áreas del proyecto de manera apropiada para el siguiente uso previsto del área. Es importante dejar claro que aunque no es muy reconocida o tenida en cuenta al momento de hacer el planteamiento del proyecto, la etapa de desmantelamiento es tan importante como las anteriores, tal vez no para la industria ya que deberá gastar grandes cantidades de dinero y tiempo tratando de restablecer la zona afectada o alterada por la actividad que se llevó a cabo, pero si para las entidades ambientales de la región que actúan en este caso como reguladores del proyecto (Calao, 2007).

Las contaminaciones pueden presentarse de 2 formas generales: puntuales y sistemáticas. Las primeras ocurren de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. Las segundas son habituales y caracterizan a aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica que en ellas se realiza (Prieto y; Martinez, 1999).

1.10 Legislación ambiental

Las licencias o permisos ambientales para el desarrollo de diversas actividades antes de la creación del ministerio del medio ambiente eran generados por el INDERENA, los cuales tenían en cuenta muy pocos componentes a los cuales se les genera una afectación de manera directa e indirecta durante la ejecución de los diferentes proyectos (CORANTIOQUIA, 2008).

Una vez creado el Ministerio del medio ambiente, el cual fue creado en 1993 mediante la ley 99 de 1993, este ente empezó a generar las licencias o permisos ambientales para el desarrollo de diferentes proyectos, en donde se dejaba un vacío enorme en diferentes componentes y aún más en las medidas de seguimiento para estos; a partir del año 2011 (Ministerio de Hacienda y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2011), las licencias ambientales empezaron a ser emitidas por la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA), mediante la aplicación del decreto 2820 del 2010 (Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2010), este trámite generaba una demora tremenda en la aprobación de los estudios para la posterior emisión de la licencia, en ciertos casos se ha demorado años para que un proyecto tenga su licencia.

Con relación a lo anterior, gracias a las diversas políticas públicas hoy en día se está aplicando el decreto 2041 del 2014 (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014), dicho decreto busca que se genere una aprobación o negación de un proyecto en un corto tiempo, por tal motivo dicho decreto ha sido llamado licenciamiento exprés.

Este licenciamiento se logra mediante la presentación de un estudio de impacto ambiental (EIA), dicho estudio debe elaborarse para un área previamente adjudicada por la agencia nacional de hidrocarburos (ANH), siguiendo los lineamientos establecidos en los términos de referencia para la exploración de hidrocarburos (Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, 2014), es importante indicar que los términos de referencia antiguos presentaban un vacío inmenso en diversos componentes ambientales, como es el caso particular de cómo se debe evaluar la afectación de los cuerpos de agua donde se realiza captación o vertimiento alguno, ya que los parámetros a analizar son del decreto 1594 de 1984, una normatividad un poco antigua y que no es acorde con los contaminantes generados por esta actividad (Ministerio de agricultura y Ministerio de salud, 1984).

Una vez obtenida esta licencia se debe realizar un plan de manejo ambiental para la exploración y posterior explotación del recurso, dicho documento es la base para hacer el seguimiento al desarrollo del proyecto, por tal motivo es de suma importancia una revisión exhaustiva de este documento, puesto que la empresa es la que propone las diferentes medidas de manejo como es el caso de los temas ambientales y socioeconómico; es así como al conocer de primera mano las posibles afectaciones que se van a generar al ambiente se debe adoptar medidas eficaces para minimizar dicha afectación.

Con base en lo anterior es como entran a tener relevancia los informes de cumplimiento ambiental (ICA), los cuales son los documentos en los que se evidencia el cumplimiento

a lo establecido en los diferentes PMA's o licencias ambientales (Ministerio del Medio Ambiente, 2002).

En estos documentos se establece como han sido los resultados de cada uno de los monitoreos ambientales según la etapa del proyecto, adicionalmente se evidencia el cumplimiento con la normatividad vigente (Decreto 1076 del 2015, el cual hace una recopilación de toda la normatividad emitida hasta la fecha).

Es importante indicar que los resultados de los diferentes monitoreos ambientales (aguas subterráneas y aguas superficiales) deben cumplir con la normatividad ambiental vigente al momento de emitir la licencia o aceptar el PMA.

III. DISEÑO METODOLÓGICO

1.11 Población y Muestra -Área de estudio (Unidad espacial)

La presente investigación se desarrolló en el departamento de Casanare en un total de 4 municipios (Tauramena, Sabanalarga, Monterrey y Villanueva) los cuales están vinculados directamente con la subzona hidrográfica río Tua; ya que esta área cuenta con zonas adjudicadas para la exploración y producción de hidrocarburos (bloques) (Figura 1).

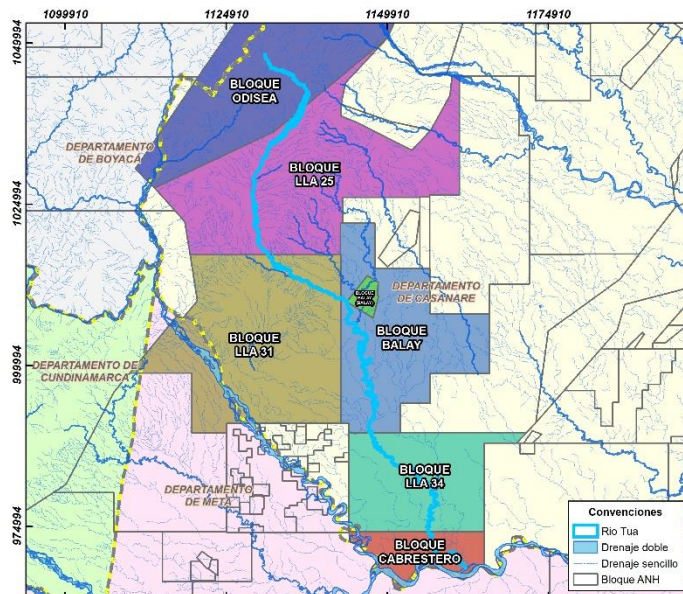


Figura III.1 Ubicación geográfica de los diferentes bloques a lo largo de la subzona hidrográfica río Tua.

1.12 Unidad de Análisis

La unidad de análisis de este proyecto fue el componente abiótico (calidad de agua y suelo), con el fin de conocer la variación en las concentraciones fisicoquímicas durante la extracción de hidrocarburos en la subzona hidrográfica río Tua.

1.13 Obtención de datos (fuentes de información y periodicidad)

Los datos se obtuvieron principalmente de los diferentes informes de cumplimiento ambiental (ICA) presentados por cada una de las empresas operadoras de los bloques a la autoridad nacional de licencias ambientales (ANLA) hasta el año 2015, los cuales tienen una periodicidad semestral o anual según la licencia ambiental otorgada; esta serie de datos fueron la caracterización fisicoquímica de las aguas superficiales aledañas a la zona donde se desarrolló la actividad (Río Tua, Nacederos, Río Guafal, Río Tacuya, Caño Totumo, Caño Chaparrito, Caño Orocuecito, Caño El Boral, Río Upia, Caño Mirriba y un caño denominado NN), caracterización fisicoquímica de los suelos (Cortes de perforación y campo de aspersión) y pozos de aguas subterráneas en la zona de influencia de los diferentes bloques donde se esté desarrollando algún tipo de actividad. Las muestras para estos informes de cumplimiento fueron tomadas simples.

Posteriormente se realizó trabajo de campo en donde se tomaron muestras de agua superficial (simples) en puntos estratégicos de la subzona hidrografía del río Tua, estas muestras serán analizadas por el laboratorio CYANAM SAS, el cual cuenta con acreditación ante el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia), estos datos sirvieron para dar continuidad al seguimiento de las concentraciones fisicoquímicas en el río TUA.

1.14 Procesamiento de datos

Después de obtener los datos de cada una de las fichas ICA y los resultados de las muestras tomadas en sitios estratégicos de la subzona hidrografía del río Tua, se procedió a realizar una matriz con los valores reportados para cada uno de los componentes a evaluar por bloque, con el fin de verificar el cumplimiento a la normatividad ambiental establecida en la licencia ambiental o en los PMA's, ya que de esta manera se intentara deducir la posible afectación del agua y suelo en la subzona hidrográfica río Tua.

1.15 Análisis estadístico (Técnicas e instrumentos)

El análisis de los datos realizó de manera independiente para cada uno de los componentes a evaluar (aguas subterráneas, aguas superficiales y suelo), debido que se manejaran datos cuantitativos.

Con los datos obtenidos se procedió a realizar una prueba de hipótesis, para de este modo conocer cuál es la afectación que están generando las actividades ejecutadas en las diferentes fases durante la exploración y explotación de cada uno de los bloques.

Se empleó el programa SigmaPlot versión 11.0 para generar diagramas de cajas (box plot), ya que estas son un instrumento gráfico en la estadística descriptiva que permite realizar un análisis más detallado y conciso respecto a la distribución de los datos en la muestra, mostrando con mayor claridad concentraciones máximas y mínimas, además de medias. Cabe resaltar los datos obtenidos son una recopilación de varios años.

Esto se realizó para identificar la variación existente en la concentración de las diferentes fases del proyecto. Para así determinar la afectación de del agua y suelo en la subzona hidrográfica río Tua por las actividades realizadas durante la exploración y explotación de hidrocarburos.

IV. ANALISIS DE INFORMACIÓN

1.16 Aguas subterráneas

El agua subterránea se puede definir como el recurso que se encuentra bajo el subsuelo, llegando principalmente por escorrentía del agua lluvia al acuífero donde es almacenada, este lugar llamado acuífero es una formación geológica hecha de material permeable capaz de almacenar una cantidad de agua considerable, esta agua no queda quieta, si no por el contrario corre a un cuerpo de agua superficial cercano para cumplir la función de recarga. El agua subterránea juega un papel fundamental ya que representa cerca de un 30% del agua dulce disponible (Peñuela et al., 2013).

Los sitios evaluados dentro de la subzona hidrografía del río Tua mostraron que las sustancias evaluadas que están relacionadas con la exploración y explotación de hidrocarburos, como lo son fenoles, grasas y aceites, hidrocarburos totales, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y metales pesados (arsénico, bario, berilio, cadmio, plomo y selenio) tuvieron concentraciones menores al límite de detección del método utilizado para su análisis, sin embargo otras sustancias si mostraron algún tipo de condición que podrían estar relacionada con ciertas actividades que se desarrollan en el área de influencia de la subzona hidrográfica del río Tua.

Con base en lo anterior en las aguas subterráneas es posible observar cómo los cloruros que están presente en todas las aguas naturales varían ampliamente, ya que tienen acceso a las aguas naturales en muchas formas como es el caso del poder disolvente del agua que introduce cloruros de la capa vegetal y de las formaciones más profundas a los acuíferos (Romero 2009), los sitios evaluados dentro de la subzona hidrográfica del río Tua presentaron una concentración promedio de 315 mg/L, con una variación entre 27 y 1260 mg/L (Figura IV.1), sin embargo, esta elevada variación muestra que en 5 de los sitios evaluados excedieron el valor límite permitido por el Decreto 1076 del 2015 razón por la cual el agua no pudo ser usada en actividades relacionadas con el consumo humano, por tal motivo fue necesario que las comunidades que utilizaron esta agua le hicieran un tratamiento convencional. Adicionalmente es importante indicar que en las aguas subterráneas con concentraciones por encima de 250 mg/L poseen un sabor salado, el cual es rechazado por el consumidor; para consumo humano el contenido de cloruros se limita a 250 mg/L, pero, hay áreas donde se consumen aguas con 2.000 mg/L de cloruros, sin efectos adversos, gracias a la adaptación del organismo. (Romero 2009).

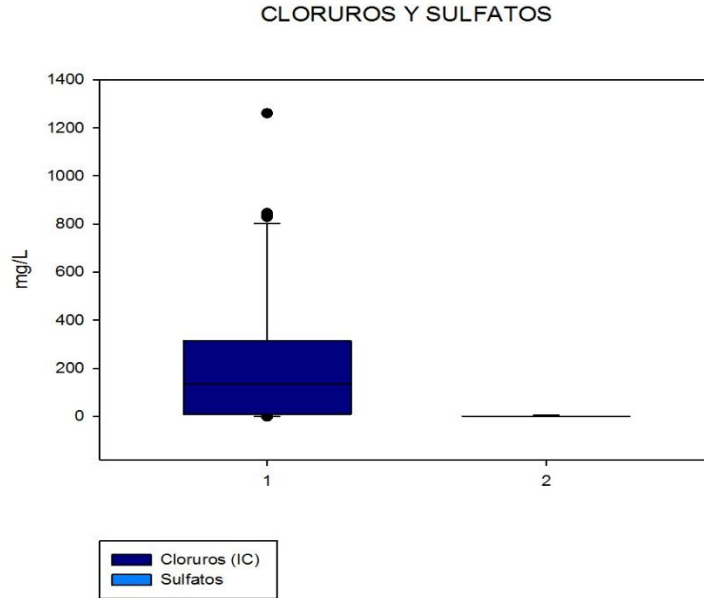


Figura IV.1 Variación de los cloruros en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.

La materia orgánica presente en las aguas subterráneas, expresada como demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 , la cual es una medida de la concentración de oxígeno usada por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable o materia orgánica carbonácea en condiciones aeróbicas en 5 días y a $20^{\circ}C$. Esta variable es un indicador indirecto del carbono orgánico biodegradable presente en una masa líquida dada (Roldan 2008). Y la demanda química de oxígeno DQO que es una variable de contaminación que logra indicar el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química, representando el contenido de materia orgánica total de la muestra oxidable por dicromato de potasio en solución acida, ya que todos los compuestos orgánicos pueden ser oxidados hasta CO_2 y agua por la acción de agentes oxidantes fuertes bajo condiciones acidas. (Roldan 2008). Los pozos y aljibes que fueron evaluados mostraron que la DBO_5 tuvo una concentración promedio de 11 mg/L (Figura IV.2), un valor que puede considerarse normal para el tipo de agua analizada; mientras que para la DQO fue de 19 mg/L (Figura IV.2), esto muestra que la cantidad de materia orgánica presente en los acuíferos es propia de las condiciones de la zona de estudio.

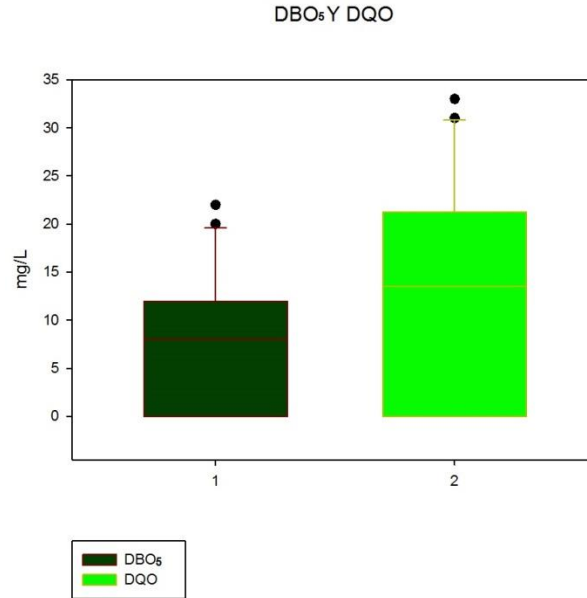


Figura IV.2 Variación de la demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ y demanda química de oxígeno DQO en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.

El hierro se puede encontrar en las aguas subterráneas se puede encontrar en varias formas, es decir, para un pH que varíe entre 4,5 y 9 unidades, el hierro soluble presente esta generalmente en estado ferroso, mientras que sí el medio es reductor, como en muchas aguas subterráneas, el hierro puede alcanzar contenidos elevados. En ausencia de complejos, el hierro férrico solo es soluble de una manera significativa a pH inferiores a 3. No obstante, bajo la acción del aire o por la acción de un oxidante, el hierro es oxidado a estado férrico y puede ser hidrolizado para dar un hidróxido de hierro soluble. (Rodier 2009).

Independiente de un sabor desagradable que puede percibirse a partir de 0,05 mg/L, el hierro desarrolla en el agua una turbidez rojiza poco atractiva para el consumidor. Los límites adoptados en las reglamentaciones se han dispuesto para atenuar los inconvenientes domésticos y no para evitar accidentes tóxicos, pudiéndose beber sin peligro las aguas ferruginosas que contienen más de 5 mg/L (Rodier 2009). Con base en lo anterior las caracterizaciones de las aguas subterráneas del área de influencia de la subzona hidrografía del río Tua la concentración de hierro oscilo entre 0,0037 y 172 mg/L (Figura IV.3), mostrando así que la mayoría de los sitios evaluados sobrepasaron el límite establecido en la normatividad ambiental vigente (Decreto 1076 del 2015), por tal motivo el agua no pudo ser usada en actividades agrícolas por existir la posibilidad de afectar los diversos cultivos de la zona como el caso del arroz o los pastos en actividades ganaderas, adicionalmente generar algunas afectaciones si se genera un consumo directo por alguna comunidad sin un previo tratamiento convencional.

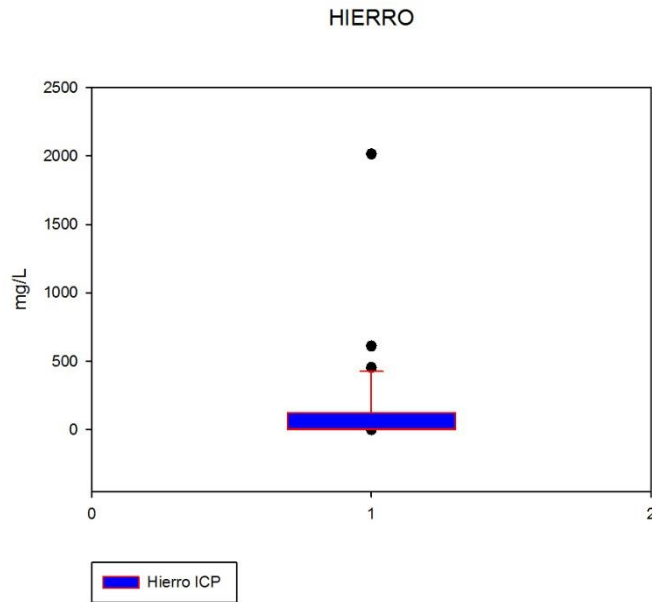


Figura IV.3 Variación del hierro en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua.

Con relación a lo anterior la turbiedad que se pudo evidenciar en los diferentes sitios evaluados en la subzona hidrográfica del río Tua, mostró que solo 6 de los sitios evaluados cumplieron con lo establecido en la normatividad ambiental vigente, la cual señala como valor máximo permisible 10 UJT (Unidades Jackson de turbiedad) (Figura IV.4), lo cual puede estar influenciado por la presencia de compuestos ferrosos en el agua, ya que al entrar en contacto con el oxígeno toman una tonalidad rojiza que puede generar interferencia al hacer la medición, ya que la turbiedad es el grado en que el agua interfiere con la transmisión de la luz a través de ella; por este motivo, la luz es reemitida y no transmitida a través de la suspensión (Roldan 2008). Es así como la turbidez en un agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían de tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida y microorganismos. Los valores de turbidez sirven para establecer el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su facilidad para ser filtrada y, consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación, y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua. (Romero, 2009) Es así como el agua subterránea debe ser tratada de manera convencional para su posterior consumo.

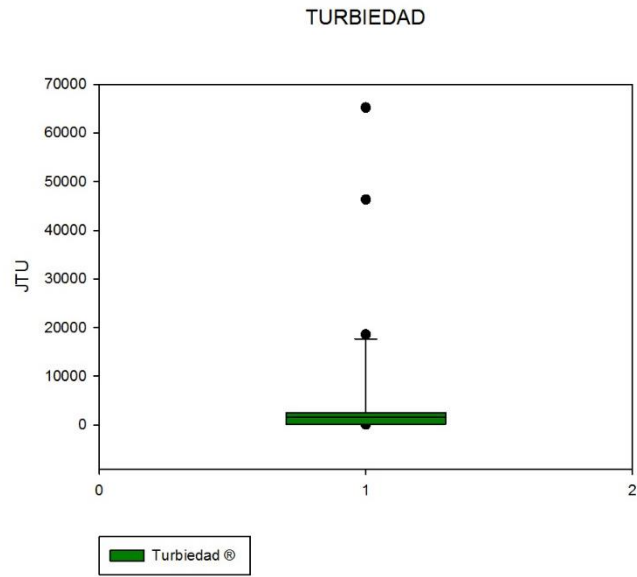


Figura IV.4 Variación de la turbiedad en las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua

1.17 Aguas Superficiales

1.17.1 Afluentes a la subzona hidrográfica río Tua.

Los ríos son sistemas naturales multifuncionales que poseen múltiples redes de drenaje con un elevado grado heterogeneidad ambiental. Esta alta complejidad, se debe a diversos agentes interactuantes como el clima, geomorfología, precipitación y sistemas de aguas superficiales y subterráneas. Estos sistemas son elementos reguladores de tipo ecológico, paisajístico y territorial, siendo claves en la dinámica ambiental. A pesar de que Colombia posee un potencial hídrico tres veces mayor al promedio de los países suramericanos y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio mundial, presenta serios problemas en la disponibilidad de agua de calidad en muchas regiones; en especial, aquellas zonas más pobladas. Esto se debe principalmente, a la contaminación, deforestación, erosión, pérdida de capacidad de retención y regulación del recurso hídrico, alterando drásticamente la biodiversidad y los ecosistemas que regulan directa e indirectamente la oferta hídrica (Gualdrón, 2016).

En el presente estudio se evaluaron las características fisicoquímicas de los cuerpos de agua afluentes al Río Tua, con registros entre los años 2009 hasta el 2014. Los cuerpos de agua fueron: Río Tacuya, Río Upia, Río Guafal, Caño Totumo, Caño Chaparrito, Caño Orocucito, Caño el Boral, Caño Mirriba, además de cuatro (4) Nacederos y un caño nominado NN.

En los cuerpos de agua afluentes al Río Tua, se reportó un promedio de temperatura de 27°C, con una variación desde 20°C hasta 34 °C, estas variaciones pueden ser atribuidas a las diferentes temporadas de monitoreo y horas del día. Ya que la temperatura es influenciada por factores climáticos.

El oxígeno disuelto evaluado en los afluentes del río Tua, a lo largo del tiempo, presentó diferencias entre las estaciones que van desde 2,2mg/L, hasta 8,1 mg/L; con un promedio de 6,2 (**Figura IV-5**). Presentando las concentraciones más bajas en el caño NN y los Nacederos (Petrominerales), siendo estos los únicos valores que incumplen con los límites estipulados en el Decreto 1076 del 2015, el cual establece que estas concentraciones deben ser superior a 4,0 mg/L

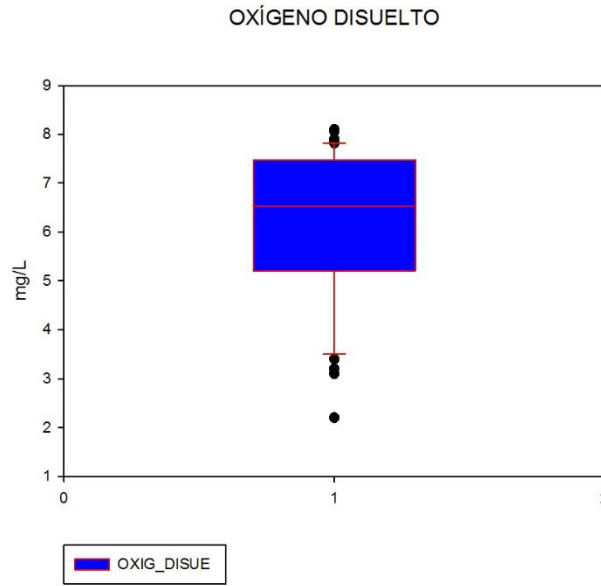


Figura IV-5. Valores de Oxígeno disuelto registrados en los cuerpos de agua afluentes al Río Tua.

Estos cuerpos de aguas con concentraciones de oxígeno disueltos bajos, podría atribuirse a presencia de materia orgánica, ya que esta para descomponerse requiere un gasto de oxígeno, según Roldán y Ramírez (2008) En general, el principal factor de consumo de oxígeno libre es la oxidación de materia orgánica por respiración a causa de microorganismos descomponedores (bacterias heterotróficas aerobias). La materia orgánica contenida en los desechos puede presentarse: en forma de suspensión gruesa, la cual se sedimenta y pasa a hacer parte del sedimento o en forma de suspensión fina y de manera disuelta, que no se sedimentan, sino que permanecen en la masa líquida.

La demanda biológica de oxígeno (DBO) es una medida de la concentración de oxígeno usada por los microorganismos para degradar y estabilizar la materia orgánica biodegradable o materia orgánica carbonácea en condiciones aeróbicas en 5 días y a 20°C. Es una indicación indirecta del carbono orgánico biodegradable presente en una masa líquida dada. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO₅ representa, en promedio, 65% a 70% del total de la materia orgánica oxidable. (Roldan 2008).

En el reporte de los afluentes al río Tua, se reportaron valores desde 2 mg/L hasta 75 mg/L con un promedio de 12 mg/L (**Figura IV-7**). A pesar de no existir restricciones en cuanto a este parámetro por parte de la normatividad ambiental, se consideran concentraciones altas de DBO₅ para aguas superficiales cuando los valores son superiores a 8 mg/L (Marín, 2009). Por lo tanto, se puede decir que no se evidencia presencia de materia orgánica en todas las estaciones de monitoreo, corroborando los resultados obtenidos en los valores de oxígeno disuelto.

En cuanto a la Demanda Química de oxígeno (DQO) Es un parámetro analítico de contaminación que indica el contenido de materia orgánica en una muestra de agua mediante oxidación química. Representa el contenido de materia orgánica total de la muestra, oxidable por dicromato de potasio en solución acida. El resultado se obtiene más rápidamente que el de la DBO₅ y no está sujeto a tantas variaciones pues, con

pocas excepciones, todos los compuestos orgánicos pueden ser oxidados hasta CO_2 y agua por la acción de agentes oxidantes fuertes bajo condiciones acidas. (Roldan 2008).

Los resultados obtenidos en los cuerpos de agua afluentes oscilaron entre 3 mg/L y 115 mg/L, con un promedio de 20 mg/L ver **Figura IV-6**.

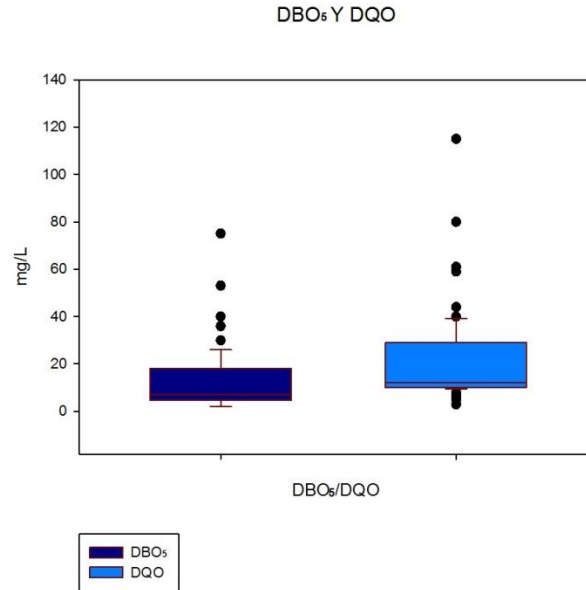


Figura IV-6. Concentraciones de DBO₅ y DQO obtenidas en las afluentes al Río Tua.

El termino pH es una forma de expresar la concentración del ion hidrogeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrogeno (H^+). En general se usa para expresar la intensidad de la condición acida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. (Romero 2009).

El pH en los cuerpos de agua afluentes al río Tua, se encontraron entre 5,4 y 7,9 con un promedio de 6,9 unidades (Figura IV-7), cumpliendo a cabalidad con los límites establecidos en los Art 2.2.3.3.9.4. (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), Art 2.2.3.3.9.6 (Uso agrícola), Art 2.2.3.3.9.7 (Uso pecuario), Art 2.2.3.3.9.8. (Fines Recreativos Contacto Primario), Art 2.2.3.3.9.9. (Fines Recreativos Contacto Secundario) y Art 2.2.3.3.9.10. (Preservación de Flora y Fauna) del Decreto 1076 del 2015.

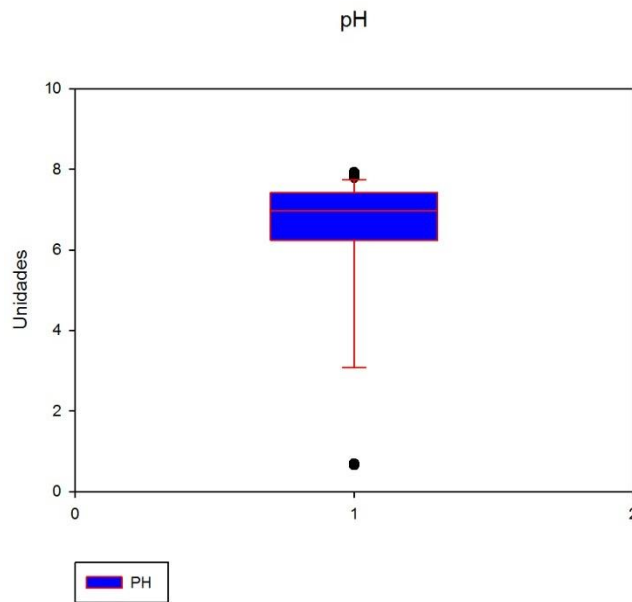


Figura IV-7 Valores de pH, de los afluentes al río Tua.

La conductividad es una medida indirecta de la productividad ya que relaciona todos los iones presentes en el agua, motivo por el cual se encuentra estrechamente relacionada con los sólidos disueltos totales que representan la concentración de sustancias o minerales disueltos en las aguas naturales. Es así como la conductividad mide la capacidad del agua para transferir corriente eléctrica, la cual se incrementa principalmente con el contenido de iones disueltos y la temperatura, y se expresa como microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) (Roldán y Ramírez, 2008).

Para este monitoreo el valor de conductividad en los cuerpos de agua monitoreados oscilo entre 4 y 184 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un promedio de 53 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (**Figura IV-8**); los valores obtenidos se pueden considerar normales, ya que la conductividad de la mayoría de las aguas dulces naturales se encuentra entre los 10 y 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Elosegui y Pozo 1994; Beita-Sandí y Barahona-Palomo, 2010).

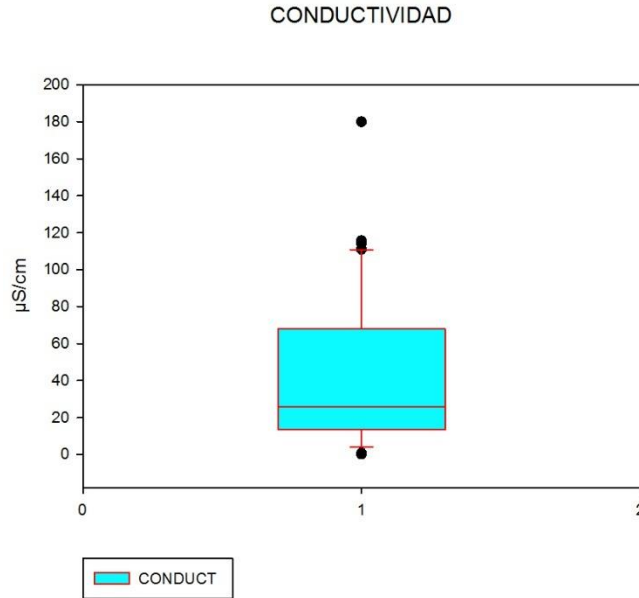


Figura IV-8 Conductividad obtenida en los afluentes al Río Tua

Estas sustancias químicas hacen parte de la familia de los compuestos orgánicos. Muchos de ellos son aportados naturalmente a los cuerpos de agua como productos de desecho y descomposición de los seres vivos. Sin embargo, pueden llegar a los ecosistemas a través de vertimientos de aguas industriales y en altas concentraciones pueden ser tóxicos para la vida acuática.

Los valores correspondientes para hidrocarburos totales (TPH) estuvieron entre 0,08 y 0,5 mg/L, con un promedio de 0,4 mg/L (**Figura IV-9**), cabe aclarar que la mayoría de datos estuvieron asociados al límite de detección de la técnica analítica empleada para su análisis, por tanto no se evidencia contaminación por hidrocarburos.

En cuanto al parámetro de grasas y aceites, reportó concentraciones entre 0,08 y 3 mg/L, con un promedio de 0,6 mg/L (**Figura IV-9**), muchos de los valores obtenidos de igual manera que en los TPH están asociados a los límites de detección por la técnica analítica empleada para el análisis. Cabe resaltar que el decreto 1076 de 2015 no establece ningún límite para estos dos parámetros.

GRASAS Y ACEITES E HIDROCARBUROS TOTALES

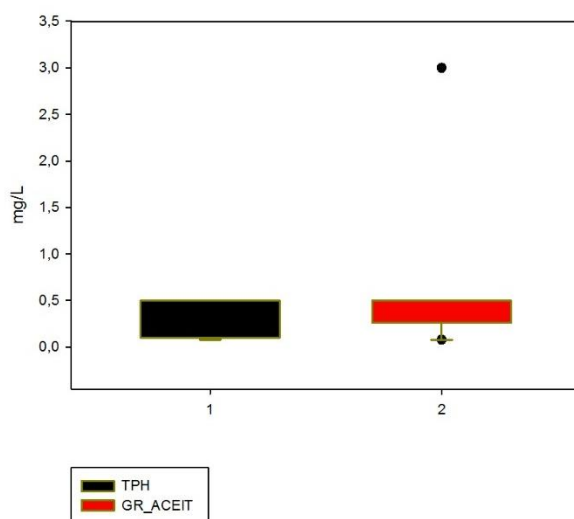


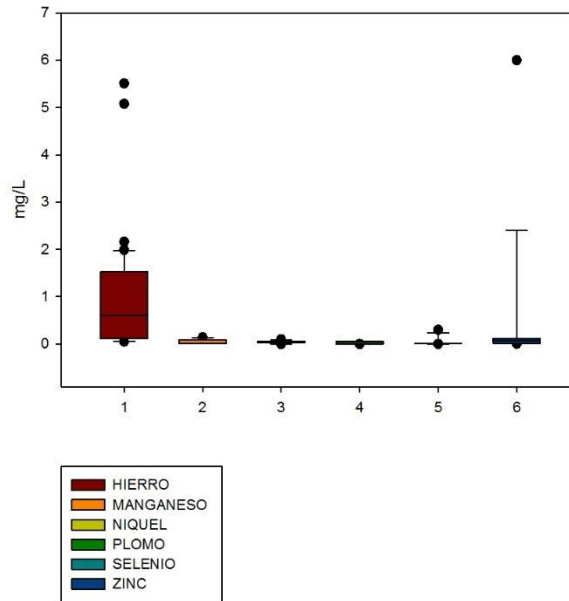
Figura IV-9 Grasas y aceites e Hidrocarburos totales

Los metales, generalmente se encuentran en concentraciones consideradas trazas en los sistemas naturales y algunos de ellos son imprescindibles para el normal desarrollo de la vida, y la ausencia de cantidades suficientes de ellos podría limitar el crecimiento de las algas.

No obstante, varios de estos metales como los que poseen un peso molecular muy alto, cuando sus concentraciones son muy elevadas pueden resultar perjudiciales para los organismos.

En cuanto a los resultados de los metales que se encuentran contemplados en el Decreto 1076 de 2015 como: Aluminio, Arsénico, Boro, Berilio, Cobalto, Cadmio, Cobre, Cromo Hexavalente, Litio, Plomo, Vanadio y Zinc, presentaron resultados inferiores al respectivo límite de detección en todas las estaciones de muestreo, lo que indica un cumplimiento con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, lo cual no genera restricciones con respecto al uso de las corrientes superficiales evaluadas.

En cuanto a hierro se encontraron valores entre 0,05 y 5,51 mg/, con un promedio de



0,96 mg/L (

Figura IV-10). El caño chaparrito (Petrobras) es el único que sobrepasa el límite estipulado para desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico (5,0mg/L) en dos monitoreos. En cuanto al artículo de preservación de flora y fauna del decreto 1076 de 2015 el cual establece 0.1CL, un 76% de los afluentes analizados lo incumple, sin embargo, es de resaltar que los altos niveles reportados son atribuidos al tipo de suelo y son aportados a los cuerpos de agua por lixiviación y en ningún caso son derivados de impactos de origen antrópico, esto se puede afirmar ya que el hierro está ampliamente distribuido en la corteza terrestre y ningún otro parámetro indica contaminación industrial.

En cuanto al bario, este reporto concentraciones entre 0,0085 y 1 mg/L, con un promedio de 0,1 mg/L, cumpliendo con el límite establecido para la desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico. Por otro el Rio Guafal y Caño Chaparrito superan el límite establecido del decreto 1076 de 2015 para la preservación de flora y fauna.

Las concentraciones de Selenio evaluadas en los cuerpos de agua afluentes al río Tua, se encontró que solo dos de los monitoreos realizados en el Caño Mirriba, superan los límites establecidos en el del decreto1076 de 2015, no siendo apta para la Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico, uso agrícola y afectando la preservación de flora y fauna.

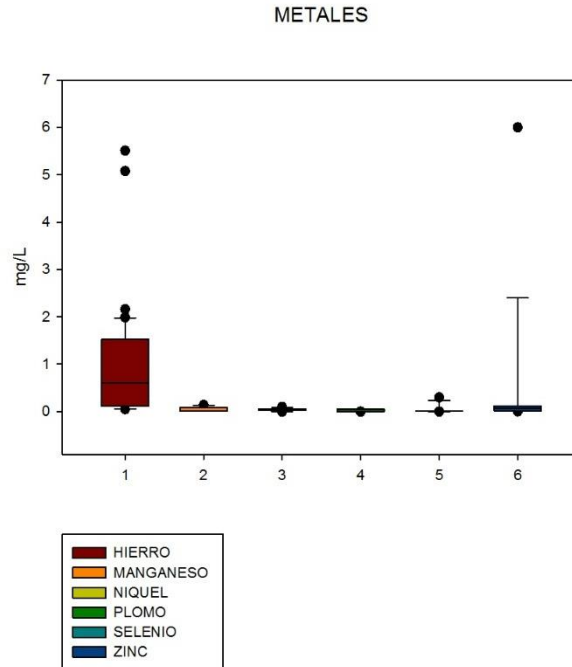


Figura IV-10 Metales evaluados en los afluentes al Río Tua.

Se define como un grupo de bacterias en forma de bacilo, pertenecientes a la familia Enterobacteriaceae, Gram negativas, aerobias y anaerobias facultativas, que no forman esporas, con capacidad de fermentar la lactosa y otros azúcares con producción de ácido y de gas a una temperatura entre 35 y 37°C durante un lapso de 24 a 48 horas. Los géneros pertenecientes al grupo Coliformes son *Escherichia*, *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. (González 2011).

En cuanto los coliformes totales evaluados, se encontró una gran variación entre 2 y 32000 NMP/100mL, con un promedio de 2715 NMP/100mL (**Figura IV-11**), en donde solo 3 puntos sobre el Río Guafal superan el límite establecido en el artículo 2.2.3.3.9.4. Potabilización solo Tratamiento Convencional (20000 NMP/100mL), además el río Guafal más un punto en el caño totumo superan el límite establecido en el artículo 2.2.3.3.9.6. Criterios de calidad para uso pecuario (5000 NMP/100ml). En cuanto al Art 2.2.3.3.9.7 (Criterios de calidad para fines recreativos mediante contacto primario) que establece como límite 1000 NMP/100mL, este es superado por los afluentes Río Guafal, Caño Totumo, Caño Orocuecito y Caño El Boral.

Los coliformes fecales fueron encontrados entre 1 y 16000 NMP/100mL, con un promedio de 543 NMP/100mL (**Figura IV-11**). Teniendo en cuenta el Art. 2.2.3.3.9.4. (Potabilización solo Tratamiento Convencional), el cual establece como 2000 NMP/100mL como límite, el río Guafal incumple dicho límite, además de superar también el límite en el a Art 2.2.3.3.9.6 (Uso agrícola). En el art 2.2.3.3.9.7 (Fines Recreativos Contacto Primario) este límite es superado por los afluentes: Río Guafal, Caño Orocuecito y caño mirriba, dado que el límite establecido es de 200NMP/100mL.

La presencia de coliformes en aguas superficiales, puede ser indicador de contaminación proveniente de excretas humanas, de animales o por erosión de los suelos.

COLIFORMES TOTALES Y FECALES

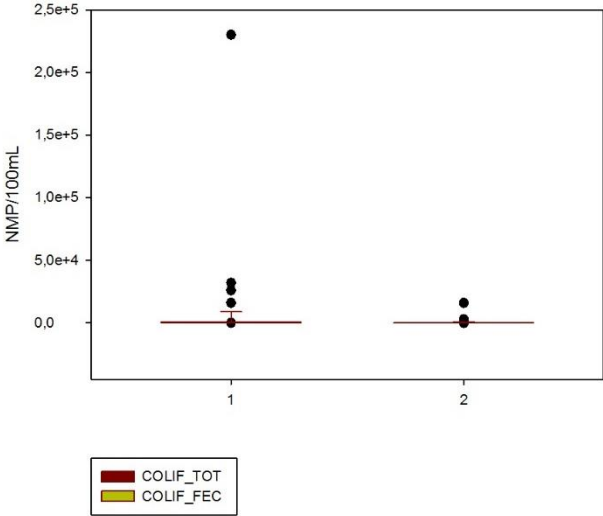


Figura IV-11 Coliformes totales y fecales obtenidos en los afluentes al río Tua.

1.17.2 Subzona hidrográfica río Tua

El pH en los sitios evaluados sobre el río Tua oscilo entre 5,53 y 7,8 cumpliendo con lo e del establecido en el Decreto 1076 del 2015 (**Figura IV-12**), el cual solicita un valor que oscile entre 4-5 y 9 unidades de pH para que el recurso pueda ser utilizado en diversas actividades.

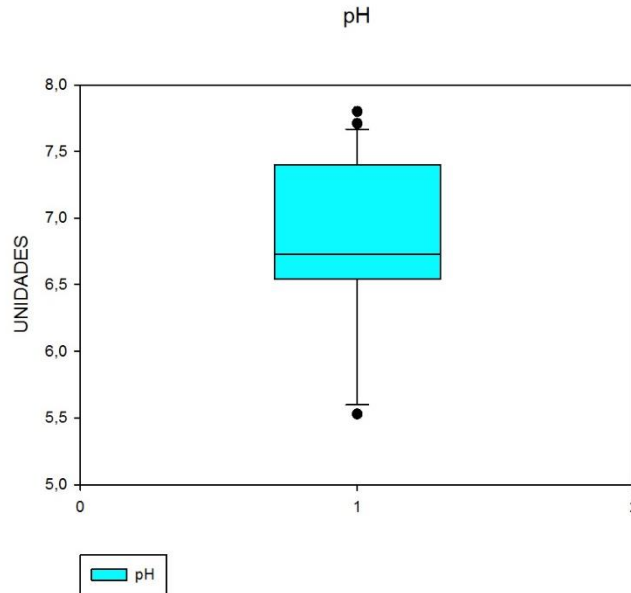


Figura IV-12 Variación del pH en la subzona hidrográfica río Tua

El oxígeno disuelto en la subzona hidrográfica río Tua, presento concentraciones entre 5,2 y 8,53 mg/L con un promedio de 7,1 mg/L (Figura IV-13), cumpliendo decreto 1076/15, siendo óptimo para la preservación de flora y fauna. El cual establece un valor mínimo de 4, mg/L, presentando condiciones óptimas para el establecimiento de la hidrobiota.

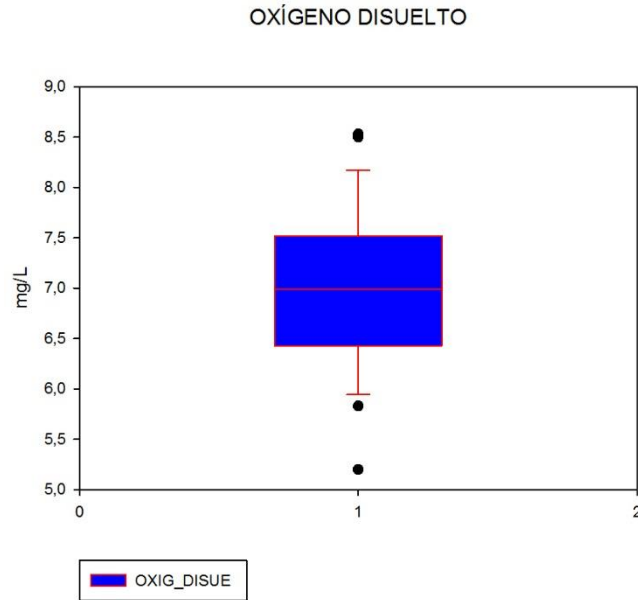


Figura IV-13 Oxígeno disuelto en la subzona hidrográfica río Tua

La demanda biológica de oxígeno en la subzona hidrográfica río Tua reporto valores entre 2 y 37 mg/L, con un promedio de 11,5 mg/L (Figura IV-14), se consideran concentraciones altas de DBO_5 para aguas superficiales cuando los valores son superiores a 8 mg/L (Marín, 2009).

Por otro lado, la demanda química de oxígeno presentó concentraciones entre 10 y 68 mg/L, con un promedio de 22,3 mg/L, siendo un comportamiento similar al obtenido con la DBO_5 .

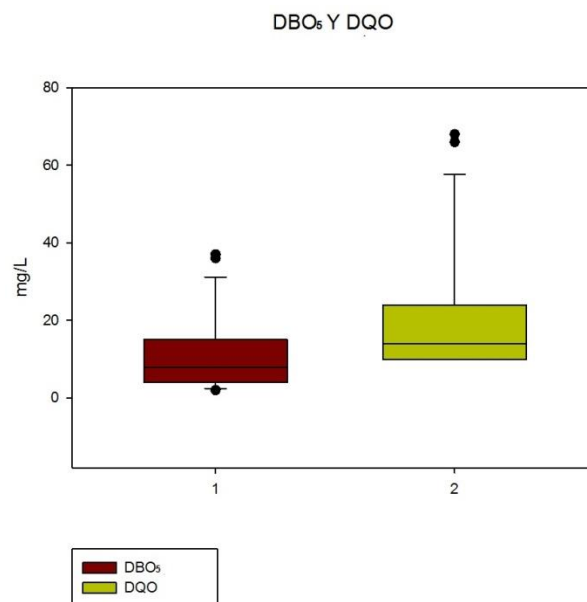


Figura IV-14 BOD₅ y DQO obtenido en la subzona hidrográfica río Tua

Los compuestos nitrogenados en las aguas superficiales han mostrado un incremento lento pero inexorable, y sin perspectivas de estabilización, por tal motivo el contenido de nitratos y nitritos en las aguas superficiales se relaciona con el desarrollo de la ganadería, una fertilización excesiva de las zonas agrícolas por los abonos, los distintos excrementos y abonos, o incluso los fangos de plantas de tratamiento. (Rodier 2009).

Los sitios evaluados sobre el río Tua mostraron que los compuestos nitrogenados como nitratos presentaron en los siguientes sitios (*Locación Max- bloque Llanos 34-río Tua aguas abajo del puente y Locación Max- bloque Llanos 34-río Tua aguas arriba del puente – Corregimiento Caribayona*) valores por encima de lo estipulado en la normatividad ambiental vigente ya que superaba los 10 mg/L que es el límite existente en el Decreto 1076 del 2015 (Figura IV.1). Teniendo en cuenta lo anterior es posible indicar que esto se puede deber a las condiciones del cuerpo de agua.

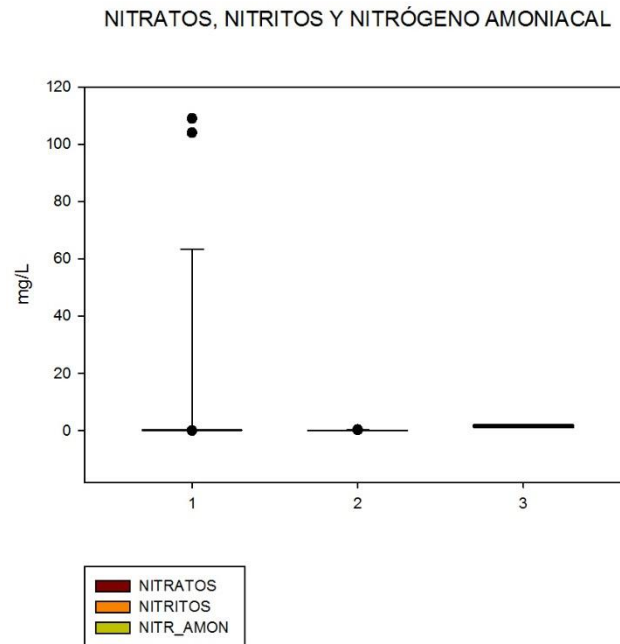


Figura IV-15 Variación de los nitratos, nitritos y nitrógeno amoniacal en las aguas superficiales del río Tua.

El color en el agua se debe principalmente por la presencia de hierro y manganeso coloidal o en solución; el contacto del agua con desechos orgánicos, hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia de taninos, ácido húmico y algunos residuos industriales. El color natural en el agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} .

Dos tipos de color se reconocen en el agua: el color verdadero, o sea el color de la muestra una vez que se ha removido su turbidez, y el color aparente, que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales sino también el color debido al material suspendido (Romero 2009).

Los puntos evaluados sobre el río Tua muestran que para parámetro el color es posible identificar como en los sitios (*Aguas abajo río Tua 50m punto captación, Aguas arriba río Tua 50m punto captación, 50m Aguas arriba río Tua, 50m Aguas abajo río Tua, Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Abajo y Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Arriba*) sobrepasan los 75 UPC que señala la normatividad ambiental vigente Decreto 1076 del 2015 (**Figura IV-16**), esto se debe a las condiciones propias del cuerpo de agua, ya que por ser un cuerpo de agua con bastantes tributarios el arrastre de material es elevado.

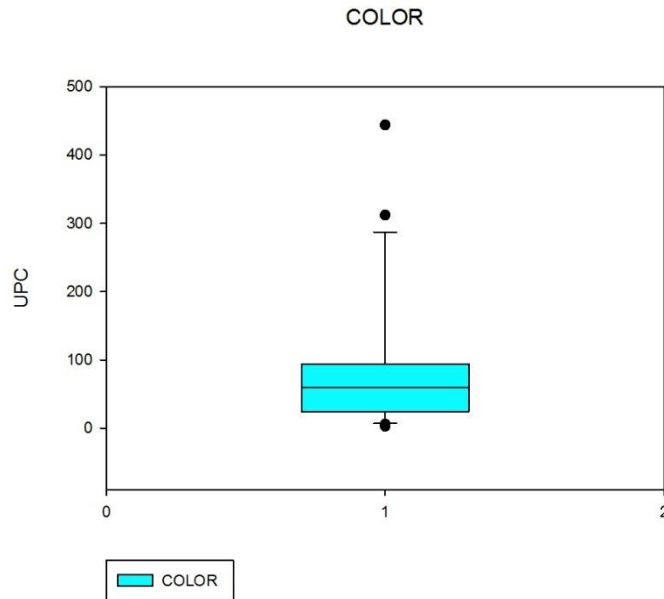


Figura IV-16 Variación del color en las aguas superficiales del río Tua.

En cuanto a los metales que se encuentran contemplados dentro del decreto 1076/15, tales como: arsénico, berilio, boro, cadmio, hierro, manganeso, plomo, selenio, vanadio y zinc, presentaron concentraciones inferiores a las establecidas en este decreto.

En cuanto al bario evaluado en el Río Tua, presentó concentraciones entre 0,01 y 31 mg/L, con un promedio de 2,9 mg/L (**Figura IV-17**). Al comparar con el Art. 2.2.3.3.9.4. Potabilización solo Tratamiento Convencional (1,0 mg/L), se evidencia que incumple en 4 estaciones, de las cuales 2 son aguas arriba y 2 aguas abajo de las locaciones. En cuanto al Art 2.2.3.3.9.10. - Preservación de Flora y Fauna (0,1 CL) se encontró que además de los 4 puntos anteriores, se suman otros dos que también incumplen, cumpliendo la misma condición que la anterior, siendo resultados del mismo día de monitoreo, divididos en 3 puntos aguas arriba y 3 aguas abajo, descartando contaminación por estas locaciones.

Por otro lado, las concentraciones de aluminio evaluadas en la subzona hidrográfica el río Tua, oscilaron entre 0,05 y 241 mg/L con un promedio de 22,1 mg/L (**Figura IV-17**), al compararlas con los Art. 2.2.3.3.9.4. (Potabilización solo Tratamiento Convencional) y Art 2.2.3.3.9.6 (Uso pecuario) los cuales estipulan un límite de 5,0 mg/L, dando como resultado el incumplimiento en 4 resultados, de los cuales 2 son aguas arriba y 2 aguas abajo de las locaciones, donde se evidencia que el día de la toma aguas arriba coincide con el día aguas abajo, descartando contaminación por estas locaciones.

Las concentraciones de Cromo en la subzona hidrográfica del río Tua reportaron concentraciones entre 0,007 y 0,15 mg/L con un promedio de 0,06 mg/L, cabe aclarar que para el cromo no se han establecido límites en la normatividad ambiental.

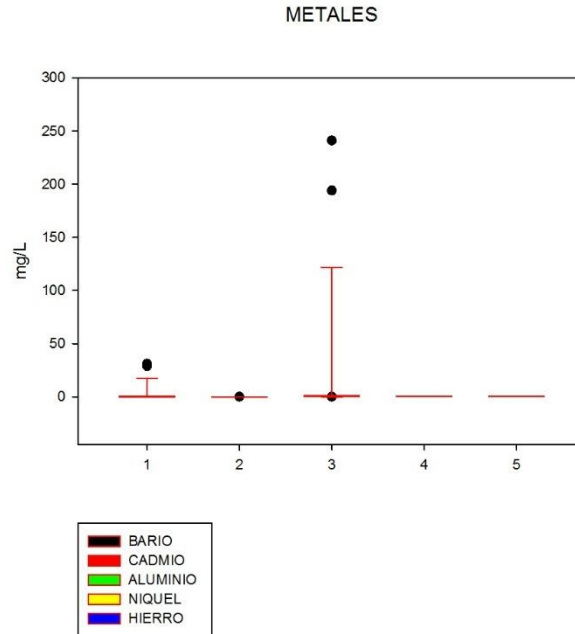


Figura IV-17 Metales evaluados en la subzona hidrográfica río Tua.

En el tema bacteriológico al cuantificar los coliformes totales y fecales en diferentes puntos del río Tua, es posible observar que los siguientes sitios no cumplen con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015 para fines recreativos (50 M Aguas Arriba río Tua, 50 M Aguas Abajo río Tua, Locación Max- Bloque Llanos 34-río Tua 50m Aguas arriba) ya que superan 2000 NMP/100ml; mientras que los siguientes sitios (Río Tua Aguas Arriba Captación y Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Abajo) no cumplen para fines recreativos y uso agrícola por superar los 5000 NMP/100ml. Por último los siguientes sitios evaluados (Río Tua Aguas Arriba punto de Captación, Bloque Lla-34, Río Tua Aguas Abajo punto de Capitación, Bloque Lla-34, Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Abajo Captación, Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Arriba Captación, Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Abajo y Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Arriba) presentan concentraciones por encima de 20000 NMP/100ml (**Figura 4-18**) indicando que el agua allí presente no puede ser ingerida por el ser humano sin un tratamiento convencional. Lo anterior indica que la cantidad de microorganismos presente en el agua del río Tua limita su uso en actividades recreativas, agrícolas y para consumo humano.

Por otro lado los coliformes fecales cuantificados sobre el río Tua, indican que el agua debe ser tratada por un tratamiento convencional para ser usada en actividades domésticas puesto que la mayoría de los sitios evaluados supera el límite establecido de 2000 NMP/100ml en el Decreto 1076 del 2015, además no mostró una variación elevada

en su población microbiana (**Figura 4-18**), es importante indicar que esta cantidad de microorganismos presentes en el agua se debe muchos factores, en donde radica el hecho de ser un cuerpo de agua que es alimentado por varios afluentes.

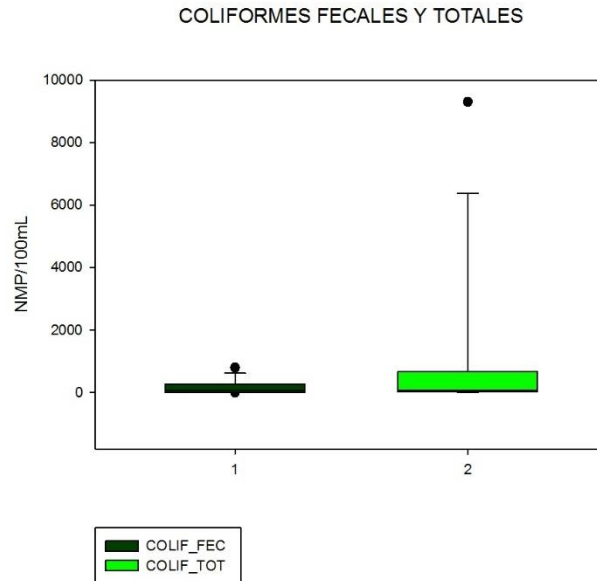


Figura IV-18 Variación de los coliformes totales y fecales en las aguas superficiales del río Tua.

La normatividad ambiental existente para salvaguardar el recurso hídrico (agua subterránea y superficial) no posee las características suficientes para evaluar las actividades que se desarrollan en la exploración y explotación de hidrocarburos, ya que algunas sustancias que están relacionadas (aceites y grasas e hidrocarburos) con la actividad no poseen límite en la norma, y pueden causar efectos negativos en el agua superficial, al ser una sustancia toxica mediante la ingestión o absorción a través de las estructuras de la piel que poseen los diferentes organismos; o al generar un revestimiento o asfixia, que afecta el intercambio de gases, regulación de la temperatura y el agotamiento del oxígeno por procesos microbianos dentro de la columna de agua (Mendelssohn et al., 2012).

1.18 Suelos.

El recurso suelo analizado dentro de la evaluación hecha en la subzona hidrográfica del río Tua, está compuesto por los cortes de perforación y el suelo de un campo de aspersión de aguas residuales, en este caso los cortes de perforación son los fragmentos de roca que se obtienen del proceso de perforación, constituido por minerales de las formaciones perforadas, entre otros como arcillas, cuarzos, feldespatos, carbonatos y otros compuestos calcáreos y de sílice que están impregnados con fluidos de perforación que hace de estos una mezcla con tendencia acida (Méndez et al., 2013), antes de ser dispuestos de manera final estos cortes son estabilizados mediante el uso de CAL para nivelar el pH y lograr una deshidratación de este material, para ser dispuestos en piscinas cubiertas con geomembranas para evitar la filtración de líquidos en la zona de disposición final.

Al evaluar el pH del suelo, el cual es una forma de expresar la concentración del ion hidrogeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrogeno (H^+). En general se usa para expresar la intensidad de la condición acida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. (Romero 2009). Con base en lo anterior podemos observar que el proceso de estabilización de pH no fue el adecuado, ya que solo uno (Plataforma Max - Pozo Agami zona de corte) de los sitios evaluados presentó un valor dentro de lo estipulado en el Protocolo de Louisiana 29 B (capitulo 5), ya que allí es posible observar que para los residuos sólidos producto de actividades de exploración de hidrocarburos deben oscilar en un rango de 6,5 – 9 (capitulo 5), por tal motivo es importante indicar que no hubo una dosificación adecuada de la CAL, ya que el promedio de los valores registrados fue de 10,13 unidades de pH. Mientras que los suelos analizados del bloque Balay, sitio donde se tiene autorizado la aspersión las aguas residuales el pH no supero el valor de 5,96 unidades de pH (**Figura IV-19**).

Lo anterior puede indicar que el agua residual que se vierte mediante la aspersión no tiene las características adecuadas para ser allí depositada, motivo por el cual el suelo ya ha empezado a cambiar su composición química.

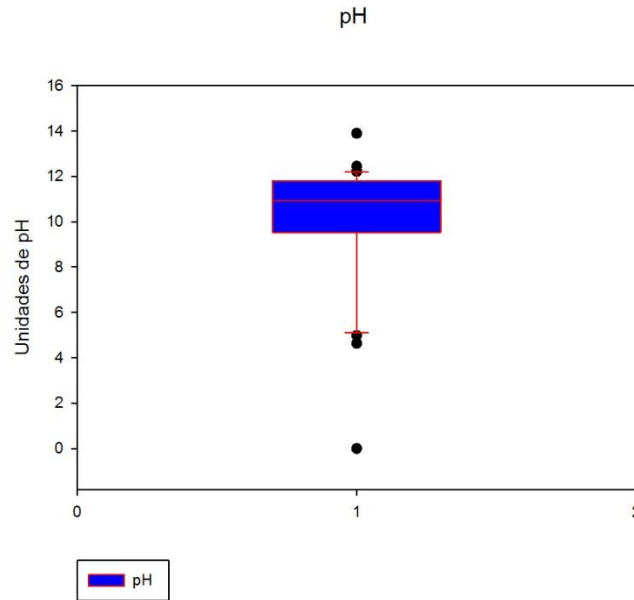


Figura IV-19 Variación del pH en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua

La conductividad en una solución es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en ella y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por tanto, cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (Romero 2009). En los datos evaluados es posible observar cómo el proceso de estabilización no logró su objetivo en los cortes de perforación del bloque Cabretero, ya que todos estuvieron por encima de 10000 mmhos/cm límite exigido por el Protocolo de Louisiana 29 B (capítulo 5).

Los demás valores oscilaron entre 0,68 y 7810 mmhos/cm (**Figura IV-20**), lo cual puede indicar que la cantidad de CAL aplicada en los cortes de perforación de los otros bloques estuvo adecuada para minimizar la cantidad de minerales que componen los cortes de perforación.

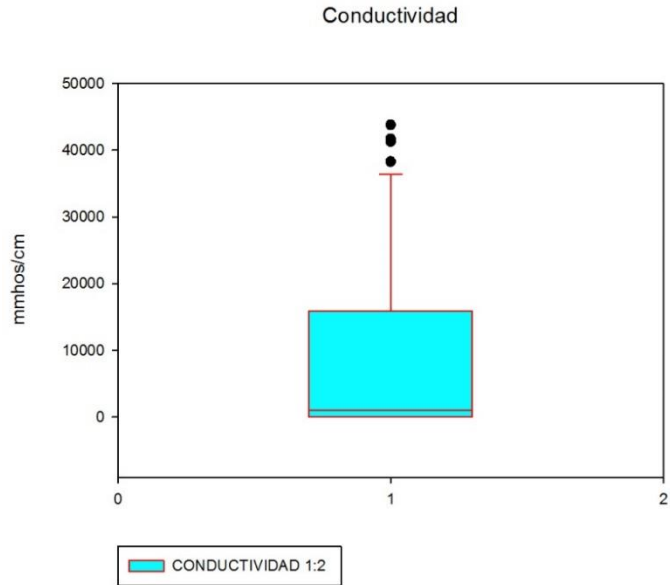


Figura IV-20 Variación de la conductividad en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua

Dentro de los metales pesados evaluados en las muestras de suelos es posible indicar que la gran mayoría de metales presentó una concentración baja o menor al límite de detección del método utilizado para su medición, motivo por el cual cumple con lo estipulado en la normatividad vigente, situación diferente ocurrió con el arsénico en los cortes de perforación del bloque Cabrestero excede lo establecido en el Protocolo de Louisiana 29 B (capítulo 5), ya que los valores obtenidos allí oscilaron entre 245 y 1832 (Figura IV-21) ppm, ya que lo estipulado en la normatividad es 10 ppm.

Por el lado del campo de aspersión es posible indicar que presentaron valores bajos que indican que el agua vertida no posee trazas de este metal pesado

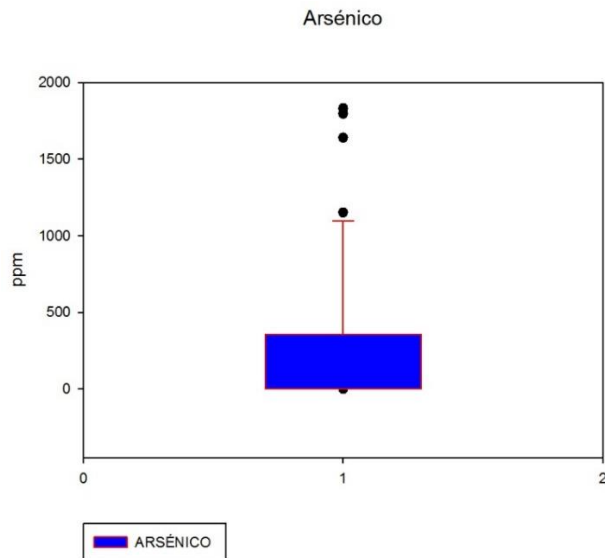
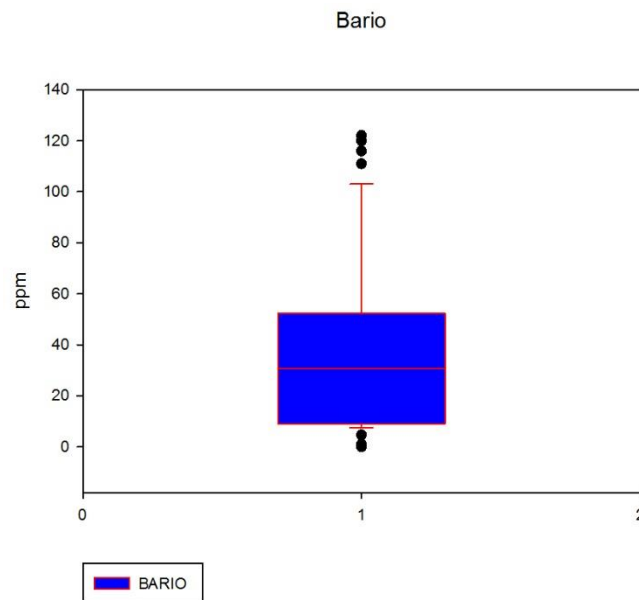


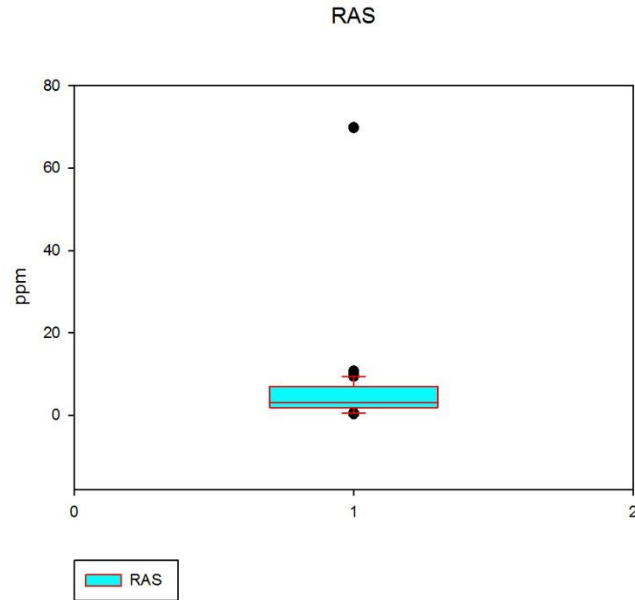
Figura IV-21 Variación del Arsénico en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río Tua

Otro de los metales que presentó un incumplimiento a lo establecido en el protocolo de Louisiana 29 B (capítulo 5) es el Bario, el cual presentó una concentración promedio de 37,39 ppm, en donde los cortes de perforación evaluados presentaron los valores más elevados (**Figura IV-22**).



**Figura IV-22 Variación del Bario en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río
Tua**

Por último, el peligro de la sodificación de una solución o índice de sodio se mide por la relación de adsorción de sodio (RAS). Es así como sí el contenido de sodio es alto, comparado con el contenido de calcio y magnesio, el sodio es adsorbido por el suelo reemplazando estos cationes. Como el contenido de sodio intercambiable aumenta, por la razón anterior, el suelo se hace más sódico y desarrollan condiciones físicas y químicas adversas que limitan o impiden el crecimiento de las plantas. Los suelos sódicos se caracterizan, entonces, por un exceso de sodio intercambiable y por una baja permeabilidad. (Romero 2009). Con relación a lo anterior es posible ver como los cortes de perforación al momento de ser dispuestos por lo menos no tienen la posibilidad de poseer características sódicas y terminar generando un problema para las comunidades donde se desarrolló la actividad de exploración de hidrocarburos (**Figura 4-23**).



**Figura IV-23 Variación del RAS en los suelos adyacentes a la subzona hidrográfica del río
Tua**

Teniendo en cuenta las condiciones de los suelos analizados y las sustancias potencialmente contaminantes que son de interés al realizar la exploración y explotación de hidrocarburos, pero al revisar la norma que solicita la ANLA como base de cumplimiento es extranjera (Protocolo de Louisiana 29B), es necesario generar una norma de carácter nacional que pueda garantizar la protección en actividades de exploración y explotación de hidrocarburos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las aguas subterráneas adyacentes a la subzona hidrográfica presentaron concentraciones menores al límite de detección del método para fenoles, grasas y aceites, hidrocarburos totales, Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP's) y metales pesados (arsénico, bario, berilio, cadmio, plomo y selenio), por tal motivo se puede indicar que las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos que se realizó en la zona no generaron afectación alguna.

Los cloruros en los siguientes sitios (Finca El Algarrobo Aljibe, Finca La Cimarrona Aljibe, Finca El Fical, Finca El Cristal y Finca Buenos Aires 2) la concentración supero los límites establecidos por la normatividad vigente Decreto 1076 del 2015, el cual indica que la concentración límite debe ser de 250 mg/L, por tal motivo las comunidades que habitan estos sitios deben abstenerse de consumir sin previo tratamiento convencional el agua subterránea.

La materia orgánica representada por DBO_5 y DQO presente en las aguas subterráneas, la cual puede estar relacionada con la presencia de trazas de vertimientos de aguas residuales de origen doméstico o no doméstico fue baja, y puede considerarse propia del tipo de agua.

En el caso de metales no pesados es importante indicar que el hierro en las evaluaciones realizadas la Finca El Algarrobo Aljibe, Finca La Palmita pozo profundo, Finca Buenos Aires 2 y Finca El Triángulo no superaron la concentración límite estipulada en la normatividad vigente, mientras que los demás sitios evaluados presentaron concentraciones que excedieron los 5 mg/L, por tal motivo el agua no puede ser utilizada de manera directa en actividades agrícolas, ya que puede generar un daño considerable en los cultivos que sean regados con esta agua, hasta el punto de empezar a generar una bioacumulación en el suelo de este metal, adicionalmente como lo indica (Rodier 2009) la OMS recomienda tratar el agua mediante un proceso fisicoquímico para evitar complicaciones en la salud de quienes están expuestos a esta.

Por último la turbiedad en los siguientes sitios (Locación Tua Bloque Lla-34 Salida pozo profundo, Locación Max Bloque Lla-34 Salida pozo profundo, Locación Tigana Bloque Lla-34 Salida planta de potabilización, Pozo Tigana Sur 1, Salida pozo profundo, Salida pozo profundo Locación Taro) no excedieron lo establecido en la normatividad ambiental vigente, la cual señala como valor máximo permisible 10 UJT, por tal motivo el agua de los demás sitios evaluados debe ser tratada para que sea consumida por el ser humano.

Finalmente, es importante indicar que las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos que se ha desarrollado en la subzona hidrográfica del río Tua para el caso de las aguas subterráneas, no posee una linealidad en el requerimiento ambiental ya que no todos los sitios evaluados tienen una frecuencia de monitoreo según el proyecto realizado.

El oxígeno disuelto medido en los cuerpos de agua de los afluentes al río Tua, en su mayoría cumplen con el límite establecido en el Art 2.2.3.3.9.10 Preservación de Flora y Fauna, a excepción de los Nacederos y el caño NN.

El pH en los cuerpos de agua afluentes al río Tua, se encontró que todos los cumplen con los límites establecidos en los Art. 2.2.3.3.9.4 (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), Art 2.2.3.3.9.5 (Uso agrícola), Art 2.2.3.3.9.6 (Uso pecuario), Art 2.2.3.3.9.7 (Fines Recreativos Contacto Primario), Art 2.2.3.3.9.8 (Fines Recreativos Contacto Secundario) y Art 2.2.3.3.9.10 (Preservación de Flora y Fauna) del decreto 1076 de 2015.

En cuanto a las concentraciones reportadas de grasas aceites e hidrocarburos, la mayoría de los valores estaban asociados al límite de detección de la técnica analítica empleada para su análisis, descartando algún tipo de contaminación por estos compuestos orgánicos.

En los cuerpos de agua afluentes, en el análisis de los metales: Aluminio, Arsénico, Boro, Berilio, Cobalto, Cadmio, Cobre Cromo Hexavalente, Litio, Plomo, Vanadio y Zinc, cumplen con los límites establecidos en el decreto 1076 de 2015. Por otro lado, el bario, selenio y hierro se encontraron en algunos cuerpos de agua superando las concentraciones establecidas en los artículos 2.2.3.3.9.4 (Desinfección y criterios de calidad para consumo humano y doméstico), 2.2.3.3.9.5 (Uso agrícola) y 2.2.3.3.9.10 (Preservación de flora y fauna) del presente decreto.

Los afluentes Río Guafal, Caño Totumo, Caño Orocuecito y Caño El Boral superan las concentraciones de coliformes totales en el artículo 2.2.3.3.9.6 (Uso pecuario) y Río Guafal, Caño Orocuecito y caño mirriba superan el límite establecido en el decreto 1076 de 2015 (Fines Recreativos Contacto Primario), siendo estos artículos los más estrictos para los coliformes.

El agua del río Tua mostró la existencia de compuestos nitrogenados, en los siguientes sitios Locación Max- bloque Llanos 34-río Tua aguas abajo del puente y Locación Max- bloque Llanos 34-río Tua aguas arriba del puente – Corregimiento Caribayona del 2015.

El oxígeno de las muestras evaluadas en el río, mostro condiciones óptimas para la degradación de materia orgánica y el establecimiento de la hidrobiota, además cumpliendo con la normatividad ambiental

El color cuantificado para este recurso en algunos sitios supero los 75 UPC que tiene como límite la normatividad ambiental vigente, por tal motivo era de suma importancia realizar un tratamiento convencional sí las comunidades aledañas iban a usar este recurso en actividades domésticas, ya que fueron los siguientes sitios los que no presentaron dicho cumplimiento Aguas abajo río Tua 50m punto captación, Aguas arriba río Tua 50m punto captación, 50m Aguas arriba río Tua, 50m Aguas abajo río Tua, Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Abajo y Locación Max- Bloque Llanos 34-Río Tua Aguas Arriba.

Es importante hacer énfasis que es necesario articular una serie de metodologías para verificar el efecto o daño que realizan las actividades de exploración y explotación de hidrocarburos, ya que no todos los sitios evaluados cuantificaban la misma cantidad de sustancias de interés sanitario, por tal motivo en algunos sitios no se analizaron ciertos compuestos que son de importancia como es el caso de los metales pesados.

De los metales evaluados en el río Tua, se comprobó que las concentraciones de: arsénico, berilio, boro, cadmio, hierro, manganeso, plomo, selenio, vanadio y zinc

cumplen con la normatividad ambiental, a diferencia del bario y el aluminio en donde en algunas muestras de este río las concentraciones superaron los límites establecidos por la normatividad, pero se evidenció que el día de la toma aguas arriba coincide con el día aguas abajo, se descarta contaminación por estas locaciones, además que algunos de estos parámetros también superan los límites en los cuerpos de agua afluentes al río.

En el tema bacteriológico es importante indicar que debido a las condiciones propias del cuerpo de agua es necesario hacer tratamiento convencional si las comunidades aledañas a este lo usan en actividades domésticas.

Los suelos analizados en la subzona hidrográfica del río Tuá muestran que los cortes de perforación dispuestos en piscinas no fueron estabilizados de una manera adecuada, ya que el promedio del pH en las muestras analizadas fue de 10,13 unidades de pH, excediendo lo estipulado en el Protocolo de Louisiana 29 B (capítulo 5).

Los cortes de perforación del bloque Cabrestero mostraron una conductividad por encima de 10000 mmhos/cm límite exigido por el Protocolo de Louisiana 29 B (capítulo 5), esto se debe posiblemente a la cantidad de CAL utilizada en el proceso de estabilización del residuo obtenido en las actividades de perforación.

Los metales pesados evaluados en las muestras de suelo como lo son cortes de perforación y el suelo del campo de aspersión del bloque Balay presentaron una concentración baja o menor al límite de detección del método utilizado para su medición, motivo por el cual cumple con lo estipulado en la normatividad vigente, mientras que el arsénico y bario en los cortes de perforación del bloque Cabrestero excede lo establecido en el Protocolo de Louisiana 29 B (capítulo 5), lo cual obedece principalmente al proceso de estabilización de dichos cortes antes de ser dispuestos.

Con relación a la posibilidad de que el suelo adquiera una condición sódica y generar problemas para la producción agrícola o pecuaria de la zona de influencia la subzona hidrográfica del río Tuá, se analizó la relación de adsorción de sodio (RAS), lo cual indicó que estos suelos no tienen características sódicas, ya que el valor cuantificado fue menor a 12 en todos los sitios evaluados, cumpliendo con el Protocolo de Louisiana 29 B (capítulo 5).

Es importante indicar que dentro de la legislación colombiana no existe una norma que reglamente los residuos generados en la exploración de hidrocarburos, ya que el Decreto 4741 del 2015 no establece como residuo peligroso este tipo de elementos.

VI. BIBLIOGRAFIA

Adams, R., Zavala-Cruz, J. & Morales-García, F. (2008). Concentración residual de hidrocarburos en el suelo del trópico. II: Afectación a la fertilidad y su recuperación. 33, 483-48.

Agencia Internacional de Energía. (2010). Key World Energy Statistics 2010. Paris, Francia.

Agencia Internacional de Energía: IEA (2018). Inversiones de Energía a Nivel Mundial 2018. Tomado del website de IEA, en Abril 8, 2019: <https://webstore.iea.org/world-energy-investment-2018>

Agencia nacional de hidrocarburos. 2017. Historia del petróleo en Colombia. Recuperado de <http://www.anh.gov.co/portalregionalizacion/Paginas/Historia-del-petroleo-en-Colombia.aspx>

Agnello, A. C., Bagard, M., VanHullebusch, E.D., Esposito, G. & Huguenot, D. (2016). Comparative bioremediation of heavy and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. *Science of the Total Environment*.563-564, 693-703.

Beita-Sandí, W; Barahona-Palomo, M. (2011) Fisico-química de las aguas superficiales de la Cuenca del río Rincón, Península de Osa, Costa Rica.2011, 2(2), 157-179

Benavides, L., Quintero, G., Guevara, A.L., Jaimes, A., Gutiérrez, S.M. & García, J. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *NOVA Publicación científica*. Vol.4 No. 5.

Boischio; A; Henshel, D. (1996) Risk assessment of mercury exposure through fish consumption by the riverside people in the Madeira Basin, Amazon, 1991. *Neurotoxicology*; 17 (1): 169-175.

Boffetta, P; Jourenkova, N; Gustavsson P. (1997) Cancer risk from occupational and environmental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Cancer Causes Control*; 8: 444-472.

Bonassi, S; Merlo, F; Pearce, N; Puntoni R. (1989) Bladder cancer and occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *International Journal of Cancer*; 44: 648-651.

Calao, E. (2007). Caracterización Ambiental de la Industria Petrolera: Tecnologías Disponibles para la Prevención y Mitigación de Impactos Ambientales. Universidad Nacional De Colombia Sede Medellín

Centro de Derechos Económicos y Sociales (CDES). 1994. Violaciones de derechos en la Amazonía Ecuatoriana. *Humano y Ambiente* 30. Abya-Yala, Quito

Censat agua viva. (2001). Impacto ambiental de la industria petrolera: la sísmica.

Censat agua VIVA. (2002). Impacto ambiental de la industria petrolera: La perforación

Censat agua viva, (2013). Impacto ambiental de la industria petrolera. República de Colombia. Bogotá D.C

Chan, J. G., Ochoa, S. & Pérez, I. (2012). Germinación y sobrevivencia de especies arbóreas que crecen en suelo contaminados por hidrocarburos. Universidad de Quintana Roo unidad Cozumel. Teoría y Praxis. 102-119.

Colombia. (2010). Plan Nacional de Desarrollo, Departamento Nacional de Planeación, Bogotá.

Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2002). 3177- Acciones prioritarias y lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales.

Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA. (2008). Qué era el INDERENA. Medellín, Antioquia.

Departamento Nacional de Planeación. República de Colombia. Bogotá D.C. p. 6
Ministerio de Ambiente y desarrollo sostenible. (2011) Decreto 3573. República de Colombia. Bogotá D.C.

Delgado G., (2012). Extractivismo minero, conflicto y resistencia social. Realidad económica, Vol 265 60-84 p

Everall, J; Dowd, P. (1978) Influence of environmental factors excluding ultra violet radiation on B IBLIOGRAFÍA 89 the incidence of skin cancer. Bulletin of Cancer; 65: 241-247.

Ecopetrol. (2014). Contrato de la Concesión de Mares. Recuperado de <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/publicaciones/otras-publicaciones/cronica-de-la-concesion-de-mares/contrato-de-la-concesion-de-mares>

Ecopetrol. (2018). Ecopetrol atiende contingencia en predio contiguo a pozo en campo Lisama. Recuperado de https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/sala-de-prensa/boletines-de-prensa/boletines-2018/boletines-2018/ecopetrol-atiende-contingencia-campo-lisama!/ut/p/z0/jY9NDwExEIZ_i8Mem3ZXyDoKsUJEcKEXGWus0p12t_X173UdxEHE8ZmPZ97hkq-5JLiqArwyBDrwRna3vXmcZeOVmGbjUSoW2Wo4aQ-WcdLp8AmXvweCQZ2qSva5zA15vHu-xtxY9LXRW3SReFMk6ILO18CwtDU6ilQDDWyPLCA1vDMavSJ034uJiNNIvO6Q_zCz8A9SWGlaigqkXAHLobSGaeWghCZnUs8Gs4JLC_7IFB3MR9I_DPYsd49bv_UHqAPgg!!/

Elosegui, A; Pozo, J. (1994). Variaciones nictemerales de las características físico-químicas de un río cantábrico. Limnética, 10 (2): 15-25

Galvis, G., Mojica, J. I., Provenzano, F., Lasso, C., Taphorn, D., Royero, R., ... & Cipamocha, C. (2007). Peces de la Orinoquia colombiana con énfasis en especies de

interés ornamental. Instituto Colombiano de Desarrollo Rural (INCODER) y Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

García, M; Sánchez, F; Marín, R; Guzmán, H; Verdugo, N; Domínguez, E; Vargas, O; Panizzo, L; Sánchez, N; Gómez, J; Cortez, G. (2001). El Agua En: El medio ambiente en Colombia, Bogotá. 168p

Greenpeace. (2007). Los Impactos Ambientales de la Exploración Petrolera en Ecosistemas Sensibles” Bravo Elizabeth.

Greenpeace. (2015). Impactos ambientales del petróleo. Recuperado de http://www.greenpeace.org/mexico/global/mexico/report/2012/1/impactos_ambientales_petroleo.pdf

González, A; Hernández, J; Valcárcel, Y; Hernández-Barrera V, Gil de Miguel A. (2010). Contaminación del agua en fuentes cercanas a campos petrolíferos de Bolivia. Rev Panam Salud Publica. 28(4):235–4

González, N., Simarro, R., Molina, M.C., Bautista, L. F., Delgado, L. & Villa, J. A. (2011). Effect of surfactants on PAH biodegradation by a bacterial consortium and on the dynamics of the bacterial community during the process. Bioresource Technology. 102, 9438-9446.

Gualdrón, L. 2016. Evaluación de la calidad de agua de ríos de Colombia usando parámetros físicoquímicos y biológicos. Línea de investigación: Saneamiento ambiental. Universidad Libre de Colombia. .Revista dinámica ambiental. Bogota D.C.

Harter, B; Motis, T. (2016). Conociendo los suelos afectados por sales. Echocommunity. Recuperado de <https://www.echocommunity.org/es/resources/114701c3-3d54-487d-a0c4-439e10051676>

Heinberg, R (2003). The Party's Over. Oil, war and the fate of industrial societies. New Society Publishers. Canadá.

Hellou, J; Upshall, C; Payne, J; Hodson, P. (1994) Polycyclic aromatic compounds in cod (Gadus morhua) from the Northwest Atlantic and St. Lawrence Estuary. Science and Total Environment; 145 (1-2): 71-79.

Huiracocha, J. (2008). Evaluación del riesgo toxicológico por cadmio y plomo en granos de arroz (Oryza sativa) comercializados en la ciudad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador. 109p

IARC. (1989). IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man: occupational exposures to petroleum refining; crude oil and major petroleum fuels. Volume 45. IARC, Lyon.

IDEAM. (2013) zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, Bogotá, D. C., Colombia. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM, Bogotá, D. C., Colombia.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. (1985). Inventario de Cuencas Hidrográficas en Colombia. III Congreso de cuencas hidrográficas en Cali-Bogotá.

Insusty, L; Burbano, H; Menjivar, J. (2008). Dinámica del cadmio en suelos cultivados con papa en Nariño Colombia. *Acta agronómica* Vol 57 (1) p 51 – 54

Jiménez, D. L. (2006). Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de Ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.

Kido T, Nogawa K, Honda R, Tsuritani I, Ishizaki M, Yamada Y, Nakagawa H. (1990). The association between renal dysfunction and osteopenia in environmental cadmium-exposed subjects. *Environmental Research*; 51 (1): 71-82.

Leighton, FA. (1986) Clinical, gross, and histological findings in herring gulls and Atlantic puffins that infested Prudhoe Bay crude oil. *Veterinary Pathology*; 23 (3): 254-263

Lockhart WL, Wagemann R, Tracey B, Sutherland D, Thomas DJ. (1992). Presence and implications of chemical contaminants in the fresh waters of the Canadian Arctic. *Science and Total Environment*; 122 (1-2): 165-245.

Londoño L., Londoño P., Muñoz F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Rev. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol 14 No. 2 (145-153)

Maldonado, E., Chávez-Rivera, M C., Izquierdo, F. & Palma, D. J. (2010). Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación de suelos con petróleo crudo nuevo e intemperizado. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 26(2):121-136.

Mastrangelo G, Fadda E, Marzia V. (1996). Polycyclic aromatic hydrocarbons and cancer in man. *Environmental Health Perspectives*; 104: 1166-1170.

Mendelssohn, I. A., Andersen, G.L., Baltz, D., Caffey, R., Carman, K., Fleeger, J, Joye, S. B., Lin, Q., Maltby, E., Overton, E. B. & Rozas, L. (2012). Oil Impacts on Coastal Wetlands: Implications for the Mississippi River Delta Ecosystem after the Deepwater Horizon Oil Spill. 62, 562-574.

Méndez R., Gómez P., Ledesma J., Ceniceros C., (2013). Manejo integral de los recortes de perforación de la industria petrolera en tabasco. *Rev. Iberoamericana de las ciencias biológicas y agropecuarias*. Vol. 2 (4) 1-20.

Ministerio de agricultura y Ministerio de salud (1984) Decreto 1594. República de Colombia. Bogotá D.C.

Ministerio del medio ambiente. (1993). Ley 99. Presidencia de la república de Colombia. Bogotá D.C

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Manual de seguimiento ambiental de proyectos: criterios y procedimientos. República de Colombia. Bogotá D.C

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2006) Resolución 627. República de Colombia, Bogotá D.C.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2007) Decreto 1323. República de Colombia. Bogotá D.C

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Minambiente destina \$31.488 millones para plantas de tratamiento de aguas residuales. Consulta realizada en Julio de 2007. Recuperado de Web: www.minambiente.gov.co/noticias_home_2006/marzo/140306_planta_tratamiento/planta_tratamiento.htm

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). Decreto 2820. República de Colombia. Bogotá D.C.

Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2010). Resolución 610. Republica de Colombia, Bogotá D.C.

Ministerio de Hacienda y crédito público y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. (2011). Decreto 3573. Bogotá D.C.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014). Decreto 2041. República de Colombia. Bogotá D.C.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014). Términos de referencia para la elaboración del estudio de impacto ambiental proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos. autoridad nacional de licencias ambientales. Bogotá DC.

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2015) Decreto 1076. República de Colombia. Bogotá D.C.

Montillier, J. (1983). Perforación, petróleo y agua. En Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, 3ª edición. Ginebra: OIT.

Nakagawa H, Tabata M, Morikawa Y, Senma M, Kitagawa Y, Kawano S, Kido T., (1990). High mortality and shortened lifespan in patients with itai-itai disease and subjects with suspected disease. Archives of Environmental Health; 45 (5): 283-287.

Narvaes, I. (2000). Aguas De Formación Y Derrames De Petróleo. Unidad de Protección Ambiental de PETROECUADOR

Environmental Quality Code (2009) Norm Louisiana 29B, Law 1333.

Oilwatch. (2007) Manual De Monitoreo Ambiental Para La Industria Petrolera.

Olin RG, Ahlbom A, Lindberg-Navier I, Norell SE, Spannare B. (1987) Occupational factors associated with astrocytomas: a case-control study. American Journal of Industrial Medicine; 11(6): 615-625.

OMM. (2012). Glosario hidrológico internacional. WMO No. 385

Pan BJ, Hong YJ, Chang GC, Wang MT, Cinkotai FF, Ko YC. (1994). Excess cancer mortality among children and adolescents in residential districts polluted by petrochemical manufacturing plants in Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health*; 43 (1): 117-129.

Peñuela Arévalo, Liliana & Carrillo Rivera Joel. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro y sur de la mesa central México. *Investigaciones geográficas* (81), 18-32.

Prieto, V; Martínez de Villa Pérez, A. (1999). La Contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*.

Retes Y., Vergara I., Torres O., Díaz M., González E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Rev. Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, Vol. 16 N° 2, Julio-diciembre 2016, pp. 66-7

Riveros, S. (1983). La Orinoquia Colombiana. Artículo del Boletín de la Sociedad geográfica de Colombia Número 118, Volumen 36

Rodier J. (2009). Análisis del agua. Ediciones Omega. Novena edición. Barcelona.

Rodríguez-Trigo, Gema; Zock, Jan Paul; Montes, Isabel. (2007). La exposición a las mareas negras y sus efectos en la salud. *Revisiones*. Volumen 43,

Romero, J. (2009). Calidad del agua. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera edición. Bogotá.

Roldan, G; Ramirez, J. (2008). Fundamentos de limnología neotropical. Editorial Universidad de Antioquia. Segunda edición. Medellín

Sathiakumar N, Delzell E, Cole P, Brill I, Frisch J, Spivey G. (1995) A case-control study of leukemia among petroleum workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*; 37: 1269-1277.

Serrano, M.F., Torrado, L.M. & Pérez, D.D. (2013). Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Ciencia y Tecnología*. 11, 233-244.

Shin, E.C. & Das, B.M. (2001). Bearing Capacity of Unsaturated Oil-Contaminated Sand. *International Journal Offshore Polar Engineering* 11, 220-227.

Sorahan T, Lancashire RJ. (1997) Lung cancer mortality in a cohort of workers employed at a cadmium recovery plant in the United States: an analysis with detailed job histories. *Occupational and Environmental Medicine*; 54 (3): 194-201.

Suchanek, T. (1993). Oil Impacts on Marine Invertebrate Populations and Communities. *American Zoologist*.

Tchounwou PB, Abdelghani AA, Prammar YV, Heyer LR, Steward CM. (1996). Assessment of potential health risks associated with ingesting heavy metals in fish collected from a hazardous-waste contaminated wetland in Louisiana, USA. *Review of Environmental Health*; 11 (4): 191-203.

Unión de promotores populares de salud de la Amazonía Ecuatoriana. (1993) *Culturas bañadas en petróleo: diagnóstico de salud realizado por promotores*. Abya-Yala, Quito.

Universidad nacional de Colombia. (2013). *Caracterización Región de la Orinoquía. Desmovilización y Reintegración (ODDR)*

Vasudevan, N, Rajaram P. (2001). Bioremediation of soil sludge-contaminated soil. *Environment International* 26: 409-411.

Velásquez, J. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Yopal, Casanare, Colombia.vol 8, Núm. 1.

Vélez-Torres I., Ruíz-Torres G. (2015). Extractivismo neoliberal minero y conflictos socio-ambientales en Perú y Colombia. *Ambiente y Sostenibilidad* 2015 (5): 3-15

Waalkes MP, Rehm S. (1994) Cadmium and prostate cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health*; 43 (3): 251 -26.

Wetzel, R; Likens, G. (2000). *Limnological Analyses*. Springer Science Business Media, Inc. 429 p. Nueva York.

Yamato O, Goto I, Maede I. (1996) Haemolytic anaemia in wild seaducks caused by marine oil pollution. *Journal of Wildlife Diseases*; 32 (2): 381-384.

Yang CY, Chiu HF, Chiu JF, Kao WY, Tsai SS, Lan SJ. (1997) Cancer mortality and residence near petrochemical industries in Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health*; 50 (3): 265-273.

Zamora, A; Ramos, J; Arias, M. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana. *Bioagro* 24(1): 5-12

ANEXOS