

**HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR PETROLERO EN COLOMBIA Y SU
RELACIÓN CON OTROS SECTORES ECONÓMICOS**

ANDRÉS FELIPE ACEVEDO SUÁREZ

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020**

**HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR PETROLERO EN COLOMBIA Y SU
RELACIÓN CON OTROS SECTORES ECONÓMICOS**

ANDRÉS FELIPE ACEVEDO SUÁREZ

**Monografía para optar por el título de Especialista en
Gestión Ambiental**

**Asesor
JIMMY EDGARD ALVAREZ DIAZ
Biólogo Doctor**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE EDUCACIÓN PERMANENTE Y AVANZADA
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C.
2020**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del director de la Especialización

Firma Calificador

Bogotá, D.C., marzo de 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrado

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Educación Permanente y Avanzada

Dr. Luis Fernando Romero Suarez

Director Especialización en Gestión Ambiental

Dr. Emerson Mahecha Roa

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

DEDICATORIA

A Dios, por guiar mis pasos por el buen camino y ayudarme a salir de las dificultades.

A mis padres, Fernando Acevedo y Teresa Suarez, por ser el motor fundamental de mi vida, porque sin ellos yo no hubiera podido culminar mis metas y proyectos, son mi razón de ser. Los amo viejos.

A mis hermanos Oscar Fernando, Juan Pablo y David Santiago, por acompañarme a lo largo de mi vida y durante mi proceso de formación personal.

A mi sobrino Juan Diego, porque quiero ser uno de sus motivos de inspiración durante su formación personal.

A mi Abuelita Teresa, por enseñarme a que no hay situación difícil en la vida que no se pueda superar.

A mi novia Lucia, por ayudarme a ser una mejor persona, por brindarme su apoyo incondicional y por ayudarme a superar varias dificultades en mi vida. "*Tao em*".

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque me salud y sabiduría para poder cumplir todas las metas y proyectos propuestos a lo largo de la nuestra vida.

A la Fundación Universidad de América por permitirme desarrollar el proyecto en sus instalaciones, brindado los espacios y el material suficiente para ello.

A mi asesor de monografía, Jimmy Edgard Álvarez Díaz, Biólogo Doctor, por estar comprometido desde el comienzo con el desarrollo de este proyecto, además resaltar el apoyo y conocimiento brindado durante toda la ejecución del proyecto.

A los encargados de biblioteca, en especial a Rimy Cruz G, quien durante todo el proceso ha estado dispuesto a brindar un buen asesoramiento.

Y a todos los demás que de una u otra manera han contribuido a la elaboración de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1. CADENA DE VALOR DE LOS HIDROCARBUROS	23
1.1.1 <i>Upstream</i> (Aguas arriba)	23
1.1.1.1 Exploración sísmica	23
1.1.1.2 Perforación exploratoria	24
1.1.1.3 Producción	25
1.1.2 <i>Downstream</i> (Aguas abajo)	26
1.1.2.1 Refinación	26
1.1.2.2 Transporte	27
1.1.2.3. Comercialización	28
1.2. MECANISMOS DE PRODUCCIÓN DE UN POZO	29
1.2.1 Mecanismos de producción primaria	29
1.2.1.1 Empuje con agua o acuífero activo	30
1.2.1.2 Empuje por gas en solución	30
1.2.1.3 Expansión de la roca y los fluidos	30
1.2.1.4 Empuje por capa de gas	30
1.2.1.5 Drenaje por gravedad	31
1.2.2 Métodos convencionales de recobro adicional	31
1.2.2.1 Inyección de agua	31
1.2.2.2 Inyección de gas	32
1.2.3 Recuperación terciaria	32
1.3. MARCO LEGAL	32
1.3.1 Licencias ambientales	33
1.3.2 Términos de referencia	33
1.3.3 Plan de manejo ambiental (PMA)	34
1.4. HUELLA HÍDRICA	35
1.4.1 Componentes	35
2. ESTADO DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA	36
2.1. DEFINICIONES	36
2.2. ESTADO DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA	39
2.2.1 Balance hídrico	39
2.2.2 Oferta hídrica	41
2.2.2.1 Agua superficial	41
2.2.2.2 Agua subterránea	44
2.2.2.3 Glaciares	51
2.2.2.4 Cuerpos lénticos: lagunas, lagos, humedales, ciénagas y embalses	53
2.2.3 Demanda hídrica	55

2.2.4 Calidad del recurso	59
2.2.5 riesgos asociados al recurso hídrico	63
3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL PARA EL SECTOR DE HIDROCARBUROS EN COLOMBIA	69
3.1. DEFINICIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL – HHA	69
3.2. DATOS DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR PETRÓLEO	69
3.3. METODOLOGIA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HDIRICA AZUL DEL SECTOR PETROLERO	70
3.4. DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL DE LA PROUCCION DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS EN LA REGIÓN DE LA ORINOQUÍA	70
4. COMPARACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL EN COLOMBIA	75
4.1. CONSUMO REAL DE AGUA PARA SECTOR PETROLERO EN COLOMBIA	75
4.2. COMPARACIÓN MULTISECTORIA DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL	78
5. CONCLUSIONES	82
6. RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFIA	84
ANEXOS	88

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Categorías Índice de calidad del Agua IDEAM	60
Cuadro 2. Indicadores de consumo de agua para producción de petróleo	72
Cuadro 3. Calculo del indicador de la huella hídrica azul para la producción de petróleo	73

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Volumen de agua en áreas hidrográficas representativas en porcentaje	40
Gráfica 2. Distribución porcentual de reservas de aguas subterráneas por provincia hidrogeológica	46
Gráfica 3. Distribución de tipos de punto de agua subterránea a nivel nacional	48
Gráfica 4. Distribución de tipos de punto de agua subterránea por región hidrográfica	49
Gráfica 5. Distribución de tipo de punto de agua subterránea por departamento para la Región de la Orinoquía	50
Gráfica 6. Área glaciar en Colombia (de 2007 a 2009)	52
Gráfica 7. Evolución del área glaciar en Colombia, 1960–2017	53
Gráfica 8. Distribución cuerpos de agua lénticos por área hidrográfica km ²	54
Gráfica 9. Demanda hídrica por sector industrial en Colombia	56
Gráfica 10. Consumo de aguas subterráneas según áreas de jurisdicción de autoridades ambientales en miles de metros cúbicos al año	58
Gráfica 11. Registros de desastres relacionados con el recurso hídrico de 2010 a 2018	63
Gráfica 12. Escorrentía media anual para las áreas hidrográficas	65
Gráfica 13. Causas y volumen de crudo derramado en Colombia	67
Gráfica 14. Porcentaje de volumen derramado de crudo por departamento	68
Gráfica 15. Participación porcentual de la demanda hídrica con respecto al valor total de los sectores por año. Comparación 2008, 2010 y 2016	75
Gráfica 16. Porcentaje captado por el sector petrolero de la oferta hídrica total nacional	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Exploración sísmica	24
Figura 2. Perforación Exploratoria	25
Figura 3. Producción de hidrocarburos	26
Figura 4. Refinación del petróleo	27
Figura 5. Diferentes tipos de transporte para el hidrocarburo y sus derivados	28
Figura 6. Comercialización de derivados del petróleo	29
Figura 7. Proceso del agua subterránea a lo largo de grandes periodos de tiempo	37
Figura 8. Ciclo hidrológico en la recarga de acuíferos	45
Figura 9. Archivo .xls Información de producción mensual por campo en Colombia	71

LISTA DE MAPAS

	pág.
Mapa 1. Escorrentía promedio anual en Colombia	90
Mapa 2. Mapa de zonas potenciales de recargara para la Región de la Orinoquía	91
Mapa 3. Demanda hídrica total en Colombia	92
Mapa 4. Índice de calidad del agua	93
Mapa 5. Índice de alteración potencial de la calidad del agua IACAL en condiciones hidrológicas medias y de año seco	94
Mapa 6. Demanda hídrica de los hidrocarburos en Colombia	95

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores de Escorrentía y Rendimiento Hídrico para la región de la Orinoquía	42
Tabla 2. Oferta hídrica por área hidrográfica	43
Tabla 3. Relación de área ocupada por cuerpos de agua lénticos para la región de la Orinoquía	55
Tabla 4. Distribución del uso de aguas subterráneas por provincia hidrológica	59
Tabla 5. Corrientes con desbalance de nutrientes en la región de la Orinoquía	62
Tabla 6. Variación porcentual de la oferta hídrica superficial respecto a la media multianual para cada región hidrográfica	65
Tabla 7. Ejemplos de la huella hídrica azul para algunos de los campos presentes en la Orinoquía	73
Tabla 8. Distribución de la demanda hídrica sectorial para la Región de la Orinoquía	76
Tabla 9. Oferta superficial por zona hídrica versus captaciones del sector petrolero	77
Tabla 10. Huella hídrica azul para los diferentes sectores económicos en Colombia	80
Tabla 11. Porcentaje por sector de la huella hídrica azul en Colombia	81
Tabla 12. Oferta hídrica por zona hidrográfica para la región de la Orinoquía	96
Tabla 13. Evolución glaciár por décadas en Colombia	96
Tabla 14. Índice de alteración potencial de calidad de agua, subzonas por categoría	97

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A Actividades del sector de hidrocarburos que necesitan licencia ambiental	89
Anexo B Mapas	90
Anexo C Tablas	96

GLOSARIO

ACUÍFERO: Según Martín y Santamaría¹, es una “formación geológica a través de la cual circula agua, incluso a largas distancias, aunque a veces lentamente”.

ALJIBE: Según Ambientalex², es un “depósito de agua para recoger principalmente agua de lluvia, por lo general subterráneo con canales de ventilación y las paredes recubiertas de cal hidráulica muy grasa y almagra para evitar eutroficación de las aguas”.

CIÉNAGA: Según la Organización Meteorológica Mundial³, corresponde al “área de tierra húmeda y esponjosa demasiado blanda para soportar el peso de un cuerpo”.

CONSUMO: Según Ambientalex⁴, corresponde a utilizar de buena manera un bien para satisfacer las necesidades.

CONTAMINACIÓN: Con base en Ambientalex⁵, es la “alteración de la pureza o la calidad del agua, por efecto de la adición o del contacto accidental o intencional con plaguicidas”.

CRIOSFERA: Para la Organización Meteorológica Mundial⁶, corresponde a la “totalidad de las masas de hielo, nieve y permafrost del planeta tierra”.

CUENCA: Según la UNESCO⁷, es un “territorio en el cual los distintos ríos y cursos de agua que lo riegan confluyen en un río principal. Cada una de estas cuencas está separada de las aledañas por la línea divisora de las aguas”.

¹ MARTÍN, Antonio y SANTAMARÍA, Jesús Miguel. Diccionario Terminológico de Contaminación Ambiental. [ProQuest Ebook Central]. Pamplona: EUNSA, 2004, p. 13. ISBN: 9788431354657. [Consultado 05, febrero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/reader.action?docID=3157578&query=glosario+ambiental>

² Ibíd.

³ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional. [UNESDOC Biblioteca Digital]. Suiza: 2012. 38 p. ISBN: 978-92-3-001154-3. [Consultado 05, febrero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862?posInSet=3&queryId=807c5a57-1d68-426f-8d34-9e1f8a0e2d7f>

⁴ E GLOBAL SERVICES S.A.S. Glosario Ambiental. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Glosario Ambiental, Óp. Cit.

⁵ Ibíd.

⁶ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit.

⁷ UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO.

CUERPO LÉNTICO: Según Gómez y Mora⁸, son los “cuerpos de agua cuyo contenido líquido se mueve dentro de la depresión del terreno donde se encuentran, y lo hace principalmente con movimientos conectivos con un recambio de aguas más o menos limitado”.

EMBALSE: Según la Organización Meteorológica Mundial⁹, hace referencia a un “depósito de agua, natural o artificial, usado para el almacenamiento, la regulación y el control de los recursos hídricos”.

ESCORRENTÍA: Para la Organización Meteorológica Mundial¹⁰, es la “parte de la precipitación que fluye por la superficie del terreno hacia un curso de agua o en el interior del suelo”.

HUMEDAL: Para Ambientalex¹¹, corresponde al “bioma terrestre en el que abunda el agua salada, salobre o dulce, poco profunda y remansada. Es un ecosistema de gran diversidad. Son humedales las ciénagas, estuarios, marismas, marjales, pantanos y zonas costeras”.

INDICADOR: Según Ambientalex¹², son “cifras o datos que expresan, cuantifican y simplifican la descripción de un fenómeno y ayudan a entender realidades complejas”.

LAGO: Con base en la Organización Meteorológica Internacional¹³, corresponde a la “masa de agua continental que posee una considerable extensión”.

Biblioteca Digital: Glosario de términos sobre medio ambiente. [Sitio Web]. Santiago de Chile: ORELAC. Septiembre, 1989, p. 33. Serie Educación Ambiental. [Consultado 05, noviembre. 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000085533/PDF/085533spab.pdf.multi>

⁸ GÓMEZ HASTAMORIR, Lina Paola y MORA ORTEGÓN, Stephanie Dayan. la Biorremediación como Alternativa de Recuperación para Cuerpos de Agua Lénticos en la Ciudad de Bogotá. En: Boletín Semillas Ambientales. [Sistema de Revistas Científicas]. Bogotá D.C. Junio. Vol. 10. 2016, p. 6. ISSN: 2463-0691. [Consultado 05, febrero, 2020]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/11325/12062/>

⁹ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit., p. 281.

¹⁰ Ibíd.

¹¹ E GLOBAL SERVICES S.A.S. Glosario Ambiental, Óp. Cit.

¹² ibíd.

¹³ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit., p. 199.

LAGUNA: Para Ambientalex¹⁴, es un “depósito natural de aguas superficiales de menores dimensiones que un lago”.

MANANTIAL: Para la Organización Meteorológica Internacional¹⁵, es un “lugar en el que el agua emerge de forma natural desde una roca o el suelo y fluye hacia la superficie o hacia una masa de agua superficial”.

MEDIO AMBIENTE: Para la UNESO¹⁶, es “todo aquello que rodea al ser humano y que comprende: elementos naturales, tanto físicos como biológicos; elementos artificiales, elementos sociales y las interacciones de estos elementos entre sí”.

PIEZÓMETRO: Según la Organización Meteorológica Internacional¹⁷, es un “pozo completamente entubado excepto en su base, utilizado para medir la carga hidráulica de ese punto”.

POZO: Con base en Organización Meteorológica Internacional¹⁸, es un agujero o perforación que se excava o perfora en la tierra para extraer agua, petróleo, entre otros fluidos.

VERTIMIENTOS: Para Ambientalex¹⁹, es “cualquier descarga líquida hecha a un cuerpo de agua. Toda descarga líquida con contenido de materiales contaminantes”.

¹⁴ E GLOBAL SERVICES S.A.S. Glosario Ambiental, Óp. Cit.

¹⁵ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit., p. 324.

¹⁶ UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO. Biblioteca Digital: Glosario de términos sobre medio ambiente, Óp. Cit., p. 63.

¹⁷ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit., p. 249.

¹⁸ Ibíd.

¹⁹ E GLOBAL SERVICES S.A.S. Glosario Ambiental, Óp. Cit.

RESUMEN

La presente monografía tiene como propósito estudiar la huella hídrica azul del sector petrolero en la región de la Orinoquía (3,4 millones de m³) y a su vez realizar una comparación de la huella hídrica azul con respecto a otras huellas hídricas azules de los distintos sectores económicos en Colombia. Para tal fin, se recolectaron datos relacionados con el estado del recurso hídrico para el país, que abarca la oferta, la demanda y la calidad para entender el panorama actual del recurso. Además, se profundizó el tema del consumo real de agua para el sector de hidrocarburos (68 millones de m³) para entender el impacto que tiene esta industria sobre el recurso hídrico. Por último, se calculó la huella hídrica azul del sector de hidrocarburos basado en la metodología propuesta por el IDEAM, para lo cual se tuvieron que buscar los datos de producción pertinentes a campos petroleros mes a mes y los indicadores para dicho cálculo.

Palabras clave: Huella hídrica azul, consumo, oferta, demanda, multisectorial, hidrocarburos.

ABSTRACT

The purpose of this monograph is to study the blue water footprint of the oil sector in the Orinoquía region (3.4 million m³), and in turn, make a comparison of the blue water footprint with respect to other blue water footprints of the different economic sectors in Colombia. For that end, data related to the state of the water resource for the country was collected, which embraces supply, demand and quality to understand the current panorama of the resource. In addition, the issue of real water consumption for the hydrocarbons sector (68 million m³) was deepened to understand the impact that this industry has on the water resource. Finally, the blue water footprint of the hydrocarbons sector was calculated based on the methodology proposed by IDEAM, for which the production data relevant to oil fields month by month and the indicators for such calculation had to be sought.

Keywords: Blue water footprint, consumption, supply, demand, multisectoral, hydrocarbons.

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento vital para el ser humano, no solo es fundamental para realizar las funciones básicas del cuerpo humano sino que es indispensable para todas las actividades económicas. Sin embargo la sociedad no ha podido alcanzar el equilibrio entre el desarrollo económico y el respeto hacia recurso hídrico, al no dársele la importancia que merece el agua, lo que ha llevado a una degradación de este recurso vital hasta el punto de contaminar la mitad del agua superficial disponible para el país según reportes del Estudio Nacional del Agua en varios años. En este sentido, los diferentes sectores económicos que utilizan y contaminan dicho recurso, entre los no falta el sector de hidrocarburos. Por ello, se debe ahondar sobre el consumo real que tiene este sector a nivel nacional y el impacto que genera la producción de hidrocarburos.

Ante esta problemática del agua, por mucho tiempo el sector de hidrocarburos se ha visto aquejada por una ola de desinformación a la hora de abordar temas relacionados con el consumo de agua en sus procesos de producción. Por ende, es de suma importancia resaltar el estado actual del recurso hídrico para poder abordar una comparación multisectorial y llegar así a un consenso de cuál es el sector que posee mayor consumo asociado al indicador de la huella hídrica azul.

La huella hídrica azul corresponde al volumen de agua dulce que es extraído de un cuerpo de agua superficial o subterránea y que es evaporada en el proceso productivo o se incorpora a el producto, por lo que es un indicador que arroja contundentes cifras de los sectores que más demandan el recurso hídrico, por lo que es necesario tomar la metodología propuesta por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, para poder cuantificar dicho indicador para el sector de hidrocarburos enfocado a todo proceso de producción.

Es así, como la finalidad de esta monografía es realizar una comparación multisectorial que contribuya a reconocer cuáles sectores económicos generan mayores consumos relacionados con el recurso hídrico a fin de demostrar cuál sector económico es el que genera mayor impacto sobre el agua. Esto es importante porque aporta el cumplimiento de las metas que el país asumió en la firma del ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) del recurso hídrico, cuya meta más importante es: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos/as.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la huella hídrica azul del sector petrolero en Colombia según el conocimiento nacional y la comparación con otros sectores económicos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer el estado actual del recurso hídrico en Colombia con énfasis en la región de la Orinoquía.
- Identificar la huella hídrica azul para el sector petrolero en Colombia de acuerdo con la información general aportada por instituciones del sector y la metodología propuesta para Colombia.
- Determinar el consumo real del recurso hídrico del sector petrolero mediante la comparación de la huella hídrica azul del sector petrolero en Colombia con otros sectores económicos del país.

1. MARCO TEÓRICO

Se abordaran los temas pertinentes relacionados con la huella hídrica azul – HHA del sector de hidrocarburos en su etapa de producción en comparación con otros sectores económicos del país, con el fin de facilitar el entendimiento de la temática.

1.1. CADENA DE VALOR DE LOS HIDROCARBUROS

Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)²⁰, la cadena de valor de los hidrocarburos hace referencia a todo el conjunto de actividades económicas relacionadas con la exploración, producción, transporte, refinamiento y comercialización de los hidrocarburos, conocidos también como recursos no renovables. Esta cadena consta de dos grandes áreas: upstream y downstream.

1.1.1 Upstream (aguas arriba). Para la ANH²¹, el Upstream se conoce también con el nombre de exploración y producción (E&P), esta área está constituida por las actividades de análisis geológico, exploración potencial de yacimientos de petróleo y gas, tanto de carácter terrestre (Onshore) como marino (Offshore), también implica la perforación de pozos exploratorios, seguida de la perforación y explotación de los pozos para conectar los fluidos a explotar (petróleo o gas) con la superficie.

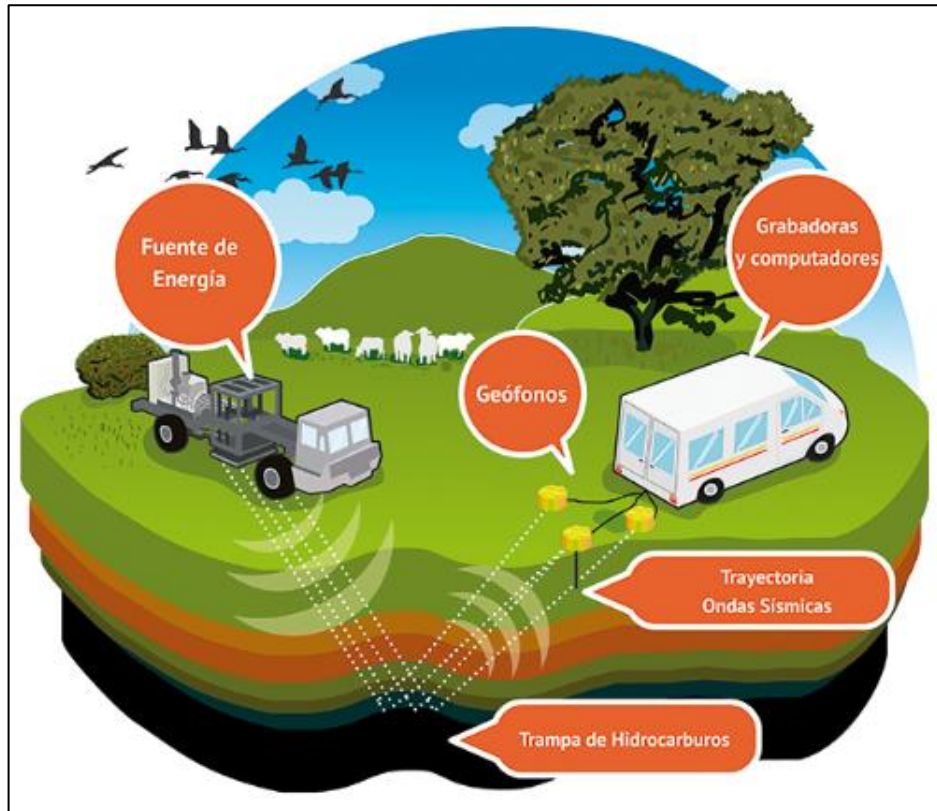
1.1.1.1 Exploración Sísmica. Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos²², un proceso en el cual se utilizan cargas explosivas que se colocan dentro del suelo a 30 cm aproximadamente, los cuales generan ondas basadas en las diferencias de velocidad de ondas de choque, que atraviesan las capas de roca del subsuelo; luego de esto, las ondas vuelven a superficie y son captadas por unos equipos especiales llamados geófonos, los cuales se encargan de recibir la información y transmitirla hacia un receptor de datos, por ejemplo un computador. El resultado final que se obtiene de la exploración sísmica es una imagen o un mapa representativo del subsuelo (capas, pliegues, estructuras, entre otras).

²⁰ AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. s.f. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://www.anh.gov.co/porta regionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

²¹ Ibíd.

²² Ibíd.

Figura 1. Exploración sísmica



Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. s.f. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://www.anh.gov.co/portalsectorializacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

1.1.1.2 Perforación exploratoria. Con base en la información suministrada por la ANH²³, es una actividad que sigue después de tener buenos resultados en la exploración sísmica, consiste en la perforación de pozos, con el fin de llegar hasta la trampa donde posiblemente está almacenado los hidrocarburos, para así poder disminuir al máximo la incertidumbre con respecto a la existencia de petróleo en la locación estudiada.

²³ Ibíd.

Figura 2. Perforación Exploratoria

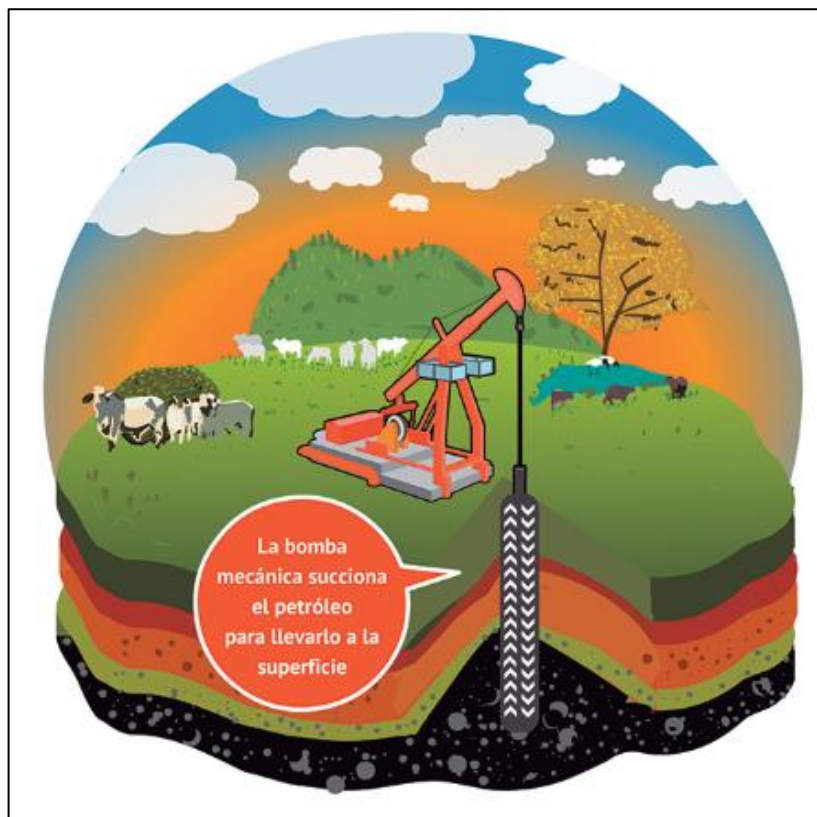


Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. s.f. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://www.anh.gov.co/portalregionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

1.1.1.3 Producción. Según la Agencia Nacional de Hidrocarburos²⁴, en esta actividad se perforan pozos de desarrollo, los cuales se encargan de extraer los hidrocarburos almacenados en el subsuelo. Para esto, es necesario tener pozos productores en óptimas condiciones y adecuarlos a las necesidades del yacimiento. La producción de hidrocarburos se puede dar por condiciones de flujo natural (producción primaria), por medio de un sistema de levantamiento artificial, cuando el yacimiento pierde energía, por inyección de gas o agua (recobro mejorado), o por métodos de recuperación terciaria.

²⁴ Ibíd.

Figura 3. Producción de hidrocarburos



Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. s.f. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://www.anh.gov.co/portalsegmentacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

1.1.2 DOWNSTREAM (AGUAS ABAJO). Para la ANH²⁵, son todas las actividades y operaciones económicas que vienen después de la producción de hidrocarburos, por lo general estas actividades están relacionadas con la gestión de la cadena de suministros. Está conformado por la refinación, el transporte y la comercialización.

1.1.2.1 Refinación. Según la ANH²⁶, esta actividad consiste en separar el petróleo crudo en fracciones ligeras y pesadas, por medio de altas temperaturas que pueden alcanzar los 400 °C (craqueo), por medio de catalizadores (craqueo catalítico), destilado, entre otros procesos; para así obtener subproductos para su aprovechamiento. Por ejemplo, combustibles como la gasolina o el ACPM.

²⁵ Ibíd.

²⁶ Ibíd.

Figura 4. Refinación del petróleo

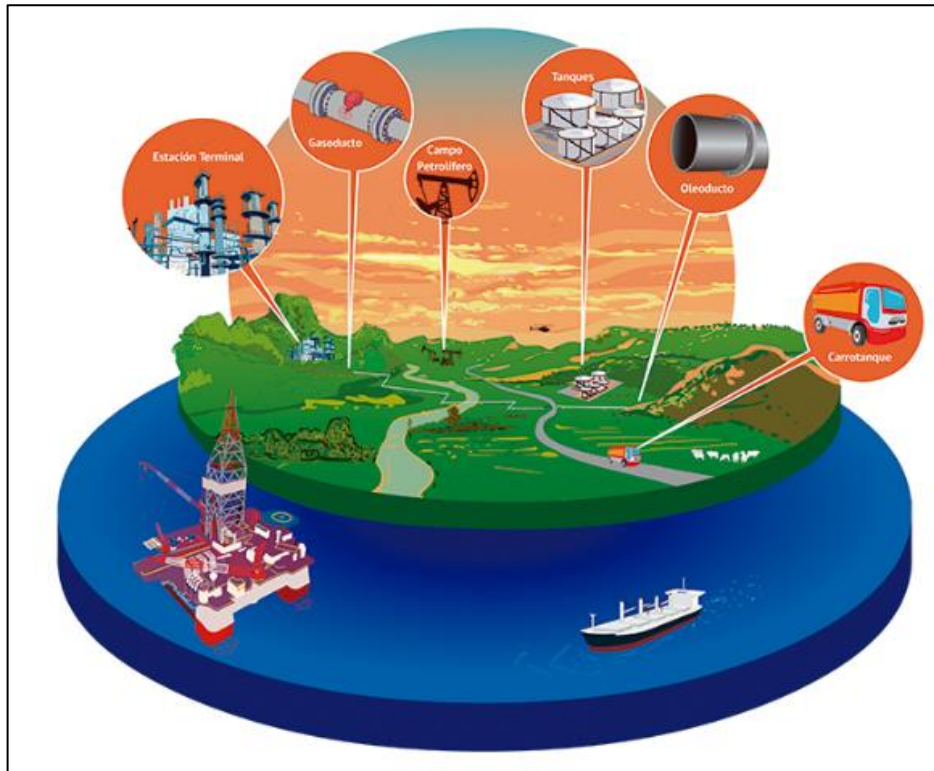


Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. s.f. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: [https://www.anh.gov.co/portalarregionalizacion/Paginas /LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx](https://www.anh.gov.co/portalarregionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx)

1.1.2.2 Transporte. Para la Agencia Nacional de Hidrocarburos²⁷, dicha actividad consiste en transportar los hidrocarburos desde la boca del pozo hasta las facilidades de almacenamiento, a los puntos de procesamiento como las refinerías, estaciones de bombeo y centros de comercialización, como los puertos. Cabe resaltar que el petróleo se puede transportar por oleoducto, el gas por gasoducto, o los productos por poliducto. Los tres anteriormente mencionados se pueden transportar por carro tanques o por buses.

²⁷ Ibíd.

Figura 5. Diferentes tipos de transporte para el hidrocarburo y sus derivados



Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. S.F. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://www.anh.gov.co/portalsegmentacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

1.1.2.3. Comercialización. Por último, con base en la información de la ANH²⁸, se realizan todas las actividades relacionadas con el comercio, para poder colocar en disposición los productos para los usuarios. Se usan distribuidores mayoristas o minoristas según convenga el caso.

²⁸ Ibíd.

Figura 6. Comercialización de derivados del petróleo



Fuente: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. s.f. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://www.anh.gov.co/portalt regionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

1.2. MECANISMOS DE PRODUCCIÓN DE UN POZO

Para Magdalena²⁹, básicamente la extracción de petróleo del yacimiento se realiza a través de un pozo. Se da en tres etapas básicas cronológicamente organizadas de la siguiente manera: por medio de los mecanismos de producción primaria, por mecanismos convencionales de recobro adicional o recobro secundario y por último la recuperación terciaria; en este orden de ideas, se va a exponer cada uno detalladamente.

1.2.1 Mecanismos de producción primaria. Según Paris de Ferrer³⁰, hace referencia a la utilización de las fuentes de energía natural presentes en los yacimientos para así poder desplazar el crudo hacia los pozos productores. Existen cinco tipos de estos mecanismos de producción primaria, los cuales son:

²⁹ PARIS DE FERRER, Magdalena. Inyección de agua y gas en yacimientos petrolíferos. Maracaibo Venezuela: Ediciones Astro Data S.A, 2001, p. 1-3. ISBN 980-296-792-0

³⁰ *Ibíd.*, p. 3.

1.2.1.1 Empuje con agua o acuífero activo. Con base en lo mencionado por Magdalena³¹, es un yacimiento que posee una conexión hidráulica entre el yacimiento y una roca porosa saturada de agua de formación denominada acuífero, que se puede encontrar por debajo de todo el yacimiento o en cierta parte de él. Esa agua se encuentra a condiciones de presión muy altas, pero a medida que la presión del yacimiento disminuye por factores relacionados con la producción de petróleo, empieza a suceder una invasión natural del acuífero en el yacimiento, debido por un diferencial de presión, lo cual genera un aumento en la compresibilidad de la roca en el acuífero. Según Magdalena³², gracias a este método de recuperación se pueden obtener eficiencias de recobro entre un 30 y un 50% del petróleo original *in situ*, dependiendo este rango de la geología del yacimiento, la heterogeneidad y la posición estructural.

1.2.1.2 Empuje por gas en solución. Para Paris de Ferrer³³, el crudo presente en el yacimiento, bajo ciertas condiciones de temperatura y presión, puede poseer cantidades considerables de gas disuelto; cuando la presión del yacimiento empieza a disminuir debido a la producción de petróleo, el gas empieza a desprenderse así logrando una expansión la cual desplaza el petróleo del yacimiento hacia los pozos productores. La eficiencia de este mecanismo depende de la cantidad de gas disuelto, de las propiedades de la roca y el petróleo; y de la estructura geológica del yacimiento para así alcanzar un recobro entre el 10 y el 30% del *original oil in place* debido a que el gas es mucho más móvil que el petróleo. A medida que el yacimiento pierde presión, la tasa de gas aumenta rápidamente, provocando un agotamiento rápido de la energía del mismo, el cual se nota en el aumento de la relación gas petróleo (RPG) del campo.

1.2.1.3 Expansión de la roca y los fluidos. Con base en la información de Magdalena³⁴, cuando el petróleo se encuentra por debajo de la presión de burbuja, se dice que se encuentra subsaturado, por ende, mucha de la energía del yacimiento se almacena por la compresibilidad de la roca y los fluidos; trayendo consigo que la presión decline rápidamente a medida que se produzca fluidos, hasta alcanzar la presión de burbuja. Este método de recobro alcanza un 10% del petróleo *original in situ*.

1.2.1.4 Empuje por capa de gas. Para Magdalena³⁵, si un yacimiento posee una capa de gas lo suficientemente grande, debe existir una gran energía almacenada en forma de gas comprimido, el cual provoca la expansión de la capa a medida que el petróleo se extrae del yacimiento, lo cual genera que el petróleo se desplace

³¹ *Ibíd.*, p. 3.

³² *Ibíd.*, p. 4-5.

³³ *Ibíd.*, p. 5.

³⁴ *Ibíd.*, p. 6.

³⁵ *Ibíd.*, p. 6-8.

debido al empuje del gas ayudado por el drenaje gravitacional. Es de suma importancia que, dependiendo del tamaño de la capa de gas, puede alcanzar valores de recobro entre el 20% y 40% del *original oil in place*.

1.2.1.5 Drenaje por gravedad. Con base en Magdalena³⁶, se encuentra en yacimientos de gran espesor que tienen una buena comunicación vertical y en lo que tienen un gran buzamiento. Este proceso es lento debido a que el gas debe migrar a la parte más alta de la estructura o al tope de la formación para lograr el llenado del espacio originalmente ocupado por el petróleo y crear una capa secundaria de gas. Dependiendo de las propiedades mencionadas anteriormente este mecanismo de producción puede alcanzar valores de recobro entre el 40% y el 80% del petróleo original *in situ*.

1.2.2 Métodos convencionales de recobro adicional. Para Paris de Ferrer³⁷, son los métodos que se usan cuando los mecanismos primarios han agotado su energía, por ende, es necesario agregar energía nuevamente al yacimiento, esto por medio de la inyección de agua o la inyección de gas, con el fin de aumentar el recobro.

1.2.2.1 Inyección de agua. Según Magdalena³⁸, es el principal y más conocido método de recuperación secundaria, ya que es el que más ha contribuido al recobro del petróleo extra. Esto debido a que ayuda a mantener la energía del yacimiento provocando un desplazamiento del crudo a los pozos productores.

- **Inyección periférica o externa**

Para Magdalena³⁹, consiste en inyectar el agua fuera de la zona de petróleo, en los flancos del yacimiento. También se conoce con el nombre de *inyección tradicional*, por ende, el agua se inyecta en el acuífero cerca del contacto agua petróleo. Este se puede utilizar cuando se posee una buena descripción del yacimiento y/o las estructuras.

- **Inyección en arreglos o dispersa**

Con base en lo dicho por Paris de Ferrer⁴⁰, consiste en inyectar el agua dentro de la zona de petróleo. El agua invade esta zona y desplaza el petróleo del volumen invadido hacia los pozos productores. Se conoce también con el nombre de *inyección de agua interna*, debido a que se inyecta en la zona de petróleo con un gran número de pozos inyectoros que forman un arreglo geométrico.

³⁶ *Ibíd.*, p. 9.

³⁷ *Ibíd.*, p. 11.

³⁸ *Ibíd.*, p. 11-12.

³⁹ *Ibíd.*, p. 12-14.

⁴⁰ *Ibíd.*, p. 14-15.

1.2.2.2 Inyección de gas. Para Magdalena⁴¹, esta técnica es de suma importancia debido a que ayuda a mantener la presión, por lo tanto, es un método de recuperación secundaria que depende de factores tales como las propiedades de los fluidos, el tipo de empuje, la geometría del yacimiento, la continuidad de la arena, el relieve estructural, las propiedades de la roca y la temperatura y presión del yacimiento. El gas se caracteriza debido a que es más liviano que el petróleo, lo cual tiende a formar una capa de gas artificial definida. Si la producción se extrae de la parte más baja de la capa, dará como resultado una forma de conservación de energía y la posibilidad de mantener tasas de producción relativamente alta lo que permite un recobro en mejor tiempo.

- **Inyección de gas interna o dispersa**

Con base en lo expuesto por Magdalena⁴², se refiere a la inyección de gas dentro de la zona de petróleo. Se usa por lo general en yacimientos con empuje de gas en solución, sin capa de gas inicial y donde no hay tendencia a desarrollarse una capa de gas secundaria. El gas inyectado se produce junto con el petróleo poco tiempo de haberse inyectado.

- **Inyección de gas externa**

Para Paris de Ferrer⁴³, hace referencia a la inyección de gas que se hace en la cresta de la estructura donde se encuentra la capa de gas, bien sea primaria o secundaria. Por lo general se realiza en yacimientos donde ocurre segregación debido a la influencia de la gravedad.

1.2.3 Recuperación terciaria. Según Magdalena⁴⁴, esta hace referencia a la recuperación que se efectúa después de cualquier otro proceso de recuperación secundaria. Los procesos terciarios que se utilizan son: uso de gases miscibles, métodos químicos, métodos térmicos, entre otros procesos; con el fin de actuar directamente en las propiedades del fluido o con las propiedades de la roca.

1.3. MARCO LEGAL

En este apartado se anexará toda la información legal relacionada con la obtención de licencias ambientales en los procesos de producción convencional de hidrocarburos, además se tendrán en cuenta los términos de referencia relacionados con la extracción convencional de hidrocarburos líquidos, por último,

⁴¹ *Ibíd.*, p. 15-16.

⁴² *Ibíd.*, p. 16-18.

⁴³ *Ibíd.*, p. 18-19.

⁴⁴ *Ibíd.*, p. 2-3.

se tendrá en cuenta la normatividad relacionada con los planes de manejo ambiental para la industria de hidrocarburos.

1.3.1 Licencias ambientales. Están estipuladas en el Decreto 2041 de 2014, en el cual están contempladas todas las actividades que requieren de estas licencias.

Decreto 2041 de 2014 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo sostenible⁴⁵ “en el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales”. Donde las siguientes actividades del sector de hidrocarburos necesitan licencias ambientales (**Ver Anexo A**).

1.3.2 Términos de referencia. En este numeral se contemplarán todos los términos de referencia relacionados con la extracción convencional de hidrocarburos líquidos.

- **Código: HI-TER-1-03**

Del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁴⁶, en el cual se presentan los Términos de Referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para “Proyectos de Explotación de Hidrocarburos”. Estos términos, tienen un carácter genérico y en consecuencia deben ser adaptados a las características, la magnitud y otras particularidades del proyecto, así como a las características ambientales regionales y locales en donde se pretende desarrollar.

- **Resolución 1543 de 2010**

Del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁴⁷ donde se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para los proyectos de explotación de hidrocarburos y se toman otras determinaciones.

⁴⁵ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Decreto 2041. (15, octubre, 2014) Por el cual se reglamenta el título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales. Capítulo VIII. Bogotá D.C. 2014, p. 1.

⁴⁶ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Estudio de impacto ambiental para proyecto de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Normativa. 2010, p. 1. [Consultado: 03, noviembre, 2019]. Disponible: http://portal.anla.gov.co/documentos/normativa/res_1544_060810_%20tdr_explotacion_hidrocarburos.pdf.

⁴⁷ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1543. (6, agosto, 2010). Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para los proyectos de explotación de hidrocarburos y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C. 2010, p. 1.

- **Código: HTER-310**

Del Ministerio de Ambiente⁴⁸, donde se recopilan los términos de referencia para la elaboración del Plan de Manejo Ambiental para la perforación de pozos de desarrollo o producción y sus líneas de flujo.

1.3.3 Plan de manejo ambiental (PMA). Se contemplara toda la normatividad colombiana que está relacionada con la elaboración de planes de manejo ambiental y con las actividades que necesiten de esto.

- **Resolución 1402 de 2018**

Del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible⁴⁹, en la cual se adopta la metodología para la elaboración y presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones.

- **Decreto 2041 del 15 de octubre de 2014**

Del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁵⁰, por el cual se reglamenta el Título VIII de la ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales.

- **Ley 99 de 1993 de carácter Nacional**

Del Congreso de la Republica⁵¹, por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.

⁴⁸ MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Plan de manejo ambiental para la perforación de pozos de desarrollo o producción y sus líneas de flujo HITER-310. [Sitio Web]. Bogotá D.C. s.f, p. 1. [Consultado: 09 de noviembre de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://portal.anla.gov.co/documentos/normativa/tdr_pma_perforaci%C3%B3n_pozos_desarrollo_lineas_de_flujo.pdf

⁴⁹ COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1402. (25, julio, 2018). Por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2018, p. 1.

⁵⁰ MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1402. (25, julio, 2018). Por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones. Óp. Cit., p. 1.

⁵¹ COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99. (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 1993. No. 41146, p. 1.

1.4. HUELLA HÍDRICA

Para el IDEAM⁵², la huella hídrica (HH) es un indicador que define el volumen total de agua dulce usado para producir los bienes y servicios producidos por una empresa, o consumidos por un individuo o comunidad (Sin tener en cuenta el agua marina o salada). Mide el volumen de agua consumida, evaporada o contaminada a lo largo de la cadena de suministro, ya sea por unidad de tiempo para individuos y comunidades, o por unidad producida para una empresa. Se puede calcular para cualquier grupo definido de consumidores (por ejemplo, individuos, familias, pueblos, ciudades, departamentos o naciones) o productores (por ejemplo, organismos públicos, empresas privadas o el sector económico).

1.4.1 Componentes. El total de la huella hídrica de un individuo o un producto está compuesta por:

- **Huella Hídrica Azul (HHA)**

Para el IDEAM⁵³, es el volumen de agua dulce extraída de un cuerpo de agua superficial o subterránea y que es evaporada en el proceso productivo o incorporada en un producto.

- **Huella Hídrica Verde (HHV)**

Según el IDEAM⁵⁴, es el volumen de agua de precipitación que es evaporada en el proceso productivo o incorporada en un producto.

- **Huella Hídrica Gris (HHG)**

Con base en el IDEAM⁵⁵, es el volumen de agua contaminada, que puede ser cuantificada como el volumen de agua requerida para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua esté sobre los estándares aceptables.

⁵² CAMPUZANO OCHOA, Claudia, *et al.* Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. [Google Académico]. Medellín: 2015 p. 23. ISBN: 978-958-8470-28-3. [consultado 14, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/Ópenbiblio/bvirtual/023272/HH_ENA2014.pdf

⁵³ *Ibíd.*, p. 23.

⁵⁴ *Ibíd.*, p. 23.

⁵⁵ *Ibíd.*, p. 23-24.

2. ESTADO DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA

En este capítulo se abordarán temas relacionados con la oferta, demanda y calidad del recurso hídrico en el sector de hidrocarburos los riesgos que afectan dicho recurso no renovable específicamente en la Orinoquía colombiana.

2.1. DEFINICIONES

Es de suma importancia aclarar los diferentes conceptos que se van a usar a lo largo de este capítulo. Por ende, se definirá el concepto de oferta y demanda hídrica, calidad del recurso hídrico y riesgos del mismo.

Para poder abarcar los diferentes conceptos, es necesario entender los términos asociados al recurso, como por ejemplo agua superficial, agua subterránea, entre otros.

- **Agua Superficial**

Basado en el concepto proporcionado por la UNESCO en su Glosario Hidrológico Internacional, definen agua superficial como⁵⁶ “Agua que fluye o se almacena en la superficie del terreno”. Para el Sistema de Información del Recurso Hídrico⁵⁷, corresponde a la cantidad de agua almacenada en cuerpos de agua como ríos, lagos y embalses.

- **Agua Subterránea**

Según el Glosario Hidrológico Internacional de la UNESCO, define este concepto como⁵⁸ “Agua que ocupa la zona saturada del subsuelo”. Por lo tanto, para el Sistema de Información Ambiental de Colombia⁵⁹, está agua es la que se encuentra almacenada debajo de la superficie terrestre. El flujo y almacenamiento del recurso hídrico en el subsuelo depende de las características geológicas del suelo y el mismo subsuelo y a su vez, de las condiciones físicas, químicas, hidrológicas y

⁵⁶ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit., p. 339.

⁵⁷ SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - SIRH. Agua superficial. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Agua superficial. s.f. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/agua_superficial-n3.html

⁵⁸ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit., p. 215.

⁵⁹ SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA - SIAC. Oferta del agua. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Agua. S.F. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/web/siac/ofertaagua>

climáticas que intervienen en los procesos de dinámicos de recarga, tránsito y descarga de los acuíferos subterráneos.

Para poder entender de una mejor manera el concepto de agua subterránea, es necesario entender su proceso a lo largo de periodos muy extensos. Esto se hará por medio del siguiente gráfico:

Figura 7. Proceso del agua subterránea a lo largo de grandes periodos de tiempo



Fuente: SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - SIRH. Agua superficial. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Agua superficial. S.F. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/agua_subterranea-n3.html

- **Agua marino costera**

Para Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos⁶⁰, son aguas que se encuentran en la franja de interacción entre las zonas marinas u oceánicas y las zonas costeras o de anchura de tierra firme, donde se presentan diferentes interacciones naturales, sociales, entre otras.

- **Agua glaciár**

Para el IDEAM⁶¹, hace referencia a la masa de hielo presente en el planeta tierra, los cuales conforman la criósfera. La Criósfera está principalmente constituida por casquetes continentales, hielos flotantes, campos de hielo y glaciares de montaña. Según el SIAC⁶², en los glaciares las entradas de agua son a través de la lluvia

⁶⁰ PERÚ, DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. Resolución Jefatural 030. (25, enero, 2016). Clasificación del cuerpo de Agua Marino - Costero. Lima., 2016, p. 65.

⁶¹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. Glaciares. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. s.f. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares>

⁶² SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA - SIAC. Oferta del agua, Óp. Cit.

sólida (en forma de nieve) o líquida (en forma de lluvia) o por neblina que choca contra el hielo.

- **Oferta hídrica**

Para Corponariño⁶³, la oferta hídrica corresponde a la fracción de agua precipitada que después de pasar por todos los procesos de infiltración y evapotranspiración, escurre a los cauces de los ríos, alimenta lagos, lagunas y demás sistemas hídricos, converge con otras corrientes y llega de forma directa o indirecta al mar.

La oferta hídrica va de la mano del régimen hidrológico, el cual es definido en el Glosario Hidrológico Internacional como las⁶⁴ “variaciones del estado y de las características de una masa de agua que se repiten de forma regular en el tiempo y en el espacio y que muestran patrones estacionales o de otros tipos”, también para Corponariño⁶⁵, va ligada al volumen de agua disponible que se usa para saciar la demanda que generan las actividades sociales y económicas del ser humano.

- **Demanda hídrica**

Para el SIAC⁶⁶, es el volumen de agua del cual disponen los diferentes sectores económicos y la cantidad usada por la población a una tarifa dada en un periodo de tiempo específico. También tiene en cuenta la porción extraída o almacenada en los sistemas hídricos; también tiene en cuenta el volumen que se usa como materia prima, insumo y el que retorna a los diferentes sistemas hídricos.

⁶³ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO - CORPONARIÑO. Rendimiento del recurso hídrico para la vereda Miraflores. [Sitio Web]. Nariño. CO. Sec. Expedientes. s.f, p. 1. [Consultado 21, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>

⁶⁴ ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional, Óp. Cit., p. 171.

⁶⁵ CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO - CORPONARIÑO. Rendimiento del recurso hídrico para la vereda Miraflores, Óp. Cit., p. 1.

⁶⁶ SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA - SIAC. Demanda y Uso. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Agua. s.f. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/demandaagua>

- **Calidad del agua**

Para la USGS⁶⁷, la calidad del agua se puede considerar como medida de idoneidad, por ende, para poder determinar la calidad del recurso, es fundamental determinar el uso particular que se le va a dar, luego para la ONU⁶⁸, es necesario comprar las características físicas, químicas y biológicas de una muestra de agua con unos parámetros de calidad establecidos; estos parámetros se basan en niveles aceptables de toxicidad aceptados por el ser humano y diferentes organismos acuáticos.

- **Riesgos asociados al recurso.**

Según la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁶⁹, los riesgos asociados al recurso hídrico están relacionados con la gestión de la escasez y exceso de agua, al manejo de las cuentas hidrográficas degradadas, a la viabilidad de los proyectos hidráulicos teniendo en cuenta la variable climática e hidrológica del país, al crecimiento desmesurado y no contemplado de la demanda del recurso sobre la oferta limitada del mismo, a conflictos relacionados con el uso del agua y a la deficiencia en la toma de decisiones de gestión de riesgo en base a eventos sociales y naturales que aumentan la vulnerabilidad del recurso hídrico.

2.2. ESTADO DEL RECURSO HÍDRICO EN COLOMBIA

Se abarcara el estado del recurso hídrico en Colombia teniendo como foco principal la región de la Orinoquía, donde se analizará la oferta y demanda del agua, calidad del recurso y los riesgos asociados al mismo.

2.2.1 Balance hídrico. Según la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁷⁰, Colombia posee una ubicación geográfica favorable, gran variedad climática y unos sistemas montañosos extensos; posee una gran riqueza hídrica en comparación con los otros países. Pero al indagar más sobre la población y las actividades socioeconómicas, se evidencia que están ubicadas en regiones con

⁶⁷ SCIENCE FOR A CHANGING WOLRD – USGS. A primer on water quality. [Sitio Web]. Estados Unidos. Sec. USGS Publications Warehouse. 2001, p. 1. [Consultado 21, noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://pubs.usgs.gov/fs/fs-027-01/pdf/FS-027-01.pdf>

⁶⁸ ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS – ONU. Calidad del agua. [Sitio Web]. Estados Unidos. Sec. Áreas temáticas. 2014. [Consultado 21, noviembre 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

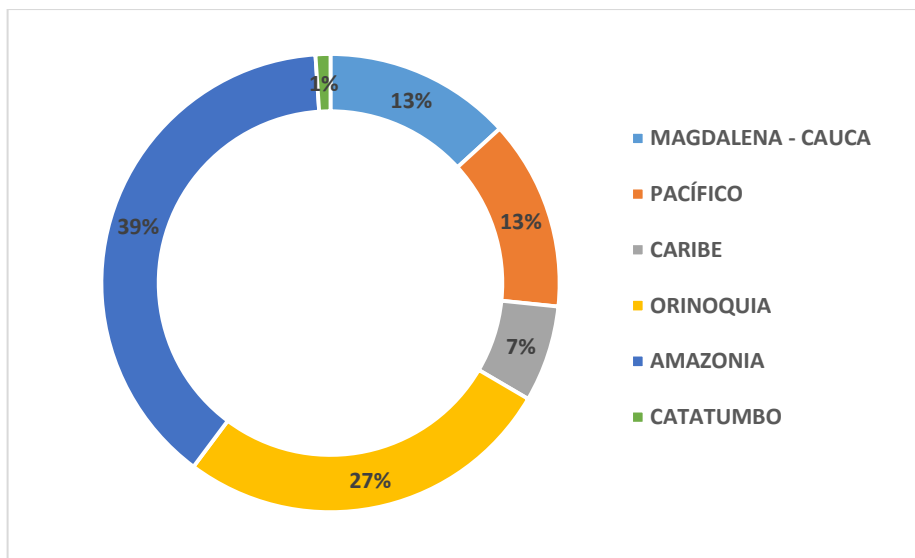
⁶⁹ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. [Google Académico]. Bogotá D.C: 2010, p. 51. ISBN: 978-958-8491-35-6. [Consultado 25, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

⁷⁰ *Ibíd.*, p. 23.

poca oferta hídrica, lo cual genera necesidades en base a este recurso y que a su vez es mayor el impacto que genera el ser humano sobre el agua; lo cual ocasiona que la disponibilidad del recurso sea cada vez menor.

Con base en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales⁷¹, la precipitación media anual de Colombia es de 3214 mm (Volumen aproximado de 3700 km³), posee una evapotranspiración de 1260 mm y una escorrentía media de 1830 mm. Según los datos anteriores se puede aclarar que el 61% del volumen de precipitación anual se convierte en escorrentía superficial, el cual genera un caudal medio de 71800 m³/seg, el cual equivale a un volumen anual de 2265 km³ que se distribuyen a través de las cinco regiones hidrológicas del territorio nacional de la siguiente manera: 8% en la región del Caribe incluida la cuenca del río Catatumbo, la cuenca del Magdalena - Cauca con el 13%, región del pacífico con el 13%, 39% pertenece a la región de la Amazonia y por último el 27% a la región de la Orinoquía.

Gráfica 1. Volumen de agua en áreas hidrográficas representativas en porcentaje



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 50. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE1.pdf>

⁷¹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 50. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/Ópenbiblio/bvirtual/022166/PARTE1.pdf>

2.2.2 Oferta hídrica

2.2.2.1 Agua superficial. Según varios estudios del Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales citados por la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁷², se encontró que el régimen hidrológico está caracterizado por una escorrentía aproximada de 1988 mm; que oscila en el país entre 100 y 6000 mm/año. La escorrentía superficial por persona total corresponde a 57000 m³/año, la cual después de pasar por alteraciones de calidad y por regulación natural, se obtiene una oferta neta de 1260 Km³, que compete a una disponibilidad de 34000 m³/persona al año, por otro lado en condiciones de sequía se reduce a 26700 m³/persona al año, un 22% menos aproximadamente.

Ahora, según el IDEAM⁷³, en términos de cantidad de agua que fluye por unidad de área, Colombia se ubica muy por encima del rendimiento hídrico mundial, ya que esta última es de 10 l/s-km² en promedio y la del país se ubica muy por encima con un valor de 63 l/s-km².

Retomando lo expuesto por el IDEAM⁷⁴, la región de la Orinoquía se encuentra en un valor intermedio de 55 l/s-km² al igual que la región Caribe, ya que el valor más alto lo posee la región del pacífico con 124 l/s-km² aproximadamente, seguido por la región de la Amazonia con un rendimiento hídrico promedio de 81 l/s-km². Por último se encuentran las cuencas hidrográficas de los ríos Catatumbo y Magdalena Cauca, las cuales poseen los valores de rendimiento hidrológico más bajos del país, con 46 l/s-km² y 35 l/s-km² respectivamente.

Con base en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁷⁵, gracias a los valores de escorrentías y rendimientos hídricos, es posible realizar una cuantificación de la abundancia hídrica que posee el país. Esta abundancia se refleja mediante una gran red fluvial que dependiendo de condiciones determinadas, ayuda al almacenamiento de aguas en el subsuelo. A continuación se presentaran los datos correspondientes a la escorrentía en mm y de rendimiento hídrico en l/s-km² para la región de la Orinoquía (Tabla 1).

⁷² MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, Óp. Cit., p. 23.

⁷³ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010, Óp. Cit., p. 50.

⁷⁴ *Ibíd.*, p. 50.

⁷⁵ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, Óp. Cit., p. 24.

Tabla 1. Valores de Escorrentía y Rendimiento Hídrico para la región de la Orinoquía

Región Hidrológica	Corriente	Escorrentía (mm)	Rendimiento(l/s-km ²)
ORINOQUÍA	Arauca	3020	96
	Meta	1520	48
	Guaviare	1720	55
	Vichada	1540	49

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico. [Google Académico]. Bogotá D.C: 2010, p. 24. ISBN: 978-958-8491-35-6. [Consultado 25, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

De la tabla 1 se puede inferir que el valor del rendimiento hídrico es directamente proporcional al valor de escorrentía, debido a que si aumenta el valor de la escorrentía, el rendimiento hídrico también lo hará. Por ejemplo la corriente de Arauca posee el mayor valor en términos de escorrentía (3020 mm), por ende su rendimiento hídrico será el mayor (96 l/s-km²); si se observa la corriente del Meta, posee el valor menor de escorrentía (1520 mm), por lo cual su rendimiento hídrico será el menor entre todos (48 l/s-km²).

Para la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁷⁶, es de suma importancia aclarar que la riqueza hídrica del país está almacenada de forma natural con 38 km³ y supera al almacenamiento artificial actual, el cual es de 7 Km³ distribuidos en reservorios y embalses. Por consiguiente, es de suma importancia proteger los almacenamientos naturales, debido a que son de suma importancia para el manejo del agua ya sea en temporada de lluvia por exceso o en temporada seca por escasas del mismo.

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁷⁷, un aspecto de suma importancia que interviene directamente en la riqueza hídrica de Colombia es el almacenamiento superficial representado en cuerpos lénticos, ya que están distribuidos en buena parte de la superficie total y asociados a enormes ecosistemas de humedales. Del volumen total de escorrentía anual, el 0,04% se almacena en los páramos, el 0,47% en pantanos y 1,30% en lagos naturales, para un total de almacenamiento de 1,81%.

Por último, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁷⁸ propone que es necesario aclarar que la oferta natural de agua no se distribuye homogéneamente en todo el país. Por lo tanto, hay regiones que presentan

⁷⁶ Ibíd., p. 25.

⁷⁷ Ibíd., p. 25.

⁷⁸ Ibíd., p. 25.

abundancia y otro déficit de este recurso, gracias a la alta variabilidad espacial y temporal. Ante esto, es necesario evaluar el mapa de escorrentía promedio anual en Colombia tal como se muestra en el mapa 1 (**Ver Anexo B**).

Nuevamente realizando una profundización en la variabilidad espacial de la escorrentía para la región de la Orinoquía, con base en lo expuesto por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁷⁹, se obtiene que dicha región está representada por las cuencas altas de los ríos Arauca y Casanare que presentan escorrentías de 4400 mm en su parte alta, mientras que en la sabana del Arauca se presentan valores que alcanzan los 1400 mm. En la zona central donde está ubicado el piedemonte llanero, las cuencas altas de los ríos meta y Guaviare; y los ríos que drenan la región del Orinoco, se presenta valores de escorrentía que oscilan entre 2000 mm y 2400 mm. Por último, en las laderas de la Cordillera Oriental presentan valores en un rango de 1400 mm a 1700 mm.

Es necesario realizar una comparación de las zonas hidrográficas de la región de la Orinoquía en cuanto a términos de año húmedo y año seco con base en la información suministrada en la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁸⁰, debido a que el volumen de escorrentía anual promedio desciende un 37% en un año seco; pero no solo esta región se ve afectada, sino todas las demás, en la región de la Amazonia en año seco su escorrentía se reduce un 35%, para la región caribe un 43%, en la cuenca del río Magdalena Cauca un 55% y por último en la región del pacífico un 36%. Aunque estos porcentajes pueden variar según la oferta mensual disponible ya sean meses húmedos o más secos. En la tabla 2 se muestran las áreas totales de las zonas hidrográficas en km² y la oferta anual año medio y anual año seco en Mm³ (Millones de metros cúbicos).

Tabla 2. Oferta hídrica por área hidrográfica

Área Hidrográfica	Área (Km ²)	Oferta anual año medio (Mm ³)	Oferta anual año seco (Mm ³)
Magdalena Cauca	269.129	302.992	137.083
Caribe	104.821	189.951	108.051
Pacífico	77.289	297.088	187.804
Orinoquía	347.208	616.285	408.074
Amazonas	341.994	893.389	576.442

Fuente: Elaboración propia basado en INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 52. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019].
 Archivo pdf. Disponible en:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE1.pdf>

⁷⁹ Ibíd., p. 52.

⁸⁰ Ibíd., p. 54.

Basándose en la tabla 2, se evidencia que a pesar que la Región de la Orinoquía posee la mayor área en Km² con respecto a las demás regiones, no es la que posee la mayor oferta anual año medio. Por lo cual, se puede inferir que el área y dicha oferta anual año medio no son directamente proporcionales, ya que estos valores dependen mucho de las condiciones climáticas, el tipo de terreno, la geología, entre otras características importantes que definen dicho valor. A pesar que la región de la Orinoquía presenta un porcentaje promedio de disminución en su escorrentía del 37%, su valor de oferta anual año seco está por encima de tres regiones más, lo cual indica que es una región con gran oferta hídrica sin importar las condiciones climáticas del año.

Por último, pero no menos importante, se van a presentar las diferentes zonas hidrográficas que posee la región de la Orinoquía, donde se tendrán en cuenta sus respectivos valores de caudal año medio y año seco en m³/s y la oferta anual año medio y año seco en Mm³. Esta información se consolidara en la tabla 12 (**Ver Anexo C**).

Con base en la tabla 12, es posible inferir que así como la Orinoquía posee zonas hidrográficas con grandes áreas, por ejemplo como la zona del Guaviare o el Meta, también posee pequeñas zonas como lo es la zona hidrográfica de Apure. Se evidencia que la oferta año medio no es directamente proporcional al área de estudio, debido a que el área no controla los factores necesarios para que se den están condiciones, es decir el área en estudio no define las condiciones climáticas y demás variables que intervienen en la oferta anual año medio. También se evidencia que el caudal año medio es directamente proporcional al área, ya que, a mayor área, existe más espacio para que fluya una corriente hidráulica, como por ejemplo ríos o arroyos (**Ver Anexo C**).

2.2.2.2 Agua subterránea. Para entender un poco mejor al agua subterránea, es necesario indagar un poco más acerca de ella, por lo tanto se requiere entender un poco mejor su ciclo y funcionamiento.

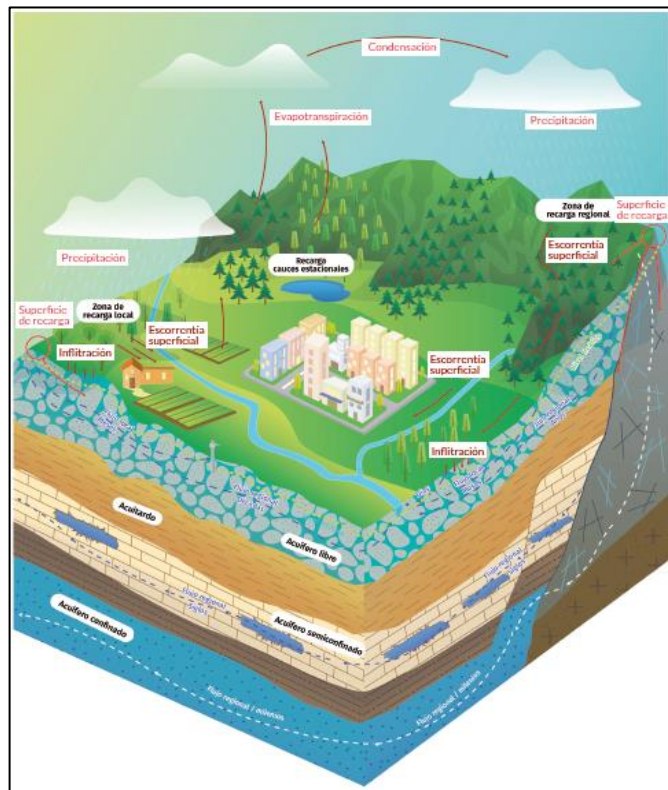
Para el IDEAM⁸¹, La disponibilidad del agua subterránea se determina por la recarga de los acuíferos. Esta recarga depende principalmente de la precipitación y del recorrido que esta hace por toda la litosfera. Hay que tener en cuenta que cuando el vapor de agua se condensa y precipita en forma de lluvia, una parte de esta se evapora antes de tocar el suelo, por otro lado, una fracción es retenida por la vegetación o por el mismo suelo y por último, otra fracción es interceptada por el fenómeno de escorrentía. Finalmente, otra parte es capaz de penetrar el suelo a

⁸¹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 132. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

través de poros, fisuras y rocas hacia el subsuelo, a este proceso se le conoce como infiltración.

Según el IDEAM⁸², después de que el agua se infiltra, llega hasta la zona no saturada, donde cierto volumen de agua es retenido en los espacios vacíos, fracturas y poros, y desde esta zona no saturada el agua puede volver a la atmósfera por evaporación o usada por las plantas y llegar a la atmósfera gracias a la evapotranspiración. El agua que no es capaz de retornar a la atmósfera se desplaza verticalmente hacia abajo hasta alcanzar la zona saturada gracias a la percolación, lo cual alimenta los acuíferos subterráneos. A continuación, se presenta la figura 8, el cual contempla el ciclo del agua y profundiza el proceso de recarga de los acuíferos subterráneos.

Figura 8. Ciclo hidrológico en la recarga de acuíferos



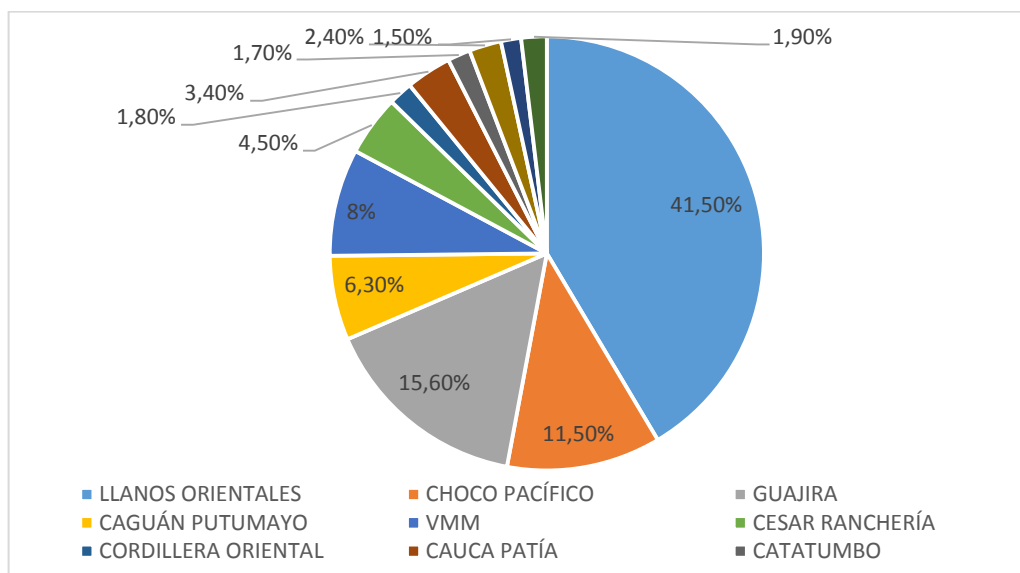
Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 133. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

⁸² Ibíd., p. 132.

Con base en el IDEAM⁸³, la mayor parte de recurso hídrico utilizable de la Tierra se encuentra en el subsuelo, y para Colombia no es la excepción. En el país las aguas subterráneas se dividen en 16 provincias hidrológicas que se delimitaron a partir de modelos geológicos básicos, espesores, características de los materiales del suelo, entre otros estudios. EL 74,5% del territorio cuenta con provincias hidrológicas favorables para la retención de agua, gracias a que se encuentran en formaciones sedimentarias de edades Cuaternaria, Terciaria y Cretácica. Por otra parte, el 25,5% restante está cubierto por rocas ígneas y metamórficas o por zonas con posibilidades hidrológicas desconocidas. Según INGEOMINAS en su mapa Hidrológico de Colombia del año 1986 citado por la Política Nacional de la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁸⁴, resalta a manera de pronóstico que las zonas con mayor potencial hidrológico se encuentran cerca de un 36% del área del país, lo que corresponde a 415000 Km².

A continuación, en la gráfica 2 se consolida la información en 12 provincias hidrológicas con su respectivo porcentaje respecto al total de reservas de agua subterráneas encontradas en todo el país.

Gráfica 2. Distribución porcentual de reservas de aguas subterráneas por provincia hidrogeológica



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 54. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE1.pdf>

⁸³ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010, Óp. Cit., p. 54.

⁸⁴ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, Óp. Cit., p. 27.

Con base en el estudio nacional el agua 2018, publicado en el año 2019, se profundizó acerca de las zonas potenciales de recargas de aguas subterráneas para la región de la Orinoquía y se obtuvieron los siguientes resultados:

Según el IDEAM⁸⁵, la zona más destacada de la región de la Orinoquía que presentan gran potencial de recarga es el Piedemonte de la Cordillera Oriental a la altura de Yopal y Villavicencio, debido a que posee pendientes horizontales con muy poca inclinación, que favorece la infiltración del agua. Por lo tanto, en dicho estudio se delimitaron las provincias hidrológicas de la Cordillera Oriental y los Llanos Orientales; incluyendo a los departamentos del Meta y el Vichada. Gracias a que su vegetación es de bosques y áreas seminaturales, contribuye al mejoramiento del suelo debido a que las raíces crean canales y protección de la estructura del suelo que contribuyen al favorecimiento de la acción de organismos y por ende a que el agua se infiltre.

Morfológicamente para el IDEAM⁸⁶, las áreas van asociadas a valles que conforman grandes ríos, áreas de piedemonte; depósitos y llanuras aluviales; abanicos y dunas de edad temprana; y por ultimo ambientes de estructura denudativa de la edad Terciaria y Cretácea. Posee suelos de textura arenosa, arenoso franco y franco arenoso, vinculado a zonas con litologías sedimentarias siliciclásticas con tamaño de grano área o grava bien seleccionados (buena redondez y tamaño similar) poco sementados o friables.

Con base en la información del IDEAM⁸⁷, las zonas delimitadas que presentan un potencial moderado de recarga en la región de la Orinoquía se ubican en los departamentos de Arauca, Casanare y Meta; y en la provincia hidrológica de los Llanos Orientales, ya que en dichas zonas se presentan pendientes ligeramente inclinadas con coberturas de cultivos y áreas heterogéneas. Litológicamente hablando, estas zonas están asociadas a rocas de origen calcáreo en depósitos recientes con grano fino a conglomerados mal seleccionados de tipo siliciclástico.

Para el IDEAM⁸⁸, la baja potencialidad de recarga se presentó con mayor frecuencia en las provincias hidrológicas de la Cordillera Oriental y de los Llanos Orientales, perteneciente a la región de la Orinoquía porque en dichas áreas se encuentran pendientes demasiado inclinadas que oscilan entre 18° a 40°, lo que hace que la infiltración del agua sea muy difícil. Su suelo está asociado a una cobertura vegetal de pastoreo, debido a que en las zonas se presenta mucha ganadería lo cual compacta el suelo. Sumado a esto, presenta suelos arcillosos que reducen la capacidad de infiltración del mismo. Geológicamente, estas zonas poseen bajo

⁸⁵ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., p. 140.

⁸⁶ *Ibíd.*, p. 140.

⁸⁷ *Ibíd.*, p. 142.

⁸⁸ *Ibíd.*, p. 142.

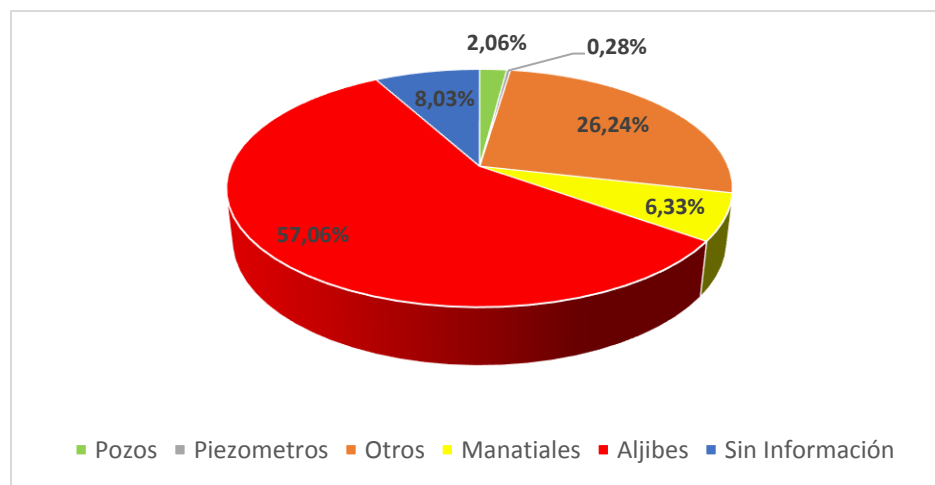
fracturamiento y su litología está conformada por rocas siliciclásticas tipo arcillolitas y limolitas, como calizas lodosas detríticas y arrésciales de grano fino a muy fino, mal seleccionado y de mala redondez, con buena cementación y compactación.

Por último, para el IDEAM⁸⁹, se encuentran zonas de la región de la Orinoquía con muy bajo potencial de recarga, ubicados al norte de la Cordillera Oriental, en el macizo Santander Floresta y al sur de la misma en el macizo Garzón Quetame. Las características de la zona van asociadas a pendientes subverticales a verticales, lo cual impide la infiltración de agua a pesar de que el sistema esté completamente fracturado. La cobertura del suelo es de carácter artificial como por ejemplo las áreas construidas y suelos de textura muy fina. Su litología corresponde a rocas metamórficas e ígneas intrusivas, lo cual hace que sean un sistema impermeable que evita que se produzca el fenómeno de percolación del agua en el suelo.

Para entender un poco mejor lo anteriormente expuesto, es necesario recurrir al mapa 2 de zonas potenciales de recarga de agua subterráneas, con el fin de evidenciar las zonas anteriormente expuestas y tener claramente su ubicación a lo largo del país (**Ver Anexo B**).

A continuación se mostraran los datos correspondientes a los tipos de distribución de agua subterránea que existen a nivel nacional, basados en la información recopilada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en su Estudio Nacional del Agua 2018.

Gráfica 3. Distribución de tipos de punto de agua subterránea a nivel nacional



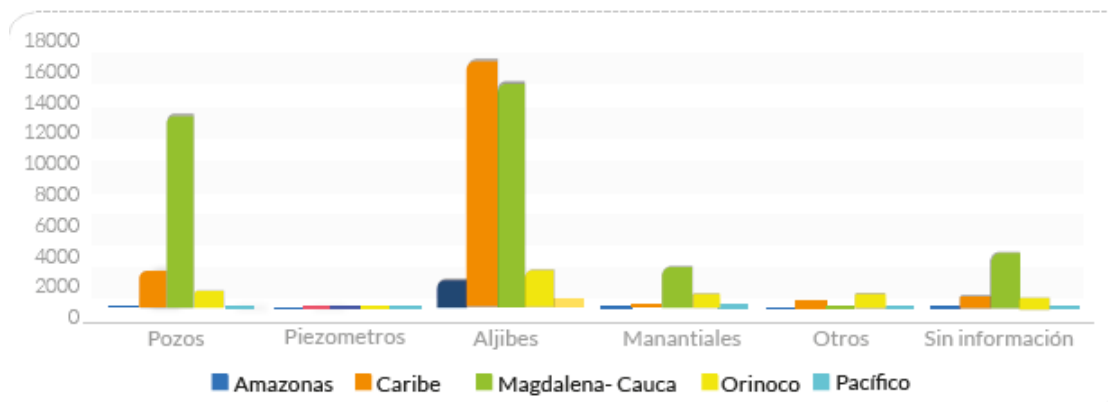
Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 157. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

⁸⁹ *Ibíd.*, p. 142.

De la gráfica 3, se puede evidenciar que la principal fuente de captación de agua subterránea a nivel nacional corresponde a los aljibes, con un 57,06%, más de la mitad de aguas subterráneas que posee Colombia. Seguido por otros tipos de puntos como los pozos profundos con un 26,24%. Es de suma importancia resaltar que un 8,03% de los puntos de agua subterránea no cuentan con información suficiente, por lo que es necesario invertir en mayor investigación para poder clasificarlos. Por último, se infiere que los piezómetros a nivel nacional no tienen una representación significativa.

Ahora es necesario cuantificar los números y tipos de puntos de agua subterránea por región hidrográfica, esta información será plasmada en la gráfica 4.

Gráfica 4. Distribución de tipos de punto de agua subterránea por región hidrográfica



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 156. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Basándose en la gráfica 4 expuesta por el IDEAM⁹⁰, se muestra que el mayor número de puntos de agua subterránea se ubican en la región hidrográfica del Magdalena–Cauca con un 54,27%, seguido de la región Caribe con un 31,84%. Continuando el estudio, en tercer lugar se ubica la región de la Orinoquía con un aporte de puntos del 10,04%.

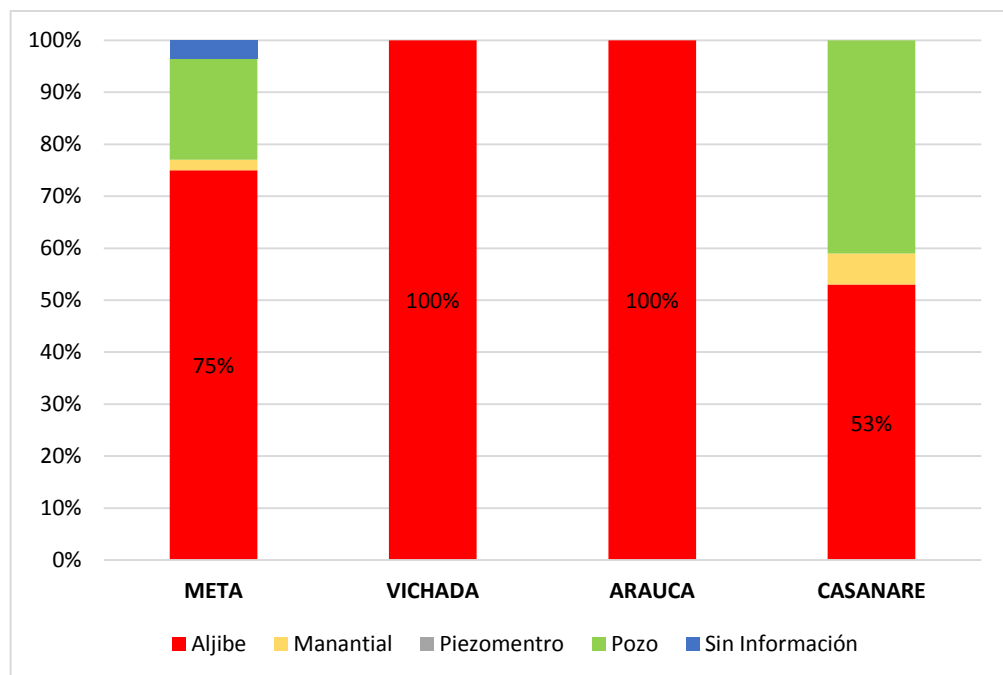
Es pertinente aclarar en base a la gráfica 4, que el principal punto de agua subterránea son los aljibes, con una representación mayor al 50% con respecto a los otros tipos de puntos. Es de suma importancia resaltar que a nivel nacional el aporte de puntos de tipo piezómetro es demasiado bajo, incluso mucho más que los manantiales. Por otro lado, el tipo de punto de agua subterránea con más aporte seguido de los aljibes, corresponde a los pozos, en el que se destaca la región del

⁹⁰ Ibíd., p. 153.

Magdalena–Cauca. Por último, se puede inferir que un gran número de puntos a nivel nacional y en especial en la región anteriormente mencionada cuenta sin información, por lo que es de suma importancia invertir en investigación para poder clasificar dichos puntos.

Ahora se realizará la evaluación de los tipos de punto de agua subterránea para la región de la Orinoquía haciendo énfasis en sus departamentos. Así que se realizará la gráfica 5 para poder plasmar dicha información.

Gráfica 5. Distribución de tipo de punto de agua subterránea por departamento para la Región de la Orinoquía



Fuente: Elaboración propia con base en INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 156. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Con base en la gráfica 5, se observa que los departamentos del Vichada y Arauca cuentan con solo un tipo de punto de agua subterránea, el cual corresponde a los aljibes, lo que quiere decir que el 100% de aporte corresponde a este tipo de punto. Para el departamento del Meta y el Casanare el principal tipo de punto de agua subterránea corresponde también a los aljibes, con unos porcentajes aproximados de 75% y 53% respectivamente, lo cual quiere decir que para la región de la Orinoquía el mayor aporte lo hacen dicho tipo de punto.

Es de suma importancia resaltar que el departamento de Casanare y Arauca, cuentan con otros tipo de puntos, el segundo que más aporta corresponde a los pozos, con un porcentaje aproximado de 41% y 19,5% respectivamente, seguido de este, están los manantiales, en el caso del departamento del Casanare, este cuenta con un porcentaje aproximado de 6% y el departamento del Meta con un porcentaje de 2%. Por último el departamento del Meta cuenta con porcentaje bajo de 3,5%, correspondiente a puntos que cuentan sin información, por lo cual, es muy importante realizar investigación en dicho departamento para poder clasificarlos.

2.2.2.3 Glaciares. Según la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁹¹, la criósfera colombiana cuenta con seis glaciares de montaña: dos sierras nevadas y cuatro volcanes, los cuales se clasifican como glaciares ecuatoriales debido a que se ubican en la zona ecuatorial, aproximadamente entre lo 3º y 11º de latitud norte, por lo que han sido considerados como indicadores del calentamiento global, ya que la variabilidad climática en esta franja afecta considerablemente las masas de hielo. En el estudio Nacional del Agua 2018⁹², a Criósfera colombiana cuenta con una extensión total de 37 km², para el año 2017.

Según el IDEAM⁹³, las dos sierras nevadas hacen referencia al Cocuy o Guicán (con 17,4 km² al año 2009) y Santa Marta (área de 7,4 km² al año 2009), y los cuatro volcanes son: Huila (con una extensión de 9,7 km² al año 2009), Ruiz (con 8,8 km² para el año 2007), Santa Isabel (2,6 km² de área para el años 2007) y Tolima (cuenta con 0,93 km² al año 2007). Según el Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2010⁹⁴, estos nevados o glaciares se distribuyen en el país en la Cordillera Oriental con rocas sedimentarias, la Cordillera Central de origen volcánica y por último en la sierra nevada de Santa Marta (ígneo metamórfica).

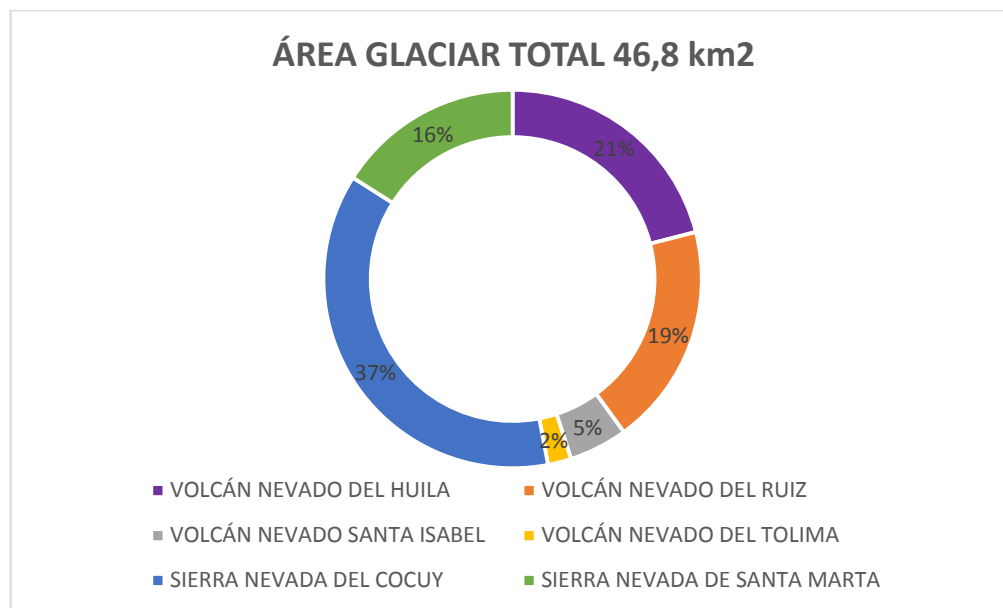
⁹¹ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010, Óp. Cit., p. 32.

⁹² INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., p. 95.

⁹³ *Ibíd.*, p. 94.

⁹⁴ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables 2010, Óp. Cit., p 56.

Gráfica 6. Área glaciár en Colombia (de 2007 a 2009)

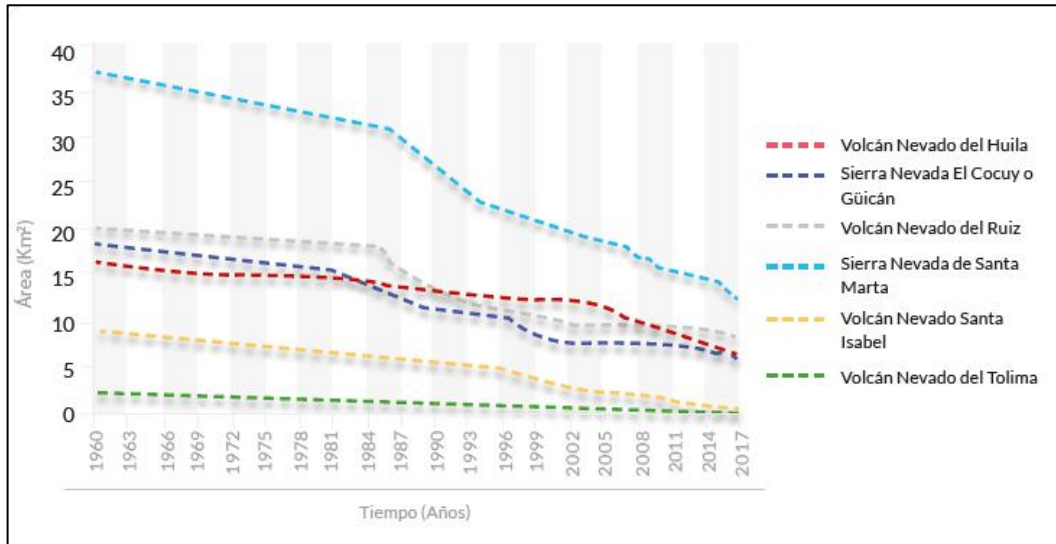


Fuente: NSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 56. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE1.pdf>

Para entender el estado actual de los glaciares o nevados colombianos, es necesario recurrir a la información suministrada por el IDEAM⁹⁵, en la tabla 13 se observa la evolución a lo largo de la historia del país, lo cual ayudara a entender mejor la situación de Colombia respecto a este recurso superficial. A lo largo de los últimos 30 años se han perdido 41,7 km² de masa glaciár, lo cual ha generado preocupaciones debido a que está pérdida de hielo refleja el 56% de los 87km² presenten en la década de 1980, y en la última década, se ha fusionado un 22% del área glaciár de Colombia, es decir, 10,6 km² (**Ver Anexo C**).

⁹⁵ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., p. 95.

Gráfica 7. Evolución del área glaciar en Colombia, 1960–2017



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 95. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Es de suma parte abordar la gran relación que tuvo el fenómeno del Niño 2015-2016 con la fusión de los glaciares teniendo en cuenta la Información expuesta por el IDEAM⁹⁶, ya que, para este intervalo de tiempo hubo un fuerte fenómeno extremo de variabilidad climática, lo que ocasiono cambio en los mismos, un ejemplo claro de ello fue que solamente entre enero de 2014 y abril de 2016, el Volcán nevado de Santa Isabel perdió 33% de su área total y disminuyó su espesor de hielo 14 metros.

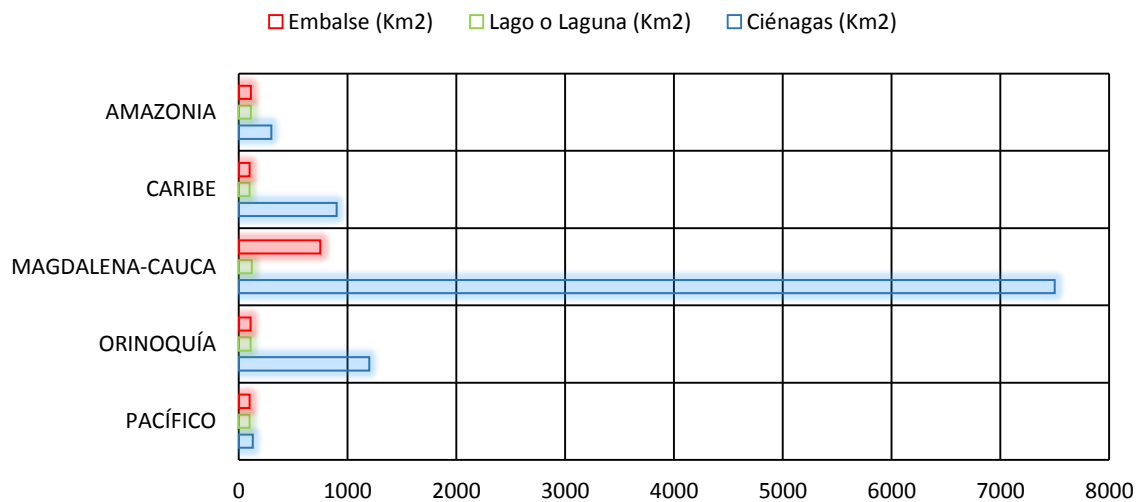
2.2.2.4 Cuerpos lénticos: lagunas, lagos, humedales, ciénagas y embalses. En la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico⁹⁷, hace referencia a los ecosistemas que contiene grandes volúmenes de agua, como por ejemplo las ciénagas, las cuales cuentan con 5'622.750 hectáreas, distribuidas en mayor medida en los departamentos de Bolívar y Magdalena. Las lagunas tienen una participación aproximada de 22.950 ha y las sabanas inundables un área de 9'255.475 ha.

Ahora, se presentara un gráfico, en el cual estará la información relacionada el área total de lagunas, ciénagas, lagos y embalses por región hidrográfica.

⁹⁶ *Ibíd.*, p. 95.

⁹⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 201, Óp. Cit., p. 32.

Gráfica 8. Distribución cuerpos de agua lénticos por área hidrográfica km².



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 92. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

De la gráfica 8 es posible aclarar con base en el IDEAM⁹⁸ que la región hidrológica que cuenta con mayor área de cuerpos lénticos corresponde a la región del Magdalena-Cauca, superando en gran medida en ciénagas y embalses a las demás regiones. Esto debido principalmente al complejo de ciénagas ubicadas en la Depresión Momposina y al desarrollo económico que presenta el país en esta región, ya que existe infraestructura enfocadas a la producción de energía eléctrica, riego o con fines de abastecimiento de recurso hídrico potable.

Nuevamente enfocando el estudio hacia la región de la Orinoquía, es necesario recopilar información respecto a sus zonas hidrográficas y cuantificar cuanta área está ocupada por los diferentes cuerpos lénticos, por lo tanto es necesario la realización de una gráfica para contemplar toda la información solicitada.

⁹⁸ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., p. 92.

Tabla 3. Relación de área ocupada por cuerpos de agua lénticos para la región de la Orinoquía

REGIÓN DE LA ORINOQUÍA	Zona Hidrográfica	Embalse (Km ²)	Lagos y Lagunas (Km ²)	Ciénagas (Km ²)
	Apure	-	-	-
	Arauca	1	2	30
	Casanare	-	2	146
	Guaviare	-	6	268
	Inírida	-	-	155
	Meta	36	61	213
	Orinoco Directos	-	-	112
	Tomo	-	-	43
	Vichada	-	-	45
TOTAL		37	71	1.012

Fuente: Elaboración propia con base en INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 93. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

De la tabla 3 es importante resaltar el aporte principal en esta región o área hidrológica son las ciénagas, con un total 1012 Km², seguido por los lagos y lagunas con un menor aporte, de 71 Km² y por último los embalses, los cuales proporcionan un 37 Km². En términos de porcentaje, las ciénagas tienen un porcentaje muy representativo, el cual corresponde a más del 90%, el restante está distribuido en lagos y lagunas; y en embalses, cuyos porcentajes aproximados son de 6% y 4% respectivamente.

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial⁹⁹, en Colombia se han caracterizado 27 complejos de humedales continentales de acuerdo con las condiciones topográficas y hidrológicas, basados en su representación que tienen a nivel de biodiversidad biogeográfica, tipológica y funcional. Por lo cual, de las cinco regiones que posee el país, estos sistemas de humedales están ubicados en mayor medida en la región del Caribe, ya que cuenta con el 71% de humedales de tipo permanente o semipermanente, resaltando el complejo de la Depresión Momposina, el del Magdalena medio y el Río Atrato.

2.2.3 Demanda hídrica. Con basado en la recopilación de datos que realizó en Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales¹⁰⁰, donde hizo un seguimiento de información disponible desde el año 2008 hasta el año 2016, se obtuvo que la demanda total de agua para el año 2016 fue de 37.308 millones de

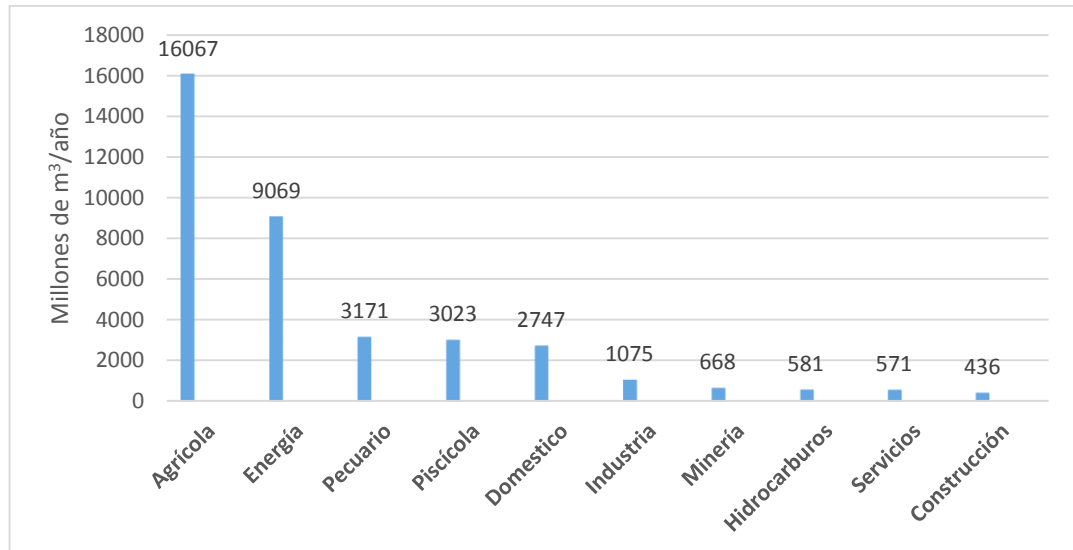
⁹⁹ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 201, Óp. Cit., p. 32.

¹⁰⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., p. 170.

m³, lo cual indica un aumento del 5% con respecto al valor dado por el mismo instituto en el año 2012.

Con la información recolectada en el Estudio Nacional del agua 2018 se realizó una gráfica en la cual se evidencia la distribución de la demanda hídrica de los diferentes sectores económicos que posee el país.

Gráfica 9. Demanda hídrica por sector industrial en Colombia



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 170. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Al analizar un poco la gráfica 9, es evidente que el sector que posee mayor demanda de recurso hídrico es la agricultura, seguida por la energía y el sector pecuario, con 43,07%, 24,31% y 8,23% de participación respectivamente respecto a la demanda total, por lo cual, estos tres sectores representan aproximadamente el 76% de la demanda total de agua en el país. Por otro lado, el sector hidrocarburos a nivel nacional usa aproximadamente el 1.56% de la demanda total de dicho recurso, el otro 22% restante se distribuye en minería, industria, servicios construcción y doméstico, por lo que se puede inferir que el sector de los hidrocarburos es de los que menos demanda de agua posee con respecto a otros siete sectores.

Para entender un poco más la demanda nacional de recurso hídrico, es necesario recurrir al mapa de demanda hídrica total publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales en el año 2014.

Según el mapa 3, existen cuatro zonas en las cuales la demanda de agua supera 1000 millones de m³/año, cuyas zonas corresponden a la ciudad de Bogotá, cerca de la ciudad de Neiva, cerca de la ciudad de Medellín en el departamento de Antioquia y por último otro punto en el departamento de Córdoba. Enfocando el estudio hacia la región de la Orinoquía, con respecto a sus cuatro departamentos (Vichada, Meta, Arauca y Casanare), se evidencia que su consumo en promedio se ubica entre 100 y 300 m³/año, ubicándose estos valores hacia las zonas más pobladas, estos valores también se pueden presentar debido a que en el en la región se presenta gran desarrollo agrícola, por ende el consumo de agua en esa zona aumenta (**Ver Anexo B**).

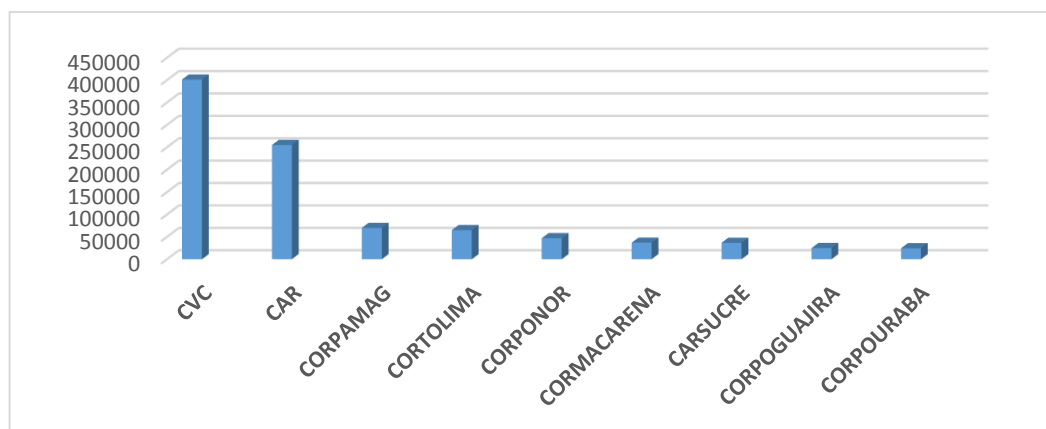
Respecto a la demanda de este recurso subterráneo, el IDEAM¹⁰¹ aclara que el sector que mayor uso hace del mismo es el sector de la agricultura con un 75%, seguido del uso doméstico con un 9% y por último el industrial con el 6%; mientras que el sector pecuario y de servicios usa el 6% de la demanda total. Se puede inferir el 6% restante se distribuye entre el sector de la construcción, de hidrocarburos, energético, entre otros.

Según el IDEAM¹⁰², quienes más consumen agua subterránea a nivel nacional son los usuarios ubicados en áreas de jurisdicción de autoridades nacionales, tales como CVC, CAR, CORTOLIMA, CORPAMAG, entre otras. Para poder entender el consumo de agua subterránea respecto a la jurisdicción de las autoridades ambientales, es necesario cuantificar dicho consumo por medio de la siguiente gráfica:

¹⁰¹ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010, Óp. Cit., p. 245.

¹⁰² *Ibíd.*, p. 256.

Gráfica 10. Consumo de aguas subterráneas según áreas de jurisdicción de autoridades ambientales en miles de metros cúbicos al año



Fuente: NSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 50. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE5.pdf>

Con base a la gráfica 11, el IDEAM¹⁰³ aclara que es fácil reconocer que el mayor consumo se centra en el departamento de Valle del Cauca, seguido por Cundinamarca. También es evidente que el departamento con menos demanda de agua subterránea es Antioquia, seguido por la Guajira y por ultimo Sucre. Representantes de la región de la Orinoquía se ubica CORMACARENA, la cual cuantifica la demanda de agua subterránea para el departamento del Meta, donde su demanda es muy similar a la de Sucre.

Por último, es necesario cuantificar el uso en millones de metros cúbicos por año para las diferentes provincias hidrológicas, por ende, se tomó información del Informe del estado del medio ambiente y los recursos naturales renovables del año 2010 para construir la siguiente tabla:

¹⁰³ *Ibíd.*, p. 256.

Tabla 4. Distribución del uso de aguas subterráneas por provincia hidrológica

PROVINCIA HIDROLÓGICA	DEMANDA EN MILLONES DE M ³ /AÑO	PORCENTAJE
Cauca Patía	420	51,66%
Cordillera Oriental	266	32,09%
Sinú San Jacinto	27	3,26%
Guajira	22	2,65%
Urabá	21	2,53%
Valle Bajo del Magdalena	14	1,69%
Llanos Orientales	24	2,90%
Islas de San Andrés y Providencia	5	0,60%
Catatumbo	30	3,62%

Fuente: Fuente: NSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 50. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE5.pdf>

Enfocando el estudio hacia la región de la Orinoquía, gracias a la tabla 4, se identifica que la provincia hidrológica de los Llanos Orientales posee una demanda de aguas subterráneas del 2,9%, equivalente a 24 millones de m³/año, lo cual en comparación con la provincia del Cauca Patía, está muy por debajo de la demanda, ya que su porcentaje corresponde al 51,66%.

2.2.4 Calidad del recurso. Según el IDEAM¹⁰⁴, la calidad del recurso hídrico se da gracias a características o parámetros físicos, químicos y biológicos, los cuales van ligados a dinámicas naturales o antrópicas en las cuales se ven agentes contaminantes para dicho recurso.

Con base en el IDEAM¹⁰⁵, La fuente principal de contaminación de las aguas superficiales, subterráneas y marianas, corresponde a los vertimientos, debido a que estos ejercen un impacto dependiendo de las características de su calidad (carga contaminante) y de la capacidad de los cuerpos de agua para asimilar o degradar las cargas contaminantes.

Para entender de una mejor manera los vertimientos, es necesario recurrir al Estudio Nacional del Agua 2018¹⁰⁶, para definir el origen del mismo, es decir si

¹⁰⁴ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., p. 219.

¹⁰⁵ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010, Óp. Cit., p. 241.





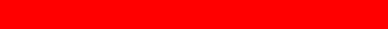
¹⁰⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., p. 219.

vienen de una fuente puntual o un fuente difusa. Por un lado, se encuentran las fuentes o vertimientos puntuales, los cuales se relación con un origen puntual donde es vertido al alcantarillado, el cual transporta el agua residual ya sea directamente al cuerpo de agua o a una planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de mejorar la calidad de dicha agua y poder ser vertida satisfactoriamente. Este tipo de vertimiento vienen generalmente asociado a algunas actividades económicas tales como las industriales, también vienen asociados a vertimientos de tipo doméstico.

Por otro lado, el IDEAM¹⁰⁷ ubica los vertimientos de origen difuso, los cuales son vertidos directamente al cuerpo de agua sin tener un punto fijo de estudio; este tipo de vertimiento se asocia en su mayoría a escorrentías, por lo que es muy complejo cuantificar su carga contaminante.

Con base en el Informe del Estado del Ambiente y los Recursos Renovables 2016, publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en el año 2017¹⁰⁸, reporta los resultados del índice de calidad del agua (ICA), el corresponde a un indicador que expone el estado de la calidad el agua, basado en seis variables: oxígeno disuelto, conductividad electica, demanda química de oxígeno, solidos totales en suspensión, pH y la relación entre nitrógeno total y fósforo total. Este indicador se representa por categorías: buena, aceptable, regular, mala o muy mala. La información recopilada corresponde al seguimiento de la red básica de calidad de agua del convenio Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) – Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena – CORMAGDALENA, en 192 puntos de monitorio y observación.

Cuadro 1. Categorías Índice de calidad del Agua IDEAM

ESCALA DE CALIDAD	RANGO	COLOR
Bueno	0,91 – 1,00	
Aceptable	0,71 – 0,90	
Regular	0,51 – 0,70	
Malo	0,26 – 0,50	
Muy Malo	0 – 0,25	

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2017, p. 15. ISBN: 978-958-8067-87-2 [Consultado 10, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023834/INFORME_E.A_2016.pdf

¹⁰⁷ Ibid., p. 219.

¹⁰⁸ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2017, p. 14. ISBN: 978-958-8067-87-2 [Consultado 10, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/Ópenbiblio/bvirtual/023834/INFORME_E.A_2016.pdf

Según el mapa 4 y en el cuadro 1 publicado por el IDEAM¹⁰⁹, en el área hidrográfica de la Orinoquía, se evidencian problemas vinculados a la calidad del agua en la estación de Maní, sobre el Río Cusiana en un rango entre 0,26 y 0,50, lo que corresponde a categoría “Mala”. Otras estaciones que presentan rangos entre 0,51 y 0,70 son la estación Puerto Rico sobre el Río Ariairi, la estación Cravo Norte sobre el Río Casanare, la estación Puerto Yopal con el Río Cravo Sur y la estación Puente Lleras con el Río Meta presentan categoría “Regular”, que va de la mano con vertimientos correspondientes a ganadería, agricultura y domésticos (**Ver Anexo B**).

Respecto al Estudio Nacional del Agua 2018, publicado por el Instituto Hidrológico, Meteorológico y Estudios Ambientales (IDEAM) en el año 2019¹¹⁰, calculan la influencia que tiene la carga contaminante para condiciones hidrológicas media y seca para las subzonas hidrográficas por medio del índice de alteración potencial de la calidad del agua (IACAL), el cual es representado espacialmente para la identificación de las zonas más contaminadas para determinar dicha calidad.

Con respecto al IDEAM¹¹¹, al realizar una comparación con base en el mapa 5 de las condiciones hidrológicas promedio contra las condiciones hidrológicas año seco, se obtiene que 65 subzonas hidrográficas poseen su categoría entre muy alta y alta, lo que corresponde a que poseen una alta potencialidad de contaminación por vertimientos en año medio, pero al analizar el año seco, aumenta el número de subzonas hidrográficas a 97 entre las mismas categorías, lo cual indica que aumenta la potencialidad de contaminación por cargas contaminantes asociadas a vertimientos (**Ver Anexo B**).

Ahora se realizará un enfoque para las diferentes regiones hidrológicas con sus respectivas subzonas, donde se tendrá en cuenta el número de subzonas relacionadas con su categoría para los dos casos en estudio (año medio y año seco).

Con respecto a la tabla 14, se puede inferir que la región de la Orinoquía es la segunda región con más subzonas hidrológicas monitoreadas, también se puede añadir que es la región que menos tiene menos subzonas entre las categorías “Alta” a “Muy Alta” en año seco a excepción de la región de la Amazonia y es la que mayor número de subzonas tiene en la categoría “Baja” tanto en año seco como año medio (**Ver Anexo C**).

¹⁰⁹ *Ibíd.*, p. 19.

¹¹⁰ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, *Óp. Cit.*, p. 159.

¹¹¹ *Ibíd.*, p. 261.

Según el IDEAM¹¹², durante año medio la región hidrográfica la Orinoquía presenta dos subzonas en categoría “Alta”, las cuales corresponden al Río Guatiquía y el lago de Tota, subzonas como el Río Garagoa, Cravo Sur, Banadia, entre otros se encuentran en categoría “Media”. Para año seco aumenta en tres subzonas ubicadas en categoría “Alta” y dos en “Muy Alta”.

Por último se presenta la relación entre nitrógeno y fósforo, expuesto en el Estudio Nacional del Agua 2014¹¹³, debido que está evidencia un desbalance de nutrientes provocado por las malas prácticas agrícolas. La relación ideal que deben tener los dos nutrientes anteriormente mencionados debe oscilar entre 14,1 y 20,1; relaciones por debajo de 7,1 y por encima de 20,1 desfavorece el desarrollo de seres u organismos vivos. A continuación se presentara una tabla la cual contendrá las variaciones o desbalances de esta relación para las zonas hidrografías de la región de la Orinoquía con su respectivo departamento y municipio.

Tabla 5. Corrientes con desbalance de nutrientes en la región de la Orinoquía

Departamento	Municipio	Corriente	Alarma (mg)
Zona Hidrográfica Cauca			
Cauca	Popayán	Cauca	2,21
Zona Hidrográfica Guaviare			
Meta	Mapiripan	Guaviare	3,32
	Vista Hermosa	Guejar	1,80
Zona Hidrográfica Vichada			
Vichada	Cumaribo	Guaviare	3,23
Zona Hidrográfica Meta			
Casanare	Maní	Cusiana	2,81
	Yopal	Cravo Sur	4,07
Meta	Villavicencio	Guayuriba	2,76
	Puerto López	Meta	3,02
Zona Hidrográfica Casanare			
Arauca	Cravo Norte	Casanare	1,97
Zona Hidrográfica Orinoco Directos			
Vichada	Puerto Carreño	Meta	3,43

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2014. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2015, p. 269. ISBN: ISBN: 978-958-8067-70-4. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

¹¹² Ibíd., p. 262.

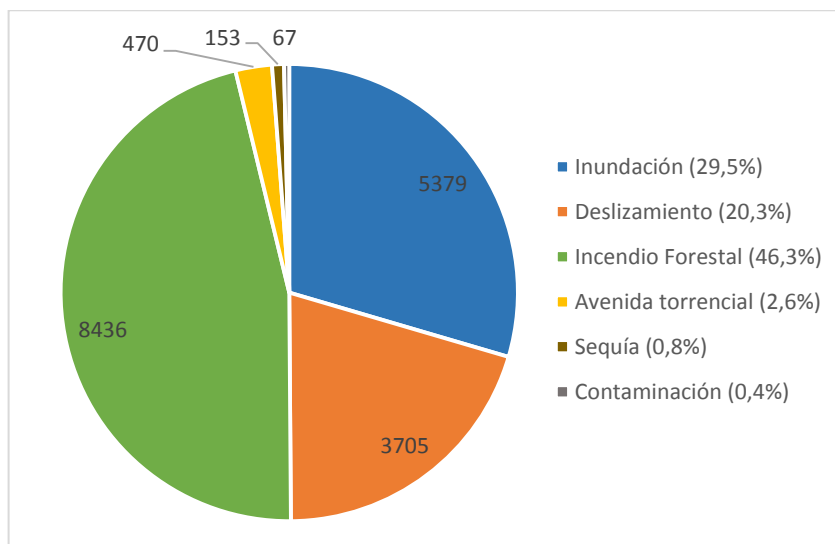
¹¹³ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2014. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2015, p. 269. ISBN: ISBN: 978-958-8067-70-4. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/Ópenbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

De la tabla 5, se puede aclarar que todas estas corrientes presentan niveles menores a 7,1; lo cual indica el desfavorecimiento en desarrollo de seres vivos, debido a que poseen anomalías en el balance de los nutrientes nitrógeno y fósforo presentes en las diferentes corrientes estudiadas, este desbalance o anomalía se presentan debido a las malas prácticas efectuadas en la agricultura en las ya mencionadas zonas hidrográficas.

2.2.5 Riesgos asociados al recurso hídrico. Según la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico¹¹⁴, los riesgos que asociados al recurso hídrico en Colombia son: desabastecimiento de agua para el consumo humano, actividades productivas y conservación de ecosistemas; por sequía y desertificación para las actividades agropecuarias y por contaminación hídrica para la población y lo ecosistemas.

A continuación se presentará una gráfica de los principales eventos asociados al recurso hídrico en el período de 2000 a 2018, con base en la información suministrado por el Sistema de Inventario de Desastres (DESINVENTAR).

Gráfica 11. Registros de desastres relacionados con el recurso hídrico de 2010 a 2018



Fuente: INVENTARIO HISTÓRICO NACIONAL DE DESASTRES – DESINVENTAR. Colombia- Inventario Histórico Nacional de Desastres. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. s.f. Sec. <https://online.desinventar.org>. [Consultado 19, diciembre, 2019] Disponible en: https://online.desinventar.org/desinventar/#COL-1250694506-colombia_inventario_historico_de_desastres

¹¹⁴ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010, Óp. Cit., p. 52.

Según el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial¹¹⁵, el recurso hídrico se ve afectado directamente con la vulnerabilidad de los sistemas hídricos, ya que si estos no pueden mantener y conservar la capacidad hidrológica ante posibles alteraciones climáticas, los sistemas hídricos no podrán abastecer y distribuir el agua ante una reducción de la oferta.

- **Variabilidad climática**

Para el IDEAM¹¹⁶, hace referencia a tendencias y cambios a diferentes escalas espacio – tiempo de las diferentes variables que gobiernan el clima. Por ende, es normal evidenciar fluctuaciones por encima o por debajo del valor promedio de los últimos treinta años.

Según Estudio Nacional del Agua 2008 citado por la Política Nacional del Recurso Hídrico 2010¹¹⁷, Colombia posee un coeficiente de variación en el orden de medio a bajo; también dispone de dos regímenes hidrológicos que se relacionan con el coeficiente de asimetría, los cuales son: inundación (coeficiente positivo) y sequía (coeficiente negativo). Las regiones de la Orinoquía, Caribe e Interandina presentan coeficiente de inundación, mientras que la región del Pacífico y la Amazonia presentan coeficiente de sequía.

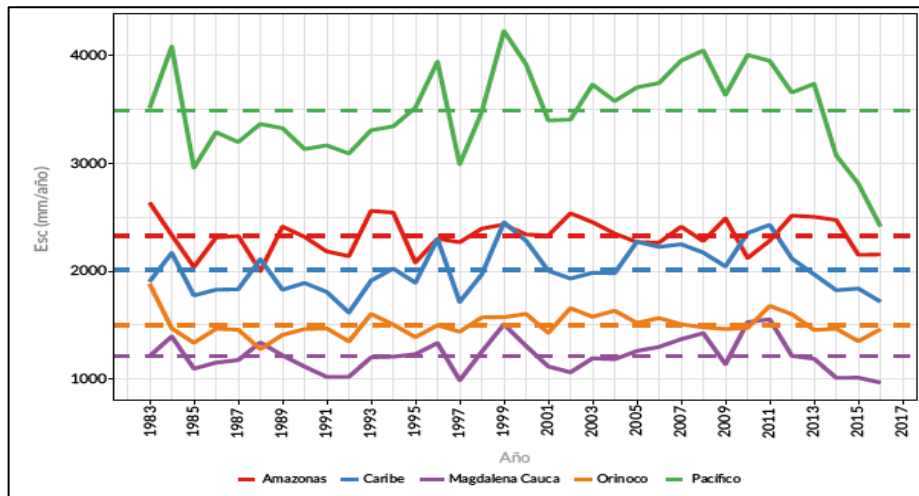
Con base en los fenómenos anteriormente mencionados, se hará la representación gráfica de la variación natural que tiene la oferta hídrica superficial (escorrentía media anual) para cada una de las regiones hidrográficas, basado la información expuesta en el Estudio Nacional del Agua 2018, publicado por el IDEAM.

¹¹⁵ *Ibíd.*, p. 52.

¹¹⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, *Óp. Cit.*, p. 58.

¹¹⁷ MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010, *Óp. Cit.*, p. 52.

Gráfica 12. Escorrentía media anual para las áreas hidrográficas



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 59. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 20, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Tabla 6. Variación porcentual de la oferta hídrica superficial respecto a la media multianual para cada región hidrográfica

Región Hidrográfica	Variación % respecto a la media multianual
Magdalena – Cauca	13
Pacífico	12
Caribe	11
Orinoquía	7
Amazonía	6

Fuente: Elaboración propia basado en INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 58. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 20, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Con base en la gráfica 12 y la tabla 6, la región de la Orinoquía presenta una de las variaciones de oferta hídrica superficial más baja, la cual corresponde al 7%, un punto más que la región de la Amazonía. También se evidencia que la región de la Orinoquía presenta valores bajo de escorrentía (alrededor de los 1500 mm/año) por debajo de tres regiones más, las cuales corresponden a la Pacífica, la Amazonia y el Caribe.

- **Cambio climático**

Basado en la primera Comunicación Nacional sobre Cambio Climático del año 2001, la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico¹¹⁸ expone que el cambio climático genera dos grandes efectos sobre el régimen hidrológico colombiano, los cuales son: aumento de la norma de escorrentía, disminución de la variabilidad temporal del recurso y acentuación de su asimetría, por otro lado se encuentra el descenso de la norma de escorrentía, aumento de la variabilidad temporal del recurso y atenuación de su asimetría.

- **Riesgos por contaminación**

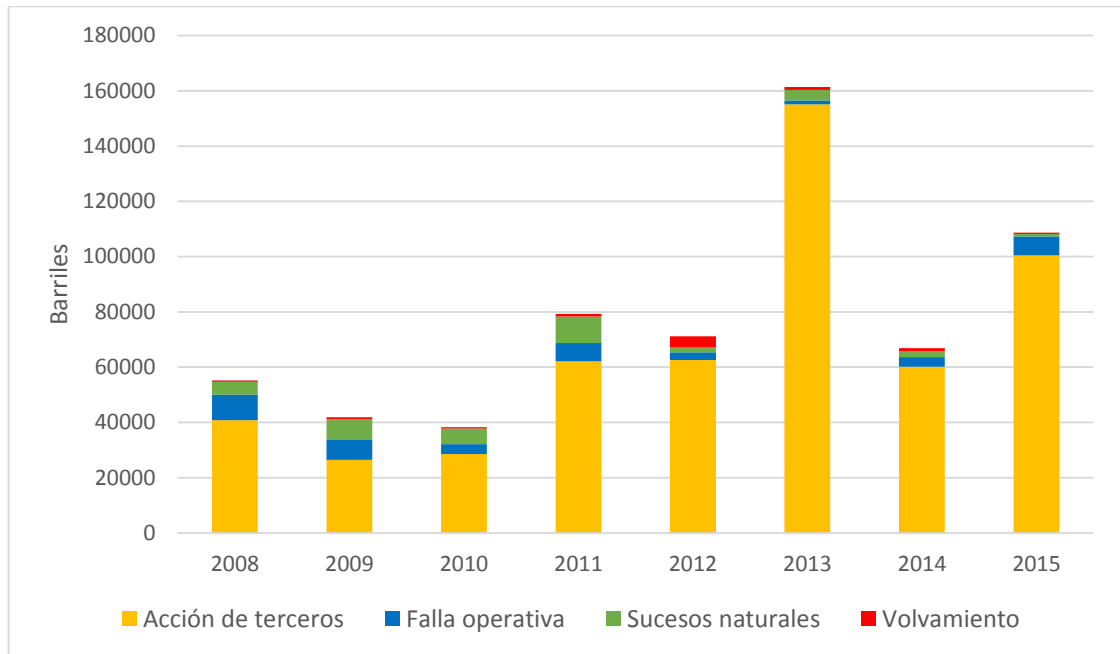
En Colombia existen diferentes amenazas que ponen en riesgo la calidad del agua, por ejemplo las amenazas asociadas al mal manejo de residuos líquidos y sólidos, también al mal uso de agroquímicos o en otros casos por la minería, por lo que en esta sección se centrará en la contaminación asociada a derrames de hidrocarburos.

Según la información suministrada por la Agencia Nacional de Hidrocarburos para la elaboración del Informe de Desempeño A 2015 Ambiental 2015 elaborado por la Asociación Colombiana del Petróleo¹¹⁹ aclara que existen diferentes causas que provocan los derrames de hidrocarburos, los cuales se asocian a volcamientos, sucesos naturales, fallas operativas y acción de terceros.

¹¹⁸ *Ibíd.*, p. 54.

¹¹⁹ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2015. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2016, p. 49. [Consultado 04, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://acp.com.co/web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

Gráfica 13. Causas y volumen de crudo derramado en Colombia

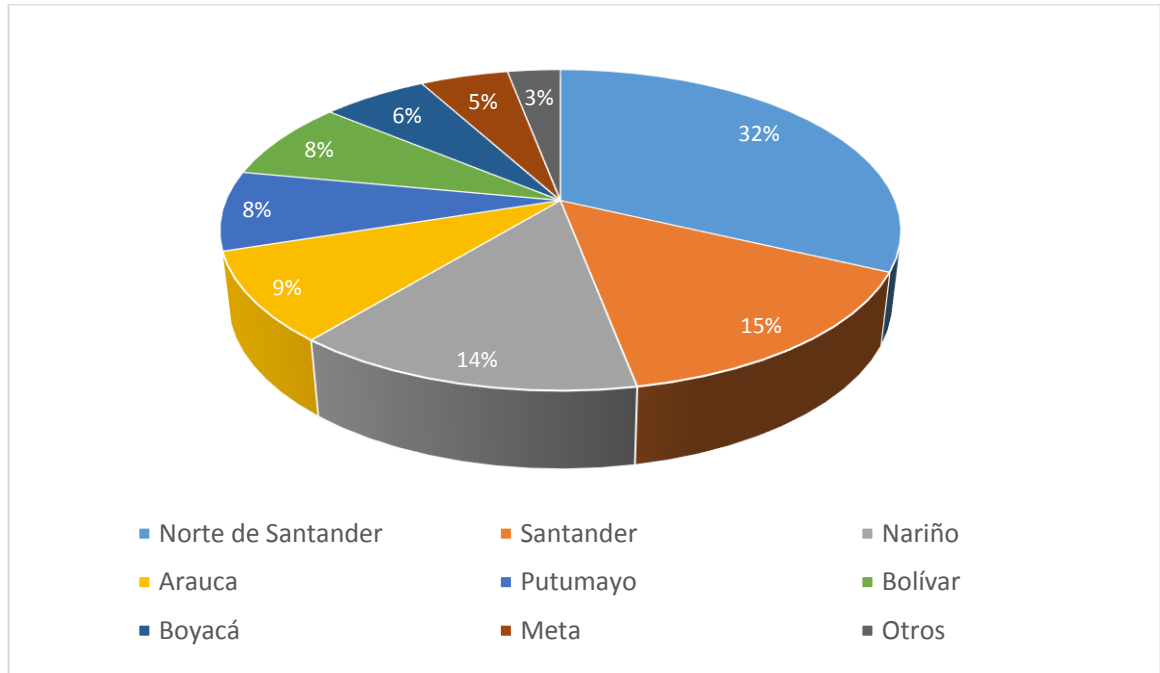


Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2015. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2016, p. 49. [Consultado 04, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://acp.com.co/Web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

Respecto a la gráfica 13, es evidente que el año que más presentó derrames fue el 2013, cuya causa más representativa es la acción de terceros. También se observa que en todos los años evaluados la mayor causa de derrames está asociada a acción de terceros y que la causa que tiene mejor impacto corresponde a los volcamientos.

Ahora realizando un análisis respecto a los departamentos más afectados por los derrames de hidrocarburos, el Informe de Desempeño Ambiental 2015 recopiló la siguiente información, la cual será representada en el siguiente gráfico:

Gráfica 14. Porcentaje de volumen derramado de crudo por departamento



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2015. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2016, p. 51. [Consultado 04, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://acp.com.co/Web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

Con base en la gráfica 14 se infiere que los dos departamentos pertenecientes a la región de la Orinoquía (Meta y Arauca) representan el 14% del total de derrames que se presentan en el país, lo que indica que del total de derrames del 2015 (108.712 barriles) corresponde a un volumen total de 15.220 barriles aproximadamente.

3. METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL PARA EL SECTOR DE HIDROCARBUROS EN COLOMBIA

Este capítulo abordará la información asociada a la huella hídrica azul – HHA, desde su concepto básico, pasando por los datos de HHA para el sector petrolero, la metodología de su cálculo y los datos usados para efectuar el mismo.

3.1. DEFINICIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL – HHA

Según Arjen¹²⁰, la huella hídrica azul es un indicador que representa la extracción o uso consecutivo de agua dulce (superficial) o subterránea, a lo largo de la cadena de fabricación de un producto, lo que hace referencia a los siguientes casos:

- Agua que evapora.
- Agua que se incorpora en el producto.
- Agua que no retorna a la misma zona de flujo, es decir, regresa a otra zona de captación.
- Agua que no vuelve en el mismo periodo, es decir, si se retiró en un periodo seco y se devuelve en un periodo húmedo.

3.2. DATOS DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL DEL SECTOR PETRÓLEO

Con base en la información suministrada por el IDEAM¹²¹, la distribución espacial de la producción de petróleo en Colombia se encuentra a lo largo de 19 departamentos, distribuida en 392 campos de explotación, cuya producción para el año 2014 era aproximadamente de 345,5 millones de barriles.

Según la información brinda en el Informe Estadístico Petrolero y el mapa de áreas de producción de la Agencia Nacional de Hidrocarburos, cuyo cruce de información fue realizado por el IDEAM¹²², arrojó la distribución espacial de la huella hídrica azul – HHA a lo largo de 156 campos de producción, los cuales se encuentran en 77 subzonas hidrográficas. La huella hídrica azul – HHA obtenida del proceso de producción de crudo es de 6,6 millones de m³/año, la cual corresponde a los 156 campos estudiados, por lo que estos representan el 64,7% de los campos existentes.

¹²⁰ HOEKSTRA, Ashok K, et al. The Water Footprint Assessment Manual. Earthscan. [Google Académico]. Londres: Earthscan, 2011, p. 23. ISBN: 978-1-84971-279-8. [Consultado 10, agosto, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf

¹²¹ CAMPUZANO OCHOA, Claudia, et al. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014, Óp. Cit., p. 86.

¹²² *Ibíd.*, p. 86.

Respecto a los datos suministrados en el Estudio de Agua 2018¹²³, la huella hídrica azul – HHA del sector petrolero está sumamente ligada a la demanda hídrica del mismo, esta última abarca las etapas de exploración, producción, transporte y refinación del petróleo, por lo que su demanda hídrica equivale a 581,3 millones de m³. Respecto al dato de la huella hídrica azul – HHA, corresponde a 6,2 millones de m³, lo que corresponde al 1,1% de la demanda de agua para el sector.

3.3. METODOLOGIA PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HDIRICA AZUL DEL SECTOR PETROLERO

Para el cálculo de la huella hídrica azul - HHA es necesario recurrir a la Evaluación Multisectorial de la Huella Hídrica en Colombia del año 2014, publicado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, debido a que en su estudio, realizaron la metodología para dicho cálculo.

Según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM¹²⁴ la ecuación para el cálculo de la huella hídrica azul es la siguiente:

$$HH_{oil} = \sum(Indicador_{oil} * Producción_{campo}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

HH_{oil} ; Huella hídrica azul de la extracción de petróleo (m³/mes).
 $Producción_{campo}$; Producción mensual por campo petrolero (m³).
 $Indicador_{oil}$; m³ de agua consumidos por barril de petróleo.

3.4. DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL DE LA PRODUCCION DE HIDROCARBUROS LIQUIDOS EN LA REGIÓN DE LA ORINOQUÍA

Para poder calcular la huella hídrica azul de la producción de hidrocarburos líquidos en la región de la Orinoquía es necesario buscar los datos pertinentes para su cálculo, para ello es necesario solicitar los datos de producción mensual de los campos pertenecientes a los departamentos de Arauca, Meta, Vichada y Casanare, también es necesario usar el indicador correspondiente a la ecuación.

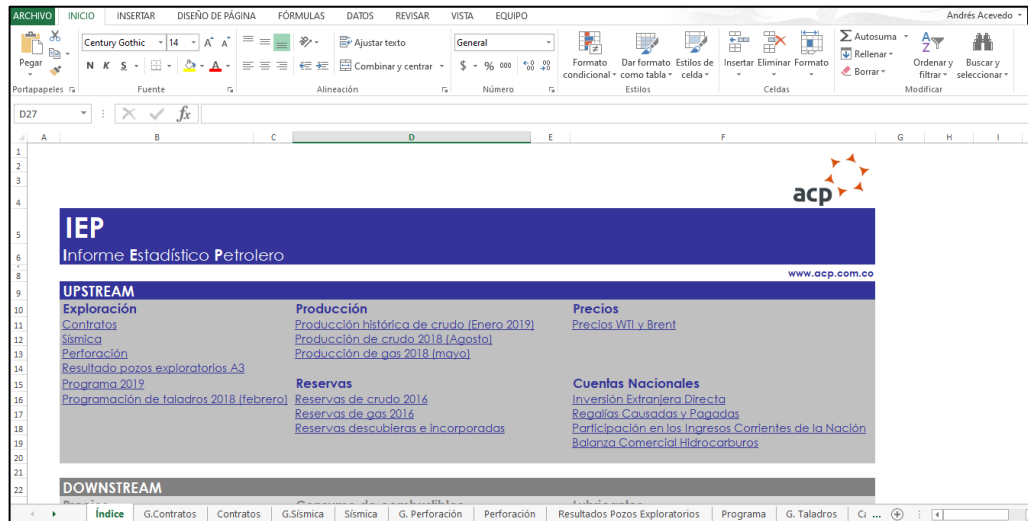
Los datos de producción se encontraron por medio del motor de búsqueda Google, donde el resultado más confiable y pertinente se encontró en la página Web

¹²³ INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018, Óp. Cit., 181.

¹²⁴ CAMPUZANO OCHOA, Claudia, et al. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014, Óp. Cit., p. 45.

www.acp.com.co, perteneciente a la Asociación Colombiana del Petróleo; en su apartado de “Publicaciones” donde se seleccionó en el submenú “Informe Estadístico Petrolero”. El archivo descargable obtenido lleva por nombre “IEP SEPTIEMBRE 2019”, por lo que en dicha página se encuentra en formato .xls, donde se encuentra toda la información relacionada con la producción mensual por campo a nivel nacional desde el año 2009 hasta Septiembre de 2019.

Figura 9. Archivo .xls Información de producción mensual por campo en Colombia



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe Estadístico Petrolero. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2019. [Consultado 10, enero, 2020]. Archivo Excel. Disponible en: <https://acp.com.co/Web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-estadistico-petrolero?limit=15&limitstart=15>

Respecto a los indicadores a usar, se recurrió al Informe de Desempeño Ambiental 2015, publicado por la Asociación Colombiana del Petróleo – ACP, el cual posee los diferentes indicadores para toda la cadena de valor de los hidrocarburos; para este caso, el estudio se enfocará en la producción de hidrocarburos.

Cuadro 2. Indicadores de consumo de agua para producción de petróleo

INDICADORES	UNIDAD	VALOR
PRODUCCIÓN DE CRUDO		
Consumo de agua industrial	m ³ /barril producido	0.106
Consumo de agua doméstica		0.004
Vertimientos domésticos		0.095
Vertimientos industriales		0.002
AGUAS DE PRODUCCIÓN		
Aguas de producción	m ³ /barril producido	1.56
Reinyección para recobro mejorado	m ³ de agua inyectada/m ³ de agua de producción	0.118
Inyección como disposición final		0.461
Vertimientos a cuerpos de agua		0.417
Riego en vías		0.0002
Aspersión		0.001
Vertimientos entregados a terceros		0,00056

Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2013. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2014, p. 19. [Consultado 10, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://acp.com.co/Web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

Para realizar el cálculo del indicador de la huella hídrica azul, es necesario recurrir a la metodología presentada por el IDEAM en su Estudio Nacional de Agua 2014, el cual fue citado por Bayona Vega¹²⁵, en la cual aclaran que se necesitan dos indicadores parciales, el primero de ellos corresponde a la producción, el cual se calcula de la diferencia entre los datos de consumo y vertimientos, considerado así, como el indicador de huella hídrica. Por otro lado se encuentra el de aguas de producción, que hace referencia al agua que se evapora en pérdidas y en actividades de riego de vías y aspersión. A continuación, se presentará en el cuadro 3 propuesta por el IDEAM en el Estudio Nacional del Agua 2014 citado por Bayona Vega.

¹²⁵ BAYONA VEGA, Camilo Andrés. Propuesta para la formulación de un mecanismo de gestión Nexa Agua-Energía en la industria de hidrocarburos en el Valle del Magdalena Medio. [bdigital]. Trabajo de grado. Magister en Ingeniería Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C. 2019, p. 43-44. [Consultado 10, agosto, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/74873/1/1026266493.2019.pdf>

Cuadro 3. Calculo del indicador de la huella hídrica azul para la producción de petróleo.

INDICADOR	VALOR m3/barril producido	COMENTARIO
PRODUCCIÓN DE CRUDO		
Consumo de agua industrial	0.106	La diferencia entre los datos de consumo y vertimientos, se considera como el indicador de huella hídrica.
Consumo de agua doméstica	0.004	
Vertimientos domésticos	0.095	
Vertimientos industriales	0.002	
INDICADOR PARCIAL	0.013 m3/barril producido	
PRUDUCCIÓN DE AGUA		
Aguas de producción	1.56	Agua utilizada
Reinyección para recobro mejorado	0.118	Agua que retorna
Inyección como disposición final	0.461	Agua que retorna
Vertimientos a cuerpos de agua	0.417	Agua que retorna
Riego en vías	0.0002	Agua que se evapora
Aspersión	0.001	Agua que se evapora
Vertimientos entregados a terceros	0,00056	Agua que retorna
Perdidas	0.0007	Agua que se evapora
INDICADOR PARCIAL	0.006 m3/barril producido	
INDICADOR FINAL	0.019	Suma indicadores parciales

Fuente: BAYONA VEGA, Camilo Andrés. Propuesta para la formulación de un mecanismo de gestión Nexa Agua-Energía en la industria de hidrocarburos en el Valle del Magdalena Medio. [bdigital]. Trabajo de grado. Magister en Ingeniería Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C. 2019, p. 43. [Consultado 11, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/74873/1/1026266493.2019.pdf>

Para realizar el cálculo de la huella hídrica azul de la extracción de petróleo, es necesario usar la ecuación 1, donde se obtuvieron los siguientes resultados para los siguientes campos petroleros pertenecientes a la región de la Orinoquía expuestos en la tabla 7:

Tabla 7. Ejemplos de la huella hídrica azul para algunos de los campos presentes en la Orinoquía

Campo	Departamento	Municipio	Marzo/2019 Producción m ³	Junio/2019 Producción m ³	HHA Marzo (m ³ /mes)	HHA Junio (m ³ /mes)
Chipirón	Arauca	Arauca	903.047864	934.368362	17.1579094	17.7529989
Caño Limón		Arauca	3801.22736	3738.42737	72.2233198	71.03012
Macana		Arauca	38.156952	28.9356886	0.72498209	0.54977808
Rumba	Casanare	Aguazul	151.037935	288.879924	2.86972077	5.48871856
Puntero		Mani	27.8227775	0	0.52863277	0
Canaguay		Monterrey	16.2167046	37.0440409	0.30811739	0.70383678
Chichimene	Meta	Acacias	7665.25469	7660.32609	145.639839	145.546196
Indico		Cabuyaro	258.672337	736.588161	4.9147744	13.9951751
Akacias		Guamal	397.150275	383.159393	7.54585523	7.28002847

Fuente: Elaboración propia

Para los cálculos realizados en la tabla 7, se escogieron 9 campos de forma aleatoria, donde se seleccionaron dos meses (Marzo y junio) para obtener los datos de producción mensual en barriles. La información de producción mensual se encontraba en bbl/mes, por lo que fue necesario realizar la respectiva conversión de unidades, de bbl a m^3 , por medio de la conversión $1 \text{ bbl} = 0.1589873 \text{ m}^3$, después de obtener el dato en las unidades correspondientes, se aplicó la ecuación 1 para el respectivo cálculo.

4. COMPARACIÓN MULTISECTORIAL DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL EN COLOMBIA

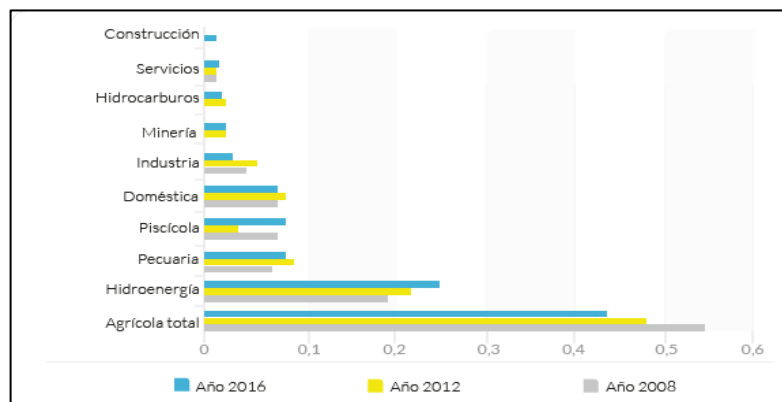
Este capítulo tratara de aclarar el consumo real de agua que posee el sector petrolero, respaldado por una comparación multisectorial a través de la huella hídrica azul – HHA.

4.1. CONSUMO REAL DE AGUA PARA SECTOR PETROLERO EN COLOMBIA

Como anteriormente se había mencionado, según la gráfica 9, se evidencia que el sector de hidrocarburos es uno de los sectores económicos con menor consumo de recuro hídrico en el país (581 millones de metros cúbicos al año), lo cual ubica en puesto número 8 de los 10 totales respecto a consumo de mayor a menor, seguido por el sector de servicios y construcción con 571 millones de m³/año y 436 millones de m³/año, respectivamente. Por lo que se puede inferir que el sector de hidrocarburos es uno de los pequeños consumidores de agua, refutando el pensamiento que es un sector que solicita cantidades desorbitantes de recurso hídrico. Esto indica que el sector de hidrocarburos consume un porcentaje aproximado de 1.56% de la demanda total del país, lo cual es un porcentaje demasiado pequeño, comparado con el que posee el sector agrícola (43.07%).

Para cuantificar de una mejor manera el consumo de agua total del sector petrolero, es necesario realizar un seguimiento temporal de la evolución de la demanda hídrica en los sectores económicos a nivel nacional con base en estudios de los años 2008, 2010 y 2016 representados en el Estudio Nacional del Agua 2018, mediante la gráfica 15:

Gráfica 15. Participación porcentual de la demanda hídrica con respecto al valor total de los sectores por año. Comparación 2008, 2010 y 2016



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 172. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 11, enero, 2010]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Al realizar una comparación del año 2012 con el año 2016, se evidencia que en la mayoría de los sectores hubo una disminución porcentual en el año 2016 con respecto al años 2012, menos en el sector de la hidroenergía, piscícola y en los servicios.

Ahora, enfocando nuevamente el estudio a la región hidrográfica de la Orinoquía, se obtiene el consumo porcentual de cada sector en dicha región, por lo que los datos se proceden a organizar en la siguiente tabla:

Tabla 8. Distribución de la demanda hídrica sectorial para la Región de la Orinoquía

SECTOR ECONÓMICO	ORINOQUÍA
Agricultura	34,77%
Pecuario	10,30%
Piscícola	13,35%
Industria	2,73%
Construcción	1,27%
Minería	0,08%
Hidrocarburos	8,93%
Energía	22,93%
Doméstico	4,20%
Servicios	1,43%
TOTAL	100%

Fuente: Elaboración propia basada en INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 173. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 11, enero, 2010]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

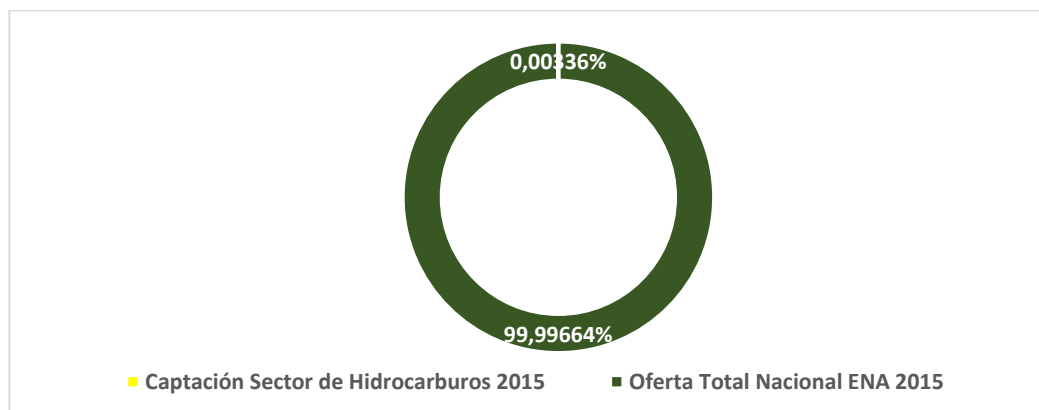
Respecto a la tabla 8, es posible apreciar que el sector de la agricultura es el que más demanda de agua requiere, con un 34,77%, siendo este porcentaje más de una cuarta parte del total que dispone la región. Seguido por el sector energético, cuyo porcentaje corresponde al 22,93%. Estos dos sectores económicos demandas más de la mitad del recurso hídrico en la región. Respecto al sector petrolero, se puede decir que tiene una representación alta, debido a que se encuentra por encima de cinco sectores económicos, con un porcentaje de demanda del 8,93%; lo que quiere decir que en la región hay una buena intervención de la industria petrolera.

Ampliando de una mejor manera la situación actual del sector de los hidrocarburos, es necesario recurrir al Informe de desempeño Ambiental del Sector de Hidrocarburos 2015, publicado por la Asociación Colombiana del Petróleo (ACP) en el año 2016¹²⁶, debido a que realizaron una recolección de información con base en los volúmenes captados por las operadoras que se encuentran en el país,

¹²⁶ ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2015, Óp. Cit., p. 29.

obteniendo una muestra representativa del 60% de la producción de crudo en Colombia. Finalmente extrajeron el volumen de oferta hídrica superficial año seco para cada zona hídrica del Estudio Nacional del Agua 2014. Del anterior estudio se obtuvo la siguiente información:

Gráfica 16. Porcentaje captado por el sector petrolero de la oferta hídrica total nacional



Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2015. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2016, p. 29. [Consultado 04, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://acp.com.co/Web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

Respecto a la región de la Orinoquía se tienen la siguiente información por zona hídrica, donde se cuantifica la captación en m³, la oferta hídrica de dicha zona y su porcentaje respecto a la captación.

Tabla 9. Oferta superficial por zona hídrica versus captaciones del sector petrolero

Zona Hídrica	Etapas	Captación total del sector 2015 m ³	Oferta de la zona hídrica en millones de m ³	% captado
Cauca	Sísmica- Perforación-	28298,91	11503	0,000246
Meta	Producción-	1140341,23	50684	0,002250
Vichada	Transporte	7576,71	15775	0,000048
TOTAL REGIONAL		1176216,85	77962	0,002544
TOTAL NACIONAL		67528369	402933	0,663

Fuente: Elaboración propia con base en ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2015. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2016, p. 30. [Consultado 04, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://acp.com.co/Web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

Respecto a la tabla 9, se obtiene que la región de la Orinoquía requiere el 1,74% del agua captada con respecto a la captación total que requiere el sector de hidrocarburos, esto quiere decir que la demanda de agua en esta región hidrológica

es muy bajo al compararla con las demás regiones. Con respecto a la oferta nacional, el porcentaje de demanda de la región de la Orinoquía en temas de hidrocarburos corresponde al 0,000292%, lo cual indica que el consumo de agua es extremadamente bajo, ya que se encuentra por debajo del porcentaje total que requiere el sector petrolero (0,00366%).

Para entender mejor la distribución del sector petrolero en la región de la Orinoquía, es necesario recurrir al mapa demanda hídrica de los hidrocarburos, elaborado por el IDEAM.

Del mapa 6 se puede decir que la mayor demanda de recurso hídrico está ubicada en la región de la Orinoquía, exactamente en los departamentos del Meta, Arauca y Casanare. La principal actividad hidrocarburífera se centra en el departamento del Casanare, donde presenta demandas entre 1300 a 9100 millones de m³/año, se podría decir que en mayor medida entre 5200 a 9100 millones de m³/año, seguido de punto donde se evidencian demandas por encima de 9100 millones de metros cúbicos año. La actividad petrolera del departamento del Meta demanda en mayor medida caudales de 2600 a 3900 m³/año, también presenta zonas donde la demanda es menor a 1300 m³/año. Por último en el departamento del Cauca se presentan valores por debajo de los 1300 millones de metros cúbicos al año, por lo que se puede inferir que este departamento es el que cuenta con menos demanda hídrica para el sector de hidrocarburos, seguido del Casanare y por último el Meta (**Ver Anexo B**).

4.2. COMPARACIÓN MULTISECTORIA DE LA HUELLA HÍDRICA AZUL

Debido a que no todos los sectores económicos que operan en Colombia poseen los tres componentes de la huella hídrica – HH (huella hídrica verde – HHV, Huella hídrica azul – HHA, huella hídrica gris – HHG), esta comparación multisectorial se hará con base en la huella hídrica azul, ya que este componente lo poseen todos los sectores en estudio.

Los seis sectores económicos que serán evaluados por medio de la huella hídrica azul - HHA respecto al área hidrográfica son los siguientes: el sector agrícola, doméstico, industrial, pecuario, energético y finalmente el sector de hidrocarburos.

Con respecto a la tabla 10, se evidencia que la región del Magdalena – Cauca es la que mayor porcentaje de huella hídrica azul posee (66,91 %), lo cual indica que demanda más de la mitad de la oferta nacional; esto sucede porque la región está sumamente influenciada por el sector agrícola (este sector aporta aproximadamente el 89% de la huella hídrica azul de la región). Analizando la región de la Orinoquía, se evidencia que solo demanda el 9,37% de la huella hídrica azul nacional, lo que indica que es la tercera región hidrográfica respecto a este indicador, pero posee un porcentaje muy bajo, ya que la región Pacífica y la región de la Amazonia poseen una demanda 4,31% y 0,36%, respectivamente.

Respecto a los sectores por los que más está influenciada la región de la Orinoquía, en primera instancia está el sector agrícola, con el 93,28% de demanda total de la huella azul de la región, seguida del sector doméstico con el 3,5% y el sector energético con el 2,07%, el otro 1,15% restante se distribuye entre el sector pecuario, industrial e hidrocarburos.

Es de suma importancia aclarar que la región de la Orinoquía contiene la mayor demanda de huella hídrica para el sector de hidrocarburos, con 3,4 millones de m³/año, lo que corresponde al 0,47% de la región y al 79,1% respecto a su sector, por lo que esta área hidrográfica es de suma importancia para la explotación de hidrocarburos y el desarrollo económico del país.

Tabla 10. Huella hídrica azul para los diferentes sectores económicos en Colombia

Área Hidrográfica	HUELLA HÍDRICA AZUL – HHA (Millones de m ³ /año)						Total Área Hidrográfica	Porcentaje de HHA nacional por área (%)
	Sector Agrícola ¹²⁷	Sector Pecuario ¹²⁸	Sector Doméstico ¹²⁹	Sector Industrial ¹³⁰	Sector Energético ¹³¹	Sector de Hidrocarburos ¹³²		
Caribe	1347,7	2,5	47,1	2,8	71,7	0,02	1471.82	19.04
Magdalena - Cauca	4604,5	26	279,2	61,7	199,2	0,6	5171.2	66.91
Orinoquía	675,8	3,9	25,6	0,8	15	3,4	724.5	9.37
Amazonia	17,2	0,5	9,9	0,0	-	0,2	27.8	0.36
Pacífico	297,3	0,4	24	0,06	11,5	-	333.26	4.31
TOTAL	6942.5	33.3	385.8	65.36	297.4	4.22	7728.58	100

Fuente: Elaboración propia

¹²⁷ CAMPUZANO OCHOA, Claudia, et al. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia, Óp. Cit., p. 50

¹²⁸ *Ibíd.*, p. 56

¹²⁹ *Ibíd.*, p. 74

¹³⁰ *Ibíd.*, p. 77

¹³¹ *Ibíd.*, p. 83

¹³² *Ibíd.*, p. 87

Tabla 11. Porcentaje por sector de la huella hídrica azul en Colombia

Sector Económico	Porcentaje de HHA nacional por sector (%)
Agrícola	89.83
Pecuario	0.43
Doméstico	4.99
Industrial	0.85
Energético	3.85
Hidrocarburos	0.05

Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla 11, se observa que el sector económico que posee mayor demanda sobre el total nacional respecto a la huella hídrica es el sector agrícola, con un 89,83%, seguido del sector doméstico con el 4,99% y el sector energético con el 3,85%, por último se encuentra el sector industrial con el 0,85%, luego el sector pecuario y el de hidrocarburos, con 0,43% y 0,05% respectivamente; lo que indica que el sector de los hidrocarburos a nivel nacional es el que menos agua dispone en la incorporación de sus procesos.

5. CONCLUSIONES

La huella hídrica en la industria petrolera es un indicador que lleva poco tiempo de implementado, antes de esto la industria se ha regido por la oferta, demanda y uso del recurso hídrico para obtener las licencias ambientales que necesita para la operación de sus yacimientos. La oferta de recurso hídrico en la región de la Orinoquía corresponde a 616.285 Millones de m³, su demanda corresponde a 779 millones de m³ y el uso del sector petrolero en la Orinoquía corresponde aproximadamente a 68 millones de m³.

La huella hídrica ha sido implementada en el industria petrolera solamente como la huella hídrica azul – HHA. Mientras que la gris y la verde no han sido objeto de su análisis, la primera porque es difícil de cuantificar la responsabilidad de la industria en la contaminación de las fuentes hídricas, y la segunda porque no existen cifras consolidadas sobre el aporte de la precipitación de estas la industria.

La huella hídrica azul que hace referencia al consumo de agua superficial y subterránea, es la que ha sido más fácil de implementar en el sector de hidrocarburos, por su facilidad de cálculo. La huella hídrica azul corresponde a la metodología implementada por el IDEAM, la cual se basa en la sumatoria de la producción mensual por el indicador correspondiente. La huella hídrica azul – HHA es 3,4 millones de m³ para aproximadamente 87 campos en la Orinoquía.

El sector petrolero es el que posee menos huella hídrica azul – HHA, lo cual indica que tiene la menor captación de agua superficial y subterránea en comparación con otros sectores que son mucho más demandantes del recurso hídrico. Por ejemplo en la región de la Orinoquía el sector agrícola demanda recurso hídrico aproximadamente 200 veces más que el sector agrícola.

6. RECOMENDACIONES

El tema de la huella hídrica es muy amplio porque abarca la oferta, la demanda, el uso del recurso hídrico, las precipitaciones y los vertimientos de aguas, lo cual para algunos sectores, como el de hidrocarburos genera gran dificultad para su cálculo, por ello, este sector enfoca su esfuerzo en cuantificar la huella hídrica azul, correspondiente a las captaciones de agua superficial y subterránea por lo que descuida la cuantificación de su huella hídrica gris, la cual pueden cuantificarla por medio de sus vertimientos a lo largo de su cadena de producción.

Se debería estudiar con más profundidad la huella hídrica gris, no solo para el sector petrolero, sino para todos los otros sectores económicos que posee Colombia, debido a que no se tiene mucha información acerca de este indicador parcial.

Se debe aplicar una herramienta de cálculo de la huella hídrica a través de su implementación en una hoja de cálculo de Excel, que permita la facilidad del cálculo y su implementación.

BIBLIOGRAFIA

AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS - ANH. La cadena del sector de hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Ambiental y Social. s.f. [Consultado 01, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://www.anh.gov.co/porta regionalizacion/Paginas/LA-CADENA-DEL-SECTOR-HIDROCARBUROS.aspx>

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DEL PETRÓLEO – ACP. Informe de Desempeño Ambiental 2015. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Publicaciones. 2016, 68 p. [Consultado 04, enero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://acp.com.co/web2017/es/publicaciones-e-informes/informe-ambiental>

AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES - ANLA. Grupo de Hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Institucional. s.f. [Consultado: 09 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://portal.anla.gov.co/grupo-hidrocarburos>

BAYONA VEGA, Camilo Andrés. Propuesta para la formulación de un mecanismo de gestión Nexa Agua-Energía en la industria de hidrocarburos en el Valle del Magdalena Medio. [bdigital]. Trabajo de grado. Magister en Ingeniería Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá D.C. 2019, 159 p. [Consultado 10, agosto, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/74873/1/1026266493.2019.pdf>

CAMPUZANO OCHOA, Claudia, et al. Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Resultados por subzonas hidrográficas en el marco del Estudio Nacional del Agua 2014. [Google Académico]. Medellín: 2015 170 p. ISBN: 978-958-8470-28-3. [Consultado 14, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH_ENA2014.pdf

COLOMBIA, CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 99. (22, diciembre, 1993). Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 1993. No. 41146. 71 p.

COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 1402. (25, julio, 2018). Por la cual se adopta la Metodología General para la Elaboración y Presentación de Estudios Ambientales y se toman otras determinaciones. Diario Oficial. Bogotá D.C., 2018. 4 p.

COLOMBIA, MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 1543. (6, agosto, 2010). Por la cual se acogen los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental para

los proyectos de explotación de hidrocarburos y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C., 2010. 3 p.

CORPORACIÓN AUTONOMA REGIONAL DE NARIÑO - CORPONARIÑO. Rendimiento del recurso hídrico para la vereda Miraflores. [Sitio Web]. Nariño. CO. Sec. Expedientes. s.f, 11 p. [Consultado 21, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>

E GLOBAL SERVICES S.A.S. Glosario Ambiental. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Glosario Ambiental. 2020. [Consultado 05, febrero, 2020]. Disponible en: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2058/glosario/A>

GÓMEZ HASTAMORIR, Lina Paola y MORA ORTEGÓN, Stephanie Dayan. La Biorremediación como Alternativa de Recuperación para Cuerpos de Agua Lénticos en la Ciudad de Bogotá. En: Boletín Semillas Ambientales. [Sistema de Revistas Científicas]. Bogotá D.C. Junio. Vol. 10. 2016, 6 p. ISSN: 2463-0691. [Consultado 05, febrero, 2020]. Disponible en: <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/download/11325/12062/>

HOEKSTRA, Ashok K, et al. The Water Footprint Assessment Manual. [Google Académico]. Londres: Earthscan, 2011, 301 p. ISBN: 978-1-84971-279-8. [Consultado 10, agosto, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: https://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM. Glaciares. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. s.f. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/glaciares>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, 380 p. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE1.pdf>

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, 438 p. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2017, 199 p. ISBN: 978-958-8067-87-2 [Consultado 10, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023834/INFORME_E.A_2016.pdf

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2014. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2015, 493 p. ISBN: 978-958-8067-70-4. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf

MARTÍN, Antonio y SANTAMARÍA, Jesús Miguel. Diccionario Terminológico de Contaminación Ambiental. [ProQuest Ebook Central]. Pamplona: EUNSA, 2004, 332 p. ISBN: 9788431354657. [Consultado 05, febrero, 2020]. Archivo pdf. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioamericasp/reader.action?docID=3157578&query=glosario+ambiental#>

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Estudio de impacto ambiental para proyecto de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Normativa. 2010, 51 p. [Consultado: 03, noviembre, 2019]. Disponible: http://portal.anla.gov.co/documentos/normativa/res_1544_060810_%20tdr_explotacion_hidrocarburos.pdf

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: 2010, 124 p. ISBN: 978-958-8491-35-6. [Consultado 25, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentacion_Pol%C3%ADtica_Nacional__Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Plan de manejo ambiental para la perforación de pozos de desarrollo o producción y sus líneas de flujo HITER-310. [Sitio Web]. Bogotá D.C. s.f, p. 24. [Consultado: 09 de noviembre de 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://portal.anla.gov.co/documentos/normativa/tdr_pma_perforacion_pozos_desarrollo_lineas_de_flujo.pdf

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS – ONU. Calidad del agua. [Sitio Web]. Estados Unidos. Sec. Áreas temáticas. 2014. [Consultado 21, noviembre

2019]. Archivo en pdf. Disponible en:
<https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/quality.shtml>

ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL. Glosario hidrológico internacional. [UNESDOC Biblioteca Digital]. Suiza: 2012. 469 p. ISBN: 978-92-3-001154-3. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000221862?posInSet=3&queryId=807c5a57-1d68-426f-8d34-9e1f8a0e2d7f>

PARIS DE FERRER, Magdalena. Inyección de agua y gas en yacimientos petrolíferos. Maracaibo Venezuela: Ediciones Astro Data S.A, 2001. 391 p. ISBN 980-296-792-0

PERÚ, DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS. Resolución Jefatural 030. (25, enero, 2016). Clasificación del cuerpo de Agua Marino - Costero. Lima. 2016. 81 p.

SCIENCE FOR A CHANGING WOLRD – USGS. A primer on water quality. [Sitio Web]. Estados Unidos. Sec. USGS Publications Warehouse. 2001, 2 p. [Consultado 21, noviembre, 2019]. Archivo en pdf. Disponible en: <https://pubs.usgs.gov/fs/fs-027-01/pdf/FS-027-01.pdf>

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA - SIAC. Demanda y Uso. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Agua. s.f. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/demandaagua>

SISTEMA DE INFORMACIÓN AMBIENTAL DE COLOMBIA - SIAC. Oferta del agua. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Agua. s.f. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.siac.gov.co/web/siac/ofertaagua>

SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO - SIRH. Agua superficial. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Agua superficial. s.f. [Consultado 20, noviembre, 2019]. Disponible en: http://capacitacion.sirh.ideam.gov.co/homeSIRH/HOME/agua_superficial-n3.html

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Biblioteca Digital: Glosario de términos sobre medio ambiente [Sitio Web]. Santiago de Chile: ORELAC. Septiembre, 1989, 156 p. Serie Educación Ambiental. [Consultado 03, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000085533/PDF/085533spab.pdf.multi>

ANEXOS

ANEXO A

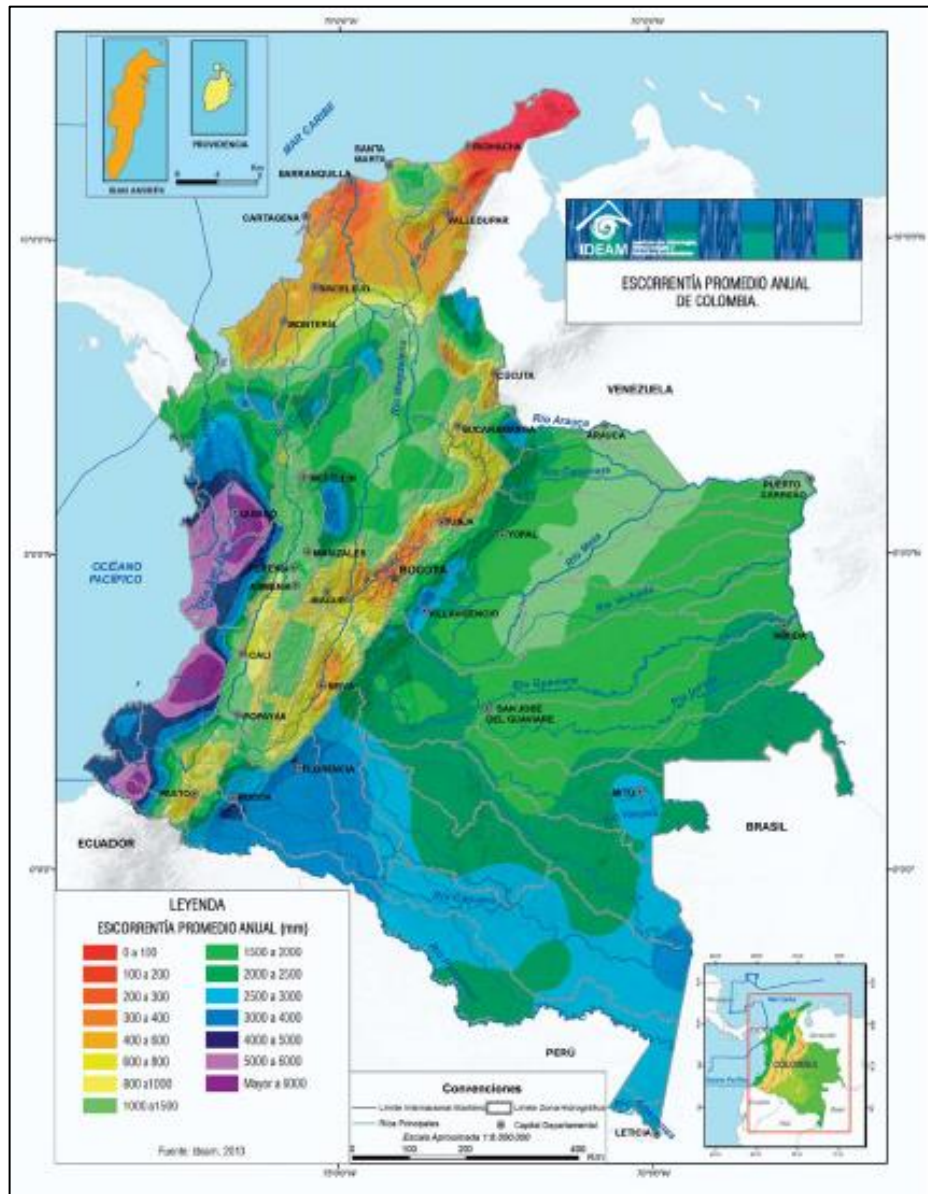
ACTIVIDADES DEL SECTOR DE HIDROCARBUROS QUE NECESITAN LICENCIA AMBIENTAL

1. Las actividades de exploración sísmica en las cuales sea necesario la construcción de vías para el tránsito vehicular.
2. Las actividades de exploración sísmica en áreas marinas del territorio nacional cuando se realicen a profundidades menores de 200 metros.
3. Los proyectos de perforación exploratoria por fuera de campos de producción de hidrocarburos existentes, de acuerdo con el área de interés que declare el peticionario.
4. La explotación de hidrocarburos que incluye, la perforación de los pozos de cualquier tipo, la construcción de instalaciones propias de la actividad, las obras complementarias incluidas el transporte interno de fluidos del campo por ductos, el almacenamiento interno, vías internas y demás infraestructura asociada y conexas.
5. El transporte y conducción de hidrocarburos líquidos y gaseosos que se desarrollen por fuera de los campos de explotación que impliquen la construcción y montaje de infraestructura de líneas de conducción con diámetros iguales o superiores a 6 pulgadas (15.24 cm), incluyendo estaciones de bombeo y/o reducción de presión y la correspondiente infraestructura de almacenamiento y control de flujo; salvo aquellas actividades relacionadas con la distribución de gas natural de uso domiciliario, comercial o industrial.
6. Los terminales de entrega y estaciones de transferencia de hidrocarburos líquidos, entendidos como la infraestructura de almacenamiento asociada al transporte de hidrocarburos y sus productos y derivados por ductos.
7. La construcción y operación de refinerías y los desarrollos petroquímicos que formen parte de un complejo de refinación.

Fuente: AUTORIDAD NACIONAL DE LICENCIAS AMBIENTALES - ANLA. Grupo de Hidrocarburos. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Institucional. S.F. [Consultado: 09 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://portal.anla.gov.co/grupo-hidrocarburos>

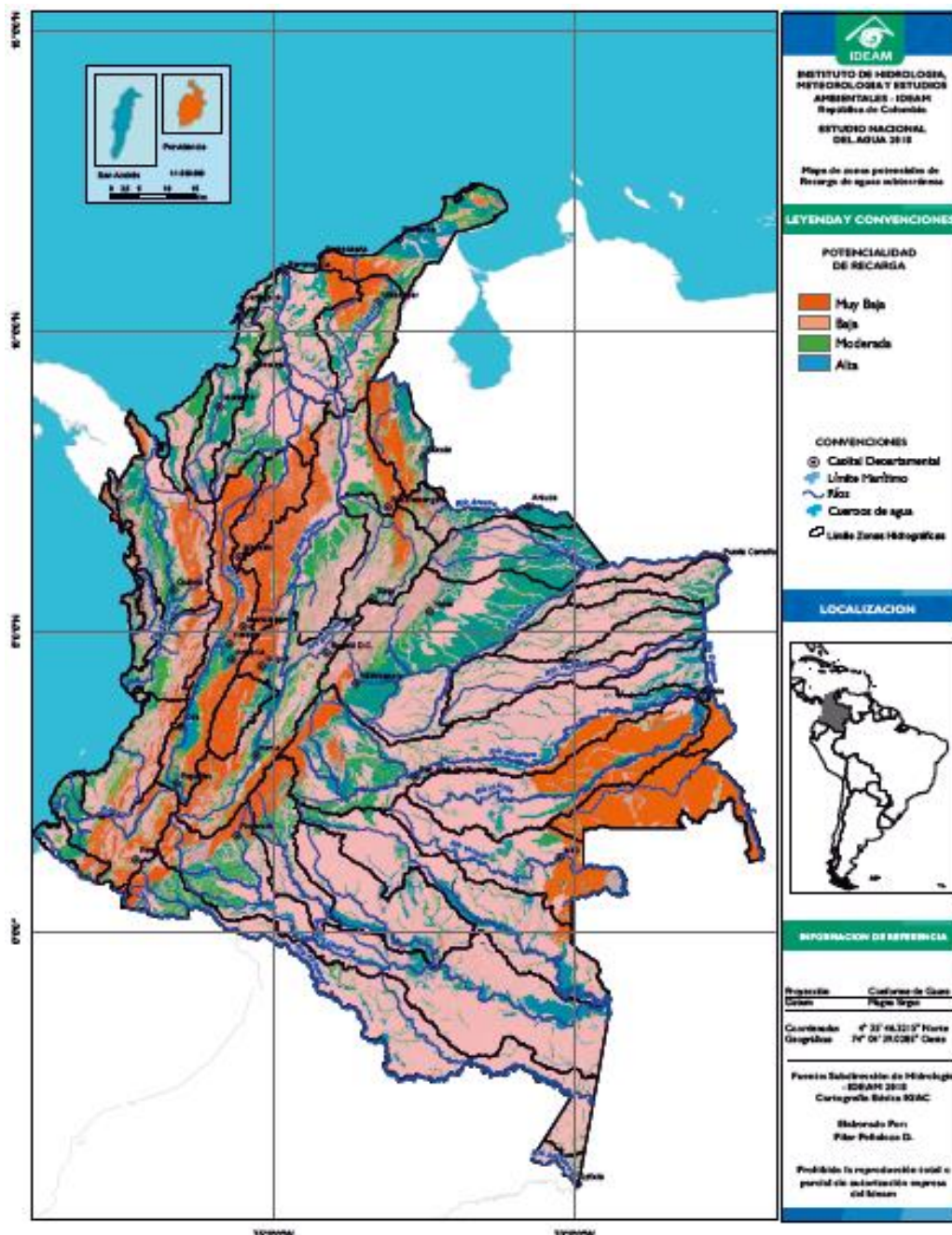
ANEXO B MAPAS

Mapa 1. Escorrentía promedio anual en Colombia



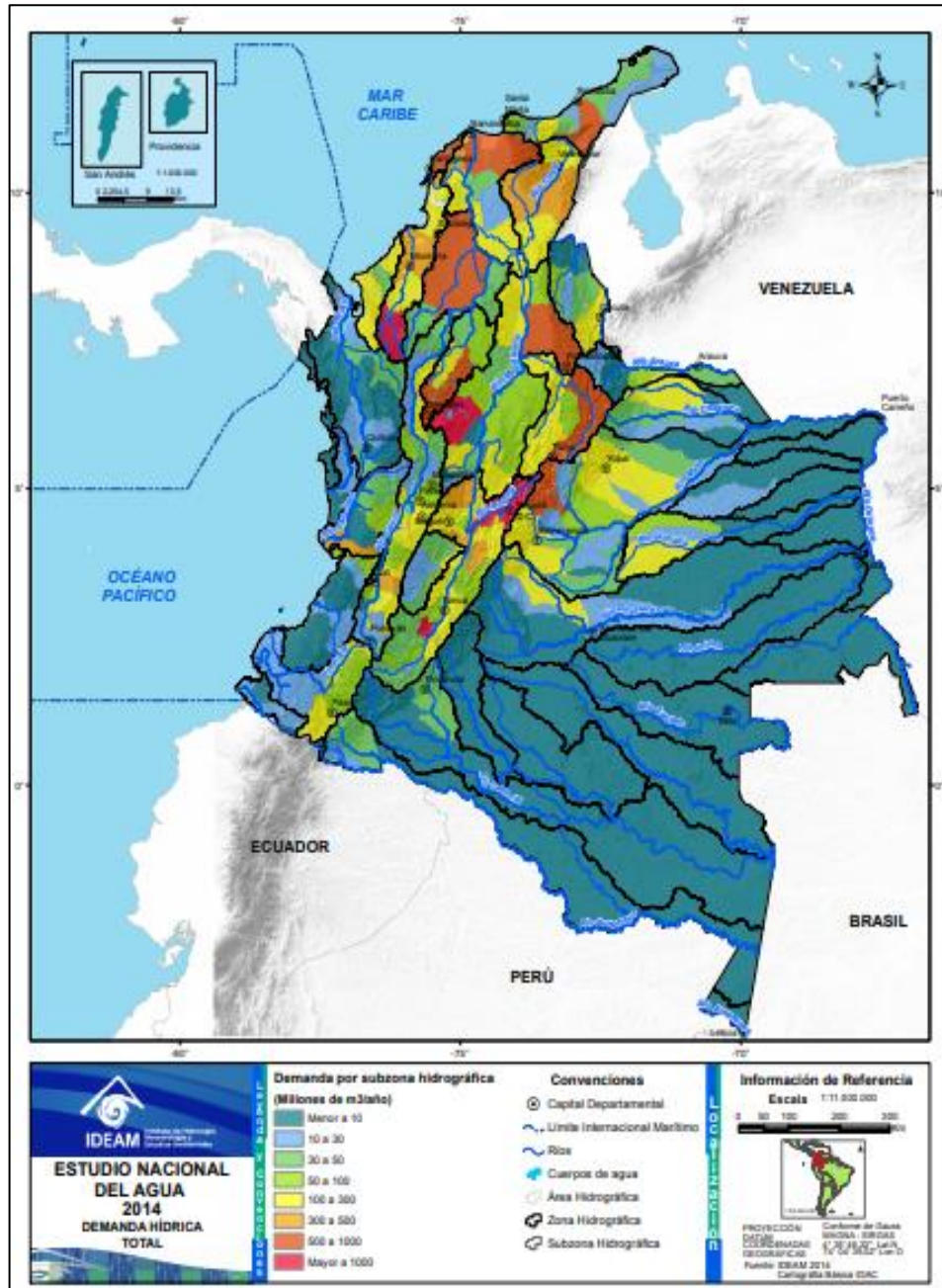
Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 51. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 26, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022166/PARTE1.pdf>

Mapa 2. Mapa de zonas potenciales de recargara para la Región de la Orinoquía



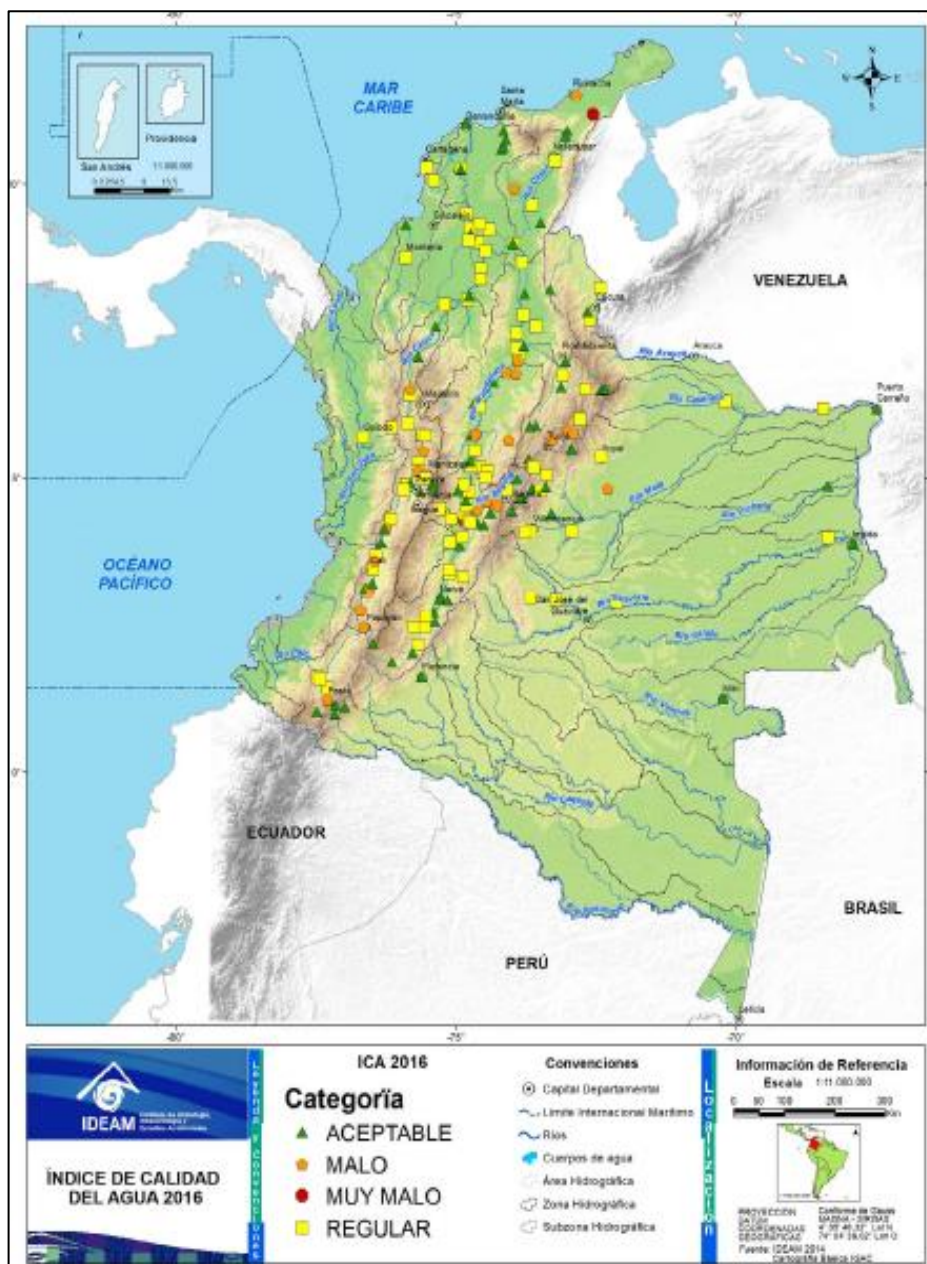
Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 141. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Mapa 3. Demanda hídrica total en Colombia



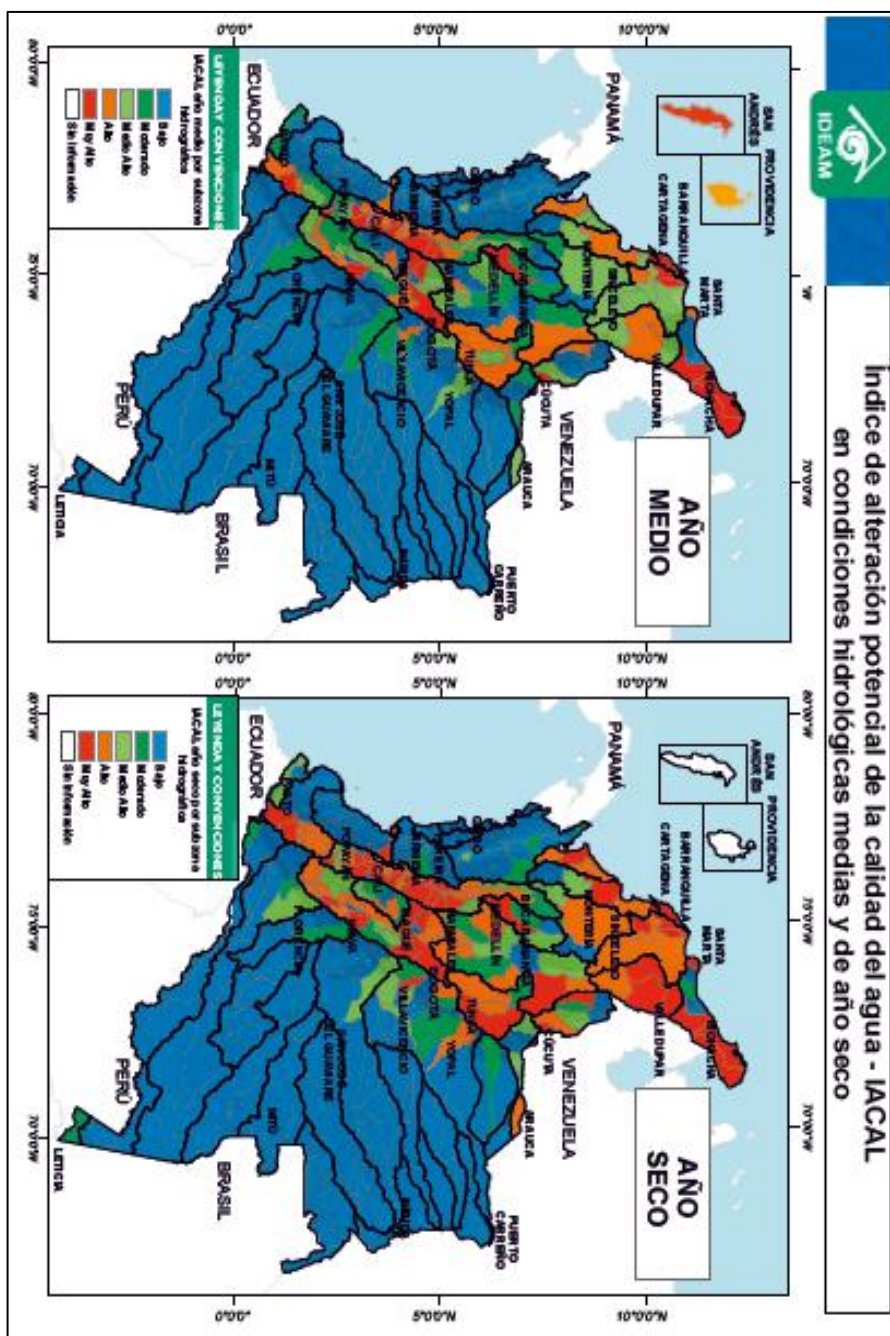
Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Demanda hídrica. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Geoportal. s.f. [Consultado 02, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/10182/510829/Demanda+H%C3%ADdrica+Anual+en+Colombia.+ENA2014.pdf/1fff929f-d8b9-44ce-a63c-661097cd304e?version=1.0>

Mapa 4. Índice de calidad del agua



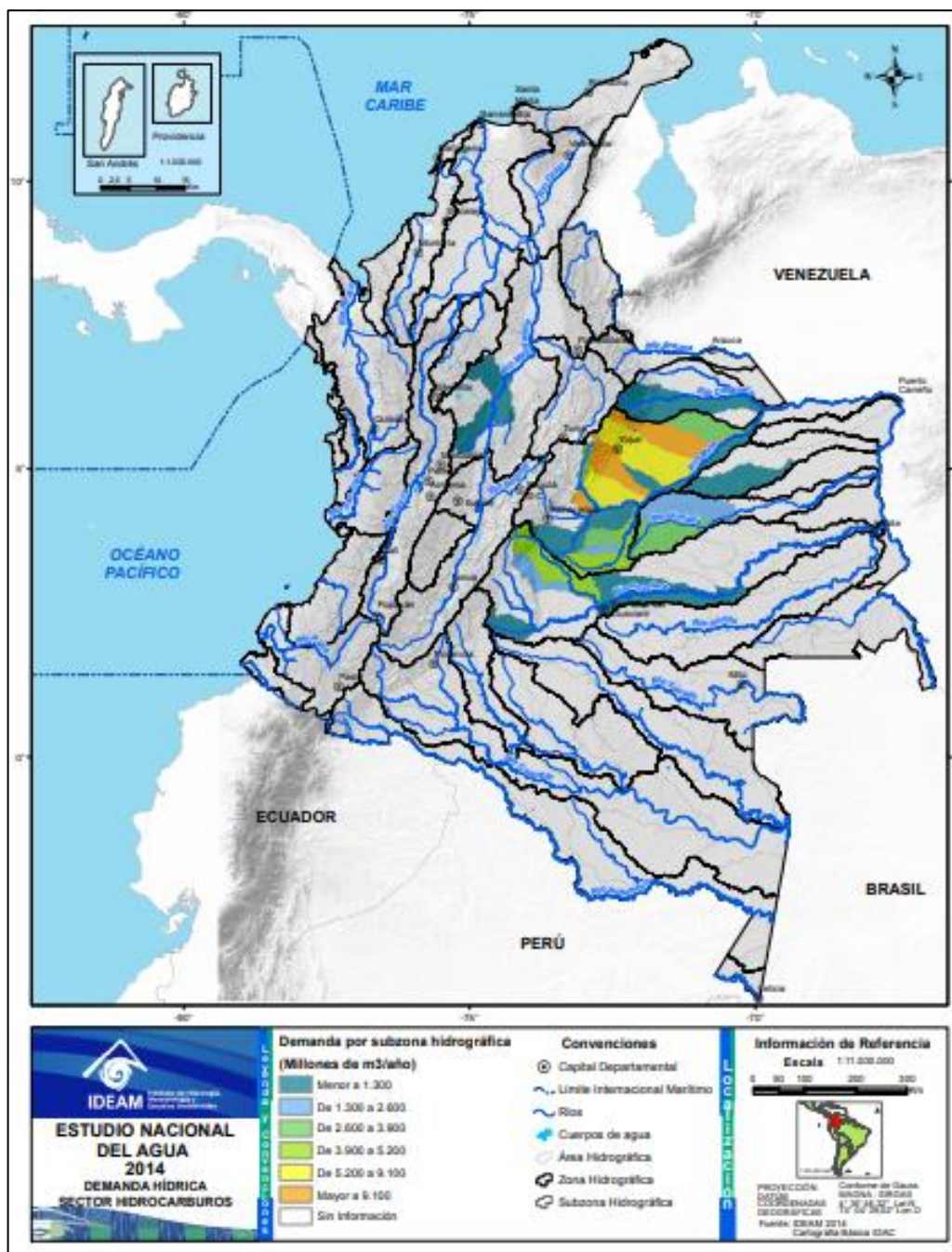
Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2017, p. 15. ISBN: 978-958-8067-87-2 [Consultado 10, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023834/INFORME_E.A_2016.pdf

Mapa 5. Índice de alteración potencial de la calidad del agua IACAL en condiciones hidrológicas medias y de año seco



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 260. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf

Mapa 6. Demanda hídrica de los hidrocarburos en Colombia



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Demanda hídrica. [Sitio Web]. Bogotá D.C. CO. Sec. Geoportal. s.f. [Consultado 02, diciembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/galeria-de-mapas>

ANEXO C TABLAS

Tabla 12. Oferta hídrica por zona hidrográfica para la región de la Orinoquía

REGIÓN DE LA ORINOQUÍA					
Zona Hidrográfica	Área (Km²)	Caudal año medio (m³/s)	Caudal año seco (m³/s)	Oferta anual año medio (Mm³)	Oferta anual año seco (Mm³)
Inírida	53.795	3.385	2.403	106.764	75.795
Guaviare	84.570	5.031	3.417	158.675	107.770
Vichada	26.212	1.290	879	40.672	27.722
Tomo	20.301	991	690	31.241	21.768
Meta	82.720	4.700	2.597	148.238	81.909
Casanare	24.013	1.199	875	37.832	27.583
Arauca	11.619	740	420	23.326	13.254
Orinoco Directos	43.713	2.189	1.650	69.035	52.045
Apure	264	16	7	501	228

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Informe del Estado del Medio Ambiente y Los Recursos Naturales Renovables 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM. 2011, p. 52. ISBN: 978-958-8067-35-3. [Consultado 27, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvvirtual/022166/PARTE1.pdf>

Tabla 13. Evolución glaciar por décadas en Colombia

PERIODO	1930-1950	1950-1980	1980-2007/09
GLACIAR	Porcentaje de pérdida entre periodos		
Volcán nevado de Santa Isabel	24	31	64
Sierra Nevada de Santa Marta	27	20	60
Volcán nevado del Ruiz	17	17	54
Volcán nevado del Tolima	27	37	50
Sierra Nevada de El Cocuy	32	25	46
Volcán nevado del Huila	14	17	32

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico 2010. [Google Académico]. Bogotá D.C: 2010, p. 34. ISBN: 978-958-8491-35-6. [Consultado 25, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Presentaci%C3%B3n_Pol%C3%ADtica_Nacional_-_Gesti%C3%B3n_libro_pol_nal_rec_hidrico.pdf

Tabla 14. Índice de alteración potencial de calidad de agua, subzonas por categoría

CATEGORÍA	CARIBE		MAGDALENA CAUCA		ORINOQUÍA		AMAZONIA		PACÍFICO		TOTAL SZH	
	Año medio	Año seco	Año medio	Año seco	Año medio	Año seco	Año medio	Año seco	Año medio	Año seco	Año medio	Año seco
Muy alta	5	9	21	35	-	2	-	-	1	3	27	49
Alta	6	5	27	37	2	3	-	-	3	3	38	48
Media alta	5	3	24	14	3	6	-	1	1	1	33	25
Moderada	1	4	16	10	6	5	1	4	2	1	26	24
Baja	29	23	17	9	62	57	56	52	28	27	192	168
N/A	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
Total SZH	46		105		73		57		35		316	

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Estudio Nacional del Agua 2018. [Google Académico]. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2019, p. 261. ISBN: 978-958-5489-12-7. [Consultado 28, noviembre, 2019]. Archivo pdf. Disponible en: http://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2018-comprimido.pdf