Reporte de Análisis Regional de la SZH de los ríos:

Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN)

ANLA

AUTORIDAD NACIONAL
DE LICENCIAS AMBIENTALES

Marzo 2021

Foto: Daniel Amariles

www.anla.gov.co

REPORTE DE ANÁLISIS REGIONAL SZH DE LOS RÍOS

Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN)

AUTORIDAD NACIONAL
DE LICENCIAS AMBIENTALES

Rodrigo Suárez Castaño
Director General Autoridad Nacional de Licencias Ambientales

Carlos Alonso Rodríguez
Subdirector Instrumentos Permisos y Trámites Ambientales

Martha Lucia Ramírez Huertas
Coordinadora Grupo de Regionalización y Centro de Monitoreo

William Alfredo Pabón
Líder de Análisis Regional

Lorena Amazo Ramírez
Profesional medio Socioeconómico

Esther Julia Olaya
Andrea González Rendón
Profesional componente Hídrico Superficial

Javier Hernando Beltrán
Profesional componente Atmosférico

Juan Pablo Malagón Navarro
Profesional componente Hidrogeológico

Álvaro Humberto Mancera Otero
Profesional componente Geotécnico

Angélica María Benitez
Juliana Andrea Torres
Eliana Katherine García
Profesionales Medio Biótico

Martha Del Pilar Moreno
Hernán Gonzalo Yanguatin
Sheyla Zamira Ojeda
Profesionales Evaluación Económica Ambiental

Jenny Andrea Acosta
Esther Julia Olaya Marín
Javier Beltrán Maldonado
Profesionales Cambio Climático

Marzo 2021

Contenido

1. ÁREA DE ESTUDIO **5**
2. ESTADO DE LICENCIAMIENTO **6**
3. SENSIBILIDAD AMBIENTAL FRENTE AL SEGUIMIENTO DE PROYECTOS **9**
4. JERARQUIZACIÓN DE IMPACTOS **10**
5. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL **15**
5.1. MEDIO SOCIOECONÓMICO **15**
5.1.1. Figuras de Ordenamiento Territorial 16
5.1.2. Percepción del licenciamiento ambiental y Denuncias Ambientales 17
5.1.3. Estadísticas sobre presuntas Denuncias Ambientales (Geovisor ÁGIL) 17
5.1.4. Denuncias Ambientales CORPORACIÓN 22
5.1.5. Proyectos con Procesos Judiciales 26
5.1.6. Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA en el marco del licenciamiento ambiental para el medio socioeconómico 28
5.2. MEDIO ABIÓTICO **30**
5.2.1. COMPONENTE HÍDRICO SUPERFICIAL 30
5.1.2. COMPONENTE HÍDRICO SUBTERRÁNEO 57
5.1.3. VALORACIÓN ECONÓMICA SERVICIO DE CALIDAD HÍDRICA 93
5.1.4. ZONIFICACIÓN GEOTECNICA 97
5.1.5. COMPONENTE ATMOSFÉRICO 127
5.3. MEDIO BIÓTICO **142**
5.3.1. Contexto Regional 142
5.3.2. Dinámica Faunística 144
5.3.3. Conectividad Ecológica Funcional 154
5.3.4. Diagnóstico compensaciones ambientales e Inversión no menor del 1% en la región 155
5.3.5. Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA en el marco del licenciamiento ambiental para el Medio Biótico. 157
5.3.6. Valoración económica del servicio de regulación a través de la captura de carbono 160

6. CAMBIO CLIMÁTICO **166**
6.1. Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA **170**
7. ANÁLISIS DE IMPACTOS ACUMULATIVOS **173**
7.1. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES PRESENTES Y FUTURAS PREVISIBLES **173**
7.1.1. Sector Minero 173
7.1.2. Sector Agrícola y Pecuario 174
7.1.3. Sector Infraestructura 176
7.1.4. Sector Hidrocarburos 177
7.1.5. Sector Energía 178
7.2. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS ACUMULATIVOS **180**
7.2.1. Límite espacial del VEC: ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica funcional 181
7.2.2. Condición actual del VEC: ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica funcional 182
7.2.3. Contingencias ambientales de origen antrópico 197
7.2.4. Contingencias ambientales asociadas al fenómeno de La Niña 201
7.2.5. Evaluación de impactos acumulativos 202
7.3. MANEJO DEL VEC **217**
7.3.1. Criterios técnicos en el marco del licenciamiento ambiental de la ANLA y autoridades ambientales competentes 217
7.3.2. Recomendaciones externas 222
8. REFERENCIAS **224**

Reporte de Análisis Regional de la SZH de los ríos: Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN)

El Reporte de Alertas es un documento que reúne los aspectos más relevantes sobre el estado de los recursos naturales por componentes y la sensibilidad del medio natural y social frente al desarrollo de proyectos, obras y actividades (POA) objeto de licenciamiento ambiental en un área determinada. Es realizado a partir de la revisión de información interna y de la suministrada por las Autoridades Regionales y la obtenida de otras entidades.

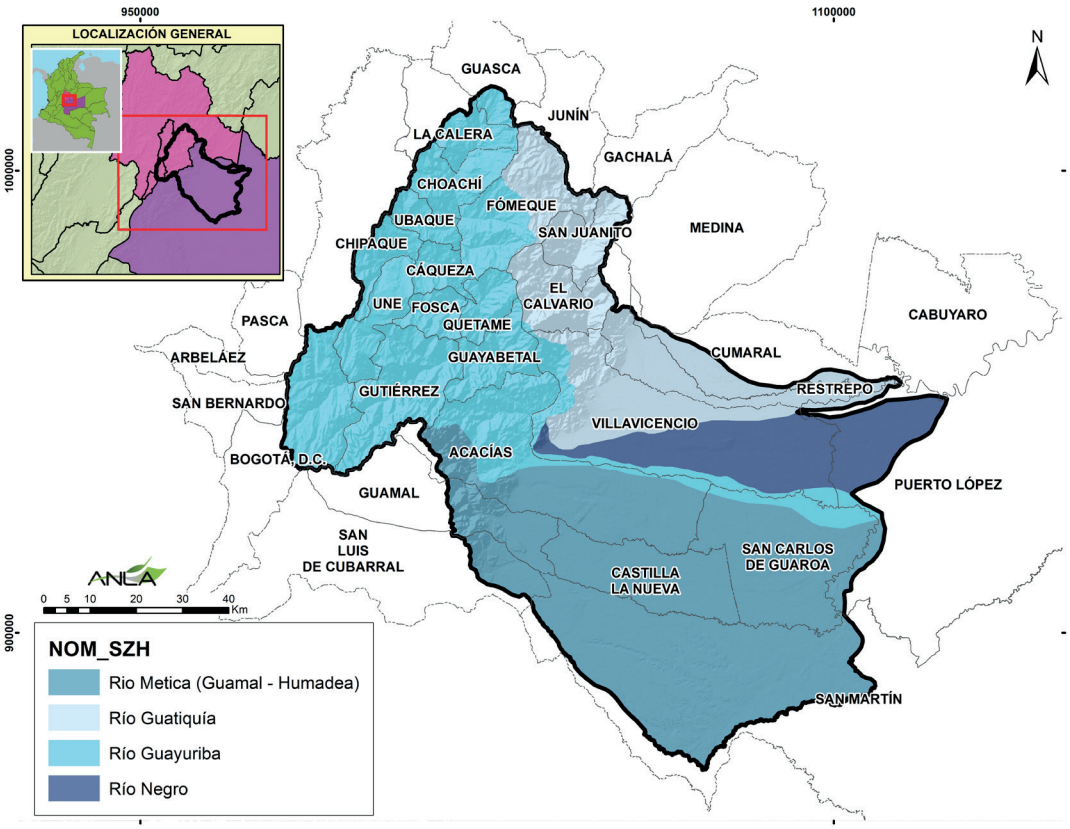
Este reporte tiene como objetivo ofrecer al lector una aproximación sobre el estado y sensibilidad de los recursos naturales en el contexto regional de las subzonas hidrográficas Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro, permitiendo el conocimiento de la dinámica ambiental territorial, contribuyendo a la toma de decisiones en los procesos de evaluación y seguimiento ambiental regional de la ANLA. Por lo tanto, la información contenida tiene un alcance estrictamente regional y sus resultados no podrán ser homologados a una escala diferente.

Fecha de corte de la información: Se realizó la revisión de la información documental que reposa en los expedientes de la Autoridad con corte a diciembre de 2020, así como la suministrada por Corporaciones Autónomas Regionales y por otras entidades para ese mismo corte.

1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende cuatro (4) subzonas hidrográficas según la zonificación y codificación de unidades hidrográficas del IDEAM: Río Metica (Guamal -Humadea) (3501), Río Guayuriba (3502), Río Guatiquía (3503) y Río Negro (3510) (Figura 1).

Figura 1. Área de estudio Subzonas Hidrográficas



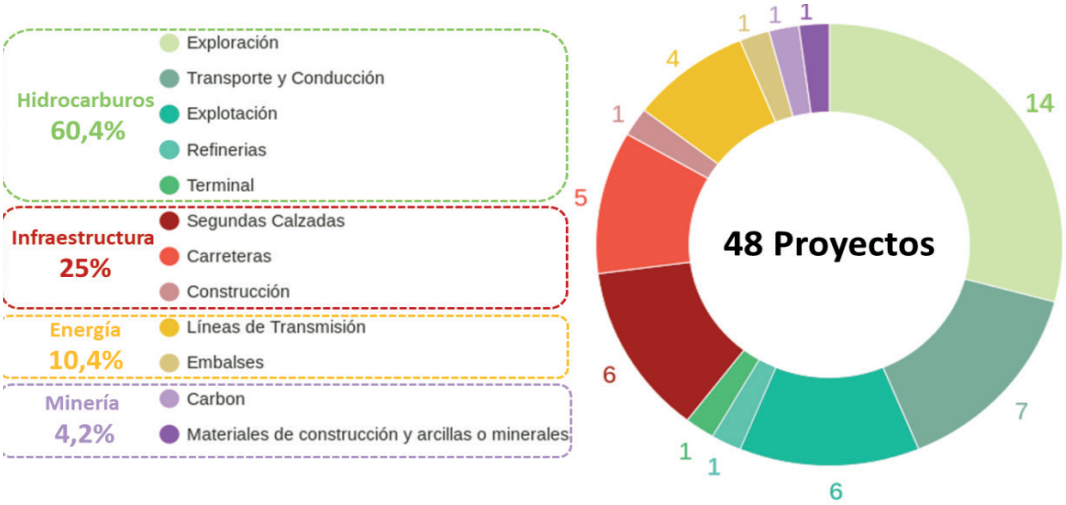
Fuente. ANLA, 2020 adaptado de IDEAM.

En términos político-administrativos comprende 26 municipios, 13 del departamento del Meta y 13 de Cundinamarca y se distribuye en la jurisdicción de CORMACARENA (71,9%), CORPORINOQUIA (17,5%), CORPOGUAVIO (5,18%); SDA (3,66%) y CAR (1,62%).

2. ESTADO DE LICENCIAMIENTO

De acuerdo con la información disponible a 15 de diciembre de 2020 en el Sistema de Información de Licencias Ambientales de la ANLA- SILA, en esta área actualmente se encuentran un total de 48 proyectos activos en estado de seguimiento ambiental (Ver Tabla 1). La distribución de los tipos de proyectos de acuerdo con el sector al que pertenece se aprecia en la Figura 2 donde se observa la predominancia del sector hidrocarburos (60%), seguido por proyectos de infraestructura vial principalmente (25%), en tercer lugar, los proyectos de generación y conducción de energía (10,4%) y finalmente el sector de minería (4,2%).

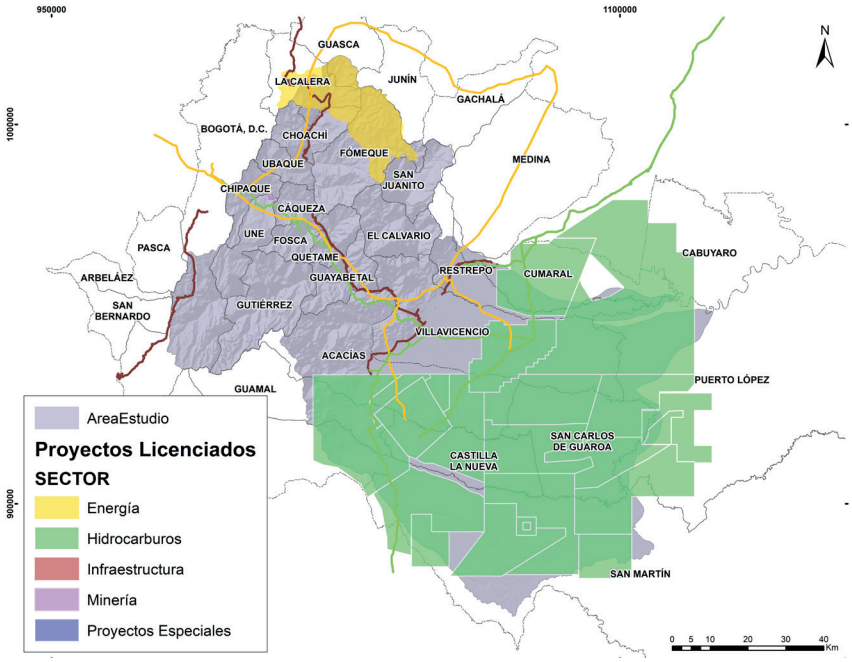
Figura 2. Porcentaje de distribución de proyectos por sector



Fuente: ANLA, 2021.

En la Figura 3 se detalla la presencia de proyectos de bloques de hidrocarburos junto con las líneas de proyectos de transporte y conducción de hidrocarburos, líneas de proyectos viales y líneas de trasmisión de energía.

Figura 3. Proyectos, obras y actividades en seguimiento por sector



Fuente: ANLA. 2021

Tabla 1. Lista de proyectos en el área de estudio

SECTOR	TIPO PROYECTO	EXPEDIENTE	PROYECTO	ETAPA
Energía	Embalses	LAM1230	Plan De Manejo Ambiental Del Sistema Chingaza	Operación
	Líneas de Transmisión	LAM2048	Líneas De Transmisión A 230kv. Corredor Sur y Sistema Bogotá	Operación
		LAV0005-13	Transmisión Nueva Esperanza Línea A 230 Kv Y Subestación De Energía – Transmisión Nueva Esperanza Línea A 230 Kv Y Subestación De Energía	Operación
		LAV0064-00-2017	Construcción y operación de una línea de transmisión de energía eléctrica a 30 kv entre la subestación del sistema interconectado nacional "la reforma" y la subestación "San Fernando"	Preconstrucción
		LAV0071-00-2017	Subestación Suria 230 Kv Y Líneas De Transmisión Asociadas	Operación
Hidrocarburos	Exploración	LAM2944	Área De Perforación Exploratoria «Pachaquiaro"	Operación
		LAM4012	Bloque De Perforación Exploratoria Jacaranda	Desmantelamiento y/o abandono
		LAM4829	Bloque Exploratorio CPO-4	Operación
		LAM5423	Área De Perforación Exploratoria CPO-9	Operación
		LAM5599	Área De Perforación Exploratoria CSO	Desmantelamiento y/o abandono
		LAM5790	Área De Perforación Exploratoria Llanos 59.	Operación
		LAV0001-11	Área De Perforación Exploratoria Pastinaca	Operación
		LAV0003-13	Área De Perforación Exploratoria Ávila	Operación
		LAV0004-13	Área De Perforación Exploratoria Chenchena	Operación
		LAV0039-13	Área De Perforación Exploratoria APE CPO-10 Sur	Operación
		LAV0053-14	Área De Perforación Exploratoria Llanos 65	Construcción
		LAV0058-14	APE LLA33	Desmantelamiento y/o abandono
		LAV0070-13	Área De Perforación Exploratoria Taray	Operación
		LAV0081-13	Área De Perforación Exploratoria Zocay Bloque CPO 9	Operación
	Explotación	LAM0198	Área De Los Campos En Explotación	Operación
		LAM0227	Bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene	Operación
		LAM0230	Construcción De Gasoducto Desde Campo Cusiana Hasta Monterrey y Romales, Aguazul, Tauramena	Operación
		LAM3723	Campo Camoa	Operación
		LAV0004-00-2015	Área de Desarrollo LLA-66	Operación
		LAV0089-13	Campo de Producción 50k CPO-09	Operación
	Refinerías	LAV0025-14	Construcción y Operación de la Refinería Del Meta	Construcción
	Terminal	LAV0093-00-2014	Centro de Acopio Para Combustibles - Centro De Acopio Para Combustibles	Operación
	Transporte y Conducción	LAM0510	Gasoducto Ramales Cumaral Restrepo Y Acacias	Operación
		LAM0522	Inspección Ambiental Del Proyecto Oleoducto Apiay El Porvenir	Operación
		LAM0951	Gasoducto Apiay – Villavicencio – Bogotá	Operación
		LAM1063	Construcción Gasoducto Apiay – Villavicencio – Ocoa	Operación
		LAM1461	Gasoducto Ramales, Piedemonte Llanero.	Operación
		LAM2947	Oleoducto Castilla – Apiay,	Operación
		LAM2635	Construcción Gasoducto del Alto Ariai. Para 12 Municipios Del Departamento Del Meta	Operación

SECTOR	TIPO PROYECTO	EXPEDIENTE	PROYECTO	ETAPA
Infraestructura	Carreteras	LAM0327	Carretera Bogotá Guasca Briceño Sopo	Operación
		LAM2585	Rehabilitación De La Vía Usme - San Juan De Sumapaz	Operación
		LAV0042-00-2016	Proyecto Villavicencio – Cumaral Unidad Funcional 1 Del Corredor Villavicencio - Yopal	Construcción
		LAV0087-00-2015	Construcción Variante De Choachí	Preconstrucción
		LAM0316	Construcción Carretera San Juanito Fómeque	Desmantelamiento y/o abandono
		LAM0211	Bogotá Villavicencio Sector K0 (Bogotá) - K55 (Puente Téllez Cáqueza) Y Túnel Boquerón	Operación
	Segundas Calzadas	LAM3960	Construcción Doble Calzada Villavicencio - Acacias (Parque Fundadores - Ciudad Porfía)	Operación
		LAM4409	Construcción De La Segunda Calzada Tramo El Tablón (Pr34) - Chirajara (Pr63) De La Carretera Bogotá – Villavicencio	Operación
		LAV0025-00-2017	Construcción De La Conectante Vía Nueva - Vía Antigua Villavicencio - Bogotá UF-9a -Licencia Ambiental.	Construcción
		LAV0037-00-2017	Construcción De La Segunda Calzada Entre Ciudad Porfía - Acacías	Preconstrucción
		LAV0073-00-2015	Construcción Nueva Calzada De La Carretera Bogotá – Villavicencio, Tramo Chirajara - Bijagual	Construcción
		LAV0074-00-2015	Construcción Nueva Calzada De La Carretera Bogotá – Villavicencio, Tramo Bijagual-Fundadores	Construcción
Minería	Carbón	LAM0626	Cantera El Pedregal En Une Cundinamarca, Área De 35 Hectáreas Para Transformación De Materiales De Construcción Para De Agregados De Concretos.	Operación
	Materiales de construcción y arcillas o minerales	LAM0579	Explotación De Materiales Para La Construcción De La Cantera El Pilar Cundinamarca Plan De Recuperación Y Restauración Ambiental Del Área Intervenida.	Desmantelamiento y/o abandono

Fuente: ANLA. 2021

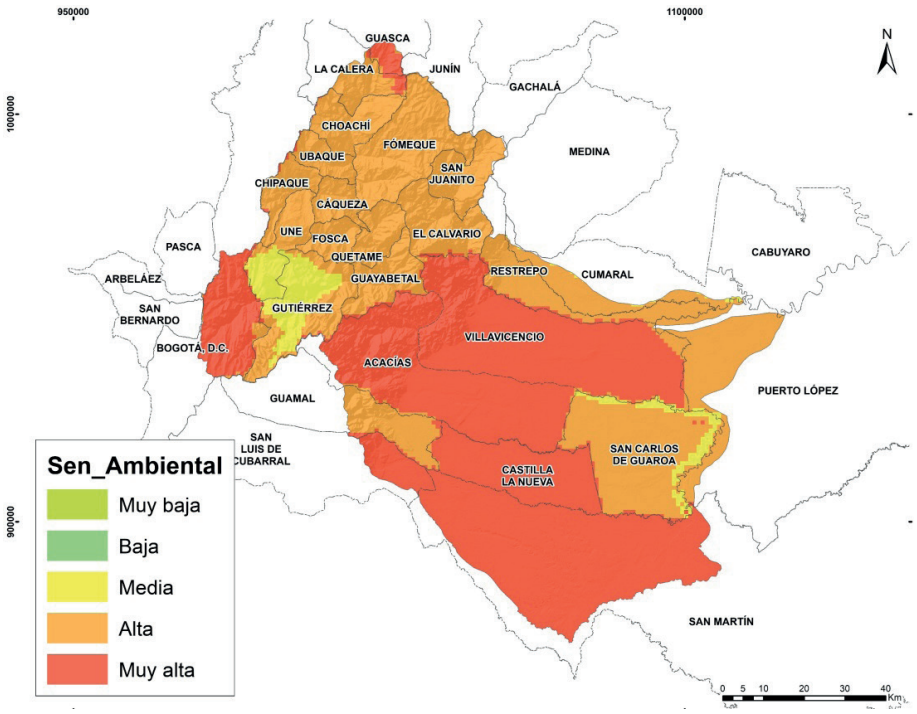
3. SENSIBILIDAD AMBIENTAL FRENTE AL SEGUIMIENTO DE PROYECTOS

A partir del ejercicio de sensibilidad ambiental, realizado por la Autoridad, con base en información secundaria oficial a escala 1:100.000 disponible para visualización y descarga en el visor WEB de la entidad ANLA -AGIL http://sig.anla.gov.co/index.aspx, en la Figura 4 se observa el estado aproximado de la criticidad de cada componente asociado a la confluencia de los proyectos y a las condiciones de vulnerabilidad de los recursos frente a procesos de licenciamiento ambiental, expresado en términos de sensibilidad ambiental.

Bajo este contexto, el área de estudio se categoriza en una región de sensibilidad Alta a Muy Alta y unas pocas zonas con sensibilidad media, donde las áreas de sensibilidad Alta y muy Alta son consecuencia de las criticidades encontradas en los componentes: 1) hídrico superficial, sensibilidad muy alta en las SZH Metica (3501) y Río Guayuriba (3502) dado la categoría de Alta en los valores del índice de análisis

integrado del agua;2) hídrico subterráneo, sensibilidad alta en la zona del piedemonte del Meta por la presencia del sistema acuífero Villavicencio-Granada-Puerto Lopez; 3) medio biótico, sensibilidad muy alta en el norte del área de estudio, por la presencia de Áreas "núcleo" prioritarias para la conectividad ecológica asociado a los PNN Sumapaz y PNN según los Corredores de conectividad entre áreas protegidas- IAvH (2018) y presencia de ecosistemas en de amenaza vulnerable (VU); y 4) el medio social, muy alta sensibilidad por la presencia de quejas en el aplicativo de presuntas infracciones ambientales AGIL y proyectos con procesos jurídicos en los municipios de Villavicencio, Acacias, Guamal, San Martín y Cubarral.

Figura 4. Sensibilidad ambiental



Fuente. ANLA, 2021.

4. JERARQUIZACIÓN DE IMPACTOS

En el área de estudio 45 de los 48 proyectos existentes reportaron los impactos significativos generados en los EIA correspondientes. De acuerdo con la metodología propuesta (ANLA, 2020), los impactos reportados se clasifican en 28 categorías, cuya frecuencia se presenta en la Tabla 2. Los impactos más reportados son: alteración a la cobertura vegetal, alteración a la calidad del suelo por cambios en las

propiedades físicas, químicas y biológicas, y generación y/o alteración de conflictos sociales, con una frecuencia de 27, 24 y 24, respectivamente.

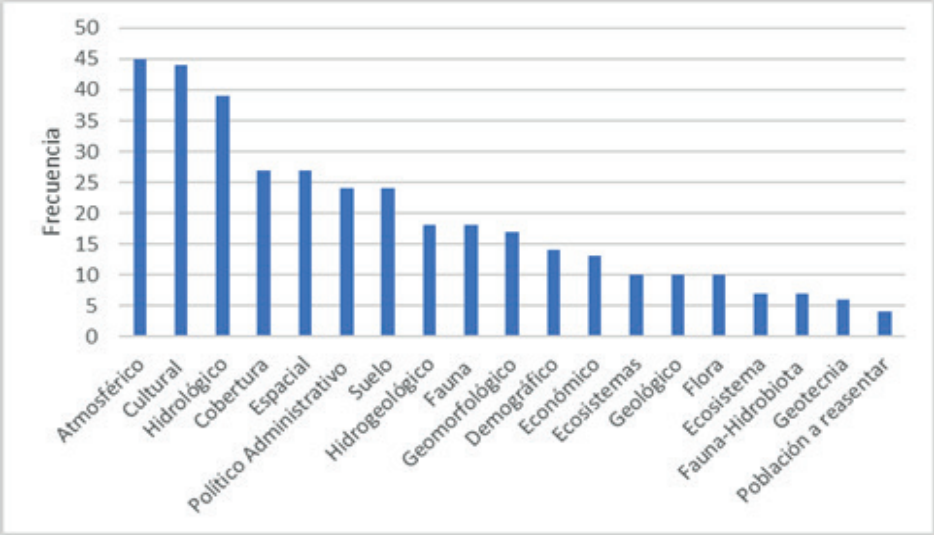
Tabla 2. Frecuencia por impacto

Categoría estandarizada de Impacto ANLA	Frecuencia
Alteración a cobertura vegetal	27
Alteración a la calidad del suelo por cambios en las propiedades físicas, químicas y biológicas	24
Generación y/o alteración de conflictos sociales	24
Alteración en la percepción visual del paisaje	23
Alteración en la calidad del recurso hídrico superficial	21
Alteración a la calidad del aire	19
Cambio en el uso del suelo	18
Alteración a comunidades de fauna terrestre	18
Alteración de la geoforma del terreno	17
Alteración de las condiciones geotécnicas	16
Modificación de la infraestructura física y social y de los servicios públicos y sociales.	15
Alteración en los niveles de presión sonora	15
Cambio en las variables demográficas	14
Alteración a ecosistemas terrestres	13
Modificación de las actividades económicas de la zona	13
Modificación de la accesibilidad, movilidad y conectividad local	12
Alteración a la calidad del recurso hídrico subterráneo	12
Alteración a comunidades de flora	10
Alteración hidrogeomorfológica de la dinámica fluvial y/o del régimen sedimentológico	10
Alteración en la oferta y disponibilidad del recurso hídrico superficial	8
Alteración a comunidades de fauna acuática e Hidrobiota	7
Generación de olores ofensivos	7
Alteración en la oferta y/o disponibilidad del recurso hídrico Subterráneo	6
Alteración a ecosistemas acuáticos	4
Traslado involuntario de población	4
Alteración al patrimonio arqueológico	3
Alteración a las propiedades físicas del aire	2
Alteración en los niveles de radiación	2
Total general	**364**

Fuente. Jerarquización y Estandarización de Impactos ANLA, 2021

Los impactos reportados se encuentran asociados a 19 componentes ambientales o socioeconómicos, cuya frecuencia se relaciona en la Figura 5; el componente atmosférico y el cultural presentan las mayores frecuencias de impactos, seguidos por el hidrológico, mientras que la población a reasentar es el de menor frecuencia.

Figura 5. Frecuencia de impactos por componente



Fuente. ANLA, 2021

Se puede observar en la frecuencia de impactos por sector económico y componente (Tabla 3), que el sector con mayor frecuencia de impactos en todos los casos es el de hidrocarburos con una frecuencia de 248 impactos, seguido por el sector de infraestructura.

Tabla 3. Frecuencia de impactos por sector y componente

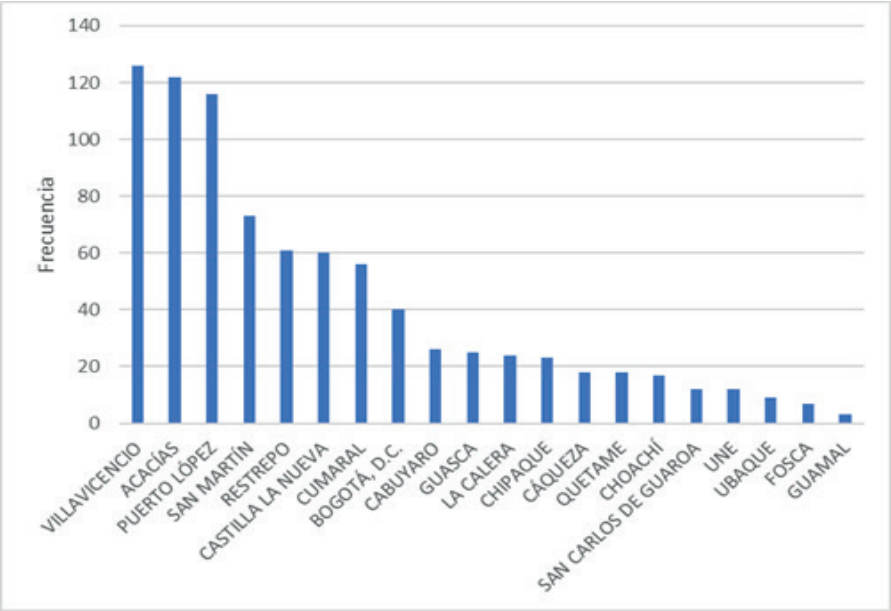
Componente	Energía	Hidrocarburos	Infraestructura	Minería	Total
Atmosférico	5	31	8	1	45
Cultural	4	26	12	2	44
Hidrológico	4	27	6	2	39
Cobertura	3	17	5	2	27

Componente	Energía	Hidrocarburos	Infraestructura	Minería	Total
Espacial	2	19	5	1	27
Político Administrativo	3	18	2	1	24
Suelo	2	17	5		24
Hidrogeológico		15	2	1	18
Fauna	2	12	4		18
Geomorfológico	2	10	5		17
Demográfico	2	9	3		14
Económico	2	9	2		13
Ecosistemas	1	8	1		10
Geológico	2	7	1		10
Flora	1	8	1		10
Ecosistema		5	1	1	7
Fauna-Hidrobiota	2	5			7
Geotecnia	1	2	2	1	6
Población a reasentar		3	1		4
Total general	38	248	66	12	364

Fuente. Jerarquización y Estandarización de Impactos ANLA, 2021

En la Figura 6 se presenta la frecuencia de impactos significativos por municipios del área de estudio, representando en este caso su acumulado. Dentro del área de estudio se cuenta con 26 municipios, de los cuales 16 poseen algún impacto directo por proyectos ANLA.

Figura 6. Frecuencia de impactos por municipio



Fuente. ANLA 2021.

Respecto a las licencias de la ANLA dentro del área de estudio, en los municipios de Villavicencio, Acacías y Puerto López se presenta la mayor cantidad de proyectos con frecuencias de 126, 122 y 116, respectivamente.

Según el análisis adelantado, en el área de estudio los impactos con mayores reportes se presentan sobre los componentes atmosférico, cultural e hidrológico; por tanto, en la evaluación de nuevos proyectos es necesario especial atención en estos componentes. Sin embargo, analizando las categorías estandarizadas de impactos con mayor frecuencia, se evidencia que las categorías de alteración a la cobertura vegetal, alteración en la calidad del suelo, generación y/o alteración de conflictos sociales, alteración a la percepción visual del paisaje y alteración en la calidad del recurso hídrico superficial, presentan frecuencias superiores a 20, lo que dentro del contexto del área de estudio es considerable al representar la tercera parte de la frecuencias totales.

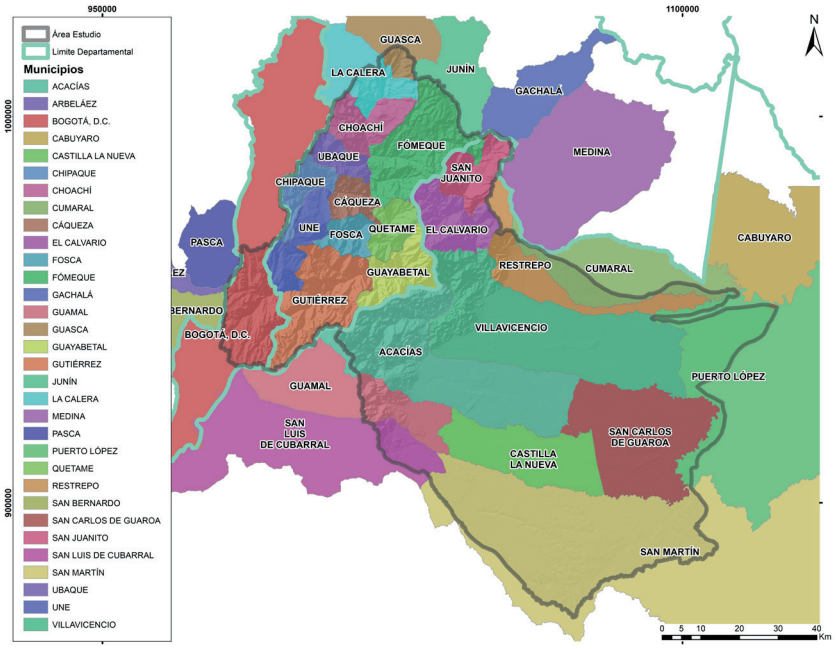
De igual forma, tanto en la evaluación como en el seguimiento, se debe prestar mayor atención a los proyectos que se localicen en los municipios de Acacías, Villavicencio y Puerto López, ya que es en estos donde se acumulan no solo la mayor frecuencia de categorías de impacto, sino la mayor cantidad de proyectos. Por otra parte, el expediente que presenta la mayor frecuencia de los impactos ambientales categorizados es el LAM0227 con un total de 26 de las 28 categorías estandarizadas presentes en la zona.

5. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

5.1. MEDIO SOCIOECONÓMICO

El área de estudio del Reporte de Alertas de la Subzona Hidrográfica de los ríos Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN), está conformada por un total de 26 municipios localizados en el departamento de Cundinamarca y Meta. Los municipios que hacen parte del área de estudio son Bogotá, Cáqueza, Chipaque, Choachí, Fómeque, Fosca, Guasca, Guayabetal, Gutiérrez, La Calera, Quetame, Ubaque, Une, Acacías, Cabuyaro, Castilla la Nueva, Cumaral, El Calvario, Guamal, Puerto López, Restrepo, San Carlos de Guaroa, San Juanito, San Luis de Cubarral, San Martín y Villavicencio, tal como se observa en la Figura 7.

Figura 7. División Político-Administrativa de la SZH-MGGN



Fuente: ANLA, 2021.

En el área de estudio se registra un total de 8.677.446 habitantes, de los cuales el 90,84% (7.882.253 habitantes) se concentran en Cundinamarca y el 9,16% (795.193 habitantes) en Meta (DANE, 2018). En cuanto a condiciones de vida y de acuerdo con el Índice de Pobreza Multidimensional (IPM)(DANE, 2019), el 26,41% de la población es multidimensionalmente pobre, es decir, alrededor de la cuarta parte de las personas del área de estudio presenta privaciones en por lo menos el 33% de los indicadores

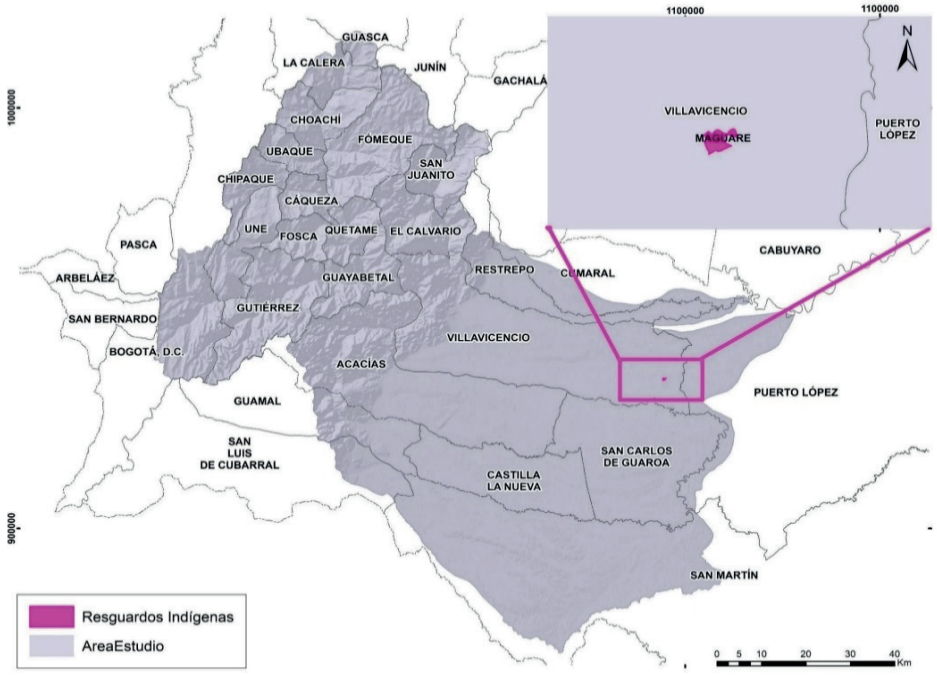
ponderados en los ámbitos de salud, educación, trabajo, vivienda, condiciones de la niñez y juventud; particularmente, en los municipios de Fosca, Gutiérrez y Ubaque en jurisdicción de Cundinamarca, así como, San Juanito en el Meta, este índice sobrepasa el índice de IPM nacional.

Frente al nivel de gestión de los municipios, el Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2017), generó la tipología de departamentos y municipios con el fin de tener una mayor comprensión del territorio colombiano y establecer políticas sectoriales según las necesidades específicas de cada una de las regiones. En este orden de ideas se establecieron varias categorías o dimensiones en las cuales se hace el análisis de los municipios que conforman el país. Esta tipología establece un índice de cero (0) a uno (1), siendo 0 las condiciones más precarias y los valores más cercanos a 1 son los municipios con mejor desempeño. De acuerdo con esta tipología el 80,77% de los municipios se encuentran categorizados con un desarrollo intermedio, mientras que Bogotá, La Calera, Castilla La Nueva y Villavicencio se distinguen por un entorno de desarrollo robusto.

5.1.1 Figuras de Ordenamiento Territorial

En el área de estudio de acuerdo con la base de datos y la información disponible en la Agencia Nacional de Tierras, se identifica un territorio étnico correspondiente al Resguardo Indígena Maguare, ubicado en la inspección de Puerto Colombia jurisdicción del Municipio de Villavicencio (Figura 8). En cuanto a territorios colectivos de comunidades negras, Zonas de Reserva Campesinas (ZRC) y Zonas de interés de Desarrollo Rural, económico y Social (ZIDRES), no se identifican áreas que se encuentren constituidas, en proceso de constitución o en proyección.

Figura 8. Territorios Étnicos en el área de interés



Fuente: ANLA, 2021, adaptado de Agencia Nacional de Tierras (2018)

5.1.2 Percepción del licenciamiento ambiental y Denuncias Ambientales

Con el fin de identificar aspectos de importancia ambiental para las comunidades frente al licenciamiento ambiental, así como otras presiones sobre los recursos naturales de la zona, se procedió a elaborar un mapa de sensibilidad social con base en las denuncias ambientales, QUEDASI (Quejas, Denuncias Ambientales e Inconformidades) y PQRSD (Peticiones, Quejas, Reclamos, Sugerencias o Denuncias) reportadas entre el periodo de tiempo del 2019 al 2021. Para este análisis, se implementaron los siguientes insumos:

1) Matriz QUEDASI: Se realizó una revisión de la información reportada en los últimos conceptos técnicos de seguimiento disponibles para identificar aspectos ambientales de interés evidenciados durante la visita de seguimiento. Con base en esta información se elaboró la base de datos de Quejas al Trámite, Denuncias Ambientales y Solicitudes de Información (QUEDASI).
2) Denuncias sobre presuntas Infracciones Ambientales - ANLA: Paralelamente utilizando el Módulo de Estadísticas sobre Denuncias Ambientales de la entidad, se identificaron las preocupaciones y percepciones sobre los impactos, presión sobre determinados recursos y presuntas afectaciones derivadas de los proyectos, obras o actividades sujetos de licenciamiento, permiso o trámite ambiental que son de competencia de la entidad.
3) Quejas Ambientales de Corporaciones: Adicionalmente CORPOGUAVIO allegó una base de datos de quejas ambientales, la cual se depuró y recategorizó con el fin de establecer la concentración de quejas a nivel municipal y la presunta afectación al medio o componente ambiental.

5.1.2.1 Quejas al Trámite, Denuncias Ambientales y Solicitudes de Información (QUEDASI)

La importancia de este indicador reside en que establece aquellos factores que puedan motivar la conflictividad socioambiental o que se relacionan con posibles afectaciones ambientales. En relación con lo anterior se encontró que de los 48 POA que se localizan en el área de estudio, en un total de 16 (en su último concepto de seguimiento) se registró alguna situación de inconformidad manifestada por las comunidades o autoridades visitadas y algunos de ellos registraron varias quejas en el mismo. Del total registrado el 52,94% corresponde al sector de hidrocarburos, el 23,53% al sector de infraestructura, el 17,65% al sector energético, y el 5,88% al sector minero.

De acuerdo con la escala definida para la sensibilidad: de 0-1 baja, 2-4 media y de 5-7 alta, los municipios de Chipaque, Choachí, Fomeque, Fosca, Guasca y La Calera se encuentran dentro de la categoría baja, Quetame, Une, Guayabetal, Bogotá y Cáqueza en categoría media; En cuanto a los municipios en jurisdicción de Meta como lo es Castilla La Nueva, El Calvario, Puerto López, San Carlos de Guaroa, San Juanito y San Marín, se encuentran dentro de la categoría baja, Cumaral, Guamal y Restrepo en categoría media; y Acacías y Villavicencio en categoría alta (ver Tabla 4).

Tabla 4. Sensibilidad Municipal de la SZH-MGGN según Matriz QUEDASI

Departamento	Municipio	N° de PQRS	Nivel de Sensibilidad
Meta	San Luis de Cubarral	0	Baja
Cundinamarca	Ubaque	0	Baja
Meta	Cabuyaro	0	Baja

Departamento	Municipio	N° de PQRS	Nivel de Sensibilidad
Cundinamarca	Gutiérrez	0	Baja
Cundinamarca	Chipaque	1	Baja
Cundinamarca	Choachí	1	Baja
Cundinamarca	Fómeque	1	Baja
Cundinamarca	Fosca	1	Baja
Cundinamarca	Guasca	1	Baja
Cundinamarca	La Calera	1	Baja
Meta	Castilla La Nueva	1	Baja
Meta	El Calvario	1	Baja
Meta	Puerto López	1	Baja
Meta	San Carlos de Guaroa	1	Baja
Meta	San Juanito	1	Baja
Meta	San Marín	1	Baja
Cundinamarca	Bogotá	2	Media
Cundinamarca	Cáqueza	2	Media
Cundinamarca	Quetame	2	Media
Cundinamarca	Une	2	Media
Meta	Guamal	2	Media
Cundinamarca	Guayabetal	3	Media
Meta	Cumaral	3	Media
Meta	Restrepo	3	Media
Meta	Acacías	5	Alta
Meta	Villavicencio	7	Alta

Fuente: ANLA, 2021.

Los temas de inconformidades o QUEDASI de las comunidades y/o autoridades de los territorios intervenidos con los proyectos el área del Reporte, se relacionan en la Tabla 5, con los siguientes aspectos para los proyectos objeto de seguimiento:

Tabla 5. Inconformidades según la base QUEDASI

Sector	Inconformidad y aspectos de sensibilidad según base QUEDASI	Proyecto asociado
Hidrocarburos	• Solicitud de atención de PQRS interpuestas por las comunidades. • Inconformidades por el vertimiento río Ocoa. • Desconocimiento del PMA, PGS e inversión del 1%. • Ingresos a los predios por parte de contratistas encargados del mantenimiento de la infraestructura del proyecto, sin permiso previo. • Bajo nivel de relacionamiento, desconocimiento de los mecanismos de participación e información (reuniones informativas y atención de PQRS), generan dificultades para conocer las generalidades del proyecto y exponer las problemáticas que las comunidades perciben a razón del desarrollo de las actividades licenciadas. • Inconvenientes por las actividades de mantenimiento de la vía que generar dificultades para la movilidad local. • Dificultades con los pagos de los contratos de servidumbre • Incumplimiento con los pagos de reforestación* • Uso de material de río para el mantenimiento de la vía sin ningún permiso. • Conflictividad entre la empresa y la comunidad por la falta de adecuaciones de los puentes. • Generación de constante ruido y malos olores. • Procesos de convocatoria limitados que repercuten en la baja asistencia y desconocimiento de las actividades de la licencia ambiental. • Afectación al recurso hídrico por ubicación de una ‘’terraza’’ en un área donde se encuentras varios puntos de abastecimiento veredal. • Aumento en el riesgo de accidentalidad por exceso de velocidad. • Constantes situaciones de contingencia (derrame de crudo). • Infraestructura de los proyectos expuesta (tubería expuesta).	LAM2944, LAM0198, LAM0230, LAM3723, LAV0004-00-2015, LAV0089-13, LAM0510, LAM0522.
Minería	• Inconformidades respecto a la entrega de los soportes documentales de acuerdo con lo establecido en el Programa de información y participación comunitaria. • Desconocimiento del alcance del proyecto por parte de las Autoridades Municipales, debido al cambio de gobierno.	LAM0626, LAM0579

Sector	Inconformidad y aspectos de sensibilidad según base QUEDASI	Proyecto asociado
Energía	• Desconocimiento del sistema de PQRS y bajo nivel de relacionamiento con las empresas y comunidad en general. • Ejecución de proyectos sin el consentimiento y participación de la comunidad. • Desconocimiento de las obligaciones asociadas a las compensaciones, actividades del PMA y áreas de influencia de los proyectos. • Falta de mantenimiento de la infraestructura vial utilizada para el desarrollo de los proyectos. • Desconocimiento del proceso de relocalización de unidades familiares. • Solicitudes de inclusión de viviendas que están dentro de la franja de servidumbre de la línea de transmisión. • Desconocimiento del alcance del proyecto por parte de las Autoridades Municipales, debido al cambio de gobierno. • No se da cumplimiento en la entrega de los soportes documentales de acuerdo con lo establecido en el Programa de información y participación comunitaria. • Desconocimiento de los permisos de ingresos a predios, así, como los respectivos paz y salvos.	LAM2048, LAV0005-13, LAV0064-00-2017, LAM1230
Infraestructura	• Afectaciones por inundaciones asociadas a los depósitos de materiales. • Afectaciones por escorrentías procedentes de los taludes que se desestabilizan. • Disposición inadecuada de materiales. • Problemas de movilidad y acceso de las comunidades. • Afectaciones en cuanto a la arborización y pasos de fauna. • Fomento de Acción popular respecto a los problemas de movilidad en los sectores. • Problemas con la señalización y afectaciones por ruido. • Incumplimiento en la entrega de los soportes a las comunidades.	LAM4409, LAV0073-00-2015

**Respecto al "incumplimiento en los pagos de reforestación", manifestado por la ciudadanía, en el Concepto Técnico de seguimiento N°07127- Expediente LAM3723, se reitera al licenciatario el cumplimiento de las obligaciones establecidas en el Numeral 6 del Auto 6254 de 22 de octubre de 2018 y el Numeral 2.2 de la Resolución 956 de 1 de septiembre de 2016 en relación con el cumplimiento de la Ficha del Programa para la Atención de Inquietudes, Peticiones, Quejas Reclamos y Solicitudes (IPQRS).*

Fuente: ANLA, 2021.

De acuerdo con la revisión de los conceptos técnicos de seguimiento, se identificó una situación particular relacionada con el expediente LAM0227 Campos de Producción Castilla y Chichimene, el cual, a partir de las entrevistas y reuniones realizadas en la visita de seguimiento al proyecto recibieron 323 IPQRS desde el componente social, agrupadas en los siguientes temas:

Tabla 6. Porcentajes de incidencias reportadas en l último Concepto Técnico de Seguimiento para LAM0227

Tema	Incidencia*(%)
Contaminación hídrica (agua superficial)	62,5
Contingencias	37,5
Contaminación del suelo	33,3
Ruido	33,3
Afectación Fauna (peces)	23,6
Contaminación del aire	22,2
Compensaciones	20,8
Daño en propiedad privada	20,8
Socialización e información	20,8
Daño a acuíferos	19,4
Contaminación hídrica, agua subterránea	18,1
Fragmentación de predios	18,1
Afectación a animales domésticos	16,7
Deforestación	13,9
Incumplimiento de PMA o zonificación	13,9
Deterioro de líneas de flujo	9,7
Afectación a acueducto comunitario	8,3
Apiques (excavaciones)	8,3
Planta Piloto de Inyección de Aire para Recobro (PIAR)	6,9
Señalización vial	6,9
Comité de Asuntos Ambientales	5,6
Mal manejo de contingencias	5,6
Privatización de vías	5,6
Vibraciones del suelo (afectación)	5,6
Afectación a la flora	4,2
Desconfianza resultados laboratorios de agua	2,8
Inseguridad	2,8
Mal estado de Vías	2,8

**Durante la visita de seguimiento realizada entre el 19/10/2021 al 05/11/2020, se desarrollaron 72 reuniones con los diferentes grupos de interés en las cuales se referenciaron 323 IPQRS, donde el porcentaje de incidencia se refiere al porcentaje de las reuniones en las cuales las quejas se encuentran asociadas a las diferentes temáticas*

Fuente: ANLA, 2021.

Es de resaltar, que, de acuerdo con la última visita de seguimiento realizada del 19 de octubre al 5 de noviembre del 2020, se realizaron las respectivas verificaciones en el cumplimiento de las obligaciones ambientales indicadas, imposiciones de nuevas acciones referentes a la implementación de medidas de seguimiento y monitoreo, así como la atención a las quejas y/o peticiones remitidas por las comunidades u organizaciones del área de influencia del proyecto. Sin embargo, es de considerar que en muchos casos los peticionarios no tenían claridad sobre las fechas de los sucesos, así como con la denominación o nombre correcto del clúster, pozo o actividad del proyecto.

5.1.3 Estadísticas sobre presuntas Denuncias Ambientales (Geovisor ÁGIL)

Para los municipios que conforman el área de la SZH-MGGN con corte a 10 de febrero de 2021, se identificó un total de doscientas cuatro (204) denuncias ambientales que se encuentran reportadas para los municipios de Bogotá, Acacías, Castilla La Nueva, Villavicencio, Guayabetal, San Martín, Cabuyaro, Guamal, Chipaque, Puerto López, Restrepo, Cáqueza y Cumaral. De acuerdo con la escala de sensibilidad correspondiente: de 0-10 baja, 11-22 media y de >33 alta, la ciudad de Bogotá y el municipio de Acacías se encuentran dentro de la categoría alta presentando un mayor reporte de denuncias asociadas al recurso atmosférico en Bogotá y recursos hídrico en Acacías, seguido de Villavicencio y Castilla La Nueva en categoría media, donde las denuncias se encuentran asociadas a una presunta afectación del recurso hídrico (ver Tabla 7).

Con respecto al tipo de sector sobre el que se realizan las denuncias, se encuentra que el 51,49% de las denuncias están asociadas al sector infraestructura, el 44,06% al sector de hidrocarburos, el 1,49% al sector de energía al igual que el sector de minería, el 1,0 % a jurídicos y el 0,5% al sector de agroquímicos (ver Tabla 8). En cuanto a la presión sobre los componentes o medios, se presentan para el recurso hídrico, el recurso atmosfera y para el medio socioeconómico (ver Figura 9).

Tabla 7. Sensibilidad Municipal de la SZH-MGGN según Geovisor ÁGIL

Departamento	Municipio	N° de PQRS	Nivel de Sensibilidad
Cundinamarca	Ubaque	0	Baja
Cundinamarca	Gutiérrez	0	Baja
Cundinamarca	Choachí	0	Baja
Cundinamarca	Fómeque	0	Baja
Cundinamarca	Fosca	0	Baja
Cundinamarca	Guasca	0	Baja
Cundinamarca	La Calera	0	Baja
Cundinamarca	Quetame	0	Baja
Cundinamarca	Une	0	Baja
Meta	El Calvario	0	Baja
Meta	San Carlos de Guaroa	0	Baja
Meta	San Juanito	0	Baja
Meta	San Luis de Cubarral	0	Baja
Meta	Cumaral	1	Baja

Departamento	Municipio	N° de PQRS	Nivel de Sensibilidad
Cundinamarca	Ubaque	0	Baja
Cundinamarca	Gutiérrez	0	Baja
Cundinamarca	Choachí	0	Baja
Cundinamarca	Fómeque	0	Baja
Cundinamarca	Fosca	0	Baja
Cundinamarca	Guasca	0	Baja
Cundinamarca	La Calera	0	Baja
Cundinamarca	Quetame	0	Baja
Cundinamarca	Une	0	Baja
Meta	El Calvario	0	Baja
Meta	San Carlos de Guaroa	0	Baja
Meta	San Juanito	0	Baja
Meta	San Luis de Cubarral	0	Baja
Cundinamarca	Cáqueza	2	Baja
Meta	Puerto López	3	Baja
Meta	Restrepo	3	Baja
Cundinamarca	Chipaque	4	Baja
Meta	Guamal	4	Baja
Meta	Cabuyaro	5	Baja
Meta	San Marín	5	Baja
Cundinamarca	Guayabetal	9	Baja
Meta	Villavicencio	16	Media
Meta	Castilla La Nueva	18	Media
Meta	Acacías	52	Alta
Cundinamarca	Bogotá	82	Alta

Fuente: ANLA, 2021.

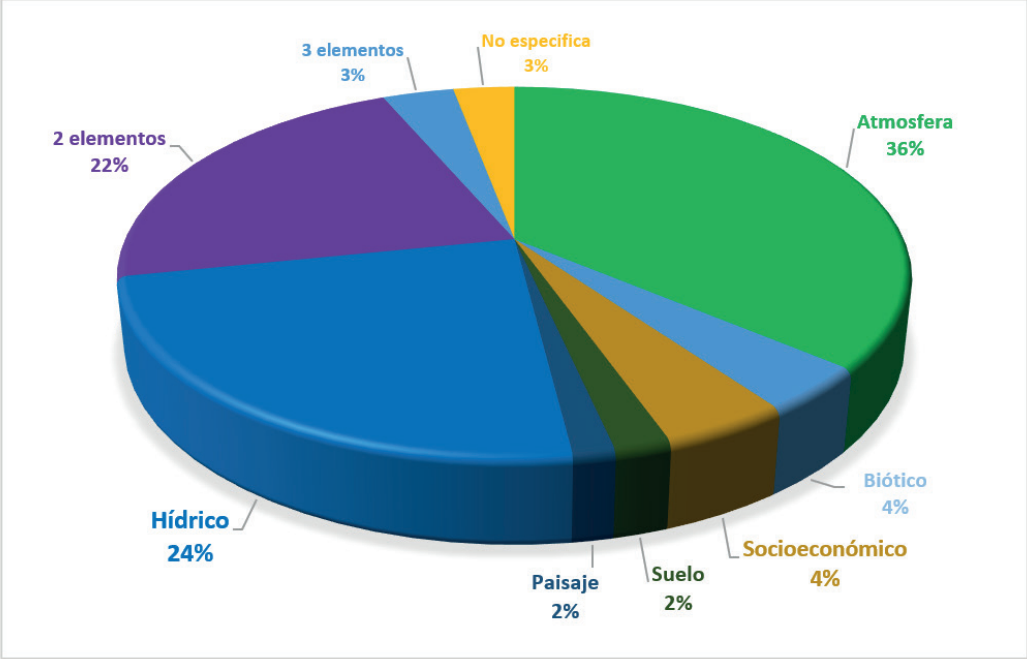
Tabla 8. Porcentajes y N° de PQRS por sector

Sector	%	N° de PQRS
Infraestructura	**51,49**	**104**
Hidrocarburos	**44,06**	**89**
Minería	1,49	3

Energía	1,49	3
Jurídicos	1,0	2
Agroquímicos	0,5	1

Fuente: ANLA, 2021.

Figura 9. Recurso afectado según denuncias ambientales



Fuente: ANLA, 2021

5.1.4 Denuncias Ambientales CORPORACIÓN

Adicionalmente CORPOGUAVIO allegó una base de datos de quejas ambientales entre los años 2016 y 2021 con un total reportado de 1.262 quejas; de este total, se revisaron las registradas entre el periodo 2019 a 2021 y las que efectivamente se relacionaran con quejas ambientales. No obstante, es importante señalar que la descripción general de las quejas interpuestas no permitió identificar con claridad las presuntas infracciones ambientales que puedan estar relacionadas con proyectos de competencia de la ANLA. Por tal razón, la revisión se centró en la identificación de los municipios que presentan acumulación de quejas y el medio o componente relacionado, referenciando los temas recurrentes.

De esta manera, en total se registraron 260 quejas asociadas a las unidades territoriales del área del reporte, donde las que presentan las mayores concentraciones de quejas son Guasca, Fomeque, Choachí y Cáqueza en jurisdicción de Cundinamarca.

De acuerdo con la escala de sensibilidad correspondiente a: de 0-35 baja, 36-70 media y de >71 alta, los municipios de Fomeque y Guasca son los que presentan un nivel de sensibilidad alta (ver Tabla 10). Las principales quejas están asociadas al recurso hídrico (51,54%) en cuanto a que se referencian situaciones

de afectación al recurso por captaciones y vertimientos no autorizados, seguido de las quejas al medio biótico (26,54%) debido a aprovechamientos forestales sin permiso, al medio socioeconómico donde se registran afectaciones por el desarrollo de actividades productivas (porcícolas y cultivos de papa), y afectación al recurso suelo por la inadecuada disposición de residuos sólidos (6,15%); las quejas restantes se sitúan en los demás medios o no están especificadas (ver Tabla 9).

Tabla 9. PQRS por medio o componente según reporte de CORPOGUAVIO

Medio/Componente	N° de PQRS por año			%
	2019	2020	2021	
Hídrico	49	82	3	51,54
Biótico	36	32	1	26,54
Atmosférico	3	8	2	5,00
Suelo	10	6	0	6,15
Socioeconómico	1	21	1	8,85
Sin especificar	3	2	0	1,92
Total	**102**	**151**	**7**	**100%**

Fuente: ANLA, 2021, adaptado de CORPOGUAVIO (2021)

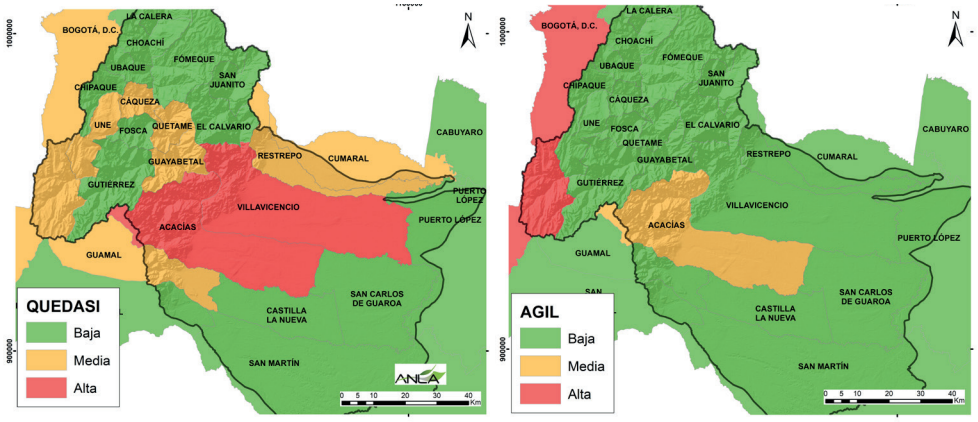
Tabla 10. Sensibilidad Municipal de la SZH-MGGN según reporte de CORPOGUAVIO

Depto	Municipio	Reporte por año			N° de PQRS	Nivel de Sensibilidad
		2019	2020	2021		
Cund.	Cáqueza	1	0	0	1	Baja
	Choachí	1	0	0	1	Baja
	Fomeque	36	73	2	111	Alta
	Guasca	64	78	5	147	Alta
Total		**102**	**151**	**7**	**260**	

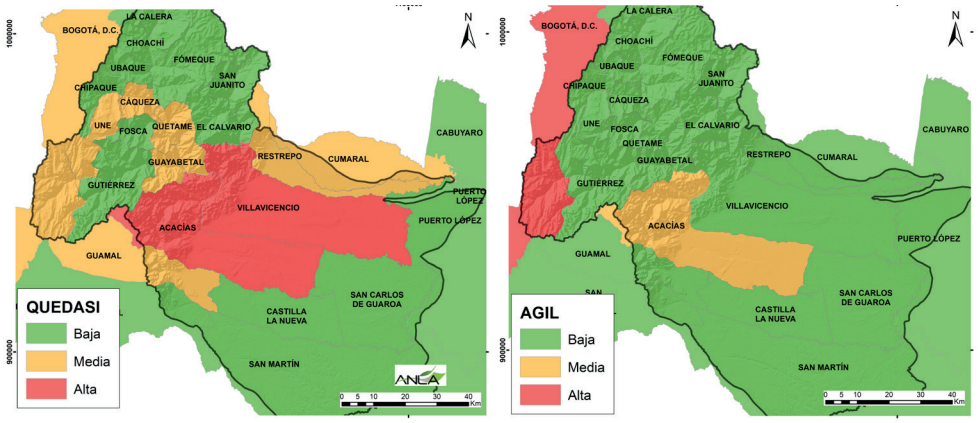
Fuente: ANLA, 2021, adaptado de CORPOGUAVIO (2021)

Por otro lado, con el objetivo de obtener un resultado del nivel de sensibilidad social del área de interés, se sumaron los resultados de la información sistematizada de la Matriz QUEDASI y lo reportado en el geovisor ÁGIL (ver Figura 10. A y Figura 10. B), e implementó una clasificación por quintiles correspondiente a baja (0-1), media (2-6) y alta (>6), para obtener un nivel de sensibilidad social total para cada municipio (ver Figura 10. D). De esta manera, y considerando estos resultados, los municipios de Acacías, Villavicencio, Guayabetal, Castilla La Nueva y la ciudad de Bogotá, presentan una acumulación representativa de denuncias ambientales categorizándola en un nivel de sensibilidad alta.

Figura 10. Sensibilidad municipal según las denuncias sobre presuntas infracciones ambientales



10. A **10. B**



10. C **10. D**

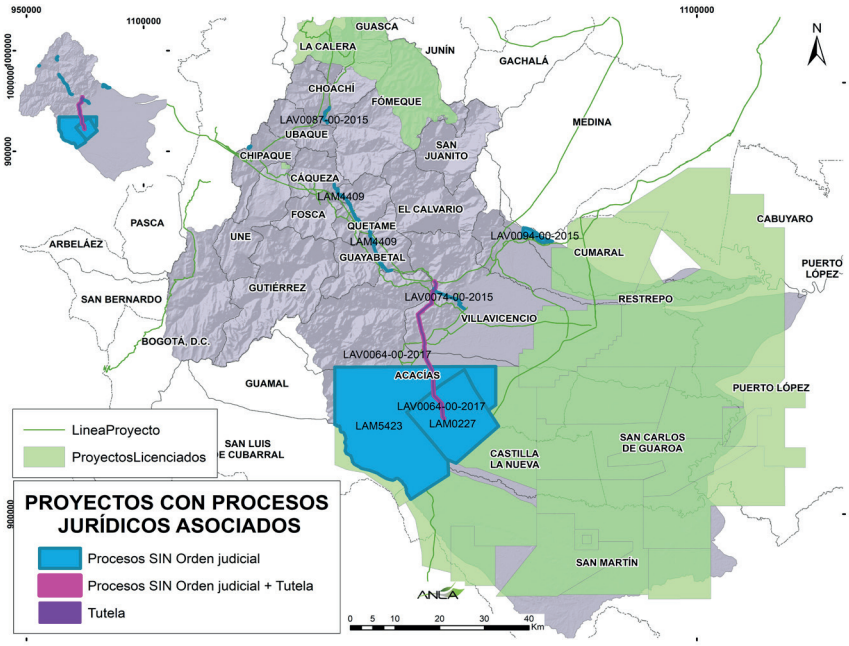
Fuente: ANLA, 2021

5.1.5. Proyectos con Procesos Judiciales

De acuerdo con el visor de Procesos Judiciales ANLA, en el área de estudio se identifican siete (7) proyectos que se encuentran asociados a procesos jurídicos (Tabla 11), de los cuales LAM5423, LAM0227,

LAM0579, LAM4409, LAV0087-00-2015 y LAV0074-00-2015, se encuentran en una fase administrativa en proceso, pero sin orden judicial. En cuanto a LAV0064-00-2017 se encuentra con tutela interpuesta. En la Figura 11 se espacializan los proyectos con procesos jurídicos asociados:

Figura 11. Proyectos con procesos jurídicos



Fuente: ANLA, 2021.

Tabla 11. Principales aspectos de los expedientes con procesos judiciales

N°	EXP	DESPACHO O PRODCURADURÍA	FECHA DEL PROCESO	ESTADO DEL PROCESO	CLASE DEL PROCESO	OBSERVACIONES	PROCESO JURIDICO
1.	LAM5423	Tribunal Administrativo del Meta	27/08/2018	Audiencia de alegaciones y Juzgamiento 1ra Instancia	Acción Popular	El proceso se encuentra al despacho para el fallo	Procesos SIN Orden judicial
		Tribunal Administrativo del Meta	25/09/2018	Sentencia 1ra Instancia	Acción Popular	Ninguna	
2.	LAM0227	Tribunal Administrativo del Meta	22/04/2019	Sentencia 1ra Instancia	Acción Popular	Ninguna	Procesos SIN Orden judicial
3.	LAM0579	Fiscal 4 Especializado Medio Ambiente Bogotá D.C.	N/A	Indagación preliminar	Proceso Penal	Se llevo acompañó a la fiscalía en la diligencia de inspección judicial realizada.	Procesos SIN Orden judicial

N°	EXP	DESPACHO O PRODCURADURÍA	FECHA DEL PROCESO	ESTADO DEL PROCESO	CLASE DEL PROCESO	OBSERVACIONES	PROCESO JURIDICO
4.	LAV0087-00-2015	Tribunal Administrativo de Cundinamarca-Sección Primera	11/04/2019	Audiencia de Pruebas 1ra Instancia	Acción Popular	Ninguna	Procesos SIN Orden judicial
5.	LAV0074-00-2015	Tribunal Administrativo de Cundinamarca-Sección Primera	11/02/2019	Apelación Auto	Nulidad y Restablecimiento del Derecho	Ninguna	Procesos SIN Orden judicial
6.	LAV0064-00-2017*	No data	No data	No data	No data	No data	Tutela
	LAV0064-00-2017*	No data	No data	No data	No data	No data	Procesos SIN Orden judicial + Tutela
7.	LAM4409*	No data	No data	No data	No data	No data	Procesos SIN Orden judicial

*Sin información detallada disponible en ÁGIL.

Fuente: ANLA, 2021

5.1.6 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA en el marco del licenciamiento ambiental para el medio socioeconómico

Los criterios técnicos que a continuación se presentan son el resultado del análisis regional realizado para el medio socioeconómico, no obstante, el profesional social de evaluación será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por la Empresa.

Tabla 12. Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA

Situación evidenciada	Requerimiento
Nivel de Sensibilidad Social de acuerdo con lo reportado en el geovisor ÁGIL y Matriz QUEDASI	De acuerdo con el nivel de sensibilidad social alto registrado para los municipios de Castilla la Nueva, Villavicencio, Guayabetal, Acacías y Bogotá se deben considerar los aspectos relacionados (sector y recurso afectado) en las denuncias por presuntas infracciones ambientales respecto a los nuevos procesos de evaluación de POA, con el objetivo de evaluar la pertinencia y alcance de las medidas de manejo del medio socioeconómico, principalmente las relacionadas con el involucramiento con las comunidades locales.
	Fomentar mecanismos de participación comunitaria materializadas a través de la implementación de estrategias de monitoreo participativo de los recursos naturales que presente mayor afectación como los es el recurso hídrico, ya que estas contribuyen en la generación de confianza entre las empresas y la comunidad, la apropiación y el conocimiento territorial, así como la generación de procesos de gobernanza entre las poblaciones localizadas en el área de interés de proyectos de desarrollo.

Situación evidenciada	Requerimiento
Inconformidades y PQRS identificadas en los últimos Conceptos Técnicos de Seguimiento.	Los grupos de seguimiento de proyectos para cada sector deberán tener en cuenta las inconformidades y aspectos de sensibilidad identificados conforme a la información sistematizada de los últimos conceptos técnicos de seguimiento (ver Tabla 4 y Tabla 5), con el objetivo de verificar la atención de las PQRSD y solicitar o reiterar los requerimientos en cuanto a la ejecución de las medidas de manejo pertinentes para cada una.
	En el marco de la participación comunitaria se requiere revisar detalladamente el cumplimiento de las actividades definidas para los programas de información y participación de las comunidades, debido a que diferentes actores estratégicos y autoridades municipales, manifiestan de manera reiterativa el desconocimiento de los alcances técnicos del proyecto, etapa de ejecución en la que se encuentra el POA, sistema de atención de PQRS, entre otros aspectos. De esta manera, se requiere reiterar en el cumplimiento de los procesos de socialización de la información, donde se deberá tener en cuenta la aplicación de mecanismos de participación ciudadana reconocidos en la normatividad vigente, realizar adecuados procesos de convocatoria de los espacios de socialización y participación, definir con claridad la metodología a implementar para el desarrollo de las reuniones y demás aspectos considerador por el equipo de seguimiento para el medio socioeconómico.
Participación en escenarios locales para la construcción de los planes de contingencias.	Para los proyectos de explotación de hidrocarburos se deben reforzar los procesos de socialización de los planes de contingencias con las autoridades locales y comunidades de áreas de influencia, así como participar en los escenarios locales (Alcaldías, bomberos, oficinas de gestión de riesgo) en la construcción de este tipo de herramientas, simulacros y otros tipos de respuesta definidos en el marco de las contingencias.
Nivel de sensibilidad del expediente LAM0227	De acuerdo con el ultimo concepto técnico de seguimiento donde se registran 323 IPQRS, asociadas principalmente a contaminación del recurso hídrico superficial, contingencias, contaminación del suelo y generación de ruido, manifestadas reiterativamente por las comunidades, es necesario profundizar durante las próximas actividades de seguimiento, el alcance que han tenido los conceptos técnicos de seguimiento y los requerimientos establecidos en respuesta a la atención de las IPQRS registradas. Esto con el objetivo de que, los actores estratégicos involucrados puedan obtener una respuesta clara y oportuna y a su vez se fortalezcan los escenarios de relacionamiento territorial, donde se evidencie la disposición permanente al diálogo que tiene la Entidad.
	Respecto a las PQRS interpuestas por la comunidad y demás actores del territorio y considerando que en muchos casos los peticionarios no tenían claridad sobre las fechas de los sucesos, así como con la denominación o nombre correcto del cluster, pozo o actividad del proyecto, por lo que se requiere solicitar al licenciatario que en el establecimiento de la comunicación con el (la) peticionario (a), se aclare fechas y lugar al que se refiere la PQRS, y esta claridad quedé plasmada en los soportes de la atención a la PQRS.

Fuente. ANLA, 2021

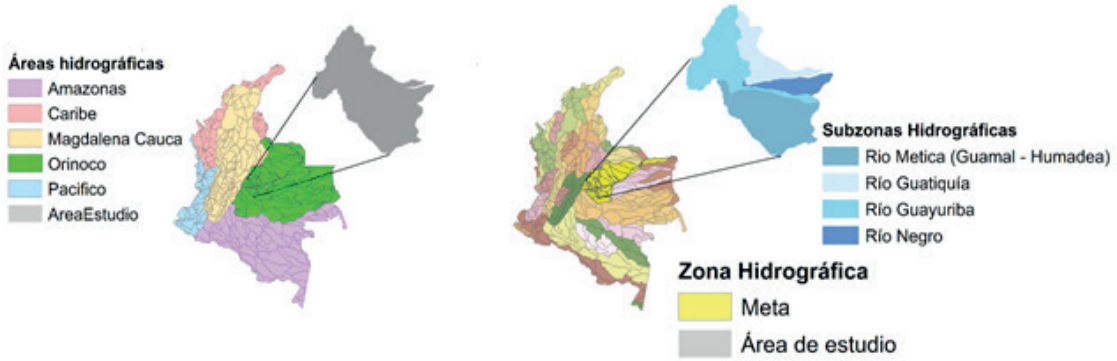
5.2 MEDIO ABIÓTICO

5.2.1 COMPONENTE HÍDRICO SUPERFICIAL

5.2.1.1 Subzonas hidrográficas (SZH) del área de estudio

El área de estudio hace parte del Área Hidrográfica: Orinoco, Zona Hidrográfica: Meta (Figura 12), la cual está conformada a su vez, por cuatro Subzonas Hidrográficas: Rio Metica (Guamal - Humadea) (3501), Río Guatiquía (3503), Río Guayuriba (3502) y río Negro (3510).

Figura 12. Zonificación de unidades hidrográficas

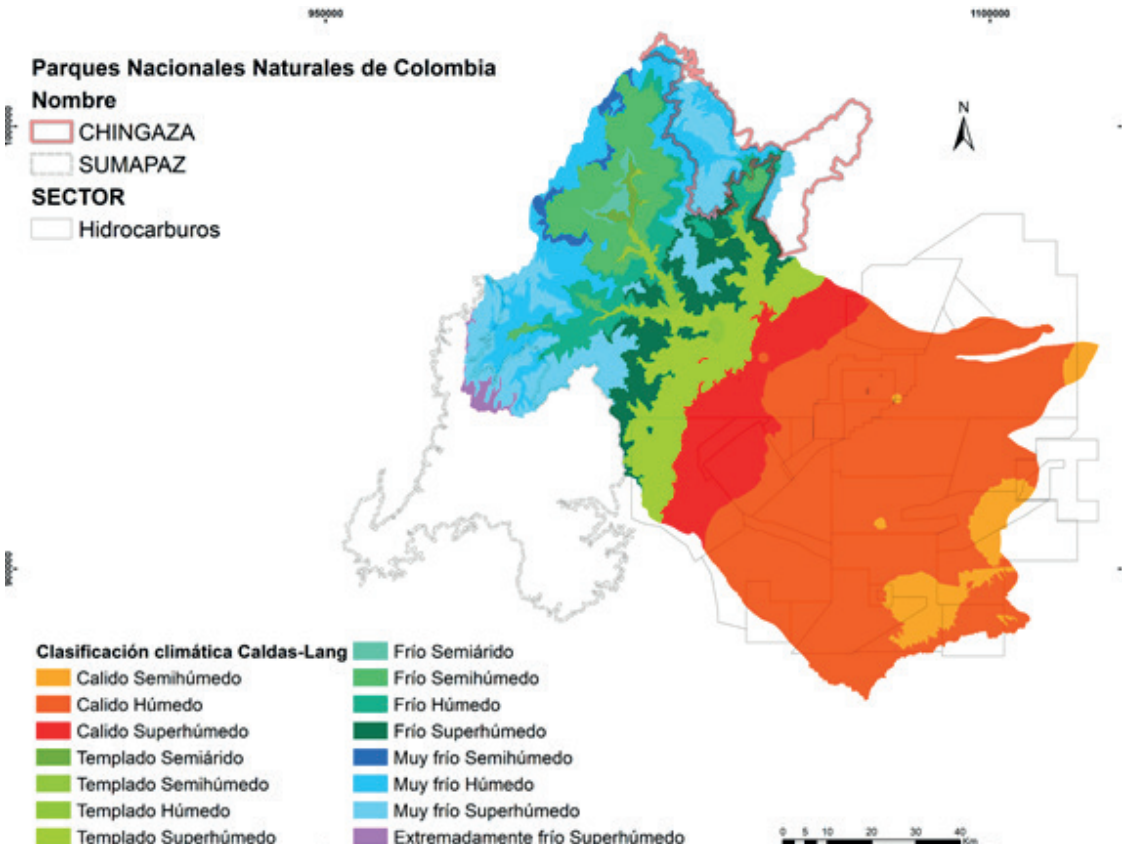


Fuente: ANLA, 2021 adaptado del IDEAM (2013)

5.2.1.2 Características climáticas

Según el Atlas Climatológico de Colombia (IDEAM, 2017a), el área de estudio tiene climas que van desde cálido semihúmedo (26-28 °C) en la cuenca baja de la SZH del río Negro (3510) a extremadamente frío superhúmedo (<8 °C) en la unidad hidrográfica del río Los Medios en la cuenca del río Guayuriba y en el parque nacional natural Sumapaz. El 43% del área total presenta clima cálido húmedo (rango de temperatura entre 23 y 26 °C), clima en el cual se encuentran distribuidos aproximadamente el 98% de los proyectos del sector de hidrocarburos (Figura 13).

Figura 13. Clasificación climática de Caldas-Lang

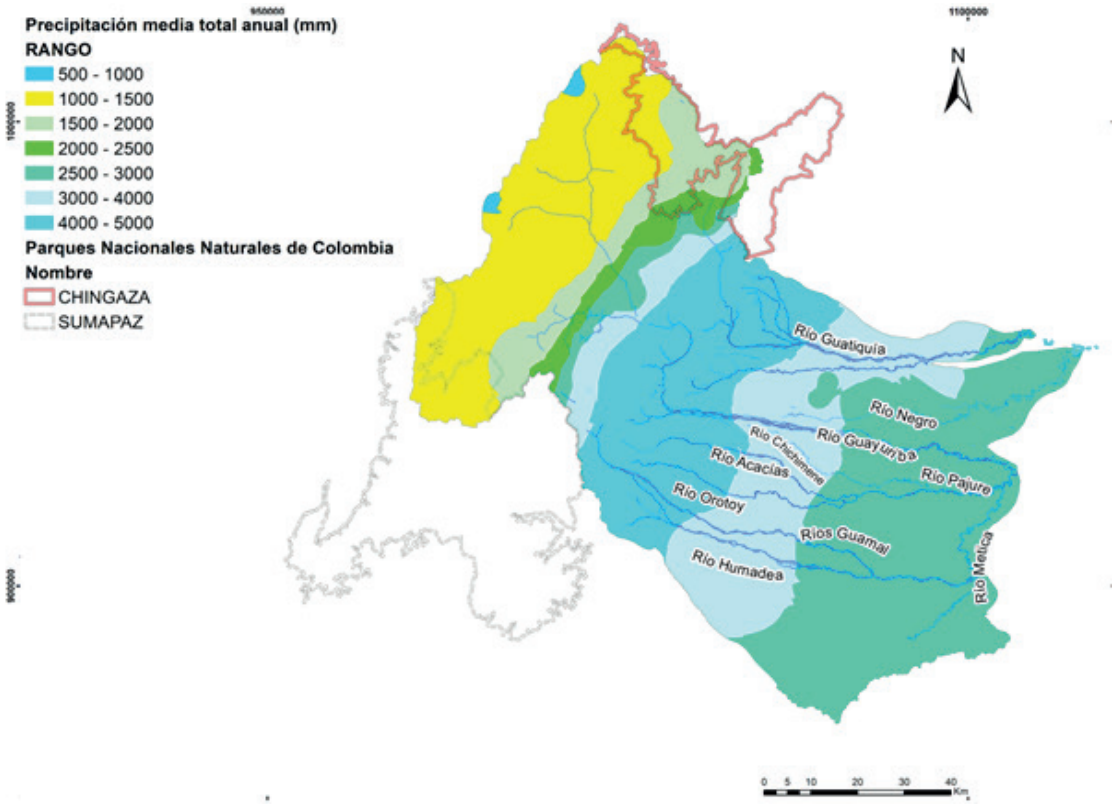


Fuente: ANLA, 2021 adaptado del IDEAM (2014)

De acuerdo con el POMCA del río Guayuriba (CORPOGUAVIO et al., 2019), en las estaciones de la parte media-baja de la cuenca (piedemonte), el régimen de precipitaciones es marcadamente unimodal, con el máximo de precipitación a mitad de año (mayores acumulados en mayo, junio y julio), y con el mínimo de precipitación a principios de año (menores acumulados en diciembre, enero y febrero). En la parte alta de la cuenca, el régimen de precipitaciones es cuasi-unimodal, sin embargo, se insinúa bimodalidad, con un leve aumento de la precipitación en los meses de octubre y noviembre.

La variación espacial de la precipitación en la cuenca del río Guayuriba posee un patrón muy definido, las menores acumulaciones de lluvia se presentan en la parte alta, tanto hacia Parque Natural Nacional - PNN del páramo de Sumapaz como hacia el PNN Chingaza (Figura 14); un máximo de precipitaciones en el piedemonte, con acumulados anuales de hasta 5000 mm/año; y en la parte más baja de la cuenca, cerca de la desembocadura, valores de precipitación de hasta 3000 mm/año.

Figura 14. Precipitación media total anual (mm)



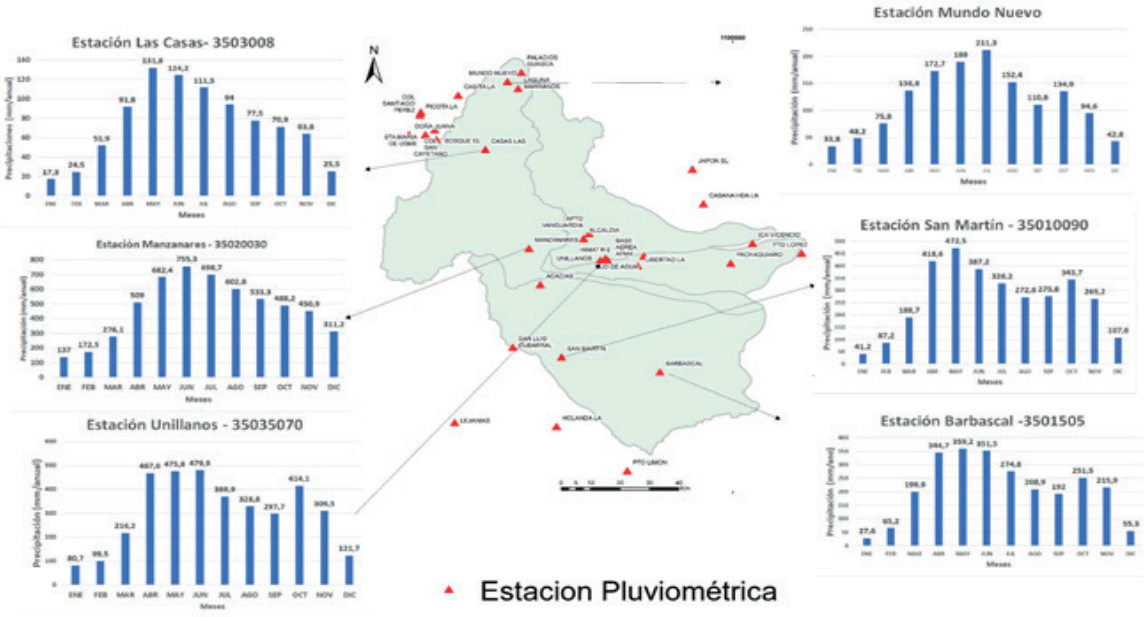
Fuente: ANLA, 2021 adaptado del IDEAM (2014)

Con respecto a la cuenca del río Guatiquía, la variación espacial de la precipitación presenta menores acumulaciones de lluvia en el rango de 1000-1500 mm/anual en la parte alta en el páramo de Chingaza (Figura 14); un máximo de precipitaciones en el piedemonte, con acumulados anuales de hasta 5000 mm/año; y en la parte más baja de la cuenca hacia su desembocadura en el río Meta, valores de precipitación de hasta 3000 mm/año. Según CORMACARENA (2010) la precipitación media total anual del Guatiquía oscila entre 925,7 mm/año en la estación Choachí localizada en las vecindades de la cuenca alta a una elevación de 3.195 msnm en cercanías al PNN Chingaza, sector que surte de agua a Bogotá y varios municipios de la Sabana; y 8004,4 mm/año en la estación Buenavista localizada en el sector centro oriental de la cuenca, con un valor medio a nivel regional de 2899,9 mm/año. A nivel mensual el valor mínimo de precipitación total es de 17,1 mm/mes durante el mes de enero en la estación Choachí y un máximo de 1204,6 mm/mes durante el mes de mayo en la estación Buenavista, la precipitación media total mensual es de 241,7 mm/mes (CORMACARENA, 2010).

De acuerdo con Varón & Vargas (2019) en el río Guayuriba, en la estación Unillanos (código 35035070) (Figura 15), se aprecia una zona con régimen de lluvias bimodal, con un primer periodo de lluvias en los meses de abril, mayo y junio, y un segundo ciclo de lluvias que presenta un pico en el mes de octubre. Las lluvias críticas están asociadas con la primera temporada y aportan cerca de 1.500 mm para los tres meses, que coinciden con las épocas en que se presentan procesos de inundación, particularmente, hacia mayo. La temporada seca comprende los meses de diciembre a febrero, con menos de 200 mm en total.

Según el documento técnico de reglamentación del río Guamal (CORMACARENA, 2014), la cuenca del río Guamal se caracteriza por presentar una distribución de la precipitación a lo largo del año de tipo monomodal, tal como se presenta en la estación Manzanares (Figura 15). En la cuenca el período húmedo se presenta entre los meses de abril y noviembre, siendo mayo el más húmedo, con un valor cercano a los 400 mm, y un período de estiaje que se extiende de diciembre a marzo, siendo enero el mes más seco con un registro de 23 mm. La variación espacial de la precipitación en la cuenca presenta menores acumulaciones de lluvia en el rango de 2500-300 mm/anual en la parte baja de la cuenca y un máximo de precipitaciones en el piedemonte, con acumulados anuales de hasta 5000 mm/año.

Figura 15. Estaciones hidroclimatológicas en el área de estudio



Fuente: ANLA 2021 adaptado del CORMACARENA, 2021

Por otra parte, la cuenca del río Negro presenta un régimen de precipitaciones de tipo monomodal, el cual se caracteriza por una pronunciada estacionalidad, con una temporada seca muy marcada, de diciembre a marzo, máximas lluvias a mitad de año y reducción continua de lluvias hasta el fin de año. La variación espacial de la precipitación en la cuenca presenta menores acumulaciones de lluvia en el rango de 2500-300 mm/anual en la cuenca baja y un máximo de precipitaciones en el piedemonte, con acumulados anuales de hasta 5000 mm/año.

5.2.1.3 Hidrología

Río Guatiquía. Este río tiene su origen en la laguna de Chingaza a una altura de 3650 msnm, confluye al río Metica. Sus afluentes principales son las quebradas Honda, Cajonera, Guájaro, Blanca y los ríos Santa Bárbara, La Playa y Chuza. Es de resaltar que en la cuenca del río Guatiquía se localiza el Sistema Chingaza, y particularmente el embalse de Chuza, que suministra alrededor del 70% del agua que se consume en Bogotá.

Con base en el POMCA del río Guatiquía (2010), en la cuenca los caudales medios mensuales más secos se encuentran en el periodo comprendido entre diciembre y marzo. Los caudales mínimos mensuales multianuales oscilan entre 0.031 m^3/s (estación Palmarito – código: 3503711, ubicada en la cuenca baja) y 13,24 m^3/s en la estación Puente Abadía (Código: 3503710) localizada en la cuenca media, es decir, hay zonas de la cuenca en las cuales durante el período de estiaje los caudales presentan valores muy bajos que impiden su aprovechamiento. Varón & Vargas (2019) indican que los caudales reportados por la estación Puente Abadía tienen el mismo comportamiento bimodal de la precipitación de la estación Unillanos (código 35035070), con los mayores caudales para los meses de abril a junio; el segundo pico de caudales corresponde a septiembre-octubre, aunque los caudales son sensiblemente menores con respecto a la primera época de lluvias. Estos caudales responden no solo a la precipitación local, sino también a todas las precipitaciones y escorrentía provenientes de las partes altas de la cuenca, situación por la cual, los caudales de los meses de diciembre a febrero (los de menor precipitación local), presentan unos volúmenes importantes para una época seca (Varón & Vargas, 2019).

Río Guayuriba. El río Guayuriba surge de la unión de los ríos Blanco y Negro; en la SZH se presenta un régimen de caudales bimodal y unimodal (CORPOGUAVIO et al., 2019); en la parte alta de la cuenca, en los afluentes del río Negro, se manifiesta una tendencia al régimen bimodal muy marcada en las condiciones húmedas y un tanto menos en las condiciones medias; mientras que en la parte media de la cuenca, el río Negro, que drena la zona oriental de la cuenca, conserva cierta bimodalidad en los caudales para condición húmeda, aunque en condiciones medias se presenta una tendencia al régimen unimodal; en cuanto al río Blanco (occidente de la cuenca), el régimen de caudales para todas las condiciones es unimodal (CORPOGUAVIO et al., 2019).

En términos generales, se presentan los mayores caudales en los meses de mayo, junio y julio, tanto en condiciones medias como en condiciones secas. En la Unidades Hidrográficas Nivel 1 (UHN1) río Guayuriba y directos (350201), distribuida entre los municipios de Villavicencio, Acacías y San Carlos de Guaroa, cuyo caudal comprende la totalidad de la escorrentía de la cuenca en estudio, la oferta hídrica para el mes de junio en condiciones medias es de 273,5 m^3/s y de 132,48 m^3/s para condiciones secas, significando una reducción del orden del 52% respecto a la media del mismo mes. Los meses de enero, febrero y marzo son los que presentan una menor oferta hídrica, tanto en las condiciones medias como en las condiciones secas; la oferta hídrica para el mes de enero es de 35,12 m^3/s en condiciones medias y de 13,15 m^3/s en condiciones secas, representando una reducción del orden del 63% respecto a la media del mes (CORPOGUAVIO et al., 2019). Para mayor profundidad en el tema remitirse al POMCA del río Guayuriba disponible en la página Web de las corporaciones Ambientales Competentes en el área de jurisdicción del Reporte.

Rio Metica (Guamal - Humadea). El río Guamal (SZH río Metica) es el principal tributario del río Metica, el cual nace de la confluencia entre el caño Camoa y el río Guamal.

El río Guamal nace en el páramo de Peña Lisa (Sumapaz) en el municipio de Acacías y transcurre encañonado hasta su salida al llano, donde adquiere un régimen trenzado, típico de los ríos de pie de monte, lo que permite la formación de múltiples brazos, entre ellos el brazo Camelias, un transvase natural que transporta aproximadamente el 35% del caudal medio desde río Guamal hacia el Humadea (CORMACARENA, 2014). Su principal afluente directo de más importancia es el Humadea, el cual nace en las estribaciones orientales del Sumapaz, tomando una dirección oeste – este, donde se reúne con el río Guamal, formando el límite entre los municipios de Castilla la Nueva, San Carlos de Guaroa y San Martín (CORMACARENA, 2014).

El río Guamal presenta una época de lluvias de mayor frecuencia, duración e intensidad en la mitad del año prolongándose hasta noviembre. Los caudales más altos se presentan entre mayo y julio, con valores de 305, 382 y 324 m^3/s respectivamente; presenta una época marcada por las escasas lluvias entre diciembre y marzo (CORMACARENA, 2015).

En la SZH del río Metica también se encuentra el río Acacías y Pajure, según el POMCA del río Acacías-Pajure (CORMACARENA, 2012) la cuenca de estos ríos se encuentra distribuidas entre los municipios de Acacias, Guamal, Castilla la Nueva, y San Carlos de Guaroa. En estas cuencas únicamente existe una estación limnimétrica correspondiente a la estación Orotoy, aproximadamente sobre la cuenca media del río Acacias-Pajure, en la cual se reporta un caudal medio de 8,36 m^3/s, mínimo de 0,100 m^3/s y máximo de 103,10 m^3/s.

5.2.1.4 Morfometría

A través de la utilización de once (11) imágenes ALOS PALSAR de diciembre 2010 y septiembre del 2011 (de uso libre de la NASA: https://search.asf.alaska.edu/#/) corregidas de 12,5 m de píxel, se realizó un procesamiento para establecer parámetros morfométricos de la SZH de los ríos Metica, Guatiquía y río Negro (Tabla 13). Es de resaltar que para los parámetros morfométricos de la SZH del río Guayuriba se utilizó la información del POMCA adoptado en el 2019 (CORPOGUAVIO et al., 2019).

Tabla 13. Parámetros morfométricos SZH área de estudio

Sub Zona Hidrográfica	Área (Km²)	Pendiente media Cuenca (%)		Índice Compacidad	Longitud de la Cuenca (Km)	Factor de Forma	Tiempo de concentración promedio de método de Giandotti, Témez y Passini (horas)
Río Guatiquía	1780,7	28,0	Fuertemente accidentado	2,1	110,4	0,15	10,1
Río Guayuriba	3207,5	36,6	Muy fuertemente accidentado	2,47	132,4	0,18	13,2
Rio Metica (Guamal - Humadea)	3844,6	7,7	Medianamente accidentado	1,5	112,5	0,30	13,1
Río Negro	927,4	3,5	Suave	1,9	89,7	0,12	12,8

Fuente: ANLA, 2021

SZH río Guatiquía. La cuenca del río Guatiquía presenta una forma alargada (factor forma: 0,15) con baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales y un índice de compacidad propio de cuencas con forma oval-oblonga a rectangular -oblonga. No obstante, en la cuenca la precipitación total diaria presenta valores altos, especialmente hacia el sector centro - oriental con valores que superan los 150 mm/día, generando la ocurrencia periódica de inundaciones en los sectores ribereños, en los que se ubican asentamientos humanos (CORMACARENA, 2010).

La cuenca presenta amenaza alta a media por fenómenos de remoción en masa y procesos erosivos, los municipios más afectados son Restrepo, Villavicencio, El Calvario y San Juanito (CORMACARENA, 2010). La zona de mayor estabilidad corresponde a la cuenca alta, donde existe presencia de vegetación nativa y baja intervención humana, en esta parte de la cuenca se encuentra el parque Natural Chingaza. Para mayor profundidad en el tema se recomienda consultar el POMCA del río Guatiquía, disponible en la página web de la Corporación.

SZH río Guayuriba. La cuenca del río Guayuriba tiende a ser alargada, con baja susceptibilidad a las avenidas torrenciales. Según el POMCA del río Guayuriba (CORPOGUAVIO et al, 2019), cerca del 50% del área de la cuenca del río Guayuriba presenta amenaza por movimientos en masa, concentrándose en la parte media de la cuenca en los municipios de Gutiérrez, Guayabetal y Acacías. Varias zonas de amenaza coinciden con todos los puntos de inestabilidad de la doble calzada Bogotá-Villavicencio que han provocado cierres temporales y con el gran flujo del "Tunque" que alcanza una longitud aproximadamente de 6 km (Figura 16).

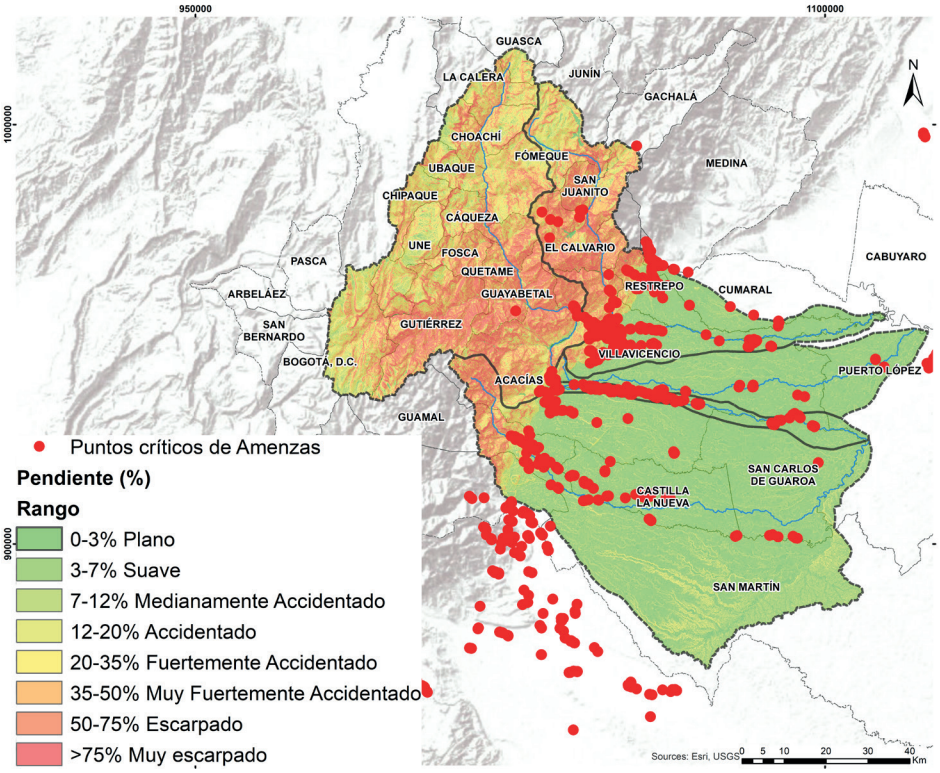
Figura 16. Movimientos en masa con superficie de falla en el "Tunque"

Fuente: POMCA Guayuriba, 2019.

La cuenca se caracteriza por presentar una región estrecha hacia la parte de los llanos y una zona de altas pendientes en la parte alta de la cuenca (Figura 17), siendo la cuenca baja susceptible a inundaciones en las temporadas de altas precipitaciones. La cuenca también es afectada por deslizamientos, flujos y avenidas torrenciales y se han presentado movimientos en masa de dimensiones comparables con las más grandes de América Latina (CORPOGUAVIO et al., 2019).

Las amenazas bajas por movimientos en masa se concentran en la parte baja del municipio de Acacías, Villavicencio, San Carlos de Guaroa y Puerto López. Por su parte, la amenaza por avenidas torrenciales se presenta en menos del 5% del área total, y se concentra en la mayoría de los ríos y quebradas y contiene algunas zonas de desplaye extenso en áreas fronterizas de Acacías y Villavicencio (CORPOGUAVIO et al., 2019). En la parte media y baja existe amenaza por inundaciones alcanzando cerca del 10% del área total de la cuenca, relevante en los municipios de Acacías, Villavicencio, San Carlos de Guaroa y Puerto López, ya que corresponden con las planicies de inundación y divagación histórica del río (CORPOGUAVIO et al., 2019).

Figura 17. Pendiente media de la cuenca y puntos críticos de amenazas hidrometeorológicas



Fuente: ANLA, 2021, información de puntos críticos de CORMACARENA del período 2012-2018

SZH río Metica (Guamal-Humadea). La cuenca del río Metica presenta una forma alargada con baja susceptibilidad a las avenidas; la pendiente media de la cuenca es del 7,7%, es decir, presenta un terreno medianamente accidentado. La zona media de la cuenca del río Guamal es altamente susceptible a las avenidas torrenciales y a procesos de inundación; la cuenca baja está ubicada en su mayoría en una zona de Amenaza alta, por cuanto las inundaciones se presentan en promedio una vez cada dos (2) años o una vez cada diez (10) años (CORMACARENA, 2014). Para mayor profundidad en el tema se recomienda consultar el POMCA del río Guamal, disponible en la página web de la Corporación.

SZH río Negro. La cuenca hidrográfica del río Negro presenta una pendiente media suave (3,5 %) y un factor forma indicativo de baja susceptibilidad a ocurrencia de avenidas torrenciales; el índice de compacidad permite determinar que su forma es oval – oblonga a rectangular – oblonga. En la cuenca en el período 2012 al 2018 se han presentado inundaciones en el municipio de Villavicencio y Puerto López.

5.2.1.5 Indicadores hídricos

Según el IDEAM (2019) la SZH del río Guatiquía presenta una categoría alta para el índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH) para condiciones hidrológicas promedio y extrema de año seco, es decir, con altas presiones por uso con respecto a la oferta disponible y una capacidad de regulación y

retención hídrica baja. Además, esta SZH presenta un índice IACAL[1] muy alto para año seco y muy alta erosión hídrica potencial en sus laderas; situación que incrementa la vulnerabilidad del cuerpo hídrico (Tabla 14).

Por otro lado, de acuerdo con el POMCA del río Guayuriba (2019), en términos generales el índice IVH es bajo para la SZH del río Guayuriba, tanto en época normal como seca. No obstante, para condiciones secas el 56% de las subcuencas presentan vulnerabilidad al desabastecimiento en categoría media, ya que no cuentan con buena regulación y presentan un uso medio del agua. Mientras que el 15% de las subcuencas presenta un IVH alta debido a una mayor demanda del recurso. En esta categoría se encuentran las siguientes subcuencas: Quebrada Blanca, Quebrada Blanca, Quebrada Potrero Grande, Río Palmar, Quebrada Pericos, Quebrada El Raizal y Quebrada Guaza (CORPOGUAVIO et al., 2019).

Tabla 14. Indicadores hídricos por subzona hidrográfica

Zonificación Hidrográfica		Presión por contaminación (IACAL año seco)	Erosión hídrica potencial en ladera	Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH)	
Código	SZH	Categoría	Categoría	Año medio	Año seco
				Categoría	Categoría
3501	Río Metica (Guamal - Humadea)	Media Alta	Media	Baja	Alta
3502	Río Guayuriba	Moderada	Muy Alta	Baja	Baja
3503	Río Guatiquía	Muy Alta	Muy Alta	Alta	Alta
3510	Río Negro	Baja	Baja	Media	Media

Fuente: Estudio Nacional del Agua - IDEAM (2019)

Según el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2019), la subzona hidrográfica del río Metica (Guamal-Humadea) para condiciones hidrológicas de año seco presenta alta fragilidad el sistema hídrico para mantener una oferta que permita el abastecimiento de agua de sectores usuarios del recurso (Tabla 14). De acuerdo con el POMCA del río Guamal, la cuenca presenta un IVH medio para condición hidrológica de año medio y seco; sin embargo, cinco de sus subcuencas presentan un IVH muy alto para las dos condiciones: Caño Araracuara, Caño Yopo, Caño Albania, Caño los Pérez y Caño La Sal, estos dos últimos son afluentes del río Humadea. Por lo tanto, la cuenca media y baja del río Guamal presenta una alta fragilidad para mantener su oferta hídrica, la cual se incrementa durante los meses de estiaje.

5.2.1.6 Instrumentos de planeación regional del recurso hídrico superficial

Las corporaciones ambientales competentes han desarrollado en su jurisdicción, una serie de herramientas para la planificación, administración y gobernanza del agua, con el fin de promover una gestión integral del recurso hídrico superficial continental (tabla 15).

1 Este índice permite establecer la vulnerabilidad potencial de un cuerpo de agua, un sistema hídrico o una subzona hidrográfica determinada en relación con los contaminantes vertidos por actividades circundantes y refleja la capacidad de recuperación de un cuerpo hídrico debido a su capacidad de dilución. Por lo tanto, mayores volúmenes de vertimiento significan el aumento de la vulnerabilidad del cuerpo hídrico a analizar (MADS, 2020).

Tabla 15. Instrumentos de Planificación, administración y gobernanza del Recurso Hídrico superficial

Instrumento		Acto administrativo	Aspectos claves para evaluación o seguimiento ambiental de POA
POMCA	Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guayuriba	Resolución No. 3415 de 2019, por la cual se aprueba y adopta el POMCA río Guayuriba.	Aspectos claves para el licenciamiento: Zonificación ambiental, componente programático y el componente de gestión del riesgo del POMCA.
	Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía	Resolución No. 003 del 2010, por la cual se aprueba y adopta el POMCA del río Guatiquía.	
	Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guamal.	Resolución No. 1030 del 2014 "Por la cual se adopta el POMCA del río Guamal"	
PORH	Plan de Ordenamiento (PORH) ríos Guamal, Humadea, Caño Turuy y Caño Palomarcado.	Resolución 1070 del 2014, por medio de la cual se adopta el PORH del río Guamal, río Humadea, caño Turuy y caño Palomarcado	Se determina la destinación que, para los diferentes usos, como el agrícola, recreativo, pecuario, industrial y el consumo humano entre otros, es apta dichas fuentes hídricas. De esta forma se contribuye a que las fuentes mantengan al máximo sus condiciones de calidad, cantidad y también condiciones para la preservación de la vida acuática.
	PORH Chichimene	Resolución No. 14-1000 por medio de la cual se adopta el plan de ordenamiento de la fuente hidrica denominada rio Chichimene.	
	PORH de las fuentes hídricas superficiales río Orotoy, río Acacías, río Acaciitas, Caño Sibao, Caño Irique, Caño Cural, Caño Curalito, Caño Camoa, río Ocoa, Caño Maizaro, Caño Buque, Caño Seco, río Upín, Caño Caraño, y río Caney.	Resolución No. 0866 del 05 de julio de 2012, por medio del cual se adopta el PORH del río Orotoy, río Acacías, río Acaciitas, Caño Sibao, Caño Irique, Caño Cural, Caño Curalito, Caño Camoa, río Ocoa, Caño Maizaro, Caño Buque, Caño Seco, río Upín, Caño Caraño, y río Caney.	
Reglamentación de uso y aprovechamiento del recurso hídrico Resolución No. 0085 del 2016 "Por la cual se reglamenta en forma general el uso de las aguas del río Humadea"		Resolución No. 0085 del 2016 "Por la cual se reglamenta en forma general el uso de las aguas Caño Maizaro"	Se reglamenta el uso y aprovechamiento de las aguas de la corriente denominada río Caño Maizaro de la cuenca del río Guatiquía, en jurisdicción del municipio de Villavicencio, de acuerdo con el caudal disponible, el uso del suelo.
		Resolución No. 0085 del 2016 "Por la cual se reglamenta en forma general el uso de las aguas del río Humadea"	Se reglamenta el uso y aprovechamiento de las aguas del río Humadea, la cual hace parte del río Guamal, que discurre por los municipios de Guamal, San Martín, Castilla La Nueva y San Luis de Cubarral del departamento del Meta, de acuerdo con el caudal disponible, el uso del suelo.

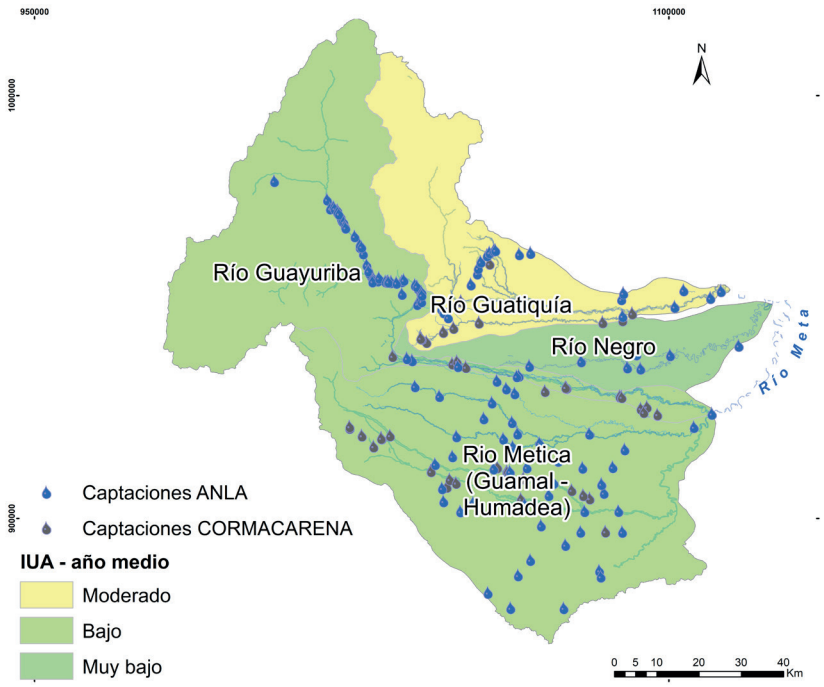
Instrumento	Acto administrativo	Aspectos claves para evaluación o seguimiento ambiental de POA
Determinantes ambientales	Resolución No. 2053 de 2018 "Por medio de la cual se identifican y compilan las determinantes ambientales para el ordenamiento territorial".	Se definen todas aquellas regulaciones establecidas por las entidades que conforman el SINA, en relación con el ordenamiento espacial del territorio, la declaratoria de áreas protegidas, el manejo de cuencas hidrográficas – Parques Nacionales, las cuales de acuerdo con lo establecido en el numeral 1, literales a, b, y c del Artículo 10 de la Ley 388, son Determinantes Ambientales para los POT, los cuales se constituyen en normas de superior jerarquía de obligatorio cumplimiento. De igual manera deben ser tenidos en cuenta en el proceso de licenciamiento ambiental.
Objetivos de calidad	Resolución No. 2053 de 2018 "Por medio de la cual se identifican y compilan las determinantes ambientales". Las determinantes ambientales que trata el Artículo 30. OBJETIVOS DE CALIDAD, se describen y localizan en el anexo 14, ficha técnica N° 6 "OBJETIVOS DE CALIDAD", la cual, se adopta como anexo y forma parte integral de la presente Resolución. https://www.cormacarena.gov.co/gestion-de-planificacion/ordenamiento-ambiental-terriotorial/ Resolución No. 2682 de 2019 "Por medio de la cual se establecen los objetivos de calidad del tramo 1 del río Guayuriba para el año 2019-2028". Resolución 3015 del 2019 "Por medio de la cual se definen los objetivos de calidad para los cuerpos de agua receptores de vertimientos de aguas residuales de las áreas urbanas de los municipios de Puerto López y Restrepo"	Se define el conjunto de parámetros que se utilizan para definir la idoneidad del recurso hídrico para un determinado uso. Estos objetivos de calidad condicionan la definición del modelo de ocupación del territorio, teniendo en cuenta que se debe articular los usos potenciales de estas corrientes superficiales con las actividades que se pretenden desarrollar en el territorio, toda vez que se debe garantizar las condiciones de calidad y cantidad requeridas para el sostenimiento de los ecosistemas acuáticos y los usos actuales y potenciales de los cuerpos de agua. Por lo tanto, deben ser tenidos en cuenta en la evaluación de solicitudes de permisos de vertimientos.

Fuente: ANLA, 2021

5.2.1.7 Demanda, uso y aprovechamiento del recurso hídrico superficial

Con base en la revisión de los 48 proyectos de competencia de la ANLA en la zona de estudio se identificó que 22 cuentan con concesión de agua superficial otorgada por la ANLA. En la Figura 18 se observa la distribución espacial de los puntos de captaciones autorizados respecto al índice de Uso del Agua (IUA[2]) en año medio del Estudio Nacional del Agua del 2018, identificándose que el 44% de las concesiones otorgadas por la ANLA están localizadas en la SZH de río Guayuriba, la cual presenta un IUA bajo para año medio, es decir, la presión es baja con respecto a la oferta hídrica superficial disponible. Por otro lado, la SZH del río Metica concentra el 38% de las concesiones totales, el cual presenta un IUA bajo para condiciones de año medio, pero alto para año seco. En relación, a las concesiones otorgadas por CORMACARENA (2021) se encontró que la Corporación ha otorgado en total 90 concesiones, las cuales están concentradas en la cuenca del río Humadea (concesión con caudal parcial: 12320,20 l/s) y Guayuriba (3483,58 l/s), principalmente para uso en actividades agroindustriales y para el abastecimiento de acueductos.

Figura 18. Concesiones de agua otorgadas por la ANLA y CORMACARENA



Fuente: ANLA 2021 y CORMACARENA, 2021

En la Tabla 16 se presenta el listado de los proyectos licenciados que cuentan con concesión de agua superficial otorgada por la ANLA, donde se observa que el proyecto que tiene la mayor cantidad de autorizaciones es el LAM5790 - Área de Perforación Exploratoria Llanos 59, pero el proyecto con el mayor caudal autorizado (117,4 L/s) es el LAM2947 - Oleoducto Castilla-Apiay captación otorgada en los ríos Orotoy (5,2 l/s), Negro (24,6 l/s), Guayuriba (58,7 l/s) y Acacias (28,9 l/s).

2 El Índice de Uso del Agua (IUA) permite relacionar la oferta hídrica de una subzona hidrográfica con la demanda de los diferentes actores que hacen uso de las fuentes hídricas en un territorio.

Tabla 16. Permiso de concesión de agua superficial otorgado por la ANLA

Expediente ANLA	Nombre del proyecto	No. Captaciones	Tipo de Captación	Caudal concedido (l/s)
LAM3723	Campo Camoa	2	Puntual	1,2
LAM2947	Oleoducto Castilla-Apiay	8	Puntual	117,4
LAV0064-00-2017	Construcción y Operación de la Línea de Transmisión a 230 kV La Reforma – San Fernando	3	Puntual	8,12
LAV0042-00-2016	Proyecto Villavicencio – Cumaral Unidad Funcional 1 del Corredor Villavicencio - Yopal	11	Puntual	8,1
LAM0626	Cantera El pedregal	1	Puntual	50
LAM4012	Bloque de Perforación Exploratoria Jacaranda	2	Puntual	0
LAM4409	Construcción de la Segunda Calzada Tramo El Tablón (PR34) – Chirajara (PR63) de la Carretera Bogotá – Villavicencio.	29	Puntual	57,34
LAM4829	Bloque Exploratorio CPO4	13	Puntual	39
LAV0003-13	Área de Perforación Exploratoria Ávila	11	Puntual	29
LAV0074-00-2015	Construcción nueva calzada de la carretera Bogotá –Villavicencio, Tramo Vial Bijagual (PR 76.8) – Fundadores (PR85.6)	6	Lineal	15,5
LAV0004-13	Área de Perforación Exploratoria Chenchena	9	Puntual	38,97
LAV0053-14	Área de Perforación Exploratoria Llanos 65	1	Puntual	3,3
LAM2944	Área de perforación exploratoria Pachaquiaro	2	Puntual	5,4
LAM 5599	Área de Perforación Exploratoria CSO	7	Puntual	21
LAM5790	Área de Perforación Exploratoria Llanos 59	30	Puntual	105
LAV0004-00-2015	Área de Desarrollo LLA-66	2	Puntual	8
LAV0039-13	Área de Perforación Exploratoria – APE CPO-10 Sur	11	Puntual	41,69
LAV0073-00-2015	Construcción nueva calzada de la carretera Bogotá - Villavicencio, tramo Chirajara - Bijagual	26	Puntual	82,781

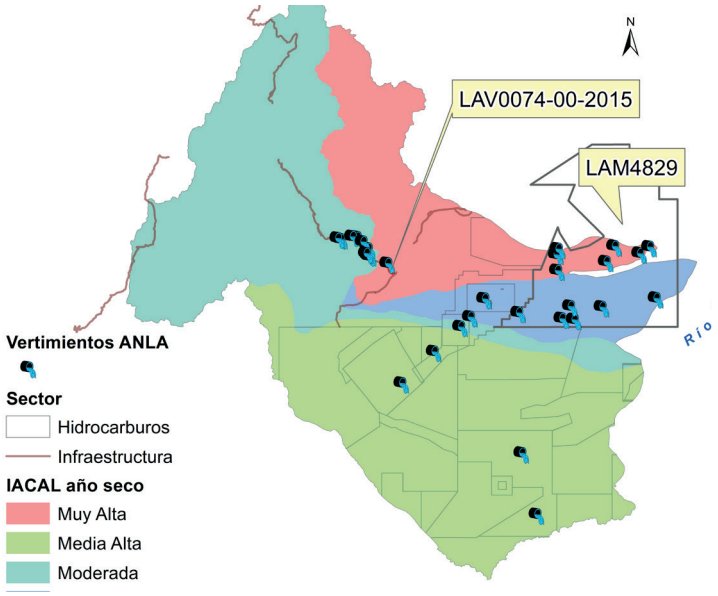
Expediente ANLA	Nombre del proyecto	No. Captaciones	Tipo de Captación	Caudal concedido (l/s)
LAV0070-13	Área de perforación exploratoria Taray perteneciente al bloque Cpo 09 llanos orientales	5	Lineal	15
LAV0081-13	Área de Perforación Exploratoria ZOCAY Bloque CPO 9	11	Puntual	58,3
LAV0089-13	Campo de producción 50k perteneciente al bloque Cpo 09 llanos orientales	2	Puntual	20,6
LAV0058-14	Área de Perforación Exploratoria LLA33	1	Puntual	4

Fuente: ANLA, 2021

Vertimientos a cuerpo de agua

De la revisión de los 48 expedientes presentes en el área de estudio, únicamente 6 cuentan con autorización por parte de la ANLA para disposición en fuentes superficiales, identificándose que estos se encuentran distribuidos en la zona sur del área de estudio (Figura 19). A partir de la Tabla 17 se destaca que, el expediente con mayor caudal de vertimiento otorgado corresponde al LAV0074-00-2015 - Construcción nueva calzada de la carretera Bogotá –Villavicencio con 122 L/s, le sigue el LAM4829 - Bloque Exploratorio CPO4 con 35,1 L/s.

Figura 19. Localización de los permisos de vertimientos autorizados en el área de estudio



Fuente: ANLA 2021

Tabla 17. Proyectos que cuentan con permiso de vertimientos autorizados por la ANLA

Expediente ANLA	Nombre del expediente	Caudal autorizado (l/s)	Fuente receptora
LAM4829	Bloque Exploratorio CPO4	35,1	Río Negro y Guatiquía
LAM2947	Oleoducto Castilla-Apiay	31,25	Río Negro, Acacías y Río Orotoy
LAM5599	Área de Perforación Exploratoria CSO	5,4	Río Guamal
LAV0074-00-2015	Construcción nueva calzada de la carretera Bogotá –Villavicencio, Tramo Vial Bijagual (PR 76.8) – Fundadores (PR85.6)	122	Río Guayuriba y Guatiquía
LAV0071-00-2017	Subestación Suria 230 kV y Línea de Transmisión Asociada	0,012	Río Negro
LAV0073-00-2015	Construcción nueva calzada de la carretera Bogotá – Villavicencio, tramo Chirajara – Bijagual.	33,37	Río Guayuriba

Fuente: ANLA, 2021

Dos (2) de los permisos de vertimientos se concentran en el río Guayuriba, el cual para año seco presenta un índice de alteración potencial de calidad de agua (IACAL[3]) con moderada potencialidad de contaminación por cargas asociadas con vertimientos puntales de sectores usuarios del recurso hídrico. El río Negro tiene tres (3) permisos de vertimientos otorgados y, presenta baja presión asociada a vertimientos (IDEAM, 2019b).

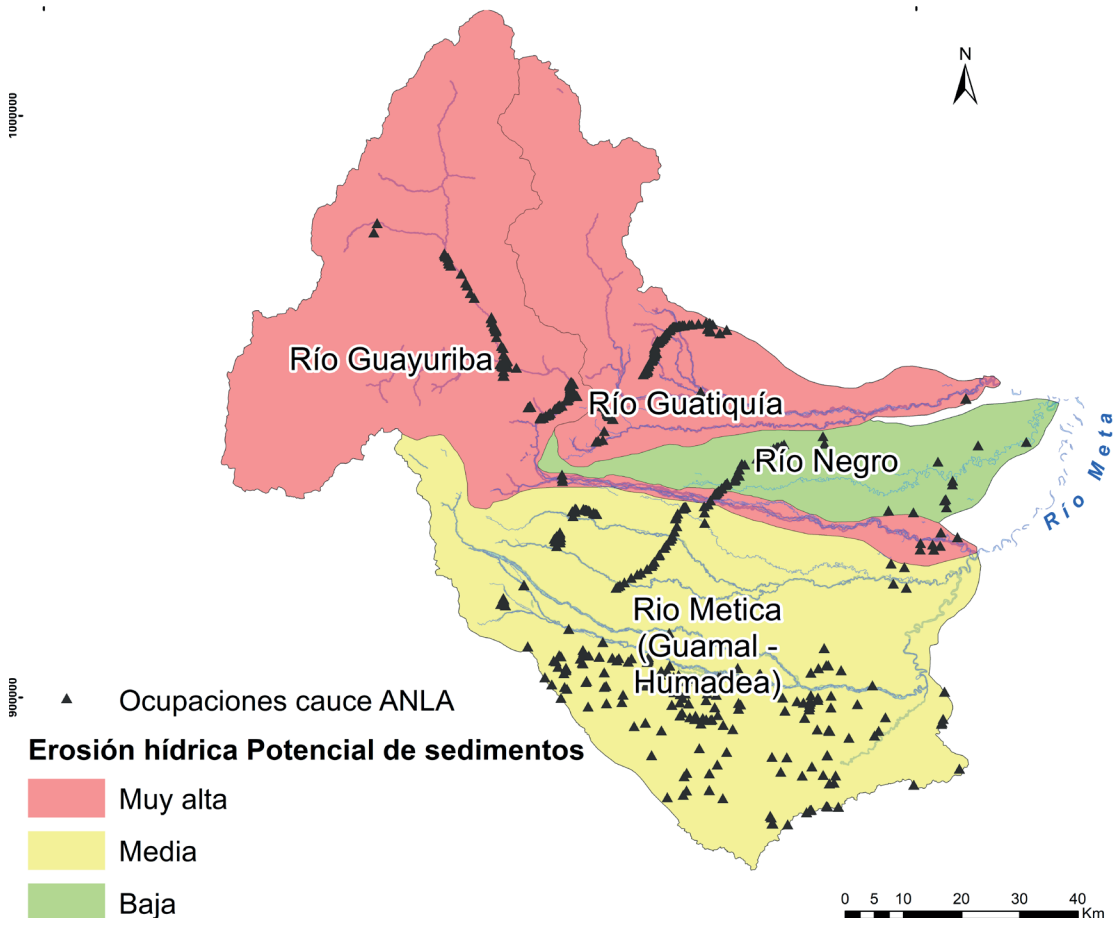
Ocupaciones de cauce

Respecto a los permisos de ocupación de cauce, se encontró que 18 de los 48 proyectos presentes en el área de estudio cuentan con permisos de ocupación de cauce autorizados por la ANLA, en total 907 ocupaciones autorizadas, siendo los proyectos LAV0042-00-2016 - "Proyecto Villavicencio – Cumaral Unidad Funcional 1 del Corredor Villavicencio - Yopal" y el LAM2947 - Oleoducto Castilla-Apiay los que cuentan con mayor número de autorizaciones, 326, y 83, respectivamente.

3 IACAL: Este índice permite establecer la vulnerabilidad potencial de un cuerpo de agua, un sistema hídrico o una subzona hidrográfica determinada en relación con los contaminantes vertidos por actividades circundantes y refleja la capacidad de recuperación de un cuerpo hídrico debido a su capacidad de dilución. Por lo tanto, mayores volúmenes de vertimiento significan el aumento de la vulnerabilidad del cuerpo hídrico a analizar (MADS, 2020).

En cuanto a su ubicación, se observa en la Figura 20 que la SZH del río Metica presenta la mayor concentración de este tipo de permisos, esta SZH se caracteriza por presentar un rango medio de erosión hídrica de sedimentos (10 – 25 m^3/año). Por otra parte, las SZH del Guayuriba y Guatiquía presentan erosión hídrica potencial MUY ALTA (> 100 m^3/año); por esta razón, para las nuevas solicitudes de ocupaciones de cauce se debe contar con estudios que permita establecer si en el área en evaluación existen zonas con altos índices de producción de sedimentos que sean susceptibles de desprenderse, ser transportados y depositados en los cauces. Finalmente, respecto al tipo de obras, se evidencia que el 95% corresponde a la construcción de alcantarilla.

Figura 20. Localización de los permisos de ocupación de cauce autorizados por la ANLA



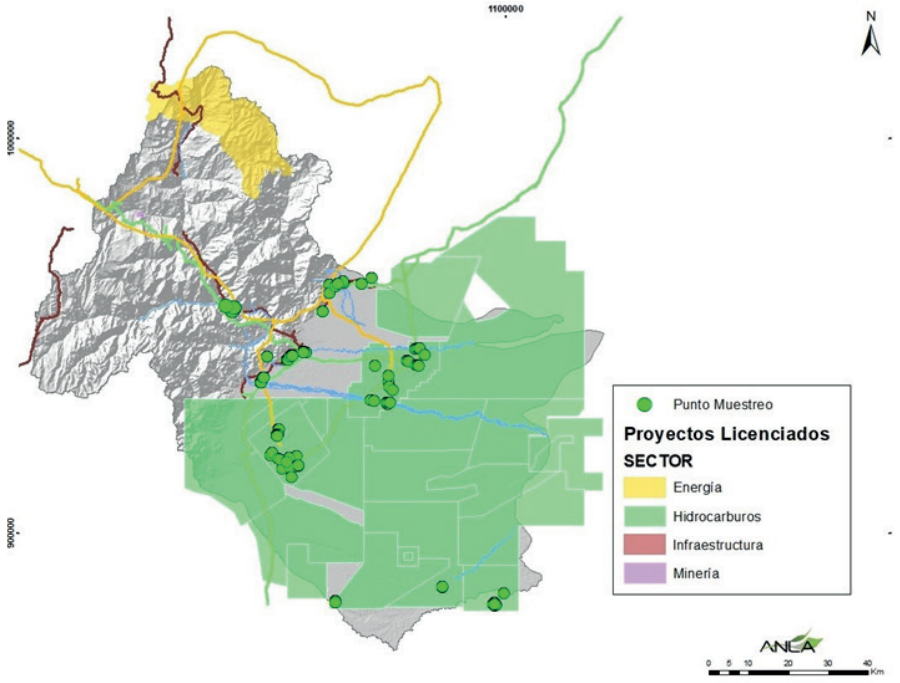
Fuente: ANLA, 2020

5.2.1.8 Análisis de calidad de agua

Para el análisis de calidad de agua se revisaron y sistematizaron los ICA y EIA de los proyectos licenciados por la ANLA en un periodo comprendido entre los años 2015 y 2020, con un total de 19644

registros, esta información estará consolidada en la base de datos corporativa de la ANLA (Figura 21). Posteriormente, se procedió a depurar la información (para excluir registros asociados a afluentes de sistemas de tratamiento, datos sin fecha de análisis) obteniendo un total de 5949 registros. El análisis de calidad del agua se realizó a partir del cumplimiento de los valores de los parámetros del Decreto 1076 de 2015, resolución PS-GJ 1.2.6.13.0258 objetivos de calidad Río Negro, PS-GJ 1.2.6.14.1070 la cual adopta el Plan de Ordenamiento de las fuentes hídricas superficiales denominadas río Guamal, río Humadea, Caño Turuy y Caño Palomarcado, y, se utilizó el índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL) del Estudio Nacional del Agua 2018 para conocer la vulnerabilidad potencial del cuerpo de agua receptor en relación con los contaminantes vertidos por actividades circundantes, para lo cual se analizaron condiciones hidrológicas de año seco y medio.

Figura 21. Monitoreos realizados en el área de estudio por proyectos licenciados por ANLA



Fuente: ANLA, 2021

En la Tabla 18 se listan los monitoreos ejecutados por expediente, destacando que el proyecto LAM0198 es el que reporta mayor cantidad de parámetros analizados, con un total de 2368 variables. En relación con las corrientes hídricas del área de estudio, se obtuvo información para 36 cuerpos de agua distribuidos en caños, embalses, lagos, lagunas, ríos y quebradas, encontrándose que en el río Guayuriba se realizaron 13 campañas de monitoreo, de las cuales se obtuvo un total de 889 datos en total de los diferentes parámetros de calidad analizados entre los años 2015 y 2020 (Tabla 19).

Tabla 18. Distribución de monitoreos por expediente

Expediente	Total de datos de calidad obtenidos (2015-2019)	SZH
LAM0198	2368	Río Negro
LAM0227	1501	Río Metica (Guamal – Humadea)
LAM0230	444	Río Guatiquía
LAM0510	222	Río Guatiquía – Río Negro
LAM1063	100	Río Negro – Guatiquía - Guayuriba
LAM4409	474	Río Guayuriba
LAV0005-13	88	Río Guayuriba
LAV0042-00-2016	223	Río Guatiquía
LAV0053-14	529	Río Metica (Guamal – Humadea)

Fuente: ANLA, 2021

Tabla 19. Corrientes hídricas con monitoreo de calidad de agua

Nombre cuerpo de agua	Total de datos de calidad obtenidos (2015-2019)	SZH
Caño Camoa	138	Río Metica (Guamal-Humadea)
Caño Cajuy	94	Río Negro
Río Guayuriba	889	Río Metica (Guamal-Humadea) y Río Guayuriba
Río Ocoa	834	Río Guatiquía
Río Caney	52	Río Guatiquía
Río Upía	50	Río Guatiquía
Caño blanco	41	Río Guatiquía
Caño Cacayal	160	Río Metica
Caño Cachirre	41	Río Metica
Caño grande	78	Río Metica
Caño seco	341	Río Metica
Caño Tres ranchos	354	Río Metica
Quebrada la Blanca	56	Río Guatiquía

Fuente: ANLA, 2021

Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL). En la Figura 22 y Figura 23 se presenta el índice de alteración potencial a la calidad del agua (IACAL) para año medio y año seco respectivamente.

De acuerdo con información obtenida en el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 2019) para el IACAL, las condiciones de calidad del agua en la cuenca hidrográfica del río Guatiquía, presentan una calificación de "Muy Alta" para año seco y "Alta" para año medio, situación que de acuerdo con este estudio, evidencia aportes anuales de cargas contaminantes de DBO (12350.62 t/año), DQO (32392.02 t/año) y SST (32392.02 t/año), que se presentan especialmente según CORMACARENA (2008) por el aporte de materia orgánica proveniente de los sistemas urbanos de alcantarillado, debido a que los caños urbanos y semiurbanos han sido improvisados como infraestructura de receptación y transporte de aguas residuales y domésticas en los centros poblados y cabeceras, conduciendo estas cargas contaminantes a cuerpos de agua de orden

superior.

Para las SZH Río Guayuriba y Río negro el IACAL indica condiciones de alteración potencial a la calidad del agua "Baja" para el año medio y "Moderada" y "Baja", respectivamente para el año seco, sin embargo, de acuerdo con lo establecido en el POMCA del Río Guayuriba (CORPOGUAVIO et al., 2019) a lo largo de la cuenca hidrográfica del Río Negro-Blanco-Guayuriba se presentan valores de calidad de agua regular y mala en la zona baja de la cuenca, esto se debe a que en esta zona se presentan varios vertimientos de centros poblados e industriales.

Para la SZH Río Metica (Guamal-Humadea) se presentan condiciones de IACAL "Moderado" en año medio y "Medio Alto" en año seco, en esta zona hay una gran confluencia de proyectos del sector hidrocarburos.

Figura 22. Índice IACAL año Medio

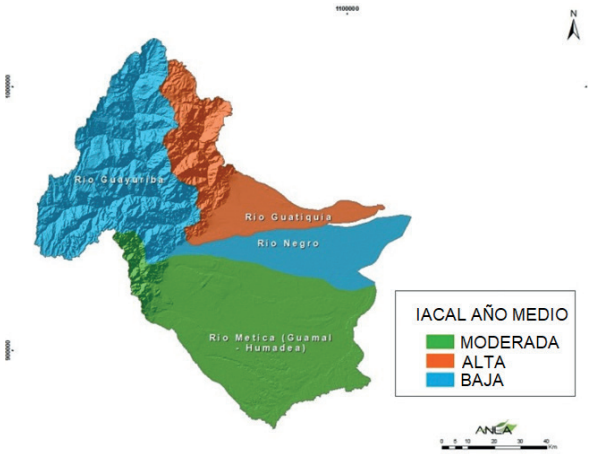
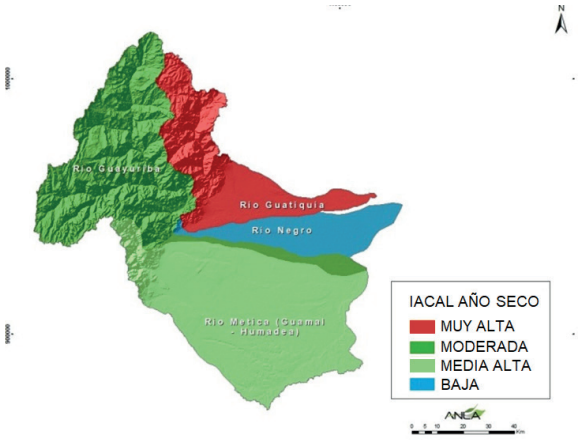


Figura 23. Índice IACAL año Seco



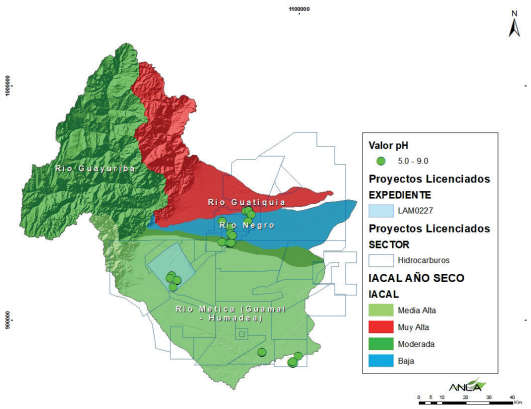
Fuente. ANLA: 2021, adaptado Estudio Nacional del Agua 2018.

Para el Reporte SZH-MGGN en particular, se contó con información de variables de calidad del agua del sector hidrocarburos, debido a la afluencia de este tipo de proyectos en el área de estudio, adicional, se destacó en el análisis el proyecto con expediente LAM0227, por las contingencias presentadas durante las actividades de explotación en los años 2018 y 2019.

pH. En las Figura 24 y Figura 25 se presenta la distribución espacial del pH en el área de estudio, para un índice IACAL de año seco y año medio, respectivamente, tomando como referencia los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, en el artículo 2.2.3.3.9.3 sobre criterios de calidad para consumo humano y doméstico.

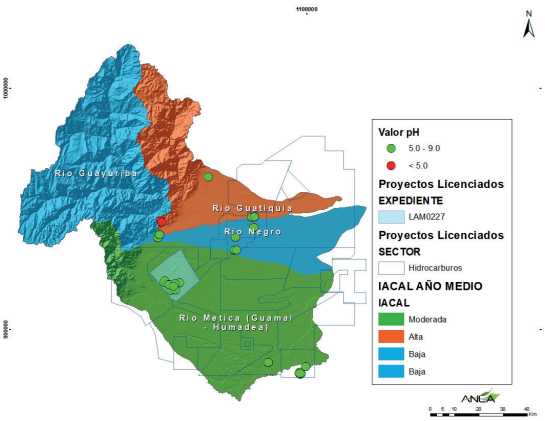
En general, predominan los valores entre 5-9 Unidades para todas las subzonas hidrográficas, sin embargo, en la SZH "Río Guatiquía" se han registrado valores ácidos (<5 Unidades), específicamente sobre la Quebrada La Blanca. Es importante mencionar que estas concentraciones no se deben a vertimientos autorizados, sino a monitoreos de caracterización de la fuente hídrica superficial.

Figura 24 Valores de pH año seco, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

Figura 25 Valores de pH año medio, monitoreados en el área de estudio



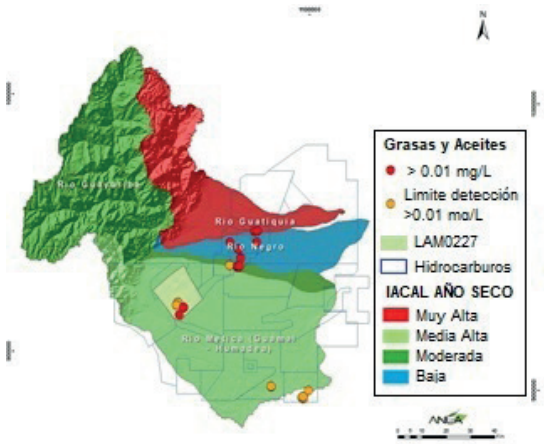
Fuente. ANLA: 2021

Grasas y aceites. En la Figura 26 se presenta la distribución espacial de los monitoreos de grasas y aceites en el área de estudio para IACAL año seco. Tomando como referencia los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, en el artículo Art. 2.2.3.3.9.10 sobre criterios de calidad para preservación de flora y fauna, se encontró que en general, se presentan valores superiores al límite establecido por la normatividad (0.01 mg/L) para los ríos Guayuriba, Oca, Negro, y caños Cajuy, Quenane y Quenanito, adicional, es importante destacar que para el monitoreo en algunas fuentes se emplearon equipos que presentan límites de detección mayores al estándar de comparación definido para cada parámetro por la norma ambiental colombiana, , como es el caso de los monitoreos realizados en Caño Camoa, Tres Ranchos y caño seco.

En la Figura 27 se presenta la distribución espacial de los monitoreos de grasas y aceites en el área de estudio para IACAL año medio, destacando que las fuentes hídricas que presentaron parámetros con valores superiores al límite establecido por el Decreto 1076 de 2015 se encuentran en las SZH Río Negro (IACAL Bajo) y SZH Río Guatiquía (IACAL Alto), sin embargo, es importante destacar que dichas concentraciones no exceden los 2.0 mg/L.

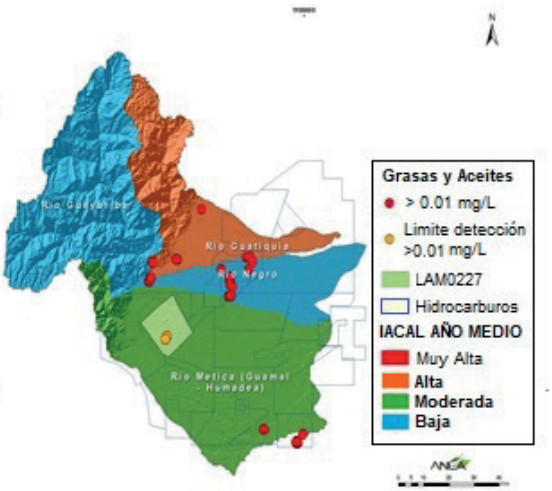
Es válido aclarar que en las resoluciones de objetivos de calidad de CORMACARENA citadas en la introducción del capítulo de calidad del agua, no se incluyen concentraciones límite para el parámetro grasas y aceites.

Figura 26 Valores de grasas y aceites año seco, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

Figura 27 Valores de grasas y aceites año medio, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

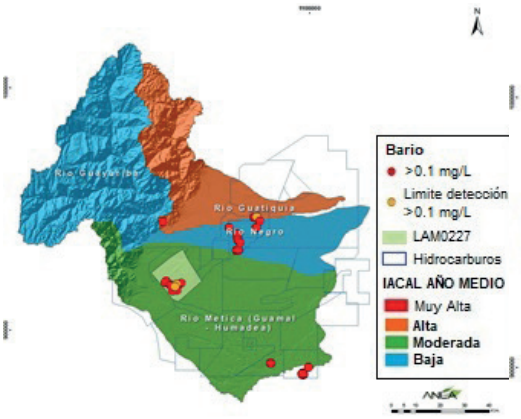
El proyecto LAM0227 presentó una concentración máxima de 4 mg/L en el Río Guayuriba, sin embargo, no es posible establecer si excede el límite máximo permisible o si este valor se debe al límite de detección del equipo empleado para medir este parámetro.

Bario. En las Figura 28 y Figura 29 se presenta la distribución espacial de los monitoreos de Bario en el área de estudio para IACAL año seco y año medio, respectivamente, tomando como referencia los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, en el artículo Art. 2.2.3.3.9.10 sobre criterios de calidad para preservación de flora y fauna.

En general, se presentan valores superiores al límite establecido por la normatividad (0.1 mg/L), para todas las subzonas hidrográficas en las que se cuenta con monitoreos, sin embargo, el análisis realizado evidencia que los límites de detección de la metodología empleada para esta medición en la mayoría de los monitoreos son superiores a los establecidos por la norma.

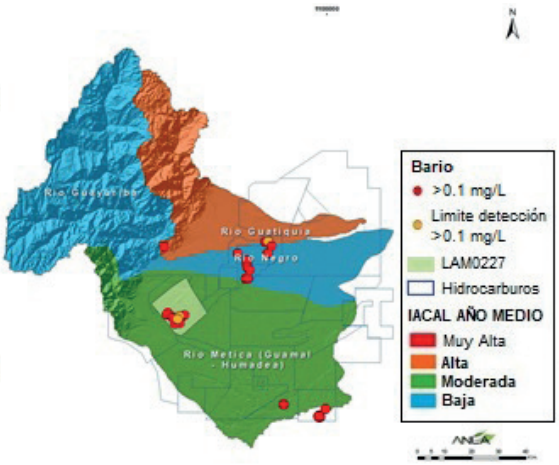
Para el IACAL de año medio se evidencia que en ninguna de las fuentes monitoreadas: Río Ocoa, Negro, caño Camoa, entre otros, se cumple con el límite establecido, sin embargo es importante destacar que estas fuentes presentan concentraciones promedio inferiores a 1 mg/L, siendo la excepción el río Guayuriba (SZH Río Negro), para el cual se presentaron concentraciones de hasta 30 mg/L de este parámetro, valores obtenidos de un monitoreo de caracterización de la fuente hídrica presentado por el proyecto licenciado por ANLA con expediente LAM0198.

Figura 28 Valores de bario año seco, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

Figura 29 Valores de bario año medio, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

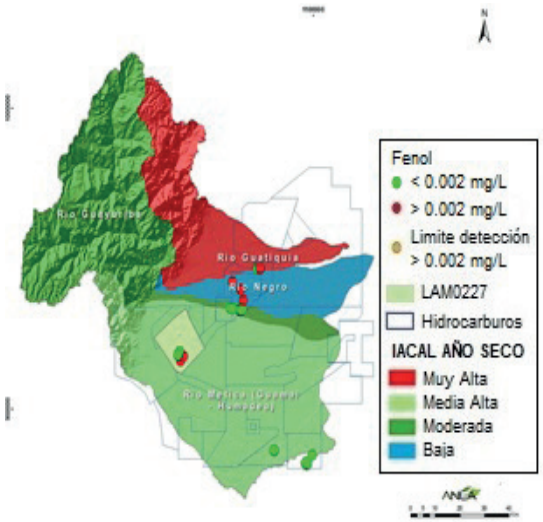
En cuanto a la concentración de Bario para IACAL de año seco, se observó que, aunque en el área de estudio no se cumple con el valor límite establecido por ley de 0.1 mg/L, en las fuentes monitoreadas la concentración mayor de Bario fue de 1 mg/L, inclusive para el río Guayuriba, cuyo valor de concentración más alto fue de 0.6 mg/L.

Para el LAM0227 la concentración máxima de Bario fue de 1 mg/L en las fuentes Caño Grande, Caño Cacayal, caño seco y caño Tres Ranchos.

Fenoles. En las Figura 30 y Figura 31 se presenta la distribución espacial de los monitoreos de fenol en el área de estudio, tomando como referencia los límites establecidos en el Decreto 1076 de 2015, en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 sobre criterios de calidad para consumo humano y doméstico, también se tienen en cuenta los límites establecidos en las resoluciones de objetivos de calidad del agua en jurisdicción de CORMACARENA.

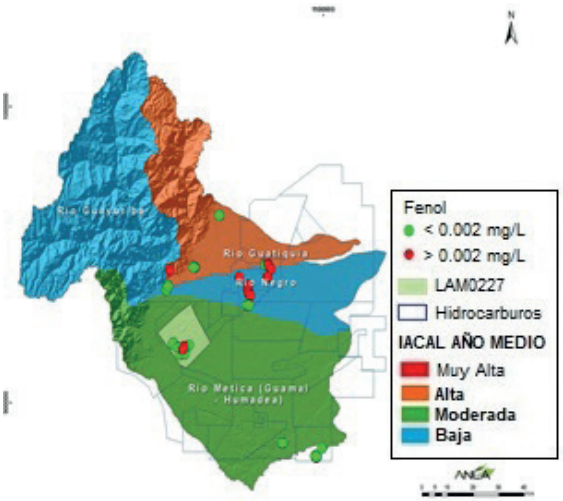
Es de precisar que el fenol y los compuestos fenólicos son productos de degradación oxidativa de hidrocarburos aromáticos (REMTAVARES, 2008), por lo que su presencia puede ser introducida a los ecosistemas acuáticos a través de vertimientos de industrias de transformación de hidrocarburos o presentarse accidentalmente con ocasión de eventos contingentes. Los fenoles son difícilmente biodegradables por lo que su presencia en el agua puede limitar los usos de esta (Sierra Ramírez, 2011).

Figura 30 Valores de fenol IACAL año seco, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

Figura 31 Valores de fenol IACAL año medio, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

En general, se observaron valores superiores al límite establecido por la normatividad (0.002 mg/L) para todas las subzonas hidrográficas en las que se cuenta con monitoreos, tanto para año seco como para año medio, sin embargo, estos valores se presentan en campañas puntuales de caracterización (y no de vertimiento) de las fuentes hídricas: Caño Quenane, caño Suria, quebrada La Blanca, Río Negro, Caño Cajuy, con concentraciones especialmente altas para el Río Oca, entre 4 y 7 mg/L (monitoreos realizados por el expediente LAM0198).

En el caso del proyecto LAM0227, para año seco se presentaron dos mediciones con valor de 2 mg/L para el caño Cacayal y Caño Grande y valores de cero (0) para las fuentes río Guayuriba, caño seco y caño Tres Ranchos, mientras que, en año húmedo, las mediciones con concentración de 2mg/L se presentaron en las fuentes caño Seco y caño Tres Ranchos.

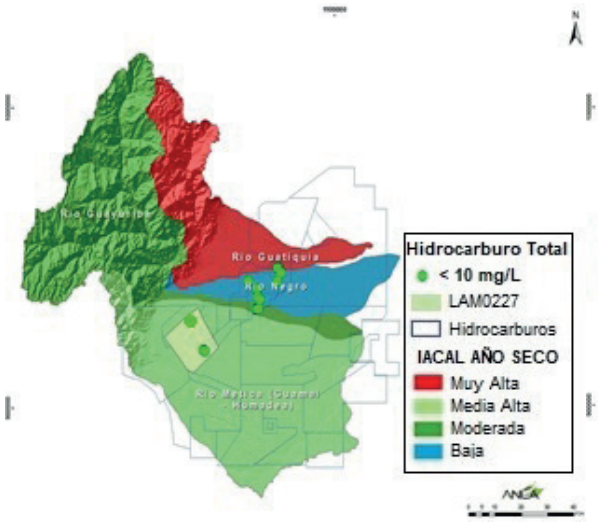
Hidrocarburos. En las Figura 32 y Figura 33 se presenta la distribución espacial de los monitoreos de hidrocarburo total en el área de estudio, para IACAL de año seco y año medio, respectivamente, como no existe un límite máximo permisible para este parámetro en la normatividad colombiana, se determinaron como relevantes aquellos parámetros superiores a 10 mg/L, de acuerdo a lo establecido en la resolución 631 de 2015, como límite máximo permisible para vertimientos a cuerpos de aguas superficiales para el sector hidrocarburos.

En general, no se presentan concentraciones superiores a los 3 mg/L, es de resaltar que este valor podría deberse a que la metodología empleada tenía como límite de detección 3 mg/L, valor que se presentó para las fuentes: Río Guayuriba, Río Caney y Río Ocoa.

Específicamente para el LAM0227, en la información analizada se contaba con monitoreos de esta variable en temporada seca únicamente, para los años 2017 y 2018, presentando una concentración de 2.52 mg/L

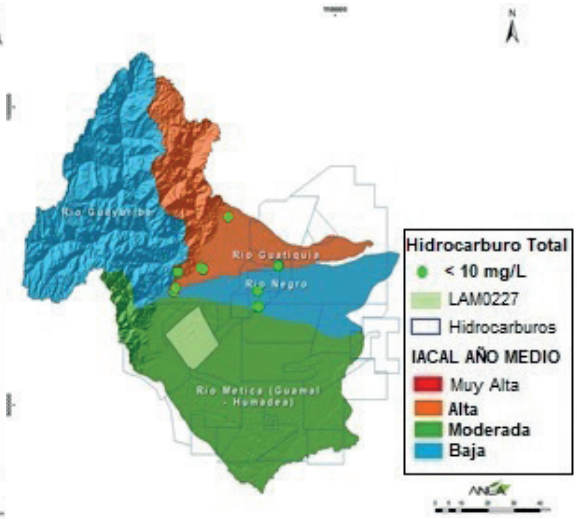
en el Río Acacías, este río cuenta con un IACAL moderado para la condición hidrológica de año seco lo cual indica que si bien no se presenta una afectación alta por aporte de contaminantes en estas fuentes, se considera relevante evitar que este tipo de sustancias sean liberadas en las fuentes hídricas, debido a que algunas fracciones se depositan en los sedimentos, donde pueden permanecer largos periodos de tiempo (Rodríguez-Chaves et al., 2014) ocasionando un gran deterioro al ambiente.

Figura 32 Valores de hidrocarburos año seco, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

Figura 33 Valores de hidrocarburos año medio, monitoreados en el área de estudio



Fuente. ANLA: 2021

5.1.6 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA

Los criterios técnicos que a continuación se presentan son el resultado del análisis regional realizado para el recurso hídrico continental, no obstante, el profesional de evaluación o de seguimiento ambiental será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por la Empresa.

Situación evidenciada	Requerimiento
Las SZH del río Guatiquía y Metica presentan un índice de uso del agua alto para condición hidrológica de año seco, lo que significa una alta presión con respecto a la oferta hídrica superficial disponible.	Para las nuevas evaluaciones de concesiones, así como a los que ya cuentan con permisos de concesión de agua superficial y que se ubican en la SZH del río Guatiquía (LAV0042-00-2016, LAM4829 y LAV0074-00-2015) y la SZH del río Metica (LAM3723, LAM2947, LAV0064-00-2017, LAM4012, LAV0003-13, LAM2944, LAM5599 y LAV0039-13), es pertinente revisar el estado actual de éstas a través de comparaciones con respecto al caudal medio mensual registrado en la fuente, para poder establecer condicionantes para época seca, de tal manera que permitan una regulación adecuada del recurso hídrico sin afectar su disponibilidad. Para lo cual se deberá solicitar a la Empresa instalación de medidores de flujo debidamente calibrados por un laboratorio de calibración acreditado y cuya instalación de los equipos deberá cumplir con lo establecido en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS y las normas técnicas colombianas, como la NTC 1063-1:2007. Presentar en los Informes de Cumplimiento Ambiental - ICA, según el periodo reportado, los soportes que evidencien el cumplimiento de esta obligación.
	Para los proyectos que presentan los mayores caudales otorgados (LAM2947, LAM4409, LAV0073-00-2015, y LAV0081-13 y LAM0626) revisar y validar en los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA el plan de acción formulado en el Programa de Ahorro y Uso Eficiente de Agua – PUEAA, en el cual se deberá recomendar incluir las acciones de reúso, de conformidad con la Resolución 1207 de 2014, y las actividades de recirculación y conversión a tecnologías de bajo consumo.
	Suspender las actividades de captación cuando el caudal aguas arriba del punto de captación sea inferior al caudal ambiental establecido por la autoridad ambiental competente y, para los casos en que este no exista se deberá suspender cuando el caudal sea igual o inferior al 50% del caudal medio mensual multianual de acuerdo con el estudio hidrológico establecido en el Estudio de Impacto Ambiental entregado por el usuario.
Las SZH del río Guatiquía presenta un índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico -IVH- alto tanto para año medio como seco. Es decir, no cuentan con buena regulación hídrica y presentan un uso alto del agua. Por su parte, la SZH del río Metica presentan un IVH alto para condición hidrológica de año seco.	Para los nuevos proyectos se recomienda autorizar el reúso de las aguas residuales generadas en el proyecto, especialmente para los que se encuentra en la SZH del río Metica y Guatiquía, para lo cual deberá dar cumplimiento a las siguientes condiciones: realizar monitoreos trimestrales del agua residual que será objeto de reúso, en los cuales se analicen los criterios de calidad establecidos en la Resolución 1207 de 2014. Presentar el reporte mensual de las cantidades de agua que son objeto de reúso, discriminando el origen y uso dado, en los Informes de Cumplimiento Ambiental - ICA.

Situación evidenciada	Requerimiento
El índice de presión por contaminación (IACAL año seco) presenta una categoría Muy Alta en la SZH del río Guatiquía, Media Alta en la SZH del río Metica y Moderada en el río Guayuriba; es decir, en términos generales estas SZH presentan una alta potencialidad de contaminación por cargas asociadas con vertimientos puntales de sectores usuarios del recurso hídrico.	Establecer condicionamientos de los permisos de vertimientos en época de estiaje en las SZH Metica (LAM5599 y LAM2947) y Guatiquía (LAM4829 y LAV0074-00-2015). Adicionalmente, se deberá implementar un sistema de medición de caudales y niveles debidamente calibrado sobre la fuente hídrica receptora con frecuencia de medición diaria, con el fin de poder restringir el vertimiento en los caudales mínimos de la fuente hídrica.
	Para los nuevos POA y los que se encuentran en seguimiento (en caso de que soliciten compra de agua a terceros) se recomienda autorizar para el desarrollo de actividades del proyecto la compra de agua con terceros que tengan las respectivas autorizaciones para suplir demanda del recurso hídrico al proyecto, para lo cual deberá dar cumplimiento a lo siguiente: a) Presentar para el periodo reportado en los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA los respectivos soportes de compra que incluyan: volúmenes de agua suministrados, fechas, mecanismos de almacenamiento y distribución hacia y en las instalaciones del proyecto que lo requieran. b) El tercero seleccionado para tal fin, deberá cumplir con lo estipulado en el artículo 15 de la Ley 142 de 1994, para lo cual deberá presentar en los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA, copia del soporte que avale al prestador del servicio público la venta de agua. c) Presentar en los Informes de Cumplimiento Ambiental – ICA la concesión de aguas emitida por la autoridad ambiental competente, que dentro de la misma se encuentre el uso autorizado (industrial).
	Los proyectos LAM5599, LAM2947, LAM4829, LAV0074-00-2015, LAV0071-00-2017 y LAV0073-00-2015 deben presentar en los Informes de Cumplimiento Ambiental - ICA, los soportes que evidencien las actividades de mantenimiento preventivo o correctivo efectuadas al sistema de tratamiento de aguas residuales, en cumplimiento del artículo 2.2.3.3.4.16 del Decreto 1076 de 2015.
Las SZH del río Metica, Guayuriba y Guatiquía presentan entre media y muy alta erosión hídrica potencial en ladera.	Para los nuevos proyectos que soliciten autorización de ocupación de cauces se debe solicitar la realización de un estudio hidrológico e hidráulico multitemporal de la fuente hídrica a intervenir, con el fin de determinar los periodos de recurrencia y la posible afectación a la obra, avenidas torrenciales, inundaciones y demás fenómenos que pongan en riesgo la viabilidad y permanencia de la obra.
Las autoridades ambientales competentes en el área del reporte de Alertas cuentan con instrumentos de planificación y ordenamiento del recurso hídrico superficial.	Para la evaluación de futuros proyectos y el seguimiento de los ya existentes se deberá incluir el análisis los determinantes ambientales establecidos por las autoridades ambientales competentes para la toma decisiones respecto al uso y aprovechamiento del recurso hídrico superficial: Los criterios y objetivos de calidad, los PORH, las disposiciones de reglamentación de caudales, las líneas estratégicas de los POMCA de los río Guayuriba, Guatiquía y Guamal para articularlas con los planes de manejo.

Situación evidenciada	Requerimiento
IACAL de condiciones MUY ALTA y ALTA alteración potencial de la contaminación del agua para la SZH Río Guatiquía	Para futuros proyectos que soliciten permiso de vertimientos a fuentes superficiales en el área de estudio, hacer seguimiento a la calidad de los parámetros de DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, oxígeno disuelto, fenoles y otros asociados a los hidrocarburos, con el fin de no generar adicionalidad en el impacto de alteración a la calidad fisicoquímica del recurso hídrico.
Varios de los parámetros analizados: fenol, hidrocarburos, bario, grasas y aceites, permitieron evidenciar que los límites de las metodologías empleadas para el monitoreo, son superiores a los límites normativos, lo cual no permite verificar con exactitud, si realmente los sobrepasos evidenciados son producto del análisis o corresponde a la realidad de las fuentes hídricas.	Se requiere que las Empresas utilicen equipos cuyos límites de detección sean iguales o menores al estándar de comparación definido para cada parámetro por el Decreto 1076 de 2015, debido a que los proyectos LAM0227, LAM0198, LAV0053-14, LAM1063, LAM0510, presentaron mediciones con valores de detección superiores a los establecidos.

Recomendaciones externas

A las autoridades ambientales competentes y entes territoriales de acuerdo con sus competencias:

- La protección, conservación, mantenimiento y restauración de nacimientos de agua y zonas de ribera. Promover la conservación y restauración de los ecosistemas estratégicos para el recurso hídrico a través de mecanismos de estímulo económico, determinación de caudal ambiental y el acotamiento de ronda hídricas de acuerdo con la Resolución 0957 del 2018 expedida por el MADS.
- Realizar procesos de formación a grupos ambientales existentes y líderes sociales de los municipios presentes en las SZH de los ríos Guatiquía y río Metica, dado el alto riesgo al desabastecimiento hídrico, para que éstos gestionen estrategias que permitan la protección y conservación del recurso hídrico. De igual manera, es importante la ejecución de prácticas de conservación de suelos y aguas para el control de la erosión hídrica en las SZH de Guatiquía, Guayuriba y Metica, dada la Muy Alta y Media erosión hídrica potencial identificada en estas cuencas por el Estudio Nacional del Agua 2018.
- A las Universidades realizar investigaciones dirigidas a evaluar los efectos del cambio climático en la erosión hídrica y su afectación a los ríos Guatiquía, Guayuriba y Guamal. De igual manera, realizar investigaciones sobre eficiencia energética para el sector de hidrocarburos en pro de reducir sus emisiones de Gases Efecto Invernadero.
- Generar conocimiento regional de la dinámica hídrica, haciendo énfasis en la influencia del cambio climático, a través de instrumentos como las Evaluaciones Regionales del Agua – ERA, de acuerdo con los Lineamientos Conceptuales y Metodológicos del IDEAM (2013) con el fin de identificar el estado y tendencia del recurso hídrico tanto superficial como subterráneo, que permita la formulación de acciones que aseguren la sostenibilidad del recurso, esto en virtud a la alta sensibilidad ambiental identificada por el Estudio Nacional del Agua del 2018 en el área de estudio.

5.2.2 COMPONENTE HÍDRICO SUBTERRÁNEO

5.2.2.1. Fuentes de información consultadas para la caracterización hidrogeológica del área de estudio

Las fuentes de información consultadas y disponibles para la caracterización hidrogeológica del área de estudio corresponden a estudios realizados por el IDEAM, CORMACARENA y los Estudios Ambientales realizados en el marco del Licenciamiento ambiental, los cuales se listan en la Tabla 20.

Tabla 20. Información consultada para la caracterización hidrogeológica de la zona de estudio

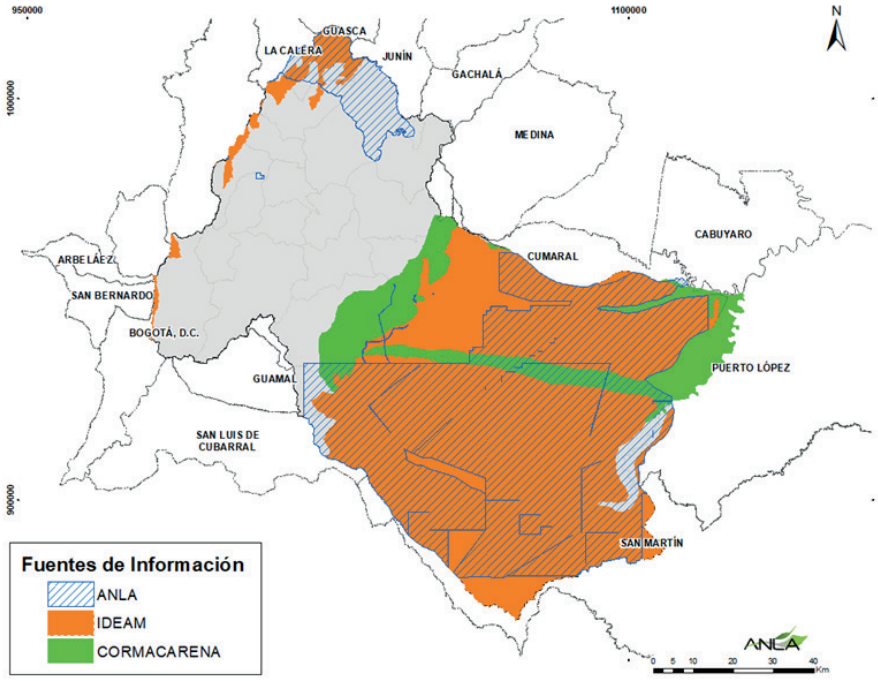
Fuente	Estudio
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM	Estudio Nacional del Agua 2010
	Estudio Nacional del Agua 2014
	Estudio Nacional del Agua 2018
Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena - CORMACARENA	Generación de avances en la construcción y estructuración de la línea base recurso hídrico subterráneo en las zonas de los acuíferos del piedemonte abanicos de los ríos Guatiquía, negro, Guayuriba y Acacías, en el departamento del meta. Año 2015
Autoridad Nacional de Licencias Ambientales - ANLA	Estudios de Impacto Ambiental
	Planes de Manejo Ambiental
	Informes de Cumplimiento Ambiental

Fuente: ANLA, 2021

5.2.2.2. Representación de la información hidrogeológica disponible en el área de estudio

El área de estudio tiene una extensión de 975.178 ha, de las cuales, 616.030 (63.17% del área), cuenta con algún grado de información hidrogeológica, el 36.83% del área restante 359.146 ha, no cuenta con información hidrogeológica, como se presenta en la Figura 34.

Figura 34. Distribución espacial de la información hidrogeológica presente en el área de estudio



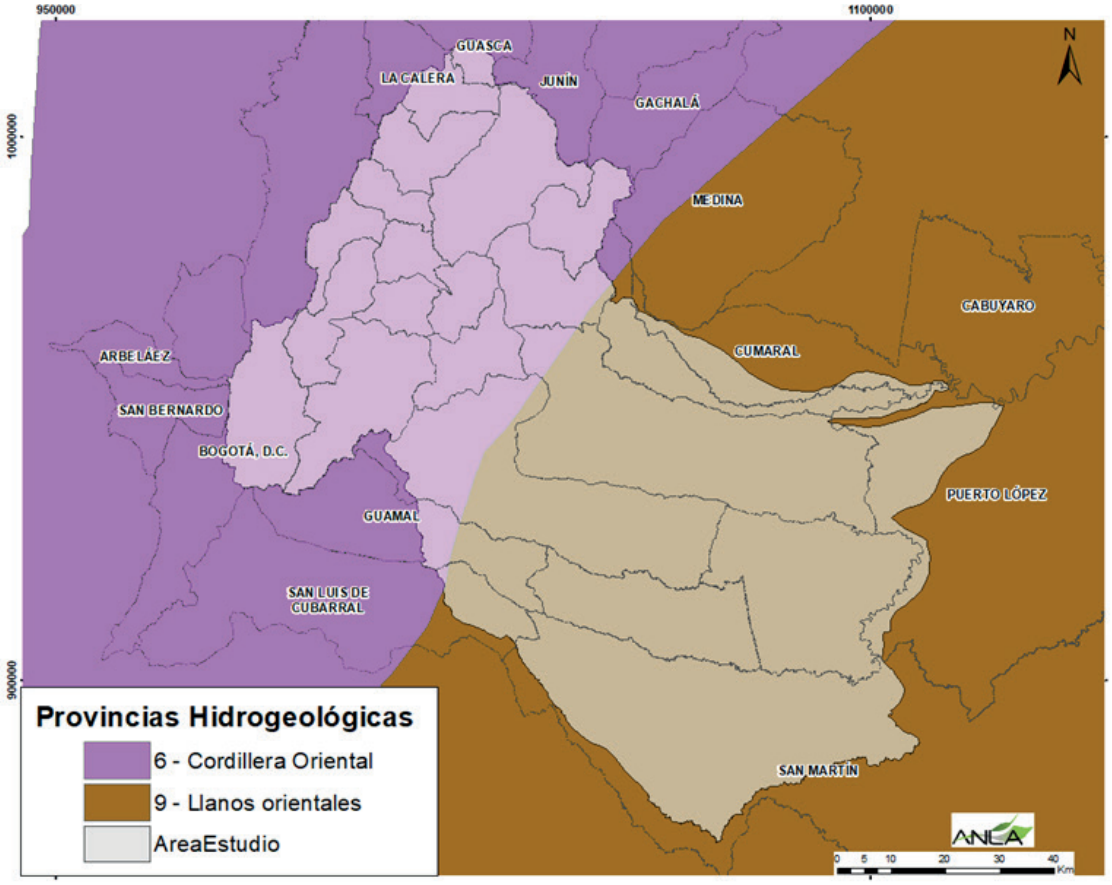
Fuente: ANLA, 2021

La información del IDEAM, es la que mayor extensión cubre en el área de estudio, con un 55% seguida de la información ANLA 53% y finalmente CORMACARENA 34%. Es importante señalar que la información se traslapa como se presenta en la Figura 34. A continuación, se presenta la caracterización hidrogeológica de la zona de estudio con base en la información secundaria recopilada.

5.2.2.3. Provincias Hidrogeológicas

El área de estudio se encuentra ubicada en las provincias hidrogeológicas Cordillera Oriental y Llanos Orientales conforme a la zonificación establecida por el IDEAM en el ENA 2010 (IDEAM,2010), tal cómo se representa en la Figura 35.

Figura 35. Provincias Hidrogeológicas presentes en el área de estudio

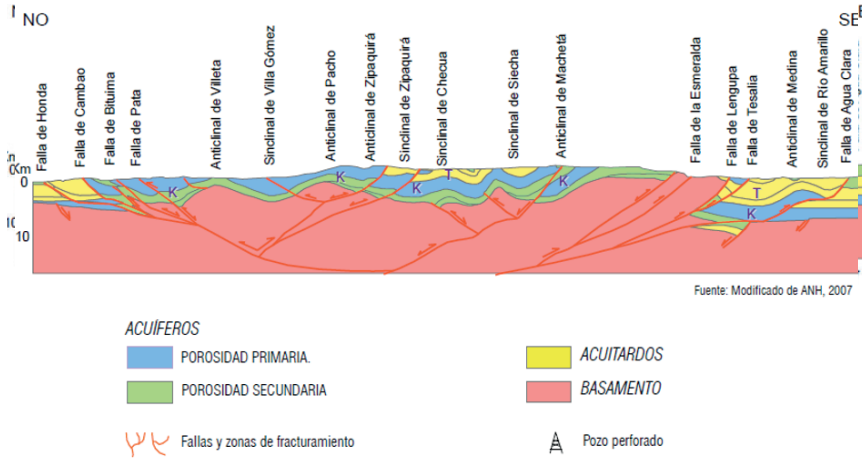


Fuente: ANLA, 2021

Provincia hidrogeológica de Cordillera Oriental – PM4

Esta provincia intramontana se localiza en la parte meridional del país, y coincide con la secuencia plegada sedimentaria de la cordillera Oriental que se extiende en dirección suroeste-noreste (IDEAM, 2010). Desde el punto de vista geológico, el área de análisis pertenece a la cuenca pericratónica distal de la cordillera Oriental, en la cual, el principal rasgo estructural se relaciona con fallas que afectan el basamento y resultan de la reactivación de una deformación preestructural de “horst y graben”, cuya expresión en superficie toma la forma de amplios anticlinales y sinclinales estrechos, cubiertos por depósitos cuaternarios fluviolacustres y glaciares que suprayacen rocas sedimentarias detríticas de texturas arenosas, lutíticas y carbonatadas, que se extienden desde el Cretácico hasta el Terciario Superior (IDEAM,2010). En la figura 36 se presenta una esquematización del modelo hidrogeológico de la cuenca, presentado por el (IDEAM,2010).

Figura 36. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Cordillera Oriental.

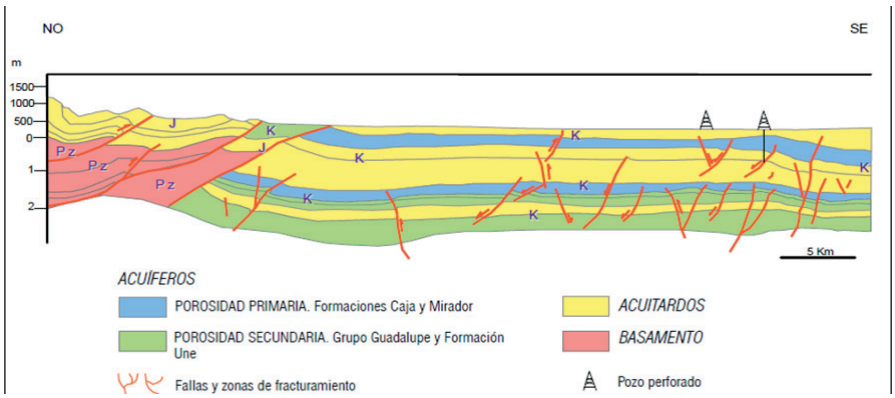


Fuente: IDEAM, 2010.

Provincia hidrogeológica de los Llanos Orientales – PP3·

Esta provincia fronteriza se localiza en el margen centroriental del país, desde el punto de vista geológico, la cuenca está cubierta por depósitos cuaternarios fluviolacustres que suprayacen rocas sedimentarias detríticas de texturas arenosas, lutíticas y carbonatadas, que se extienden desde el Paleozoico hasta el Terciario Superior (IDEAM,2010). Esta secuencia descansa sobre la paleotopografía del basamento ígneo cristalino del escudo de la Guyana, que se levanta hacia el oriente (Figura 37). La gruesa secuencia de rocas sedimentarias detríticas conforma una estructura monoclinal fallada ligeramente basculada que se adelgaza hacia el oriente (IDEAM,2010).

Figura 37. Modelo hidrogeológico básico de la provincia Llanos Orientales

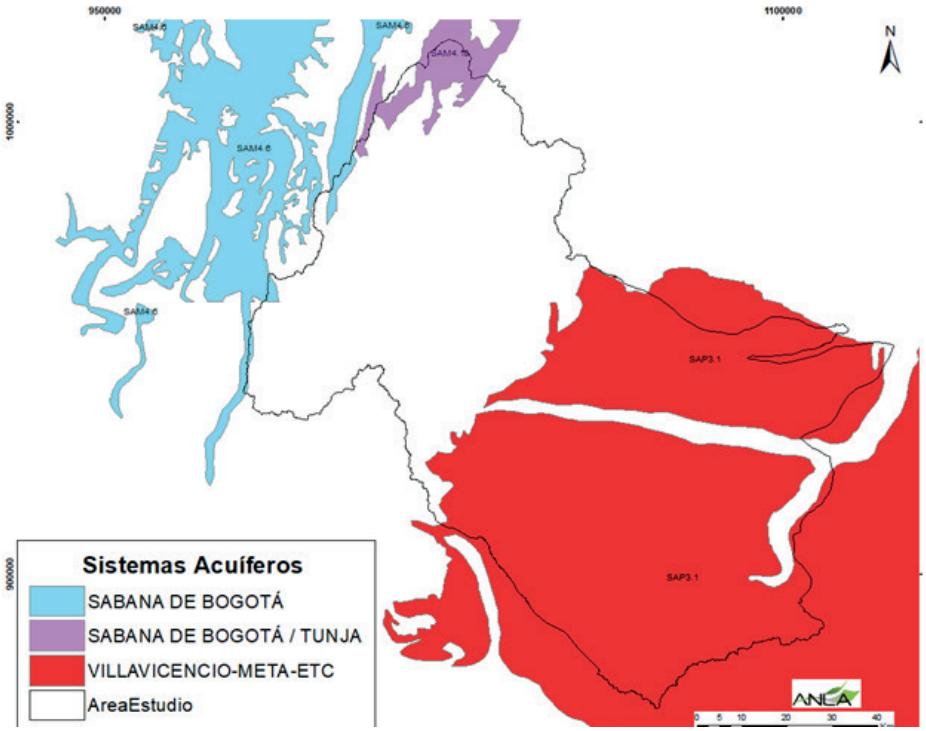


Fuente: IDEAM, 2010.

5.2.2.4. Sistemas Acuíferos

En el área de estudio se encuentran 3 de los 64 sistemas acuíferos delimitados por el (IDEAM,2014), el sistema acuífero SAP3.1 Villavicencio - Granada - Puerto Lopez, el cual, cubre la mayor extensión y representa un 53,1% del área de estudio. Por otro lado, se encuentra el sistema acuífero SAM4.10 Sabana de Bogotá - Tunja, el cual, cubre un área de 1,79 % y finalmente el sistema acuífero SAM4.6 Sabana de Bogotá con una proporción dentro del área de estudio de 0,47%. En la Figura 38 se presenta la ubicación de los sistemas acuíferos SAP 3.1, SAM4.10 y SAM 4.6.

Figura 38. Sistemas Acuíferos presentes en el área de estudio



Fuente: ANLA, 2021

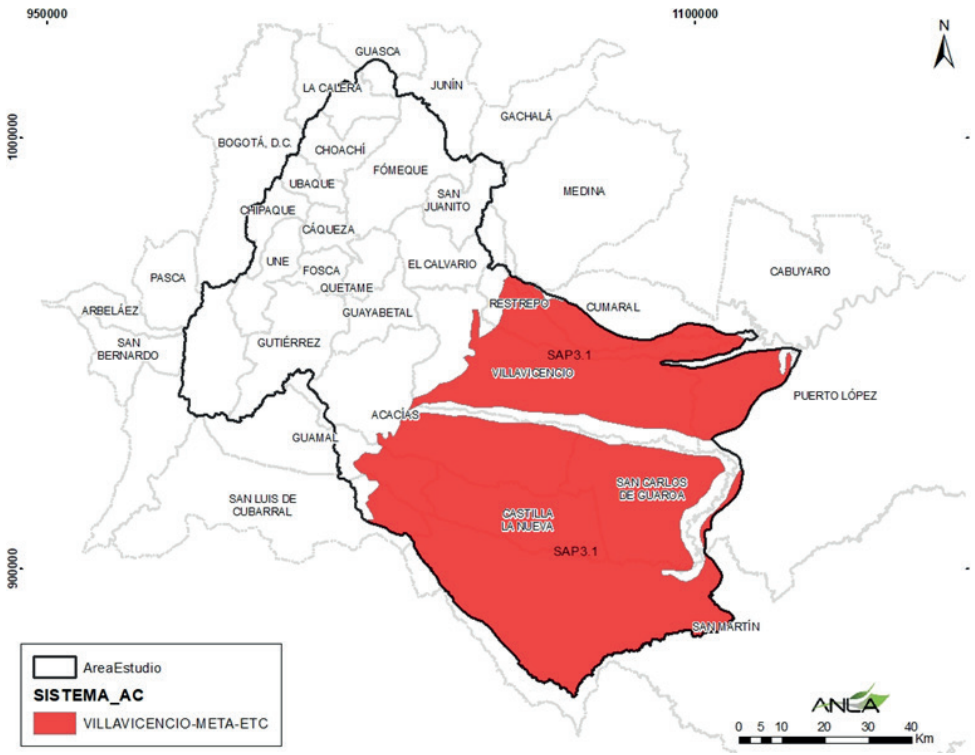
Como se observa en la Figura 38, entre los dos los sistemas acuíferos SAM 4.6 y SAM 4.10, representan un área muy pequeña y poco representativa de la zona de estudio (2,1%) y a su vez estos fueron descrito en el Reporte de análisis regional de la Subzona Hidrográfica del Río Bogotá en octubre de 2020, por lo cual, no se considera su descripción en el actual reporte.

Sistema Acuífero Villavicencio-Granada - Puerto Lopez - Sap3.1

El sistema acuífero SAP 3.1, cubre un 53% del área de estudio Figura 39 y según el (IDEAM,2014), este se localiza en abanicos aluviales de origen torrencial y terrazas hacia el piedemonte de la cordillera Oriental. La hidrogeología que caracteriza el área del SAP3.1 presenta un acuífero libre conformado por los depósitos aluviales de los ríos que drenan esta región. Existen cuatro capas que a lo largo del área se explotan, sin embargo, puede hablarse de dos: una superficial relacionada con el nivel freático que va desde 2 hasta 8 metros aproximadamente, cuyos acuíferos son de extensión regional y presentan

una productividad intermedia, la presencia de estratos arcillosos propios de las llanuras aluviales de inundación le restan capacidad. Luego subyaciendo a estos depósitos se encuentra un acuífero profundo localizado sobre las rocas sedimentarias terciarias. Estos acuíferos tanto el libre como el semiconfinado se encuentran separados hidráulicamente por capas de menor conductividad hidráulica (acuitardos). Esta separación, es la que le imprime al acuífero inferior un semiconfinamiento. Este acuífero presenta claramente diferenciadas dos capas: entre 80 y 110 metros de profundidad (de mayor productividad) y luego una de aproximadamente 120 o 130 hasta los 150 metros.

Figura 39. Ubicación espacial del sistema acuífero Villavicencio-Granada - Puerto López - SAP3.1



Fuente: ANLA, 2021

Respecto a la recarga el (IDEAM,2014), esta se produce de dos formas fundamentalmente: recarga del tipo autóctona directa, es decir, la recarga se produce por la infiltración del agua de la lluvia que precipita en el mismo sitio en donde está el acuífero, y lo hace directamente sobre y en el acuífero y recarga alóctona: que se produce en las zonas más altas topográficamente del piedemonte llanero. Vale indicar que según él (IDEAM,2014), este sistema acuífero no cuenta con un nivel adecuado de conocimiento hidrogeológico, no se cuenta con información hidrogeológica detallada que permita la consolidación de un modelo hidrogeológico conceptual. En la Tabla 21, se presentas las características hidráulicas del SAP 3.1.

Tabla 21. Características hidrogeológicas del sistema acuífero Villavicencio-Granada - Puerto López – SAP 3.1

Provincia Hidrogeológica	Código	Unidades hidrogeológicas	Sistema acuífero	Tipo de acuíferos	Parámetros hidráulicos		Área superficial (Km2)
PP3 Llanos Orientales	SAP3.1	Villavicencio-Granada-Puerto López	Acuífero Cuaternario y Acuífero Terciario	Libres a confinados	B= 80 a >230 m	T= 102 a 215 m2/d S= 9.9x10-4 a 1.5x10-3	13.753

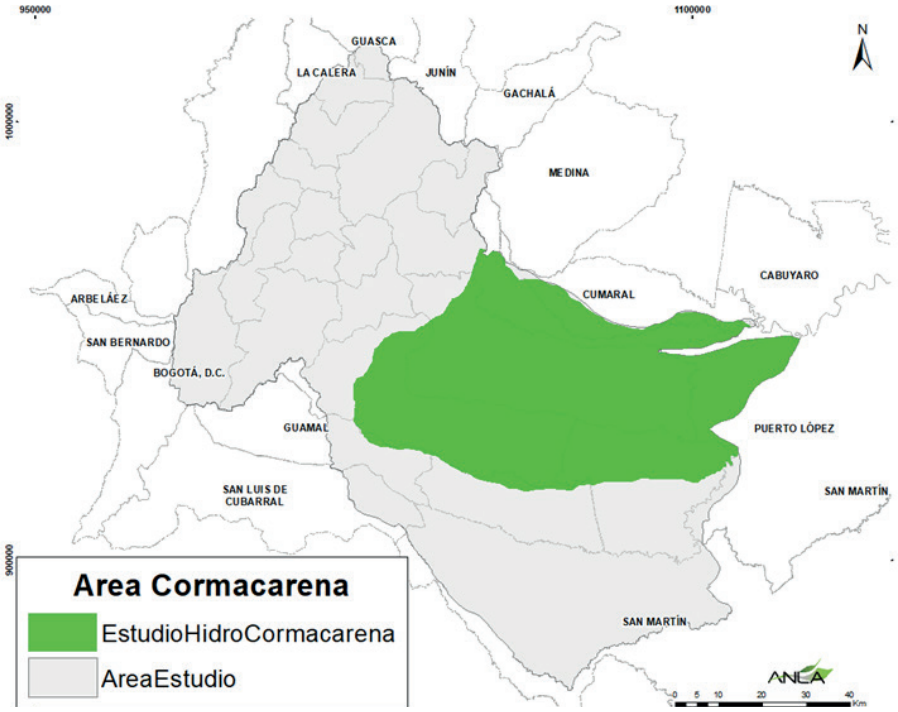
B: Espesor saturado, T: Transmisividad hidráulica, S: Coeficiente de almacenamiento

Fuente. ANLA, 2021 a partir de IDEAM, 2014.

5.2.2.5. Modelo Hidrogeológico Conceptual

Con base en la información disponible, específicamente del estudio hidrogeológico realizado por CORMACARENA en 2015, el cual cubre un 34,4% del área de estudio (Figura 40), y en la información hidrogeológica consultada en los expedientes de la ANLA, a continuación, se describen los componentes que abarcan el modelo hidrogeológico conceptual.

Figura 40. Ubicación espacial del estudio de CORMACARENA, en el área de estudio



Fuente: ANLA, 2021

5.2.2.6. Caracterización Geológica

La cuenca actual Llanos Orientales corresponde a la superposición de varias cuencas de edades diferentes. La columna sedimentaria conocida en la cuenca Llanos Orientales, a partir de los pozos perforados, está representada por rocas precámbricas del basamento, paleozoicas, mesozoicas y cenozoicas, las cuales están separadas por tres grandes discordancias regionales, que se localizan en la base del Paleozoico, Cretáceo Superior y Eoceno Medio (ANH, 2012). A continuación, se presenta un resumen de las rocas según las eras, mesozoico y cenozoico según la columna estratigráfica generalizada de la cuenca Llanos Orientales (ANH, 2012). presentada en la Figura 42.

Mesozoico

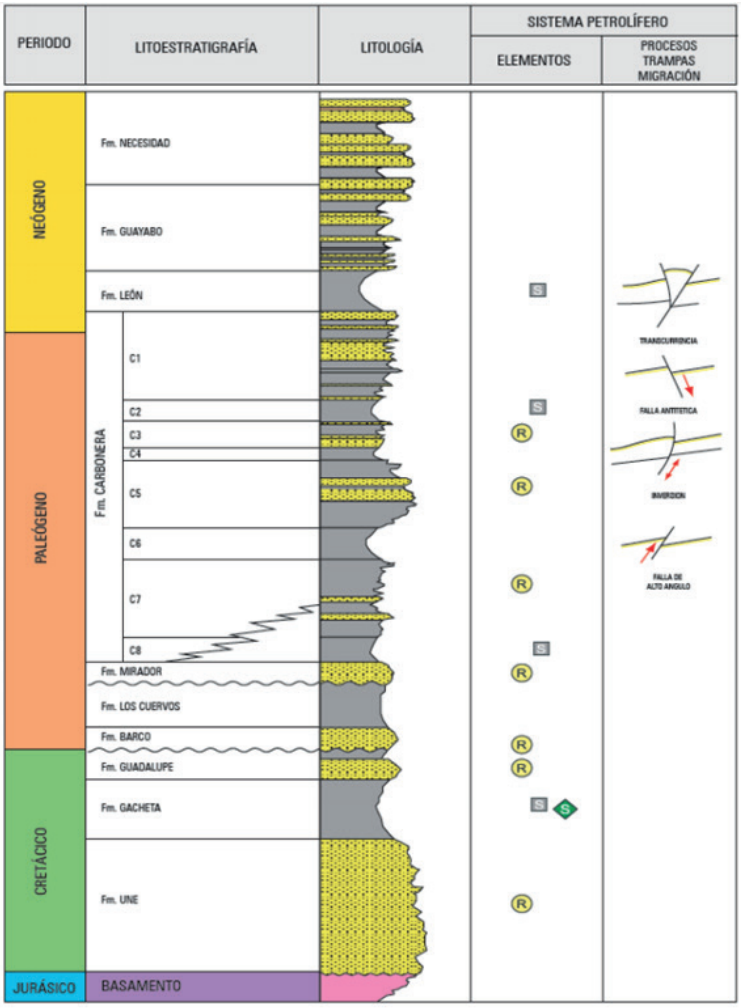
En el área del Meta se reportan dos tipos de basamento: ígneo-metamórfico, de composición diorítica-sienítica y filitas (metamorfismo de bajo grado) - cuarcitas, las cuales podrían ser prolongación del Macizo de Quetame, Formación Saldaña (TJsal). Está conformada por el basamento rocas triásico – jurásicas y las rocas cretácicas compuestas por las Formaciones Une, Gachetá y Guadalupe. En el área del Meta se denomina K2 a la unidad de areniscas correspondientes a la Formación Une, de edad Cenomaniano a Turoniano temprano o Areniscas Inferiores. También incluyen dentro de la Unidad K1, las formaciones Gachetá y Guadalupe. Otros dividen la Unidad K1 en tres partes: K1 inferior y K1 medio (que serían equivalentes a la Formación Gachetá), y K1 superior (Formación Guadalupe). (ECOPETROL. 2020).

Cenozoico

Se encuentra en la cuenca de los Llanos Orientales suprayaciendo directamente la formación Gachetá y el Grupo Guadalupe inconformemente (Figura 41), comprenden de antiguo a reciente las formaciones: Barco-Cuervos, Mirador, Carbonera, León, Guayabo y los depósitos cuaternarios de acuerdo con la nomenclatura que emplea Ecopetrol, por otro lado, el Servicio Geológico Colombiano (2010) a partir de la Formación Mirador difiere de la nomenclatura de Ecopetrol y propone la formación San Fernando correlacionable con la formación Carbonera, la formación Diablo correlacionable con la formación León y las formaciones Caja y Corneta para el intervalo comprendido por la formación Guayabo. (CORMACARENA, 2015).

A su vez, las unidades estratigráficas aflorantes en el Piedemonte Llanero de base a tope son: Arcillas del Limbo (correlacionable con los Cuervos), Areniscas del Limbo la cual es correlacionable con la Formación Mirador y La Formación Corneta correlacionable con La Formación Guayabo.

Figura 41. Columna estratigráfica generalizada de la cuenca Llanos Orientales



Fuente; ANH, 2012

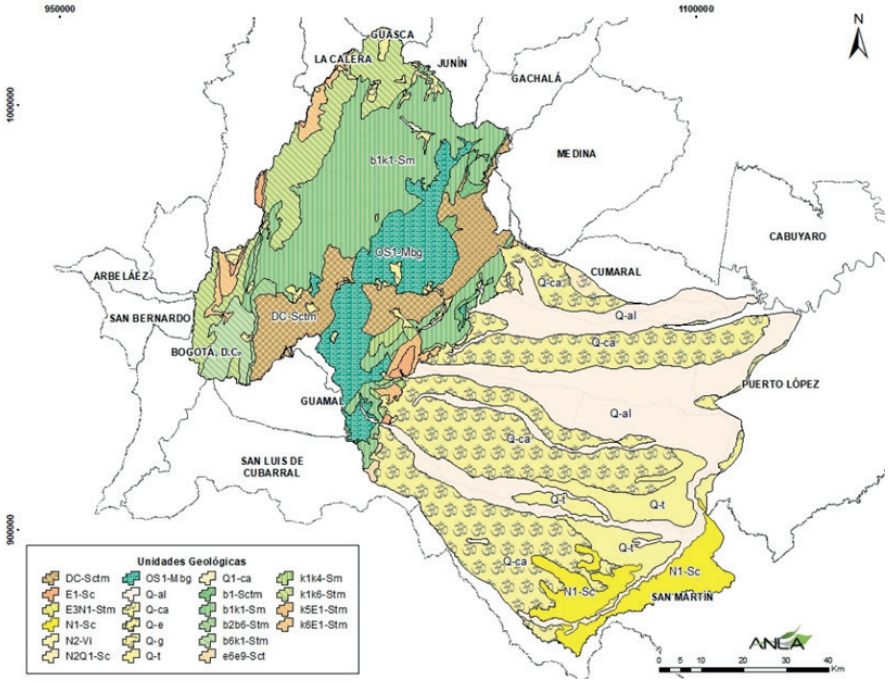
Cuaternario

Se resalta que los abanicos y depósitos aluviales son las unidades más representativas del área de estudio y cubren un área del 50%. En la Figura 42 se presentan las unidades geológicas que afloran en superficie según el Atlas Geológico 2015 elaborado por el SGC a una escala 1:100.000.

Los abanicos corresponden a una acumulación de material, se observa como un extenso depósito en forma de cono que proviene desde el Piedemonte. En el área de estudio se pueden observar varios abanicos como los de Villavicencio, Acacias y Restrepo (CORMACARENA, 2015). Respecto a los depósitos aluviales recientes están restringidos a los cauces de los ríos mayores tales como Guatiquía, Guayuriba, Acacías y Guamal. El retrabajamiento continuo de las orillas, producido por los constantes cambios entre aguas altas y bajas, ha producido las llanuras aluviales de desborde, los diques y los bancos, que

se elevan unos pocos metros por encima del nivel de la llanura pero que producen gran dificultad al transporte en algunas épocas del año (Ecopetrol, 2020).

Figura 42. Unidades Geológicas aflorantes en Superficie en el área de estudio de CORMACARENA



Fuente: ANLA, 2021

5.2.2.7. Unidades Hidrogeológicas

Para el desarrollo de este ítem se tuvo en cuenta el estudio realizado por Cormacarena, en el cual se indica que se definieron cinco (5) tipos de unidades hidrogeológicas: Sedimentos y Rocas con Flujo Esencialmente Intergranular, Rocas Con Flujo Esencialmente A Través De Fracturas, Rocas Con Flujo Combinado, Intergranular y Por Fisuras, Sedimentos y Rocas Esencialmente Carentes De Recursos Explotables De Agua Subterránea y Casos Especiales (CORMACARENA, 2015). En la Figura 43, se presentan las unidades hidrogeológicas.

Sedimentos y Rocas con Flujo Esencialmente Intergranular

Debido a su poca profundidad, caudales producidos y calidad del agua, esta unidad hidrogeológica, se convierte en la principal fuente de explotación de aguas subterráneas por parte de la comunidad y sobre la cual se construyen los aljibes y pozos, reportados. Dentro de esta unidad se pueden diferenciar los siguientes acuíferos:

Acuífero Guayabo Caja (AGyC)

Corresponde al acuífero principal del área de extensión regional discontinuo, multicapa, de alta a muy alta productividad, de tipo semiconfinado hasta confinado, con flujo esencialmente inter granular asociado a sedimentos granulares con alta variación lateral de facies (debido a su génesis) que varían desde gravas gruesas hasta arenas de grano medio a fino, de la Formación Guayabo (Caja) con capacidades especificas reportados desde 2 l/s/m Según información compilada, registros de pozos, e información geofísica, se estima que este acuífero, se encuentra a partir de los 25 m a 30 m; y de acuerdo con reportes de pozos exploratorios para hidrocarburos su espesor es de 1292 m en el área de Suria m y 466 m en el área de Chichimene Debido a que presenta una variación vertical alta la productividad del mismo depende única y exclusivamente de las capas permeables que se atraviesen. El agua asociada en general es apta para consumo humano; hoy en día su principal uso es para actividades mixtas e industriales.

Cuaternario – (AcQ) (Depósitos de Abanicos aluviales, Depósitos de terrazas).

Corresponde a acuíferos de extensión regional discontinuos, multicapa, de baja a mediana productividad, de tipo cubierto a semiconfinado, con flujo esencialmente intergranular asociados a sedimentos granulares con alta variación lateral de facies (debido a su génesis) que varían desde gravas gruesas hasta arenas de grano medio a fino, con capacidades especificas reportados desde 0.25 l/s/m hasta 2 l/s/m, con profundidades desde los 4 m a los 30 m. Se estima un espesor máximo del orden de los 50 m. El agua asociada en general es apta para consumo humano. Hoy en día su uso principal es para consumo humano.

Acuífero Cuaternario – (AcQal) (Depósitos aluviales recientes)

Corresponde a acuíferos de extensión local discontinuos, multicapa, de baja a muy baja productividad, de tipo cubierto a semiconfinado, con flujo esencialmente intergranular asociados a sedimentos granulares con alta variación lateral de facies (debido a su génesis) que varían desde arenas de grano medio a fino, Se estima que su espesor no debe ser mayor a los 15 m y su capacidad 0.05 l/s/m. El agua asociada en general se estima es apta para consumo humano.

Acuífero Corneta (AcCn)

Corresponde a un acuífero de extensión local discontinuos, de baja productividad, de tipo cubierto a semiconfinado, con flujo esencialmente intergranular asociado a depósitos aglomerados de la Formación Corneta que se caracterizan por ser cantos de gran tamaño envueltos en matriz limo arcillosa. Se estima que su profundidad no debe ser mayor a los 30 m en el área de estudio Se estima que las capacidades especificas son del orden de 0.05 l/s/m, y el l agua asociada en general debe ser es apta para consumo humano debo a su cercanía la superficie.

Rocas con flujo combinado granular y por fracturas.

Es un sistema de acuíferos discontinuos de extensión regional, de tipo confinado asociado a areniscas localmente de grano grueso a muy grueso correlacionables con la Formación Areniscas del Limbo (Formación Mirador) y Grupo Palmichal (Grupo Guadalupe).

Acuífero Limbo Palmichal (Aclp)

Acuífero de extensión local, continuo, confinado, donde se ha producido un aumento de su porosidad primaria como consecuencia del tectonismo a que ha sido sometido. Asociado litoestratigráficamente con las capas de areniscas de las formaciones Limbo y Palmichal. Se estima que su capacidad específica es del orden de 0.05 l/s/m. en cuanto a su calidad se estima que no es apta para consumo humano y ya que en algunas zonas estas unidades son reservorios de hidrocarburos lo más probable es que el agua asociada tenga trazas de estos, así, como un alto contenido de sales.

Rocas con flujo esencialmente a través de fracturas

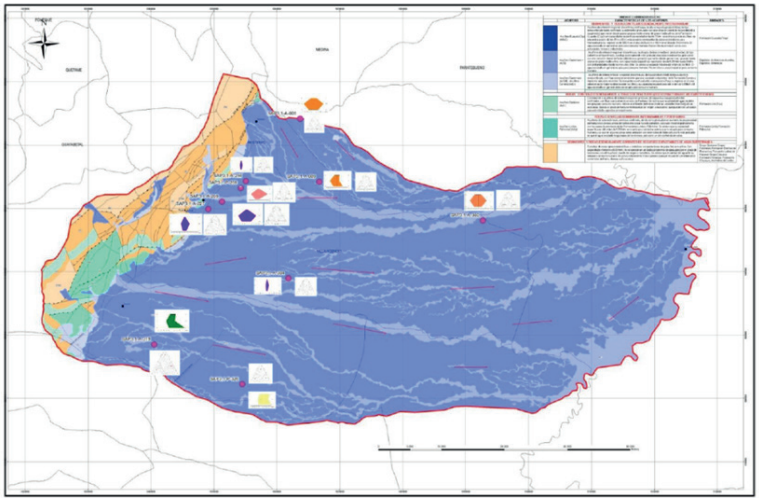
Acuífero Cretácico Une (Ack)

Corresponde a acuíferos de extensión regional continuos, de baja a muy baja productividad, confinados, con flujo esencialmente a través de fracturas. Se estima que la calidad del agua no debe ser apta para consumo humano, debido al ambiente de formación de las unidades litoestratigráficas asociadas. Debido al grado de fracturamiento puede dar origen a 12 nacederos que pueden ser utilizados para actividades agrícolas principalmente.

Rocas Esencialmente Carentes de Recursos Explotables De Agua Subterránea

Grupo Quetame, Grupo Farallones, Formación Brechas de Buenavista, Formación Lutitas de Macanal, Grupo Cáqueza Formación Fómeque, Formación Chipaque, Arcillolitas del Limbo. Complejo de rocas ígneo-metamórficas y cretácicas compactas duras de grano fino a muy fino. Con capacidades menores a 0.05 l/s/m. No se consideran unidades productoras de agua, pero por el grado de tectonismo a nivel muy local, puede dar origen a nacederos donde afloran que pueden ser utilizados para riego y/o ganadería únicamente, debido a su calidad fisicoquímica (ya que se pueden presentar altos contenidos de hierro, dureza, sulfuros etc.).

Figura 43. Unidades hidrogeológicas identificadas en el área de estudio de Cormacarena

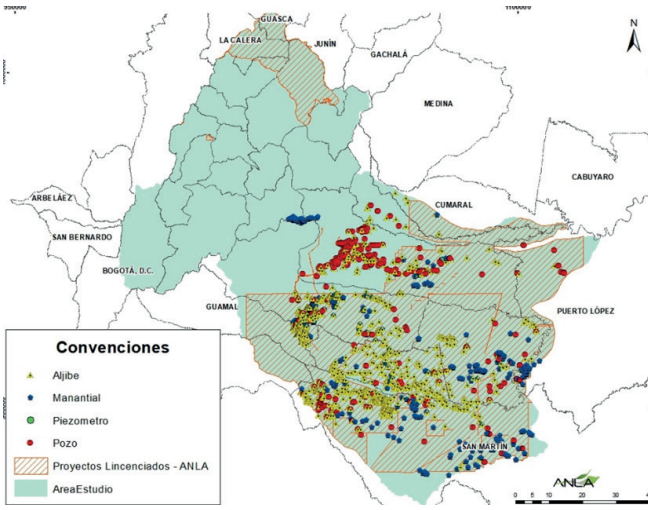


Fuente: CORMACARENA, 2015

5.2.2.8. Inventario de Puntos de Agua Subterránea

Con base en el inventario de puntos hidrogeológicos de los diferentes proyectos licenciados por ANLA, y del inventario de puntos de agua realizado por CORMACARENA se logró identificar 2466 puntos hidrogeológicos en el área de estudio, distribuidos en su gran mayoría en el centro y sur del área de estudio consecuente con la distribución de la información fuente. En total se inventariaron 1743 aljibes, 424 manantiales, 296 pozos y 3 piezómetros. En la Figura 44 se presentan la distribución espacial del inventario en el área de trabajo.

Figura 44. Distribución espacial de los puntos hidrogeológicos en el área de estudio.

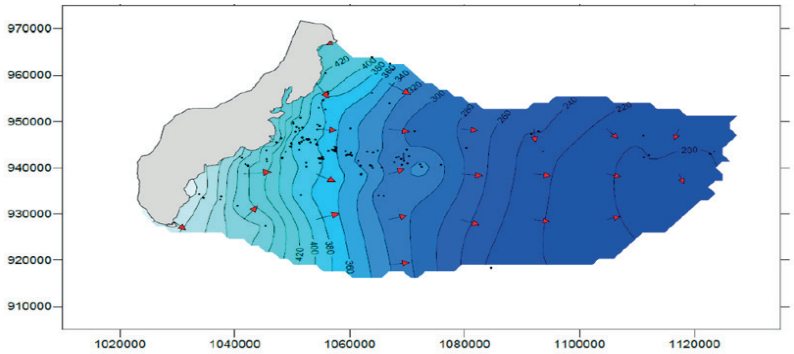


Fuente: ANLA, 2021

5.2.2.9. Determinación de flujo

Se identificó que en el área de estudio de CORMACARENA (Figura 45) los niveles de agua varían entre 0.6 m y 12 m de profundidad, siendo la zona de Villavicencio donde se reportan los valores más profundos de nivel; por otro lado, se observa una dirección preferencial de flujo a nivel regional oeste – este con algunos flujos locales (CORMACARENA, 2015).

Figura 45. Dirección de flujo de las unidades hidrogeológicas someras



Fuente: CORMACARENA, 2015

5.2.2.10. Estimación de la recarga

Para el área de estudio, se define la zona de recarga regional para los acuíferos someros en el piedemonte de la cordillera oriental donde afloran los depósitos cuaternarios y se presentan las mayores precipitaciones. En cuanto a la zona de descarga regional , se establece al Río Metica, el cual se encuentra al Este de la zona de estudio, siguiendo la dirección de flujo de aguas subterráneas (Figura 46) y es de carácter permanente (CORMACARENA, 2015).

Figura 46. Esquema de la recarga potencial de las unidades hidrogeológicas

Fuente: CORMACARENA, 2015

5.2.2.11. Caracterización Hidráulica

Para la caracterización hidráulica de las unidades geológicas presentes en el área de estudio se tuvo en cuenta las pruebas de bombeo realizadas en el marco del estudio de (CORMACARENA, 2015) y en los diferentes estudios de impacto ambiental de los proyectos licenciados en el área de influencia., a continuación, se describen las características hidráulicas por unidad geológica.

Unidades del Cuaternario

En total se compilaron 50 pruebas de bombeo, de la cuales, 43 fueron realizadas en las unidades geológicas que conforman el cuaternario, acuíferos libres y semiconfinados, En la Figura 47 se presenta la ubicación de las muestras de bombeo conforme su valor de transmisividad ubicadas en las unidades geológicas superficiales.

Depósitos aluviales y de llanuras aluviales – Q-al

Sobre esta unidad se realizaron 5 pruebas de bombeo en aljibes con un promedio de duración de 150 minutos, el caudal de prueba oscilo entre los 0,4 a 15 l/s y una profundidad máxima de 8.8 m.

Los registros de transmisividad varían entre 6 a 1850 m2/día, con un promedio de 373 m2/día, registros que indican valores de baja a alta productividad. Respecto a la conductividad hidráulica, los registros oscilaron entre 2,3 a 60 m/d, lo que indica un acuífero de media a alta productividad. Lo anterior evidencia la heterogeneidad de la unidad a lo largo del área de estudio, pero por sus valores medios esta unidad es la más productiva del área de estudio.

Abanicos aluviales y depósitos coluviales – Q-ca

Sobre esta unidad se realizaron 25 pruebas de bombeo en aljibes y pozos con un promedio de duración de 800 minutos, el caudal de prueba oscilo entre los 0,4 a 4.6 l/s y una profundidad máxima de 16 m.

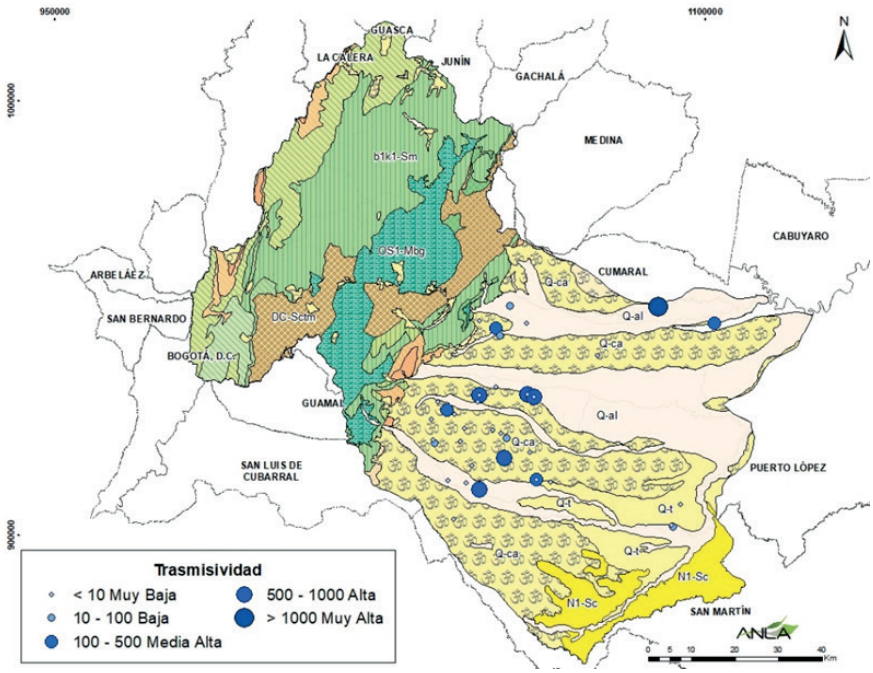
Los registros de transmisividad varían entre 5.9 a 359 m2/día, con un promedio de 75 m2/día, registros que indican valores de baja a alta productividad. Respecto a la conductividad hidráulica, los registros oscilaron entre 0.5 a 71.8 m/d con un promedio de 16.8 m/d, lo que indica un acuífero de baja a alta productividad. Lo anterior evidencia la heterogeneidad de la unidad a lo largo del área de estudio.

Terrazas aluviales – Q-t

Sobre esta unidad se realizaron 12 pruebas de bombeo en aljibes y pozos con un promedio de duración de 350 minutos, el caudal de prueba oscilo entre los 0,4 a 14 l/s y una profundidad máxima de 16 m.

Los registros de transmisividad varían entre 4 a 192 m2/día, con un promedio de 60 m2/día, registros que indican valores de baja a alta productividad. Respecto a la conductividad hidráulica, los registros oscilaron entre 1.6 a 10.1 m/d con un promedio de 4.7 m/d, lo que indica un acuífero de baja a media productividad. Lo anterior evidencia que esta unidad es la menos productiva de las unidades que conforman el cuaternario.

Figura 47. Distribución espacial de los puntos hidrogeológicos en el área de estudio.



Fuente: ANLA, 2021

Unidades Geológicas Terciario

Las pruebas de bombeo se registran sobre el acuífero confinado de la Formación Guayabo a continuación se describen las características hidráulicas:

Formación Guayabo

Sobre esta unidad se realizaron 7 pruebas de bombeo en pozos con un promedio de duración de 670 minutos, el caudal de prueba oscilo entre los 1,2 a 14 l/s y una profundidad máxima de 177.4 m.

Los registros de transmisividad varían entre 50 a 688 m2/día, con un promedio de 216 m2/día, registros que indican valores de baja a alta productividad. Respecto a la conductividad hidráulica, los registros oscilaron entre 3,9 a 42 m/d con un promedio de 14,3 m/d, lo que indica un acuífero de baja a media a alta productividad.

5.2.2.12. Caracterización Hidrogeoquímica - Calidad del Agua

Para la caracterización hidrogeoquímica del área de estudio se compilaron los muestreos fisicoquímicos realizados en los estudios de impacto ambiental y en el estudio de Cormacarena, en total se compilaron 1490 muestras con alguna caracterización fisicoquímica y microbiológica. En la Tabla 22 se presenta la

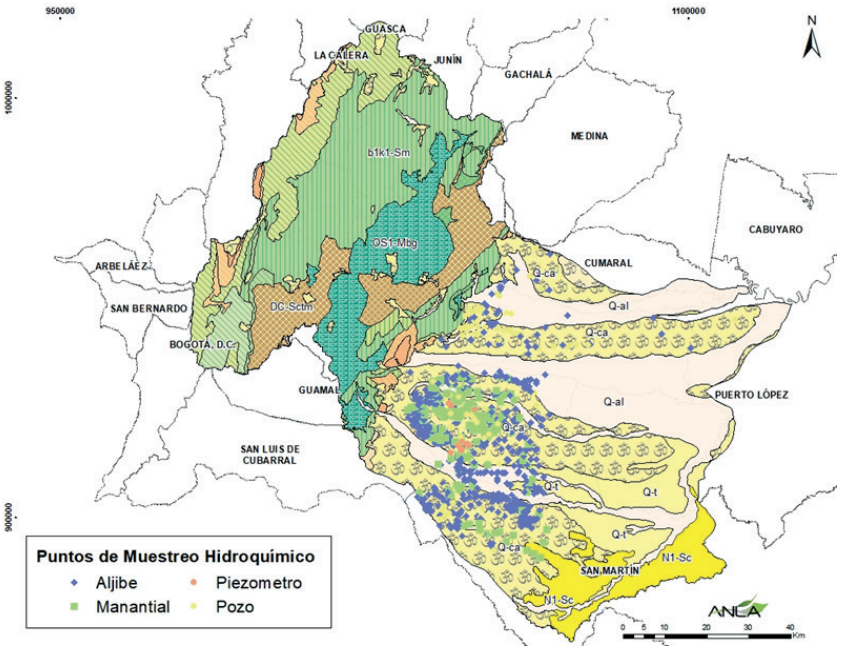
distribución de las muestras en función de la fuente, unidad geológica y tipo de punto. A su vez, en la Figura 48 se presenta la distribución espacial.

Tabla 22. Distribución de las muestras hidroquímicas por fuente, unidad geológica y tipo de punto.

Fuente	No de muestras	Unidad Geológica	No de muestras	Tipo de Punto	No de muestras
LAM0227	539	Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	464	Aljibe	1059
LAV0070-2013	294	Abanicos aluviales y depósitos coluviales	837	Manantial	281
LAV0081-2013	208	Terrazas Aluviales	140	Pozo	128
LAV0083-2013	342	F. Guayabo	49	Piezómetro	22
CORMACARENA	107				
	1490		**1490**		**1490**

Fuente: ANLA, 2021

Figura 48. Distribución espacial de los muestreos hidroquímicos en el área de estudio



Fuente: ANLA, 2021

A continuación, se describe la hidroquímica del área de estudio por unidad geológica.

Depósitos aluviales y de llanuras aluviales – Q-al

En esta unidad se compilaron 464 caracterizaciones fisicoquímicas, de las cuales 183 reportaron registros de temperatura, 185 de conductividad eléctrica, 165 de pH y 249 de coliformes totales. A continuación, se hace un análisis de estos parámetros.

La temperatura del agua en los depósitos aluviales oscilo entre 19 y 29,9 °C con una media de 25.3 °C, temperatura similar a la media atmosférica la cual está entre 25 a 27 °C., al ser esta una unidad superficial, la temperatura del agua se ve afectada por la temperatura atmosférica. En la tabla 23, se referencian las variables estadísticas de la temperatura.

La conductividad eléctrica indica la facilidad del agua para conducir la corriente y es directamente proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua (iones disueltos). En general, las mediciones tomadas en el área de estudio tienen una tendencia normal, con valores de conductividad bajos, propios de unidades acuíferas con niveles freáticos someros y tiempos cortos de residencia.

Para el área de estudio, el pH tiene un comportamiento ácido con un valor de 5, en consecuencia, el agua tiene un mayor grado de agresividad facilitando los procesos de disolución. A su vez, el carácter acido del agua puede explicarse por la tendencia ácida de los suelos de los llanos orientales (Huertas, Rangel et al. 2018) Los valores de pH para el área de estudio oscilaron entre 4 y 9.8 unidades.

Tabla 23. Estadística descriptiva de los parámetros generales caracterizados en los Depósitos aluviales y de llanuras aluviales

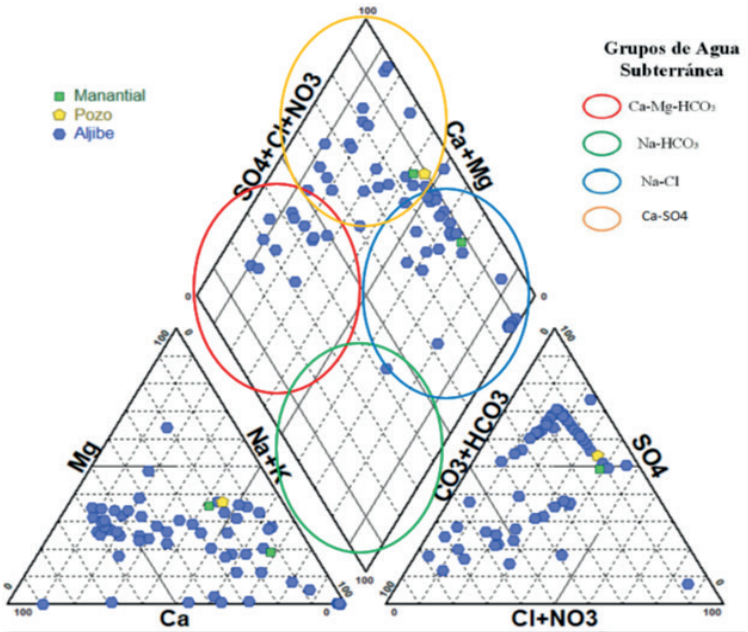
Parámetros	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Rango	Mínimo	Máximo	No de datos
Temperatura (°C)	24,3	25,3	25,3	2,7	10,6	19	29,6	183
Conductividad (µS/cm)	41,1	22,1	19	64,7	429	1	430	185
pH	5	4,9	4,8	0,6	5,7	4	9,8	165
Coliformes Totales (NMP/100ml)	4710,7	3	3	12638,8	61670	0	61670	249

Fuente: ANLA, 2021

Para determinar las facies hidrogeoquímicas del agua subterránea se utilizaron las muestras fisicoquímicas que presentaban registros de los iones mayoritarios completos (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}), las cuales fueron 161 de 464. Posterior a ello se estimó el error analítico, con el cual, se descartó aquellas muestras con error mayor a ±10%. En total 80 muestras cumplieron el error de balance iónico, y con base en ellas se determinaron las facie hidrogeoquímica del agua.

El diagrama de Piper Figura 49 muestra principalmente tres facies de aguas: agua sulfatada cálcica, ii aguas bicarbonatada cálcica y/o magnésica y en menor proporción iii aguas del tipo cloruradas y/o sulfatadas sódicas.

Figura 49. Diagrama de Piper Depósitos aluviales y de llanuras aluviales – Q-al



Fuente: ANLA, 2021

Calidad del agua

Respecto al tema de calidad del agua subterránea presente en los depósitos aluviales se evidencia una contaminación por coliformes totales como se evidencia en la Tabla 23, la concentración media es de 4710 NMP/100 ml, concentración cercana al límite máximo permisible (5000 NMP/100ml) establecida por el Parágrafo 1 del ARTÍCULO 2.2.3.3.9.5. del decreto 1076 de 2015. Se resalta que 38 registros de los 249 disponibles presentaron valores mayores a 5000 NMP/100ml, con un valor máximo de 61.670 NMP/100ml.

Por otro lado, se indica que no se presentaron valores atípicos para los parámetros de interés sanitario (metales y metaloides, hidrocarburos, fenoles), en su mayoría todos los registros reportados se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método.

Abanicos aluviales y depósitos coluviales – Q-ca

En esta unidad se compilaron 837 caracterizaciones fisicoquímicas, de las cuales 359 presentaron registro para temperatura, 359 para conductividad eléctrica, 168 pH y 74 para coliformes totales. A continuación, se hace un análisis de estos parámetros.

La temperatura del agua en los depósitos aluviales oscilo entre 19 y 35 °C con una media de 26.3 °C, temperatura similar a la media atmosférica la cual está entre 25 a 27 °C., al ser esta una unidad superficial, la temperatura del agua se ve afectada por la temperatura atmosférica. En la Tabla 24, se referencian las variables estadísticas de la temperatura

La conductividad eléctrica indica la facilidad del agua para conducir la corriente y es directamente proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua (iones disueltos). En general, las mediciones tomadas en el área de estudio tienen una tendencia normal, con valores de conductividad bajos, propios de unidades acuíferas con niveles freáticos someros y tiempos cortos de residencia. Se registró una conductividad media de 20 µS/cm.

Para el área de estudio, el pH tiene un comportamiento ácido con un valor de 5, en consecuencia, el agua tiene un mayor grado de agresividad facilitando los procesos de disolución. A su vez, el carácter acido del agua puede explicarse por la tendencia ácida de los suelos de los llanos orientales (Huertas, Rangel et al, 2018). Los valores de pH para el área de estudio oscilaron entre 4 y 7,1 unidades.

Tabla 24. Estadística descriptiva de los parámetros generales caracterizados en los Abanicos aluviales y depósitos coluviales – Q-ca

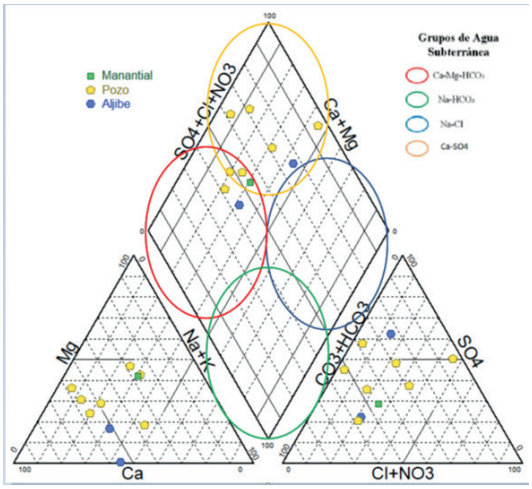
Parámetros	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Rango	Mínimo	Máximo	No de datos
Temperatura (ºC)	26,4	26,9	27,1	2,5	16,1	19,0	35,1	359
Conductividad (µS/cm)	20,9	15,0	15,0	27,2	331,8	0,2	332,0	359
pH	5,24	5,16	4,96	0,58	3,21	3,96	7,17	168
Coliformes Totales (NMP/100ml)	5489,6	527	10000	13610,6	75558	2	75560	74

Fuente: ANLA, 2021

Para determinar las facies hidrogeoquímicas del agua subterránea se utilizaron las muestras fisicoquímicas que presentaban registros de los iones mayoritarios completos (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}), las cuales fueron 75 de 873. Posterior a ello se estimó el error analítico, con el cual, se descartó aquellas muestras con error mayor a ±10%. En total 10 muestras cumplieron el error de balance iónico, y con base en ellas se determinó la facie hidrogeoquímica del agua.

El diagrama de Piper Figura 50 muestra principalmente una facie hidrogeoquímica sulfatada cálcica, Las aguas del tipo sulfatadas, tendrían un mayor tiempo de circulación de acuerdo con la secuencia de Chevotarev o esta composición podría estar influenciada por la oxidación de minerales ricos en sulfuros como la pirita (FeS2) presente en algunas formaciones aflorantes en el piedemonte, también en esquistos piritosos o magnesianos y del lavado de terrenos formados en ambientes marinos. Estas aguas tendrían recorridos menos activos, recorridos más largos y mayores tiempos de permanencia (CORMACARENA, 2015).

Figura 50. Diagrama de Piper Abanicos aluviales y depósitos coluviales – Q-ca



Fuente: ANLA, 2021

Calidad del agua

Respecto al tema de calidad del agua subterránea presente en los abanicos aluviales se evidencia una contaminación por coliformes totales como se evidencia en la Tabla 25, la concentración media es de 5489 NMP/100 ml, concentración superior al límite máximo permisible (5000 NMP/100ml) establecida por el Parágrafo 1 del ARTÍCULO 2.2.3.3.9.5. del decreto 1076 de 2015. También se resalta que 22 muestras ubicadas en el área de influencia de los expedientes LAM0227 y LAV0081-2013, presentan valores para el arsénico mayores (10 mg/l) al límite máximo permisible (0.1 mg/l) establecido en el ARTÍCULO 2.2.3.3.9.5. del decreto 1076 de 2015.

Por otro lado, se indica que no se presentaron valores atípicos para los parámetros de interés sanitario (metales y metaloides (excepción del arsénico), hidrocarburos, fenoles entre otros), en su mayoría todos los registros reportados se encontraron por debajo del límite de detección del método.

Terrazas aluviales – Q-t

En esta unidad se compilaron 140 caracterizaciones fisicoquímicas, de las cuales en 16 se reportó temperatura, 16 conductividad eléctrica, 16 pH y 15 coliformes totales. A continuación, se hace un análisis de estos parámetros.

La temperatura del agua en los depósitos aluviales oscilo entre 25,3 y 28,2 °C con una media de 26,6 °C, temperatura similar a la media atmosférica la cual está entre 25 a 27 °C, al ser esta una unidad superficial, la temperatura del agua se ve afectada por la temperatura atmosférica. En la Tabla 26, se referencian las variables estadísticas de la temperatura

La conductividad eléctrica indica la facilidad del agua para conducir la corriente y es directamente proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua (iones disueltos). En general, las mediciones tomadas en el área de estudio tienen una tendencia normal, con valores de conductividad bajos, propios de unidades acuíferas con niveles freáticos someros y tiempos cortos de residencia. Se registró una conductividad media de 25 µS/cm.

Para el área de estudio, el pH tiene un comportamiento ácido con un valor de 5,5, en consecuencia, el agua tiene un mayor grado de agresividad facilitando los procesos de disolución. A su vez, el carácter acido del agua puede explicarse por la tendencia ácida de los suelos de los llanos orientales (Huertas, Rangel et al, 2018). Los valores de pH para el área de estudio oscilaron entre 4,6 y 6 unidades.

Tabla 25. Estadística descriptiva de los parámetros generales caracterizados en las Terrazas aluviales – Q-t

Parámetros	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Rango	Mínimo	Máximo	No de datos
Temperatura (ºC)	26,6	26,7	26,7	1,0	2,9	25,3	28,2	16
Conductividad (µS/cm)	32,7	25,5	17,8	25,1	87,3	7,5	94,8	16
pH	5,4	5,5	5,5	0,4	1,4	4,6	6,0	16
Coliformes Totales (NMP/100ml)	661,9	435	3,0	817	2417	3,0	2420	15

Para determinar las facies hidrogeoquímicas del agua subterránea se utilizaron las muestras fisicoquímicas que presentaban registros de los iones mayoritarios completos (Ca2+, Mg2+, Na+, HCO3-, SO42-, Cl-), las cuales fueron 15 de 140. Posterior a ello, se estimó el error analítico, con el cual, se descartó aquellas muestras con error mayor a 10%. En total 1 muestra cumplió el error de balance iónico, la cual, no es representativa para determinar las facies hidrogeoquímicas del agua presente en la unidad geológica.

Calidad del agua

Respecto al tema de calidad del agua subterránea presente en las terrazas no se presentaron valores atípicos para los parámetros de interés sanitario (coliformes totales y fecales, metales y metaloides, hidrocarburos, fenoles entre otros), en su mayoría todos los registros reportados se encontraron por debajo del límite de detección del método.

Formación Guayabo

En esta unidad se compilaron 49 caracterizaciones fisicoquímicas, de las cuales 25 reportaron temperatura, 25 conductividad eléctrica, 25 pH y 24 coliformes totales. A continuación, se hace un análisis de estos parámetros. En la Tabla 26, se referencian las variables estadísticas.

La temperatura del agua en la Formación Guayabo oscilo entre 19 y 35 ºC con una media de 21 ºC, temperatura menos a la temperatura atmosférica 25 a 27 ºC., al ser esta una unidad más profunda, la temperatura del agua no guarda relación con la temperatura atmosférica.

La conductividad eléctrica indica la facilidad del agua para conducir la corriente y es directamente proporcional a la cantidad de sales disueltas en el agua (iones disueltos). En general, las mediciones tomadas en el área de estudio tienen una tendencia normal, con valores de conductividad más mineralizados que las unidades del cuaternario. Se registró una conductividad media de 64,47 µS/cm.

Para el área de estudio, el pH tiene un comportamiento ácido con un valor de 5,7, en consecuencia, el agua tiene un mayor grado de agresividad facilitando los procesos de disolución. Los valores de pH para el área de estudio oscilaron entre 4,56 y 7,55 unidades.

Tabla 26. Estadística descriptiva de los parámetros generales caracterizados en la Formación Guayabo

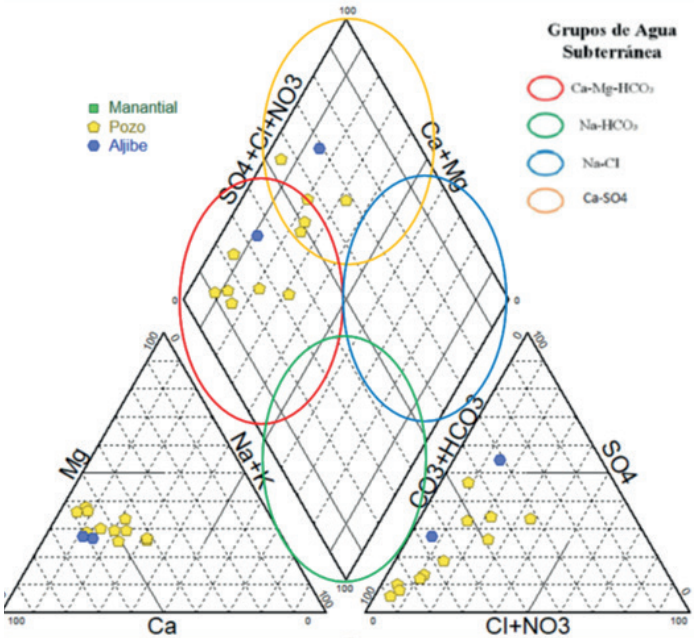
Parámetros	Media	Mediana	Moda	Desviación estándar	Rango	Mínimo	Máximo	No de datos
Temperatura (ºC)	21,6	20,2	19,4	3,7	16,3	19,4	35,7	25
Conductividad (µS/cm)	64,4	35,2	N/D	94,9	414,9	1,1	416,	25
pH	5,7	5,7	N/D	0,8	2,9	4,5	7,5	25
Coliformes Totales (NMP/100ml)	7558,7	71,8	3	18483,3	72147	3	72150	24

Fuente: ANLA, 2021

Para determinar las facies hidrogeoquímicas del agua subterránea se utilizaron las muestras fisicoquímicas que presentaban registros de los iones mayoritarios completos (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}), las cuales fueron 25 de 49. Posterior a ello, se estimó el error analítico, con el cual, se descartó aquellas muestras con error mayor a ±10%. En total 13 muestras cumplieron el error de balance iónico, y con base en ellas se determinó las facies hidrogeoquímicas del agua.

El diagrama de Piper Figura 51 muestra principalmente dos facies de aguas: agua sulfatada cálcica y ii aguas bicarbonatada cálcica y/o magnésica.

Figura 51. Diagrama de Piper Formación Guayabo



Fuente: ANLA, 2021

Calidad del agua

Respecto al tema de calidad del agua subterránea presente en la formación guayabo se evidencia una contaminación por coliformes totales como se evidencia en la Tabla 26, la concentración media es de 7558,7 NMP/100 ml, concentración superior al límite máximo permisible (5000 NMP/100ml) establecida por el Parágrafo 1 del ARTÍCULO 2.2.3.3.9.5. del decreto 1076 de 2015. Se resalta que 6 registros de los 24 disponibles presentaron valores mayores a 5000 NMP/100ml, con un valor máximo de 72147 NMP/100ml.

Por otro lado, se indica que no se presentaron valores atípicos para los parámetros de interés sanitario (metales y metaloides, hidrocarburos, fenoles entre otros), en su mayoría todos los registros reportados se encontraron por debajo del límite de cuantificación del método.

5.2.2.13. Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación

El análisis de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de los acuíferos se realizó en el área correspondiente al piedemonte como se presenta en la Figura 52, dado que es en esta área donde se tiene algún grado de información hidrogeológica. Dada la información disponible la metodología empleada para la determinación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación fue GOD, en el cual según (VARGAS, 2010), nos solicita 3 variables para determinarla, G: Grado de confinamiento hidráulico; O: Litología de la zona no saturada y D: Profundidad del agua subterránea o del techo del acuífero confinado. Con base en la ponderación de cada variable la vulnerabilidad será;

$$V=G*O*D$$

Y la categoría será en función del puntaje obtenido como se presenta en la Tabla 27:

Tabla 27. Categorías de vulnerabilidad para el método GOD.

Puntaje	Vulnerabilidad
0.7 – 1.0	Extrema
0.5 – 0.7	Alta
0.3 – 0.5	Moderada
0.1 – 0.3	Baja
<0.1	Despreciable

Fuente: ANLA, 2021

A continuación, se describe la vulnerabilidad por unidad geológica aflorante en superficie (Tabla 28):

Depósitos aluviales y de llanuras aluviales – Q-al

G= Corresponde a acuíferos de extensión regional discontinuos, multicapa, de baja a mediana productividad, de tipo libre, con flujo esencialmente intergranular asociados a sedimentos granulares con alta variación lateral de facies. Ponderación 1

O= gravas gruesas hasta arenas de grano medio a fino. Ponderación 1

D= Profundidad de la lámina de agua desde los 4 m a los 30 m. Ponderación 0.9

Tabla 28. Valoración de la vulnerabilidad unidad – Q-al

Atributo	Ponderación
G	1
O	0,8
D	0,9
	0,7
Vulnerabilidad	Alta

Fuente: ANLA, 2021

Abanicos aluviales y depósitos coluviales – Q-ca y Terrazas aluviales – Q-t (Tabla 29)

G= Corresponde a acuíferos de extensión regional discontinuos, multicapa, de baja a mediana productividad, de tipo libre a semiconfinado, con flujo esencialmente intergranular asociados a

sedimentos granulares con alta variación lateral de facies. Ponderación 1

O= Gravas gruesas hasta arenas de grano medio a fino. Ponderación 0.8

D= Profundidad de la lámina de agua desde los 4 m a los 30 m. Ponderación 0.9

Tabla 29. Valoración de la vulnerabilidad unidad – Q-ca y Q-t

Atributo	Ponderación
G	1
O	0,8
D	0,9
	0,7
Vulnerabilidad	Alta

Fuente: ANLA, 2021

Formación Guayabo

G= Corresponde al acuífero principal del área de extensión regional discontinuo, multicapa, de alta a muy alta productividad, de tipo semiconfinado hasta confinado, con flujo esencialmente intergranular asociado a sedimentos granulares con alta variación lateral de facies. Ponderación 0.2

O= Gravas gruesas hasta arenas de grano medio a fino. Ponderación 0.8

D= Se estima que este acuífero, se encuentra a partir de los 25 m a 30 m. Ponderación 0.7

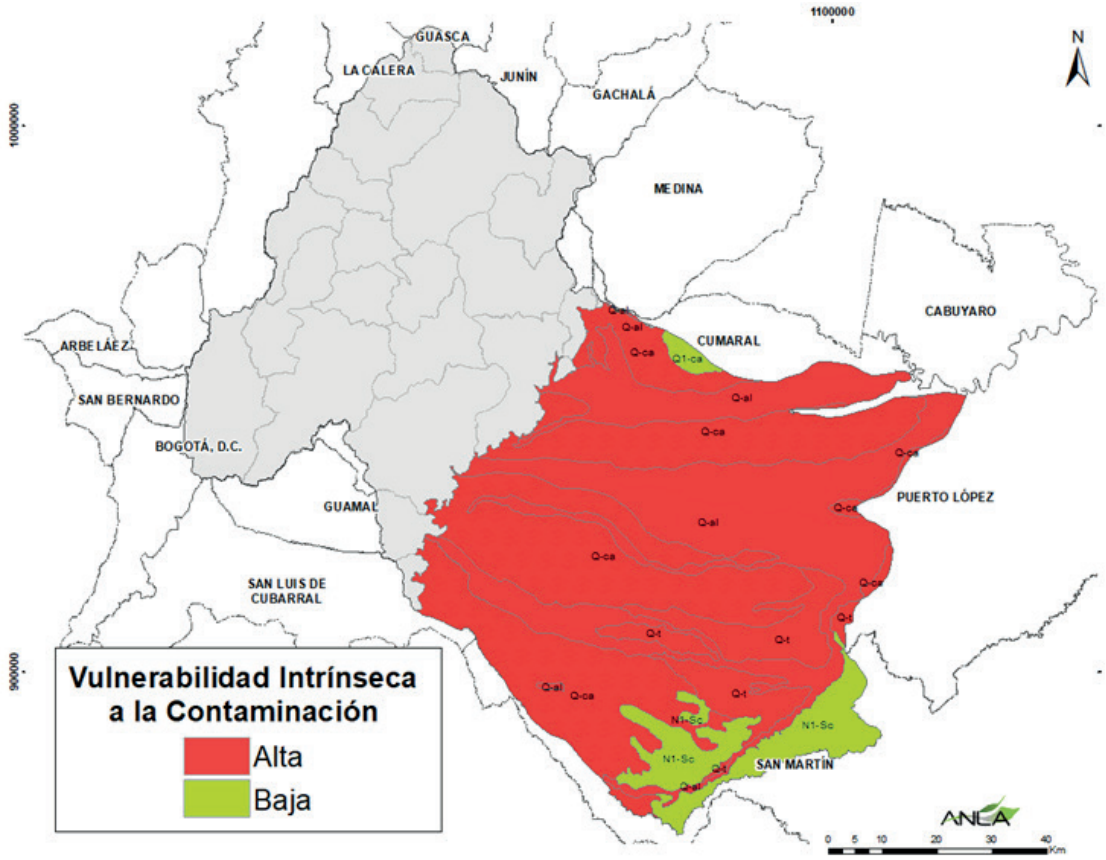
Tabla 30. Valoración de la vulnerabilidad F. Guayabo

Atributo	Ponderación
G	0,4
O	0,8
D	0,7
	0,2
Vulnerabilidad	Baja

Fuente: ANLA, 2021

Con base en el análisis realizado se puede evidenciar que los acuíferos presentes en el área analizada presentan una vulnerabilidad "Alta" a la contaminación, debido a sus características intrínsecas.

Figura 52. Distribución de la Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación



Fuente: ANLA, 2021

5.2.2.14. Uso y Aprovechamiento del recurso Hídrico Subterráneo

Concesión de Agua Subterránea

En el área de estudio, 5 proyectos tienen concesión de agua subterránea para un caudal concesionado acumulado de 173 l/s, extraída a través de 13 pozos y un túnel. Los usos que se le dan al agua subterránea extraída son para labores domésticas e industriales propias de cada proyecto. En la Tabla 31 se presentan los permisos de concesión otorgado y en la Figura 54 se presenta su ubicación.

Tabla 31. Concesiones de Agua Subterránea proyectos ANLA

Expediente	Acto Administrativo	No Pozos	Caudal L/s
LAM0227	Resolución No. PS-GJ.1.2.6.10- 0450 de 2010, prorrogada por la resolución No. PS-GJ.1.2.6.15- 2262 de 2015.	1	8
LAM0227	Resolución 769 de 28 diciembre 2000, Resolución PS-GJ.1.2.6.014 del 23 de Julio de 2014	1	0,09
LAM0227	Resolución No. PS-GJ.1.2.6.013-2173 de 2013.	1	4
LAV0025-14	Resolución 0426 del 5 de mayo de 2014	5	100
LAV0053-14	Resolución 1456 del 3 de diciembre de 2014	1	1
LAV0089-13	Resolución 0491 del 30 de abril de 2015	4	40
LAV0073-00-2015	Resolución 243 del 10 de marzo de 2016	Aguas de infiltración - Túnel	20

Fuente: ANLA, 2021

Vertimiento al Suelo

En el área de estudio, 7 proyectos cuentan con permiso de vertimiento al suelo, con un caudal vertido acumulado de 18,8 l/s. La disposición del agua residual tratada al suelo se hace principalmente a través de la actividad de riesgo en vías y campos de aspersión. En la Tabla 32 se presentan los permisos de concesión otorgado y en la Figura 54 se presenta su ubicación.

Tabla 32. Permisos de vertimiento al suelo proyectos ANLA

Expediente	Acto Administrativo	Tipo de descarga al Suelo	Caudal L/s
LAM0227	Resolución PS-GJ.1.2.6.013.2262 de 2013, aclarada por la Resolución No. PSGJ.1.2.6.15.0619 de 2015. Resolución No. PS-GJ.1.2.6.17.2162 de 2017 modificó la Res. 619 de 2015.	Aspersión – campo de infiltración, pozo séptico	5
LAM2944	Resolución 0491 de 3 de mayo de 2004	Riego en vías y microaspersion	2
LAM5423	Resolución 0331 de 15 de mayo de 2012	ZODAR y/o mediante riego sobre las vías	2,7
LAV0004-00-2015	Resolución 0016 del 13 de enero de 2016	Áreas de aspersión o infiltración aledañas a las locaciones y las CPF	0,3
LAV0004-00-2015	Resolución 0016 del 13 de enero de 2016	Riego en vías de aguas residuales tratadas	1
LAV0053-14	Resolución 1456 del 3 de diciembre de 2014	Campo de infiltración	4
LAV0081-13	Resolución 1369 del 07 de noviembre del 2014	Riego con aspersor	3,8

Fuente: ANLA, 2021

Inyección subterránea para la disposición final de aguas residuales no domesticas

En el área de estudio, 2 proyectos cuentan con permiso de inyección subterránea para disposal, con un caudal acumulado permitido de 3162,6 l/s a través de 25 pozos inyectores. La disposición del agua residual tratada se inyecta principalmente en la Unidad Geológica K2, unidad ubicada a los 2 mil metros de profundidad. En la Tabla 33 se presentan los permisos de inyección otorgados y en la Figura 54 se presenta su ubicación.

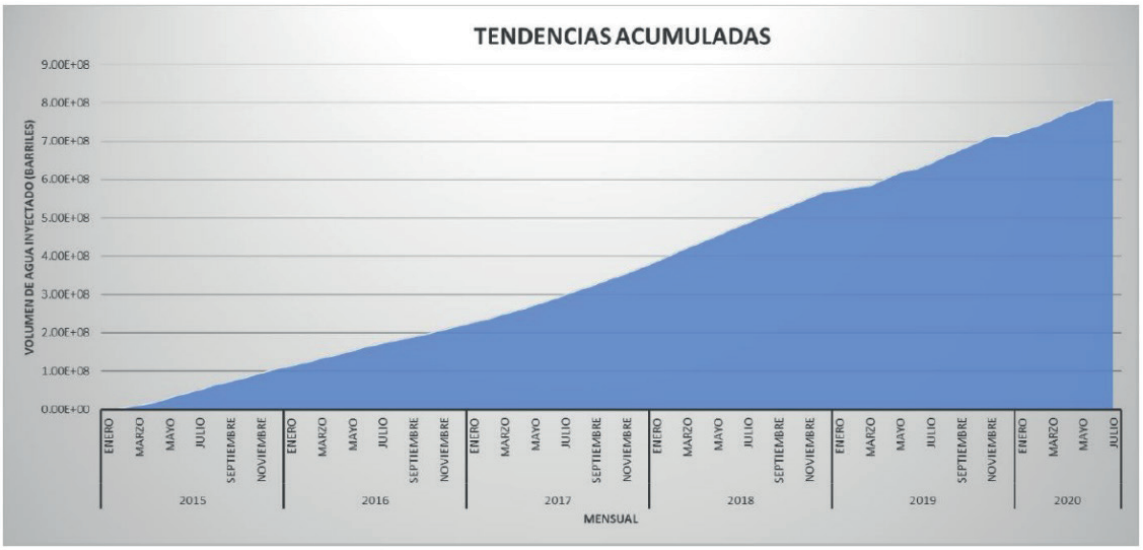
Tabla 33. Permisos de inyección proyectos ANLA

Expediente	Acto Administrativo	No pozos	Formación	Volumen L/s
LAM0227	Resolución PS.GJ.1.2.6.010.2346 de 21 de diciembre de 2010.	1	Formación geológica K2,	2.879,6
LAM0227	Resolución 728 del 6 de septiembre de 2012	14	Formación geológica K2,	
LAM0227	Resolución 293 del 18 de marzo de 2016	5	Formación geológica K2,	
LAV0081-13	Resolución 1369 del 07 de noviembre del 2014	5	Formaciones KI, K2	283

Fuente: ANLA, 2021

El expediente LAM0227 que corresponde al bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene, es el bloque que más pozos inyectores tienen perforados en el área de estudios, con un total de 20 pozos y un caudal permitido de inyección de 2879,6 l/s. La disposición de agua en el campo Castilla actualmente se realiza en la Unidad K2 Formación Guadalupe, a una profundidad mayor a 7000 pies de profundidad. Esta unidad es una arena masiva y de grano grueso, con alta permeabilidad, desde 2015 la inyección acumulada de agua de producción ha sido de 810.759.833 barriles de agua. En la Figura 53 se muestra la gráfica de los volúmenes de agua de producción tratada que es reinyectada por medio de los pozos disposal con valores mensuales desde el año 2015 hasta julio del 2020 (Ecopetrol, 2020).

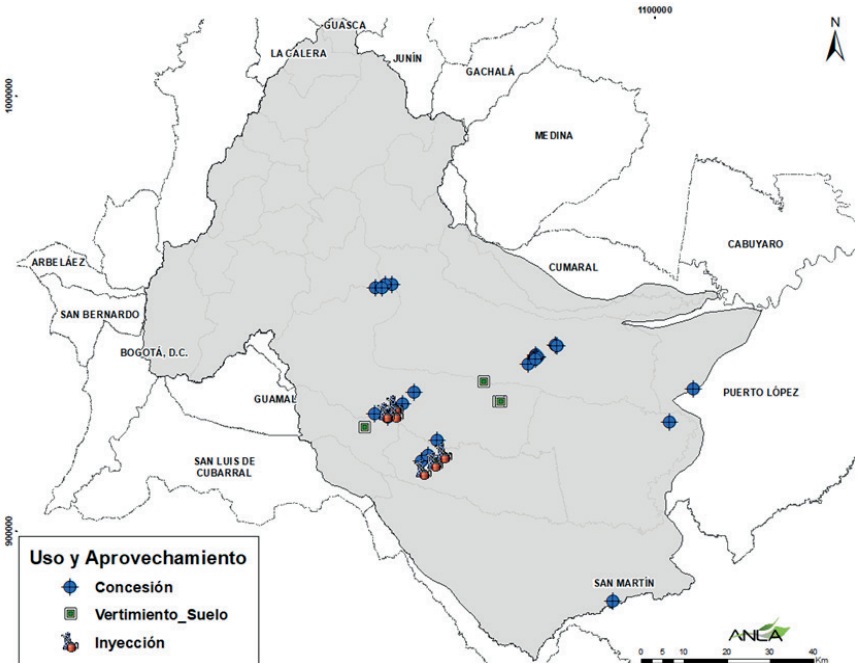
Figura 53. Análisis de Tendencias Acumuladas Feb-2015 A Jul-2020



Fuente: ECOPETROL, 2020

Debido a la madurez del campo este con el tiempo está produciendo más agua según lo informado por (Ecopetrol, 2020), se estima que en 2023 por cada barril de crudo extraído se generen 22 agua de producción y a 2030 se estima que esta relación será de 1:52. Lo que pone en evidencia que la gestión del agua de producción derivada en este campo pondrá presión sobre los elementos del ambiente que se utilicen para la recepción de estas aguas (agua superficial, suelo y/o acuíferos).

Figura 54. Distribución espacial del uso y aprovechamiento del recurso hídrico subterráneo autorizado



Fuente: ANLA, 2021

Sismicidad inducida

La inyección subterránea de fluidos puede inducir sismos, muchos sismos inducidos por inyección han sido identificados uno de los más grande fue registrado en agosto de 2011 con una magnitud 5.3 en Colorado – EE. UU. (Rubinstein et al. 2014) y el de M 5.6 en Oklahoma -EE. UU. de noviembre de 2011 (Keranen et al, 2013). La inyección de fluidos puede inducir sismos de cuatro formas diferentes:

(1) La inyección de fluidos aumenta la presión del fluido poroso dentro de una falla

(2) La inyección de fluidos llena y comprime fluidos dentro de los poros causando deformación (efectos poroelásticos)

(3) La inyección de líquido que es más frío que la roca en la que se está inyectando causa deformación (efectos termoelásticos)

(4) El fluido inyectado agrega masa a la formación de inyección. Las observaciones y el modelado numérico indican que el aumento de la presión del fluido dentro de las fallas influye sobre si un pozo de inyección inducirá sismos (Raleigh et al., 1976; Shapiro y Dinske, 2009; McClure y Horne, 2011).

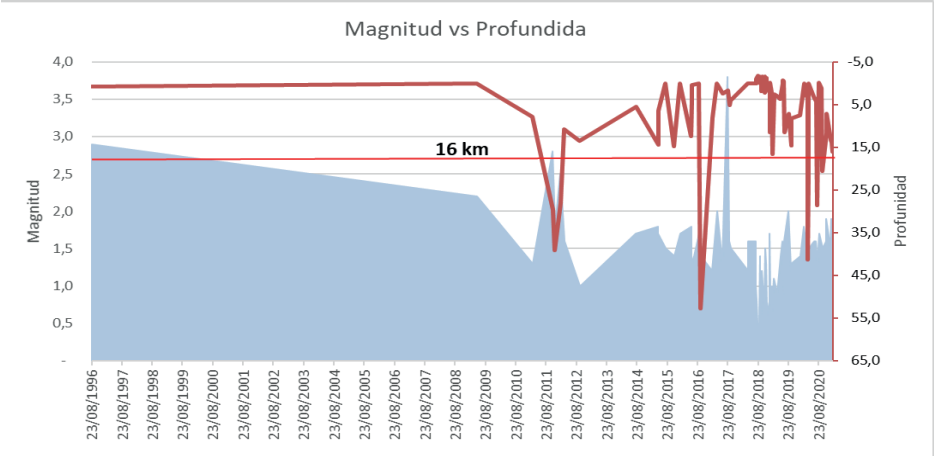
Por lo anterior, se realizó un análisis de los sismos registrados por el Servicio Geológico Colombiano en el municipio Castilla la Nueva, en donde se ubica el bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene expediente LAM0227 y se relacionó con la actividad de inyección subterránea de fluidos que se realiza en las operaciones de este campo.

Como se indicó este proyecto cuenta con 20 pozos de inyección de agua con un caudal permitido de inyección de 2.524.000 BWPD sobre la unidad geológica K2, se aclara que según (Ecopetrol, 2020) por condiciones de disponibilidad de facilidades en superficie y características del subsuelo relacionadas con las propiedades petrofísicas de las rocas que constituyen la unidad K2 objeto de reinyección, es posible reinyectar a través de los pozos del clúster PAD1, PAD 3 y PAD 4 solo 694.2 KBAPD equivalente al 27.5 % del volumen total autorizado para el campo Castilla (2.524 KBWPD).

En la Figura 53 se muestra la gráfica de los volúmenes de agua de producción tratada que es reinyectada por medio de los pozos disposal con valores mensuales desde el año 2015 hasta julio del 2020. Según la gráfica se observa que el volumen total acumulado de agua de producción tratada que ha sido reinyectada en la Unidad K2 desde el inicio de la actividad disposal hasta julio del 2020 ha sido de 810.759.833 barriles de agua. La tendencia del volumen de agua a reinyectar es a aumentar a lo largo del tiempo como se observa en la gráfica y según las proyecciones del campo (Ecopetrol, 2020).

Por otro lado, con base en los registros de sismos consultados en el Servicio Geológico Colombiano, se identificó que desde 1996 a 2021 se presentaron 80 sismos en el municipio Castilla la Nueva de los cuales 71 se registraron desde 2015. Las magnitudes de los sismos varían desde 0.3 a 3.8, y la profundad de los sismos fue reportada en rangos de 0 a 52 km, no se evidencia una relación entre la magnitud del sismo y su profundidad. En la Figura 55 se presentan los sismos presentados 0 a 52 km.

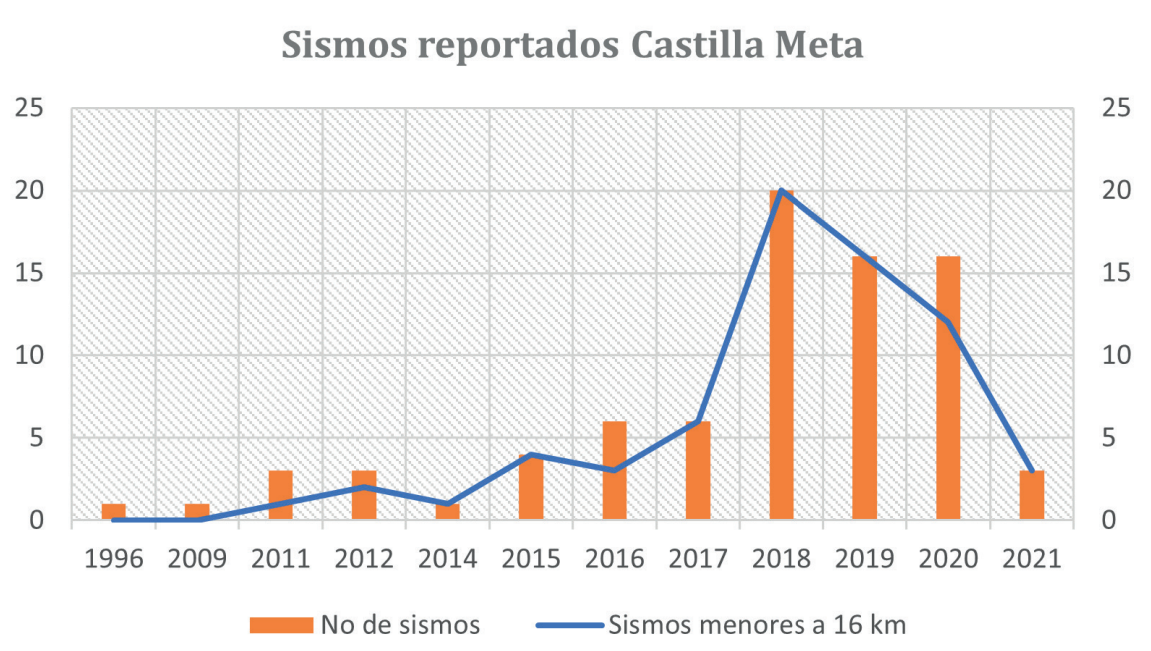
Figura 55. Comparación de la magnitud de los sismos registrados en Castilla la Nueva Vs su Profundidad



Fuente: ANLA, 2021

Para tener una profundidad hipocentral de referencia se tomó el dato de 16 km, valor referenciado en la resolución 40185 de 2020 del Ministerio de Minas, para el seguimiento de los pozos de inyección de fluidos en el marco de los Proyectos Piloto de Investigación Integral. De los 80 sismos registrados en el municipio de Castilla la Nueva, se evidencia que 68 de ellos se presentaron en profundidades menores a 16 km. En la Figura 56 se presenta el número de sismos totales por año y los que fueron menores a 16 km. A s u vez se evidencia que en 2018 hubo un aumento de más del 300% del número de sismos pasando de 6 a 20 y todos ellos fueron en profanidades menores a 16 km y desde 2018 se han mantenido por encima de 15 sismos por año todos menores a 16 km de profundidad.

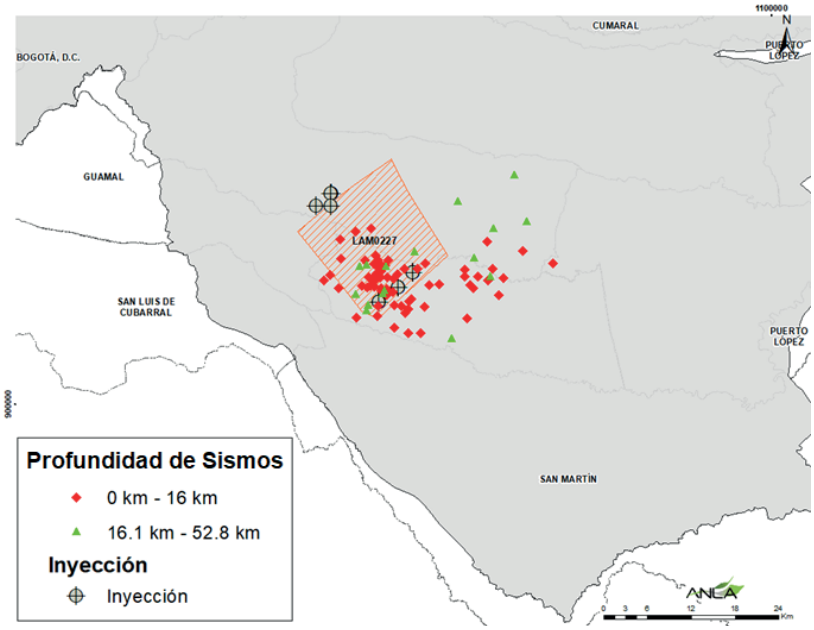
Figura 56. Profundidad de los sismos registrados en castilla la Nueva Vs Los registrados a profundidades menores de 16 km.



Fuente: ANLA, 2021

Por otro lado, se puede evidenciar en la Figura 57, que los sismos registrados en el municipio de Castilla la Nueva se ubican en o contiguos al bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene expediente LAM0227. Se puede evidenciar una potencial relación entre el aumento de la inyección de agua de producción Figura 53 con la presencia de sismos menores a 16 km en el área en y próximos al campo Castilla Figura 56.

Figura 57. Comparación de los sismos registrados en Castilla la Nueva Vs la Profundidad



Fuente: ANLA, 2021

La anterior hipótesis se refuerza con lo indicado en el Concepto técnico de Seguimiento 07793 del 21 de diciembre de 2020, en este se indica que respecto al clúster 46 “A la familia Montenegro y a la familia Rincón, vecinos de esta locación, los afecta permanentemente el ruido, los malos olores, la contaminación del agua y la vibración del suelo generando agrietamiento en las paredes de las viviendas.”

Por otro lado, en la reunión del 26 de octubre de 2020 en el Concepto Técnico se indica: Se sienten vibraciones provenientes de la estación Chichimene. Y en la Reunión 1 de noviembre de 2020” Hay viviendas que presentan agrietamiento por las vibraciones que genera el proyecto”.

La anterior hipótesis debe estudiarse con más detalle y para ello en necesario instalar una red de monitoreo sísmico, siguiendo los estándares establecidos por el Servicio Geológico Colombiano para ello.

5.2.2.15. Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA en el marco del licenciamiento ambiental para el componente hídrico subterráneo

Los criterios técnicos que a continuación se presentan son el resultado del análisis regional realizado para el recurso hídrico subterráneo, no obstante, el profesional de evaluación y/o seguimiento será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por el usuario.

Situación evidenciada	Requerimiento
Descripción geológica Se evidencia que, entre consultorías ambientales, la nomenclatura y símbolo de una misma unidad geológica cambia.	Se solicita que la nomenclatura para la descripción de unidades geológicas se realice conforme la nomenclatura oficial del Servicio Geológico.
Descripción Hidráulica Se evidencia que las pruebas de bombeo revisadas no cumplen el tiempo mínimo requerido para que se estabilice la curva de abatimiento. Debido a ello, los parámetros hidráulicos estimados y presentados no son representativos de las unidades hidrogeológicas caracterizadas.	Se requiere que en la caracterización hidráulica se aseguren que la duración de las pruebas de bombeo debe permitir conocer espacial y temporalmente el comportamiento del cono de abatimiento generado tanto en el pozo bombeado como en el pozo de observación (en caso de contar con el), que permite estimar los parámetros hidráulicos durante los tiempos de bombeo y recuperación. Inicialmente la etapa de bombeo debe tener una duración entre 36 a 72 horas siempre y cuando no se alcance un régimen estacionario en las primeras 24 a 36 horas y la etapa de recuperación alcance un 95 a 100% del abatimiento registrando tanto en el pozo bombeado como en el de observación.
Descripción Hidráulica Se evidencia que la estimación de los parámetros hidráulicos se hace a través del pozo de bombeo sin pozo de observación. Para la estimación de los parámetros hidráulicos como el coeficiente de almacenamiento o el radio de influencia del pozo, es necesario contar con un pozo de observación para poder estimar estos parámetros, al no considerarse la construcción e implementación de pozos de observación, los parámetros hidráulicos presentados por las empresas carecen de valides y por ende el entendimiento de la hidráulica de la unidad hidrogeológica.	Se debe solicitar a las empresas que para la estimación de los parámetros hidráulicos se construya un pozo de observación entregando los diseños de los mimos, específicamente para las pruebas de bombeo realizadas con fines de concesión de agua subterránea.
Medición de Niveles La medición de los niveles es importante en el seguimiento del impacto de un proyecto en la oferta hídrica subterránea. Entre más datos se tomen de los niveles mayor será el nivel de comprensión entre la influencia del proyecto. Por lo anterior, el seguimiento manual de niveles (a través de sonda), puede no ser el método más preciso para poder determinar la influencia del proyecto en la oferta hídrica subterránea.	Se requiere se implementen métodos de monitoreo y registro continuo como transductores de presión, con datos más precisos y frecuentes que permitan determinar la tendencia e influencia de proyecto. En ese sentido, todo proyecto que tenga concesión de agua subterránea debe tener instalado transductores de presión como método de registro y seguimiento continuo de niveles.

Situación evidenciada	Requerimiento
Descripción hidrogeológica Se evidencia que según la empresa que realice la descripción hidrogeológica le da a un nombre a esta, impidiendo así un análisis regional de la información debido a su falta de estandarización.	Se recomienda que para la descripción hidrogeológica se realice la nomenclatura conforme la establecida por Asociación Internacional de Hidrogeólogos (IAH) y adoptada por el Servicio Geológico Colombiano (UNESCO, 1983).
Descripción hidrogeológica Las unidades hidrogeológicas están conformadas por una o varias unidades geológicas, las cuales tienen sus propias características hidrogeológicas (características hidráulicas, hidroquímicas, direcciones de flujo etc.). Por lo anterior, para entender el componente hidrogeológico es necesario que la caracterización se haga en función de la unidad hidrogeológica que contiene el agua y no se asuma que el comportamiento de la unidad hidrogeológica es similar para todas las unidades geológicas que la conforman.	Se recomienda solicitar la caracterización hidrogeológica en función a la unidad (es) geológica (s) que la conforman, indicando los espesores y sustenten su estimación (núcleos de perforación, sondeos eléctricos, líneas sísmicas, información secundaria)
Caracterización Hidrogeoquímica Se evidencia que el ion potasio (K) no es determinado para la caracterización fisicoquímica del agua subterránea, el cual es importante determinar en el estudio del agua subterránea dado que este en algunos casos según la composición litológica puede llegar hacer un ion mayoritario.	Se solicita la determinación del ion potasio (K+) en la caracterización fisicoquímica del agua subterránea y así su posterior análisis con la composición litológica de la unidad.
Caracterización Hidrogeoquímica El Porcentaje de error del balance iónico sugiere que el análisis químico puede estar incompleto, ser impreciso, o que las muestras han experimentado cambios químicos durante el tiempo de transporte desde campo a laboratorio, por lo cual esta muestra no debería ser considerada válida para efectos de la evaluación o seguimiento del recurso.	Para la validez de las muestras tomadas y reportadas por las empresas para la caracterización fisicoquímica del agua subterránea, se debe solicitar el cálculo y reporte del error de balance iónico el cual debe estar en función de la conductividad del agua muestreada. Se debe calcular y reportar el error en el balance iónico para cada muestra tomada, solo serán validad para la caracterización hidroquímica las muestras con errores analíticos inferiores al 5%, y excepcionalmente al 10%, considerando la conductividad eléctrica del agua a 25°C

Situación evidenciada	Requerimiento
Formulario Único Nacional de Aguas Subterráneas No se evidencia que en el inventario de puntos de agua se registre el valor del nivel freático o piezométrico.	Es importante asegurar que la empresa entregue la información completa solicitada en el FUNIAS para todos los puntos hidrogeológicos inventariados y presentes en el área de influencia de los proyectos. Y a su vez, hay que asegurar que toda la información solicitada en la GDB respecto al inventario de puntos hidrogeológicos se encuentra diligenciada.
Términos de Referencia - HI-TER-1-03. Los TdR de explotación que datan de 2010 se encuentran desactualizados y requieren ser ajustados en sus requerimientos respecto a caracterización del componente hidrogeológico y de los requerimientos para el permiso de exploración, concesión del agua como para el de inyección subterránea y vertimiento al suelo.	Con el fin de tener una mejor caracterización del componente hidrogeológico y de los requerimientos para el permiso de exploración y concesión del agua como para el de inyección subterránea y vertimiento al suelo, es necesario se actualicen los Términos de Referencia para la construcción del estudio de impacto proyectos de explotación de hidrocarburos HI-TER-1-03 del año 2010 y así actualizar los requerimientos que allí se solicitan para este tipo de proyectos.
Vertimiento en Suelos Se evidencia que hay permisos de vertimientos al suelo que aún no han sido actualizados conforme lo requerido en el parágrafo 4 del artículo 2.2.3.3.4.9 del Decreto 050 de 2018.	Se debe actualizar vía seguimiento tal como es solicitado en el parágrafo 4 del artículo 2.2.3.3.4.9 del Decreto 050 de 2018, se actualicen los permisos de vertimiento al suelo otorgados. Se sugiere que vía seguimiento tal como es solicitado en el parágrafo 4 del artículo 2.2.3.3.4.9 del Decreto 050 de 2018, se actualicen los permisos de vertimiento al suelo otorgados por la autoridad.
Inyección Subterránea Se evidencia un caudal de inyección permitido sobre la unidad geológica K2, muy alto especialmente del proyecto LAM0227, el cual requiere de un análisis más integral y modelizado a escenarios futuros, debido a la actual tasa de agua de producción que está generando el campo castilla y proyecta generar en los próximos 10 años.	Se debe realizar un ejercicio de modelación sobre la inyección acumulada que está teniendo la unidad hidrogeológica K2, dado el caudal actual de inyección que se realiza sobre esta unidad y el que se prevé realizar en función a la tasa de agua de producción proyectada.

Situación evidenciada	Requerimiento
Inyección Subterránea – Sismicidad Inducida Se puede evidenciar que los sismos registrados en el municipio de Castilla la Nueva se ubican en o contiguos al bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene expediente LAM0227. Se puede evidenciar una potencial relación entre el aumento de la inyección de agua de producción Figura 50 con la presencia de sismos menores a 16 km en el área en y próximos al campo Castilla.	Instalar una red de monitoreo sísmico, siguiendo los estándares establecidos por el Servicio Geológico Colombiano para ello.

5.2.3 VALORACIÓN ECONÓMICA SERVICIO DE CALIDAD HÍDRICA

El componente hídrico además del servicio de provisión presta las condiciones de vida para la materia orgánica y los organismos vivos, para mantener la salud ecológica de los cuerpos de agua, aparte de reponer el agua subterránea, cubrir la demanda de agua por evaporación y fugas, entre otros (Cheng et al., 2019). El servicio de filtración de agua usualmente es medido como la remoción de sedimentos y otros compuestos (pesticidas, herbicidas, N, P, K, etc) del agua superficial, manteniendo su calidad para el consumo humano (Vardon et al., 2019)water filtration and water storage using the System of Environment-Economic Accounting (SEEA.

En el área de estudio, impactos asociados a vertimientos y eventos como los derrames ocurridos y algunos otros, pueden afectar la calidad de las fuentes hídricas superficiales que abastecen los sistemas de acueducto, y a su vez generan costos adicionales para las plantas de tratamiento, representados principalmente en insumos químicos; por lo cual resulta relevante su valoración económica.

5.2.3.1 Cuantificación biofísica

La subzona hidrográfica (SZH) que de acuerdo con el IDEAM (2019) registra un Índice de Alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL) con Muy Alta potencialidad de contaminación del agua debido a presiones por vertimientos puntuales de sectores usuarios del recurso hídrico para año seco, es la SZH Río Guatiquía. En esta subzona se encuentran localizadas algunas de las fuentes naturales superficiales que abastecen el sistema operado por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio E.S.P (EAAV), tales como Caño Grande y Caño Blanco, cuya información respecto a calidad de agua se obtuvo a partir de los monitoreos llevados a cabo en enero y agosto de 2007 y reportados en el ICA N° 26 correspondiente al expediente LAM0227, proyecto Explotación petrolera campo de producción Castilla y Chichimene (Tabla 34).

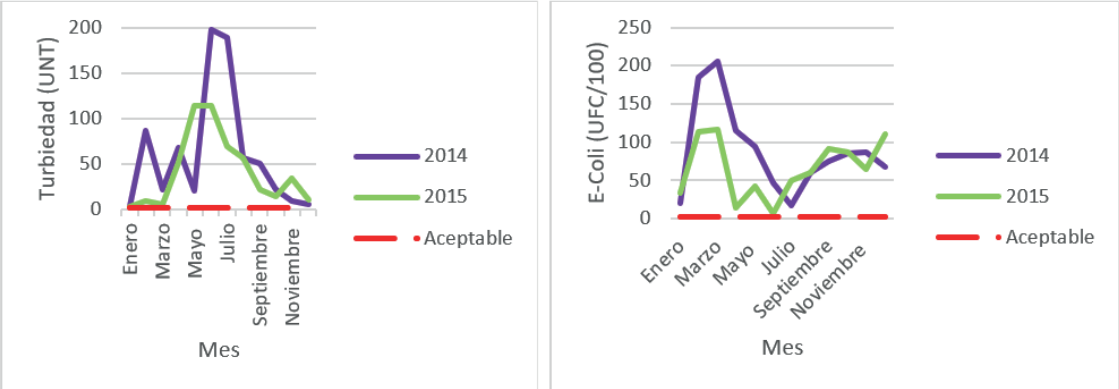
Tabla 34. Características de calidad de agua Caño Grande y Caño Blanco

Característica	Fuente		Valor máximo aceptable [4]
	Caño Grande	Caño Blanco	
Turbiedad (NTU)	9	2	2
Alcalinidad Total (mg/l $CaCO_3$)	4	__	200
Cloruros (mg/l)	2	3	250
Sulfatos (mg/l)	2	10	250
Manganeso (mg/l)	0	0	0,1
Nitritos (mg/l)	0	0	0,1
Nitratos (mg/l)	0	0	10
Coliformes totales (NMP/100 ml)	75	53	0
E-Coli (NMP/100 ml)	0	__	0

Fuente. ANLA Reporte – ICA N° 26 LAM 0227.

Las mediciones realizadas muestran que los niveles de Turbiedad y Coliformes totales son superiores a los valores máximos aceptables para consumo humano, según la Resolución 2115 de 2007; estos mismos parámetros se reportan en los más recientes informes de calidad del agua cruda en la planta de tratamiento La Esmeralda de la EAAV para los años 2014 – 2015 (Figura 58). Esta comparación permite establecer valores de calidad de referencia para una planta de tratamiento, identificando de esta manera los costos a precios de mercado en los que se incurre para su cumplimiento.

Figura 58. Características físicas y microbiológicas del agua cruda Planta de Tratamiento La Esmeralda



Fuente. ANLA a partir de informes de calidad EAAV E.S.P. (http://www.eaav.gov.co/ServiciosYProductos/Paginas/Calidad-de-Aguas.aspx)

4 Resolución 2115 de 2017 "*Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*"

Los niveles máximos de Turbiedad se presentaron en el segundo trimestre del año y durante todo el periodo 2014 - 2015 estuvieron siempre por encima del valor máximo aceptable, aunque los de 2015 fueron menores que los reportados para el año 2014. En el primer trimestre del año se presentaron los niveles máximos de E-Coli y los reportados para el año 2015 fueron menores que los correspondientes a 2014.

5.2.3.2 Valoración de la regulación de la calidad hídrica

El diseño y operación de una planta de tratamiento de agua potable está basado entre otras consideraciones, en las características físicas, químicas y microbiológicas de sus fuentes abastecedoras. Una reducción en la calidad del agua, genera una modificación en los procesos de tratamiento (tiempos de retención, insumos químicos) para cumplir con los estándares fijados normativamente, incrementando así los costos de potabilización y afectando el bienestar del consumidor (Price & Heberling, 2018).

De esta manera, a partir de funciones de costo con el desarrollo del modelo econométrico apropiado, se ha cuantificado la relación entre la calidad del agua cruda y sus costos de tratamiento a precios de mercado, señalando como responden a cambios marginales en la calidad del agua originados por la acción antrópica. En Colombia, para medir el efecto económico de la contaminación hídrica (medida en los índices que resumen las características químicas, físicas y microbiológicas del agua cruda), sobre los costos de plantas de tratamiento de agua dirigida al consumo humano, Sarmiento et. al. (2005) estimaron la función doble logarítmica representada por:

$$\ln(CIQ)=\beta_0+\beta_1\ln(W_i)+\beta_2\ln(FIS_i)+\beta_3\ln(QUIM_i)+\beta_4\ln(MICR_i)+e_i$$

Donde:

CIQ = Costos de insumos químicos

W_i = Cantidad de agua potable producida en metros cúbicos

FIS_i = Características físicas del agua cruda: Turbiedad, Sólidos Totales

$QUIM_i$ = Características químicas del agua cruda: Cloruros, Dureza Total, Hierro Total

$MICR_i$ = Características microbiológicas del agua cruda: E-Coli, Coliformes totales

De forma tal que la elasticidad o el cambio porcentual en los costos ante cambios porcentuales en la cantidad de agua producida y en las características físicas, químicas y microbiológicas está dado por los "β_i". Dado que no se cuenta con una base de datos consolidada respecto a costos mensuales de insumos químicos para la EAAV para establecer las elasticidades a partir de la función de costo correspondiente, se presentan los resultados de algunas estimaciones de funciones de costo relacionadas.

Sarmiento et. al. (2005) a partir de una base de datos mensual entre enero de 2002 y julio de 2005 estimaron que ante un aumento de 1% de los sólidos suspendidos y de la turbiedad, se incrementan los costos de insumos químicos de las Empresas Municipales de Cartago en un 0,147%. De igual forma, se estimó que ante un aumento de 1% en las cantidades captadas de Coliformes totales y E-coli, los costos de insumos químicos aumentan en un 0,025%.

En el mismo sentido, la estimación de los costos en que incurre el acueducto de Empocabal para el tratamiento de agua proveniente de los ríos Campoalegrito y San Eugenio en la cuenta alta del río Campoalegre, a partir de una base de datos mensual desde enero de 2004 hasta marzo de 2006, encontró

que un aumento del 1% en la turbiedad genera un aumento de 0.7% en los costos de insumos químicos (CARDER - IAvH, 2006).

Así mismo, la determinación de la relación entre los niveles de contaminación del río Cabí, fuente abastecedora del acueducto municipal de la ciudad de Quibdó, y los costos de potabilización del agua para consumo humano, muestra que un aumento del 1% en la turbiedad incrementa los costos en insumos químicos por m3 de agua tratada en 0,34% y cuando los coliformes totales aumentan en 1%, los costos aumentan en 0,02% (Sanabria, 2006).

Price & Heberling (2018) presentan la revisión de 24 estudios conducidos en Estados Unidos, Canadá, Francia, India, Japón, Malasia y España entre 1998 y 2017, donde el principal obstáculo fue la disponibilidad de información necesaria, para cuantificar la relación entre los costos para las diferentes plantas de tratamiento de agua potable y la calidad del agua, ya que existen pocas bases de datos y relacionan muestras pequeñas y no aleatorias. Se encontró que la turbiedad es el parámetro más comúnmente monitoreado por las plantas y usado por los operadores para optimizar los procesos de tratamiento, evaluar el comportamiento y cumplimiento de normas.

Las elasticidades turbiedad-costo se estimaron en 11 estudios y resultaron las más robustas, estadísticamente significativas casi en todos los casos y consistentes, dada la diversidad de datos y métodos analíticos utilizados. En la Tabla 35 se resumen las diferentes elasticidades calculadas y para el caso de Colombia.

Las elasticidades se encuentran en el rango de 0,02 – 0,34, donde esta última sugiere que un descenso del 1% en la turbiedad genera una reducción del 0,34% en los costos en insumos químicos. En general, se encuentra que los cambios marginales en la calidad del agua conducen a unas ganancias modestas, pero estadísticamente significativas, en términos de costos de tratamiento evitados (Price & Heberling, 2018).

Tabla 35. Elasticidades turbiedad – costo para plantas de tratamiento de agua potable

País	Referencia	Elasticidad
Estados Unidos	Dearmond et al. (1998)	0,27
	Forster et al. (2004)	0,12
	Forster and Murray (2007)	0,30
	Heberling et al. (2015)	0,02
	Holmes (1988)	0,07
	Moore and McCarl (1987)	0,22
	Mosheim (2006)	0,09
	Warziniack et al. (2017)	0,19
Malasia	Abdul-Rahim and Mohd-Shahwahid (2011)	0,07
Canadá	Price et al. (2017)	0,10

India	Singh and Mishra (2014)	0,20
Colombia	CARDER – IaVH (2006)	0,7
	Sanabria (2006)	0,34
	Sarmiento et al. (2005)	0,15

Fuente. ANLA a partir de Price & Heberling (2018) y CARDER – IaVH (2006) - Sanabria (2006) - Sarmiento et al. (2005)

En un escenario en el que las características químicas del agua cruda en la planta de tratamiento La Esmeralda de la EAAV se encuentran dentro de los valores aceptables y por tanto solamente la turbiedad tiene algún efecto sobre el comportamiento de los costos, una reducción del 1% representaría unos costos evitados de $437.876 anuales en insumos, considerando la mínima elasticidad estimada en los estudios reportados (0,02) y de acuerdo con los costos trimestrales de productos químicos reportado por la EAAV en el Informe de Gestión 2020.

Sin embargo, con una reducción del 99% del máximo nivel de turbiedad para cumplir con el valor aceptable definido en la Resolución 2115 de 2017 (2 NTC), correspondería a unos costos evitados de $43.349.694, durante el año 2020.

5.2.3.3 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento del POA en el marco del licenciamiento ambiental para Valoración Económica

Considerar los cambios en la calidad del agua y los costos asociados a su tratamiento, generados por las actividades antrópicas sobre las fuentes de agua para acueductos y plantas de tratamiento; consolidando la información necesaria para establecer las funciones de costo correspondientes. Complementariamente, aplicar métodos de valoración que amplíen el rango de tipos de valor asociados al mantenimiento del servicio ecosistémico de regulación de la calidad del agua, permitiendo una aproximación más integral a los costos ambientales de su deterioro.

5.2.4 ZONIFICACIÓN GEOTECNICA

5.2.4.1 Metodología para la caracterización geomecánica de materiales

La caracterización geotécnica del macizo rocoso y su zonificación, se realizó mediante la metodología propuesta en el libro (VALLEJO, L. I. G.; FERRER, M.; ORTUÑO, 2002), en donde definen que:

(…) La zonificación geotécnica se basa en la clasificación de unidades geotécnicamente «homegéneas», que pueden abarcar diferentes edades geológicas; a su vez, éstas pueden dividirse en subunidades. El detalle y el grado de homogeneidad dependerá de la escala, objetivo del mapa y datos disponibles.

La correcta clasificación del macizo rocoso y de los materiales que lo componen, su distribución espacial en el área, y el análisis detallado de las cualidades físico mecánicas de suelos, depósitos y de los materiales que se encuentran ubicados en la superficie del área de estudio y como el impacto que se pueda presentar en las diferentes zonas clasificadas, permiten generar una zonificación homogénea

de áreas o zonas y, como los diferentes tipos de proyectos que se ejecutaran en el área y que se están desarrollando llegan a genera diferentes tipos de impactos, este insumo es importante porque permite que se puedan proponer y desarrollar diferentes tipos de medidas necesarias para evitar la ocurrencias de eventos de inestabilidad geotécnica, que puedan llegar a generar algún tipo de impacto ambiental.

La información temática se obtiene a partir del procesamiento de la geología (Litología y aptitud estructural) y por medio de la interpretación foto gravimétrica de la geomorfología básica planteada en el documento Propuesta De Estandarización De La Cartografía (Carvajal, 2011), y los aspectos puntuales del área del piedemonte llanero información contenida en (Aspectos más relevantes de la geomorfología y geología y del piedemonte llanero de Colombia (Lopez, 2004)), información que permite realizar una clasificación detallada de la geomorfología presente en los laderas y en el terreno, esta metodología de la investigación permite caracterizar las condiciones físicas de los terrenos y nos brinda un reconocimiento de los sectores en donde se ubican suelos, depósitos y los afloramientos del macizo rocoso y en donde se alojan los materiales en la superficie, lo cual resulta en el mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) o de geología para ingeniería.

El comportamiento en la geomecánica de las rocas, suelos y depósitos está determinado principalmente por propiedades físicas como origen, litología, composición mineralógica, textura, dureza, condición estructural, grado de fractura y de meteorización, granulometría, humedad y consistencia. Los mapas de geología para ingeniería constituyen la base cartográfica temática para la elaboración de mapas de zonificación geomecánica y otros documentos de utilidad para ingeniería. INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica.(Ingeominas, n.d.)

Para la presente caracterización y zonificación geotécnica se realiza tomando en consideración la información presentada en los POMCAs de las cuatro cuencas estudiadas (Ríos Guatiquia, Guayuriba, Rio Negro y Metica) (ver Figura 59), para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se tuvo en cuenta el Protocolo para la incorporación de la gestión de riesgo dispuestos en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (MADS, MINHACIENDA, Fondo Adaptación, 2014); información que fue extrapolada para la conformación del mapa de amenaza de la Zona de regionalización de Metica, y la información que se encuentra en las páginas del IDEAM, y en SIMMA, MIIG, del Servicio geológico colombiano.

En la metodología descrita y recomendada en Ingeniería Geológica (VALLEJO, L. I. G.; FERRER, M.; ORTUÑO, 2002), para la caracterización del comportamiento geomecánica de los materiales y para la zonificación geotécnica presentes en las cuencas se definieron con los lineamientos planteados y realizado a partir de la clasificación y caracterización geológica, estructural, geomorfológica y la visión desde un marco regional, las características físico mecánicas de cada una de las unidades lito estratigráficas obtenidas por la interpretación fotogeológica y el control de campo de la geología estructural presente en el área, tomando en consideración la etapa previa en donde se ha generado el mapa preliminar de materiales superficiales identificados como Unidades geológicas superficiales (UGS), utilizando la metodología de clasificación planteada en Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa Escala 1:25000 (Armando et al., n.d.), en la salida cartográfica se observa la nomenclatura original dada por la unidad geológica básica que se renombró a partir de características de los materiales inherentes a cada Formación de tal manera que se pudiera obtener este primer insumo cartográfico.

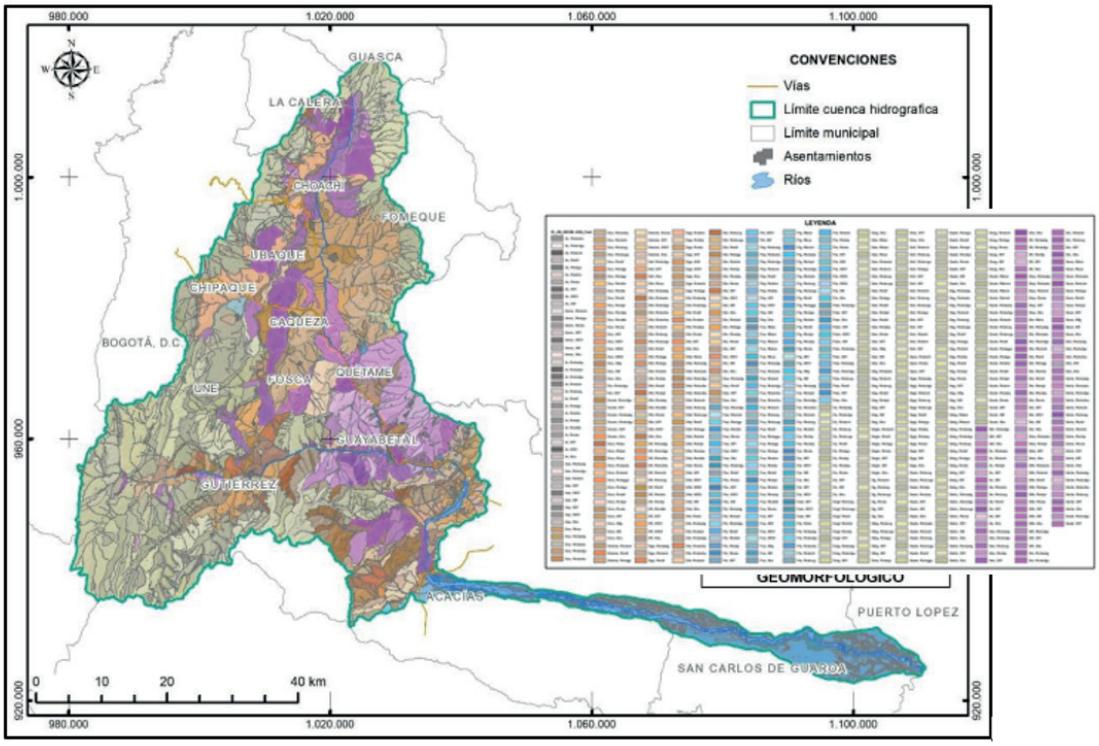
Las UGS cartografiadas para toda el área de estudio se clasificaron en unidades básicas de rocas, depósitos y suelos, estructuralmente la cuenca hidrográfica presenta complejidad estructural bastante marcada en la cuenca media, en la zona de Quetame se identifica lineamientos controlados por fallas inversas predominantes que conservan una vergencia noreste, hacia la parte oeste de la cuenca se observan algunos pliegues asimétricos asociados a la cinemática de las fallas de la zona.

Mediante el uso de herramientas cartográficas se cruzó la caracterización ingenieril geomorfológica con el mapa preliminar de UGS, generando una salida cartográfica intermedia "salida geológica-Las características geomorfológicas que orientan los trabajos de reconocimiento en campo, caracterización mecánica in situ y muestreo para la caracterización en laboratorio y la clasificación Geopedologíca de los elementos y factores presentes, y la geomorfología presente y que se necesita clasificar para la correcta clasificación de estudios de suelos y de riesgos naturales, información que se a consultado de Geo-pedología Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales (Zinck, 2012).

Para poder conocer las características físico-mecánicas de las rocas, las valoraciones se realizaron mediante ensayos resistencia indirecta, ensayo tipo esclerómetro, se revisó la condición de las discontinuidades y los rasgos estructurales del macizo rocoso con el fin de evaluar los parámetros de resistencia físico mecánicas. Por otra parte, para suelos y depósitos los POMCAs han definido que:

(…) "Se realizaron mediciones indirectas in situ de resistencia al corte con ensayos tipo penetrómetro y torvante o veleta, a su vez se ejecutaron apiques para el muestreo representativo que permitió la ejecución de los ensayos requeridos para la calificación geotécnica y agrológica sobre propiedades índice (clasificación: granulometría, límites, peso unitario) y humedad de estos materiales, los cuales complementan los atributos de cada una de las unidades cartografiadas apoyando la evaluación geológico – geotécnica".

Figura 59. Unidades Geomorfológicas Guayuriba



Fuente: ANLA, 2021 adaptado de POMCA Guayuriba

Caracterización del Macizo y de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS).

Para definir la geomecánica de los materiales de cada una de las UGS caracterizadas para el área de la SZH-MGGN, en donde cada unidad posee características particulares, como el tipo de material, el grado de meteorización, estado de degradación del armazón de la roca, espesores de suelo residual, plasticidad, resistencia al corte de rocas y de suelos en condiciones drenada y no drenada. El programa de exploración desarrollado permitió definir la caracterización de los materiales según su correspondencia con cada UGS (Tabla 36).

Todas las propiedades físicas y mecánicas detalladas que caracterizan a cada material superficial presente en el macizo rocoso se organizan en una ficha adicional de caracterización sintética de comportamiento geomecánica que se visualiza, específicamente para cada una de las noventa y cuatro (94) UGS encontradas. En la ficha de caracterización se logra resumir para cada material específico la exploración de campo y laboratorio correspondiente, la muestra y tipo de material, caracterización de alteración de la roca y su resistencia al corte, meteorización, el tipo de suelo en superficie, granulometría, espesor, resistencia al corte drenada y no drenada, densidad, plasticidad, entre otras solicitadas por el alcance técnico, pero además las que sí son necesarias para un análisis de estabilidad de laderas.

La caracterización geomecánica de materiales obtenida de cada una de las UGS caracterizadas para la cuenca posee características físico mecánicas particulares que definen el tipo de material, el grado de meteorización, el estado del armazón y de degradación de la roca, espesores de suelo residual, plasticidad, resistencia al corte de rocas y de suelos en condiciones drenada y no drenada. El programa de exploración mostrado en los POMCAS consultados, permite nutrir la caracterización de los materiales según su correspondencia con cada Unidad Geológica Superficial (UGS).

Todas las propiedades físicas y mecánicas detalladas han definido a cada material superficial, los cuales están organizados mediante una ficha adicional de caracterización sintética de comportamiento geomecánica que se visualiza en detalle específicamente para cada una de las noventa y cuatro (94) UGS encontradas en toda el área de Regionalización.

En estas ficha definidas de forma particular para cada POMCA, se logra resumir para cada material específico el tipo de exploración de campo y el laboratorio correspondiente, la muestra y tipo de material, con el fin de realizar la caracterización de alteración de la roca y su resistencia al corte, grado de meteorización, el tipo de suelo en superficie, granulometría, espesores tanto del suelo residual como del macizo rocoso, resistencia al corte en muestra drenada y no drenada, densidad, plasticidad, entre otros ensayos solicitadas por el alcance técnico, y los parámetros geomecánicas necesarios para un análisis de estabilidad del modelo geotécnico.

Tabla 36. Unidades geológicas Superficiales (UGS).

Nomenclatura	Unidades Geológicas Superficiales (UGS)
Rbboad,Srs1	Roca blanda de la F. Bogotá en amb. denudacional
Rbboae,Srs1	Roca blanda de la F. Bogotá en amb. estructural
Rbboag,Srs1,Stfg1	Roca blanda de la F. Bogotá en amb. glacial
Rbboiad,Srs1	Roca blanda de la F. Bogotá miembro inferior en amb. denudacional
Rbboiag,Srs1,Stfg1	Roca blanda de la F. Bogotá miembro inferior en amb. glacial
Rbbomag,Srs1,Stfg1	Roca blanda de la F. Bogotá miembro medio en amb. glacial

Nomenclatura	Unidades Geológicas Superficiales (UGS)
Rbbosag,Srs1,Stfg1	Roca blanda de la F. Bogotá miembro superior en amb. glacial
Rbcaad,Srs1	Roca blanda de la F. Cacho en amb. denudacional
Rbcaae,Srs1	Roca blanda de la F. Cacho en amb. estructural
Rbcaag,Srs1,Stfg1	Roca blanda de la F. Cacho en amb. glacial
Rdclchag,Srs1,Stfg1	Roca dura de la F. Capas de la Laguna de Chingaza en amb. glacial
Rdrioad,Srii2	Roca dura de Riodacita en amb. denudacional
Rmbadgad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Areniscas de Gutierrez en amb. denudacional
Rmbadgae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Areniscas de Gutierrez en amb. estructural
Rmbadgag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Areniscas de Gutierrez en amb. glacial
Rmbadgau,Strae	Roca m. blanda de la F. Areniscas de Gutierrez urbanizada
Rmbaduac,Strae	Roca m. blanda de la F. Arenisca Dura extraída en canteras
Rmbaduad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Arenisca Dura en amb. denudacional
Rmbaduae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Arenisca Dura en amb. estructural
Rmbaduag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Arenisca Dura en amb. glacial
Rmbaduau,Strae	Roca m. blanda de la F. Arenisca Dura urbanizada
Rmbarlad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Arenisca del Limbo en amb. denudacional
Rmbcfguac,Strae	Roca m. blanda de la F. Filitas y Cuarcitas de Guayabetal extraído en canteras
Rmbcfguad,Srm2	Roca m. blanda de la F. Filitas y Cuarcitas de Guayabetal en amb. denudacional
Rmbcfguae,Srm2	Roca m. blanda de la F. Filitas y Cuarcitas de Guayabetal en amb. estructural
Rmbcfguag,Srm2,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Filitas y Cuarcitas de Guayabetal en amb. glacial
Rmbcfguau,Strae	Roca m. blanda de la F. Filitas y Cuarcitas de Guayabetal urbanizada
Rmbcfscad,Srm2	Roca m. blanda de la F. Cuarcitas y Filitas de San Cristóbal
Rmbcfsuad,Srm2	Roca m. blanda de la F. Metaconglomerados y Filitas de Susumuco en amb. Den.
Rmbcfsuae,Srm2	Roca m. blanda de la F. Metaconglomerados y Filitas de Susumuco en amb. Est.
Rmbchiac,Strae	Roca m. blanda de la F. Chipaque extraída en canteras
Rmbchiad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Chipaque en amb. denudacional
Rmbchiae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Chipaque en amb. estructural
Rmbchiag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Chipaque en amb. glacial
Rmbchiau,Strae	Roca m. blanda de la F. Chipaque urbanizada
Rmbcrgad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Capas Rojas del Guatiquía en amb. denudacional
Rmbcrgae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Capas Rojas del Guatiquía en amb. estructural
Rmbcrgag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Capas Rojas del Guatiquía en amb. glacial
Rmbcrgau,Strae	Roca m. blanda de la F. Capas Rojas del Guatiquía urbanizada

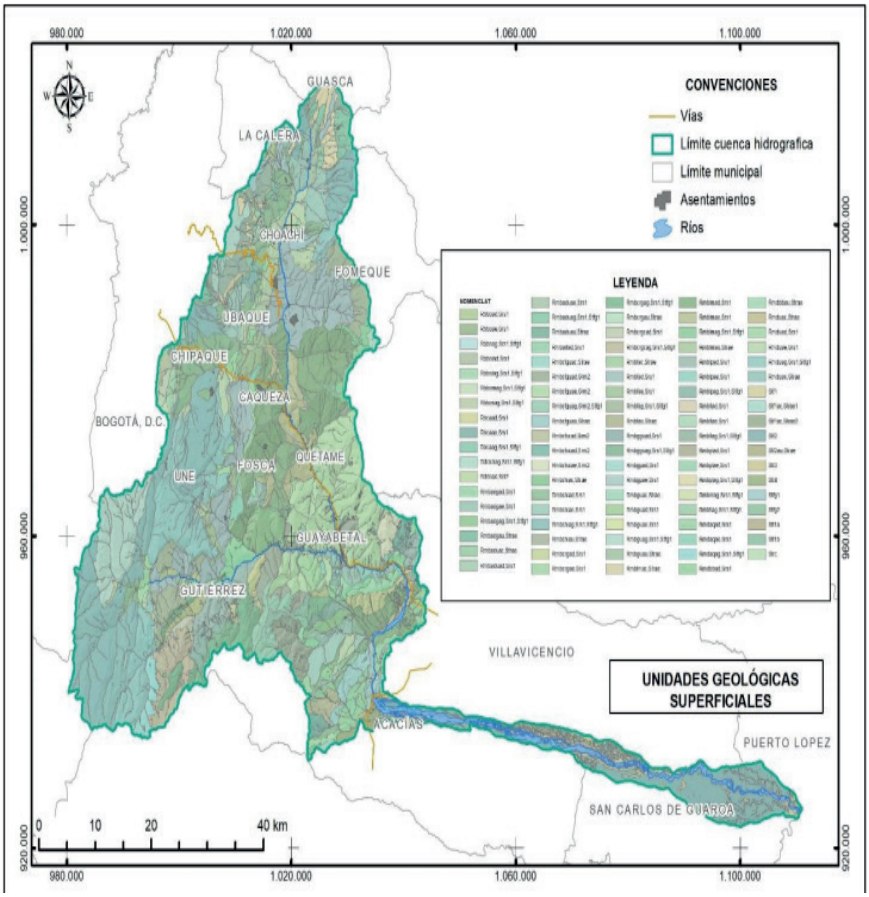
Nomenclatura	Unidades Geológicas Superficiales (UGS)
Rmbcrgcad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Capas Rojas del Guatiquía calcáreo en amb. denudacional
Rmbcrgcag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Capas Rojas del Guatiquía calcáreo en amb. glacial
Rmbfac,Strae	Roca m. blanda de la F. Fómeque extraída en canteras
Rmbfad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Fómeque en amb. denudacional
Rmbfae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Fómeque en amb. estructural
Rmbfag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Fómeque en amb. glacial
Rmbfau,Strae	Roca m. blanda de la F. Fómeque urbanizada
Rmbgguad,Srs1	Roca m. blanda del Grupo Guadalupe en amb. denudacional
Rmbgguag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda del Grupo Guadalupe en amb. glacial
Rmdaqag,Srs1,Stfg1	Roca m. dura de la F. Arenisca de Cáqueza en amb. glacial
Rmdbbad,Srs1	Roca m. dura de la F. Brechas de Buenavista en amb. denudacional
Rmdbbau,Strae	Roca m. dura de la F. Brechas de Buenavista urbanizada
Rmduac,Strae	Roca m. dura de la F. Une extraída en canteras
Rmduad,Srs1	Roca m. dura de la F. Une en amb. denudacional
Rmduae,Srs1	Roca m. dura de la F. Une en amb. estructural
Rmduag,Srs1,Stfg1	Roca m. dura de la F. Une en amb. glacial
Rmbgpad,Srs1	Roca m. blanda del Grupo Palmichal en amb. denudacional
Rmbgpae,Srs1	Roca m. blanda del Grupo Palmichal en amb. estructural
Rmbguac,Strae	Roca m. blanda de la F. Guaduas extraída en canteras
Rmbguad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Guaduas en amb. denudacional
Rmbguae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Guaduas en amb. estructural
Rmbguag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Guaduas en amb. glacial
Rmbguau,Strae	Roca m. blanda de la F. Guaduas urbanizada
Rmblmac,Strae	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Macanal extraída en canteras
Rmblmad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Macanal en amb. denudacional
Rmblmae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Macanal en amb. estructural
Rmblmag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Macanal en amb. glacial
Rmblmau,Strae	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Macanal urbanizada
Rmblpad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Pipiral en amb. denudacional
Rmblpae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Pipiral en amb. estructural
Rmblpag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Lutitas de Pipiral en amb. glacial
Rmbltad,Srs1	Roca m. blanda de la F. Labor Tierna en amb. denudacional
Rmbltae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Labor Tierna en amb. estructural

Nomenclatura	Unidades Geológicas Superficiales (UGS)
Rmbltag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Labor Tierna en amb. glacial
Rmbplad,Srs1	Roca m. blanda del Grupo Guadalupe en amb. denudacional
Rmbplae,Srs1	Roca m. blanda de la F. Plaenners en amb. estructural
Rmbplag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Plaenners en amb. glacial
Rmbreag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la F. Regadera en amb. glacial
Rmbtiag,Srs1,Stfg1	Roca m. blanda de la Formaicón Tilatá en amb. glacial
Rmdaqad,Srs1	Roca m. dura de la F. Arenisca de Cáqueza en amb. denudacional
Rmdaqae,Srs1	Roca m. dura de la F. Arenisca de Cáqueza en amb. estructural
Rmduag,Srs1,Stfg1	Roca m. dura de la F. Une en amb. glacial
Rmduau,Strae	Roca m. dura de la F. Une urbanizada
Stf1	Suelo transportado fluvial (aluvial reciente)
Stf1ac,Strae1	Suelo transportado fluvial (depósito aluvial) extraído en canteras
Stf1ac,Strae2	Suelo transportado fluvial (depósito aluvial) extraído en cantera
Stf2	Suelo transportado fluvial (llanura de inundación)
Stf2au,Strae	Suelo transportado fluvial urbanizado
Stf3	Suelo transportado fluvial (terraza aluvial)
Stf4	Suelo transportado fluvial (abanico aluvial)
Stf5y6	Suelo transportado fluvial (depósito torrencial)
Stfg1	Suelo transportado fluvioglacial
Stfg2	Terraza fluvioglacial
Stl1a	Suelo fluviolagunar confinado
Stl1b	Suelo transportado lagunar desconfinado
Strc	Suelo translocado coluvial

Fuente. ANLA adaptada de POMCA Guayuriba.

Con respecto a la clasificación final de las unidades geológicas superficiales (UGS), es importante ir definiendo las tendencias encontradas en la clasificación de las unidades ya que se evidencia la tendencia a presentar suelos de origen fluviales y de materiales transportados ubicados en el sector del piedemonte llanero y que se extienden a lo largo de la parte baja de las cuencas de los ríos Guatiquia, Guayuriba, Rio negro y Guamal; y en el sector de la cordillera oriental, se pudo identificar que la tendencia es la presencia de suelos residuales, en superficie y sectores en donde aflora el macizo rocoso con diferentes grados de dureza, de meteorización, y de fractura que hacen que el macizo rocoso presentes diferentes grados de clasificación en (ÍNDICE DE CALIDAD DE LA ROCA RQD. CLASIFICACIONES DE LOS MACIZOS ROCOSOS SEGÚN,(Bongiorno, n.d.); en laderas de baja pendiente y sectores planos se han alojado depósitos de tipo aluvial, coluvial y de flujos torrenciales (Figura 60).

Figura 60. Unidades Geológicas Superficiales (UGS).

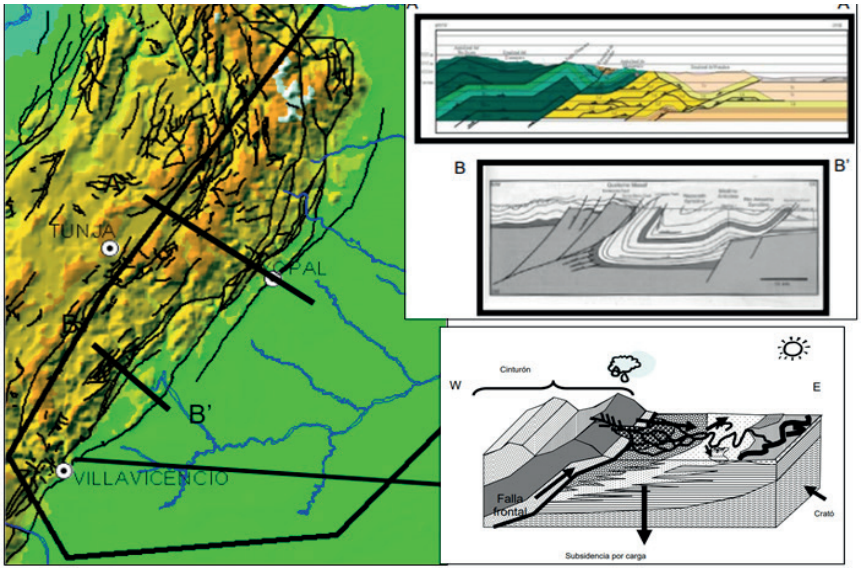


Fuente: ANLA, 2021 adaptado de POMCA Guayuriba

Análisis de la Aptitud estructural del área de estudio

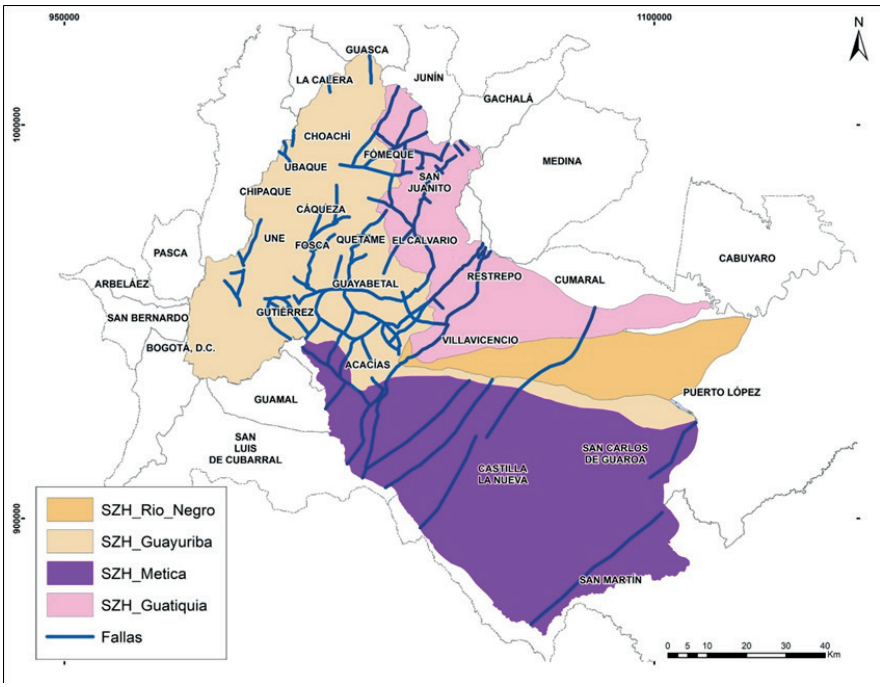
Dentro de la información recolectada de los datos estructurales del macizo rocoso, que se tuvo que realizar para la valoración del macizo rocoso, su aptitud estructural y la recolección de datos estructurales de estratificación o foliación según corresponda al tipo de roca y de los planos de fractura, identificación de datos estructurales y de estructuras como pliegues anticlinales o sinclinales, sectores en donde se definen el rumbo y buzamiento y los planos de diaclasas son claves para determinar el estado de fractura del macizo y su grado de meteorización y fractura asociado a procesos denudacionales y/o erosiónales. Figuras 61 y 62.

Figura 61. Mapa estructura y localización de secciones geológicas modelo geotectónico del piedemonte Llanero (A y B)



Fuente: ANLA, 2021 adaptado de Aspectos más relevantes de la geomorfología y geología y del piedemonte llanero de Colombia. Lopez E.

Figura 62. Áreas corticales regionales de la cuenca de la SZH - MGGN

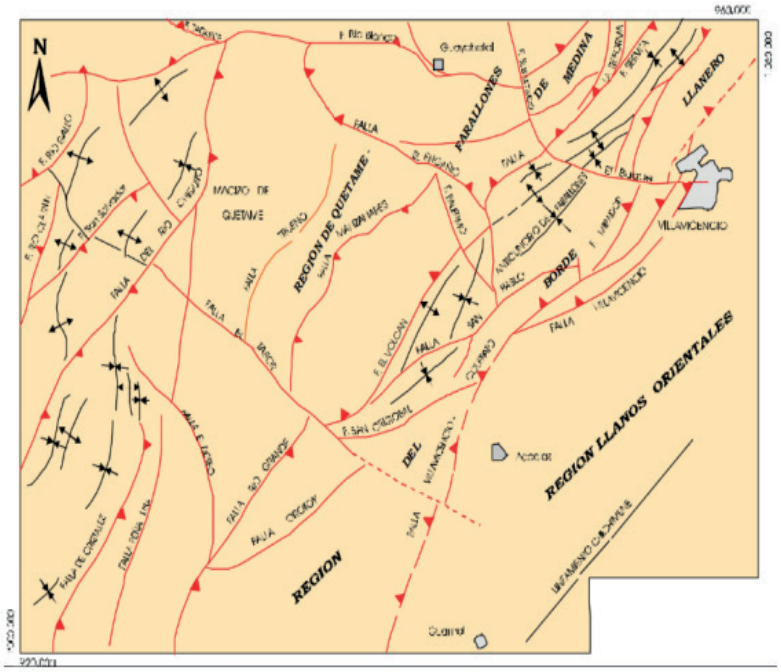


Fuente. ANLA, Fallas geológicas adaptadas a la SZH - MGGN

En el sector del piedemonte llanero varios autores han identificado que el sector muestra la transición entre un cinturón deformado y una cuenca de antepaís, en donde el cinturón deformado avanza hacia el oriente gracias a los esfuerzos compresivos, al desplazamiento y al grado de fractura de las unidades litológicas, controlados por fallas de bajo ángulo, los ejemplos principales del área de la cordillera oriental son el sistema de fallas de Guaicaramo, Yopos o borde llanero, sistemas fallas que pliegan, deforman y fracturan las unidades litológicas, afectando la calidad y las propiedades físico mecánicas del macizo rocoso que se encuentran en el bloque colgante, estas fallas inversas que están asociadas a zonas de alta deformación en la Cordillera Oriental y ha fallas de ángulo alto (60º o más) y a grandes desplazamientos en el rumbo, los ejemplos más notables son los sistemas de fallas de Mirador, Servitá, las cuales permiten colocar rocas del Paleozoico inferior sobre rocas del cretáceo inferior.

El origen de la deformación y cabalgamiento está asociado a la convergencia que tienen las diferentes placas tectónicas desde el periodo cretáceo superior hasta el reciente en el norte de Sur América, los esfuerzos compresivos tangenciales en las palcas tectónicas, permite que las placas se deslicen con movimientos de rumbo. Los estudios han definido que el ángulo de subducción de la placa de Coiba es bajo, permitiendo tener una mayor extensión en su deformación en dirección oriental, comparada con el avance de la deformación al sur (Placa de Nazca), definiendo un estilo estructural diferente en la cuenca de antepaís desarrollada en el piedemonte del Caquetá y Putumayo. Información consultada en Aspectos más relevantes de la geomorfología y geología y del piedemonte llanero de Colombia (Lopez, 2004) Figura 63.

Figura 63. Esquema tectónico de la región de Quetame-Farallones y Borde Llanero.

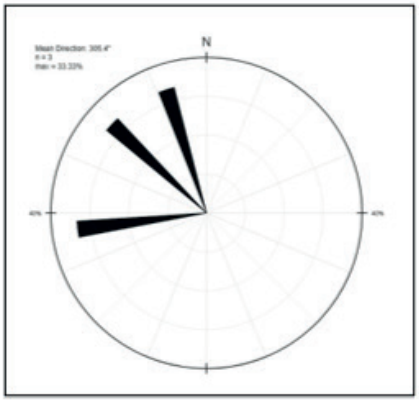


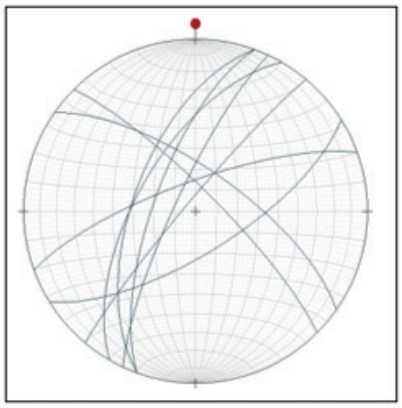
Fuente: Tomado de Plancha 266-Ingeominas, 2001.

Los controles estructurales realizados mediante las estaciones de campo han medido los parámetros estructurales más importantes, como lo son: la dirección de buzamiento de las capas litológicas que componen el macizo rocoso, diaclasas y planos de fallas, estos datos se agrupan por sectores con el

objetivo de representar la totalidad del territorio. En el estudio se encontró que la zona que comprende desde Cáqueza hasta Villavicencio presente una tendencia de esfuerzos en un ambiente compresivo, dirección Noroeste - Sureste, con una tendencia de rumbo Suroeste - Noreste en las capas buzantes del sector. Figura 64.

Figura 64. Diagrama Rosa indicando la tendencia noroccidental en la inclinación de las fracturas o planos de diaclasas, presentes en el macizo rocoso.

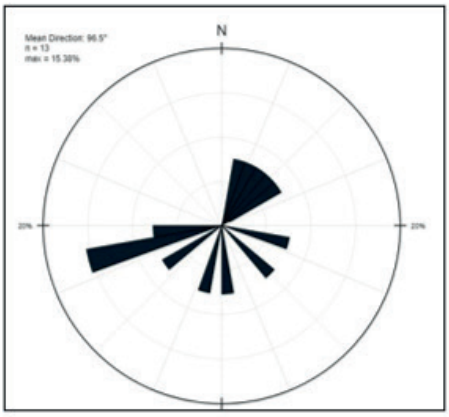


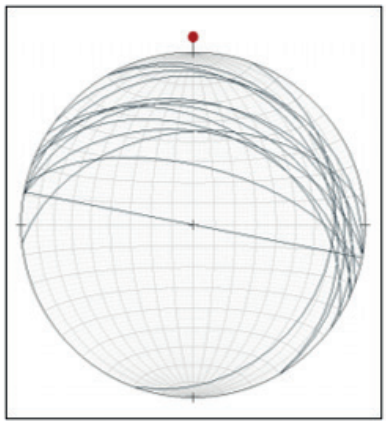


Fuente: UT Guayuriba Sostenible, 2018.

El Diagrama de Rosetas, metodología de análisis de la información estructural y de diaclasas, que esta descrita en Ingeniería Geológica (VALLEJO, L. I. G.; FERRER, M.; ORTUÑO, 2002), analizado en el área indica la tendencia noroccidental en la inclinación de las diaclasas encontradas en la vía de Cáqueza a Villavicencio - Proyección que indica la tendencia de rumbo Suroeste- Noreste en el sector entre Cáqueza. Figura 65.

Figura 65. Diagrama Rosa indicando la tendencia noroccidental en la inclinación de las diaclasas encontradas en la vía de Cáqueza a Villavicencio - Tendencia de rumbo Suroeste - Noreste en el sector entre Cáqueza.



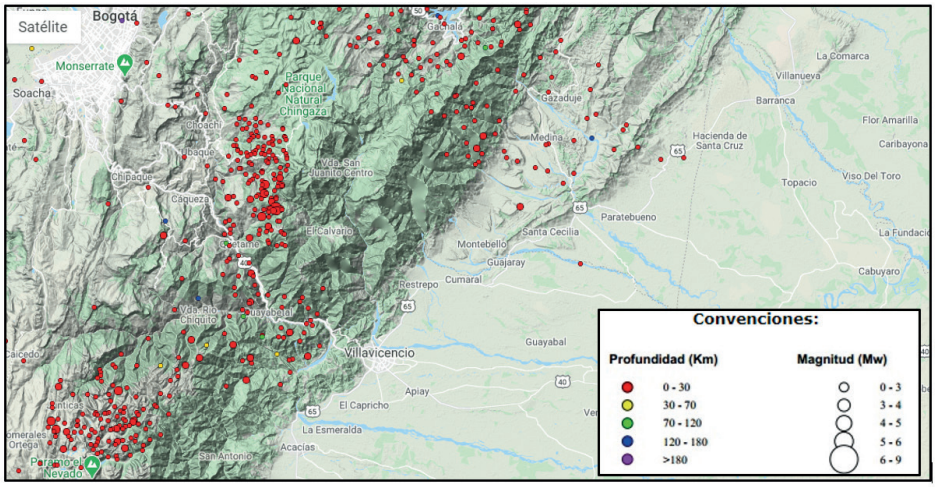


Fuente: UT Guayuriba Sostenible, 2018.

Actividad sísmica

Uno de los factores activos de la inestabilidad, que se incluyen en este estudio como un detonante en la valoración de la amenaza por fenómenos de remoción en masa de la región, es la valoración del parámetro detonante de la sismicidad, ya que la región central, en especial en la parte alta de la cuenta del rio Guayuriba y Guatiquía, es una zona con un escenario de millones de eventos sísmicos, producto de la presencia de los sistemas de fallas frontales de la cordillera oriental, los sismos históricos registrados más representativos y que han generado afectaciones en los municipios de la cuencas de los ríos Guatiquía, Guayuriba, rio Negro y Guamal, principalmente en los cuales se presenta una actividad sísmica muy importante asociada a los desplazamientos de las fallas regionales. Consultar Guía metodológica (Armando et al., n.d.). Figura 60 - 61.

Figura 66. Sismicidad histórica del catálogo de sismicidad del Servicio Geológico Colombiano – SGC, 1993 -2018.



Fuente. ANLA, adaptada de Servicio Geológico Colombiano – SGC.

En la información consultada en la página del portal del Servicio Geológico colombiano, y la consulta del catálogo de sismicidad del Servicio Geológico Colombiano – SGC (Figura 66), se pudo identificar que en este portal se encuentran registrados alrededor de 5872 sismos registrados desde el año 1993 hasta el 2018 Tabla 37, en este periodo restante hasta el 2021, se registran tan solo 35, para la evaluación de este parámetro de inestabilidad se realiza una reclasificación de los sismos tomando solo en consideración los sismos más superficiales y que representan un riesgo para la infraestructura, sismos con una magnitud ≥4 en la escala sismológica de Richter.(Ortiz, 2009), en el modelo nacional de sismicidad se dan las pautas de clasificación. (SGC & GEM, 2018).

Tabla 37. Sismicidad histórica importante de la región de la región del piedemonte llanero

Fecha	Latitud	Longitud	Magnitud	Profundidad	Intensidad	Municipio
1644/03/16	4.54	-74.13	5.5 Mw	15	7 EMS-98	Ubaque
1743/10/18	4.44	-73.83	6.2 Mw	15	8 EMS-98	Fómeque
1917/08/31	3.78	-74	6.7 Mw	15	9 EMS-98	Villavicencio
1923/12/22	4.64	-73.36	5.9 Mw	15	8 EMS-98	Medina
1966/09/04	4.6	-73.9	5.2 Mw	8	7 EMS-98	Choachi
1988/03/19	4.43	-73.79	4.8 Mw	13.5	6 EMS-98	El Calvario
2008/05/24	4.4	-73.81	5.9 Mw	9	8 EMS-98	Quetame

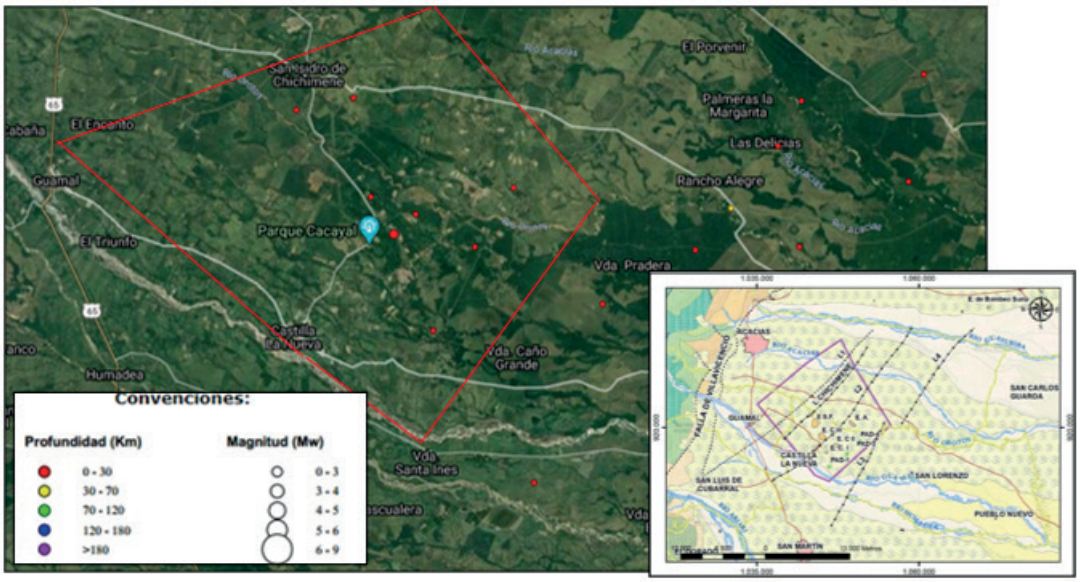
Fuente. ANLA adaptada de POMCA Guayuriba- Tomada de SGC 2018.

Los sismos se pueden relacionar con las áreas corticales del Altiplano Cundiboyacense, Piedemonte Orinoquía y Sur Cordillera Oriental que han sido caracterizadas por el SGC como CC 20, CC 21 y CC 23 respectivamente, se identifican las áreas de actividad superficial de corteza como Guayuriba y Sección Guaicaramo Sur que buzan preferencialmente en dirección oeste (ángulos de deslizamiento 135 con buzamiento 72 y 90 con buzamiento 37 respectivamente) con velocidades de deformación cercanas a 1.4 cm/año en el área cortical Piedemonte Orinoquía y la falla de Usme (ángulo de deslizamiento -135 con buzamiento 72 y velocidad de deformación 0.9 cm/año) en el Altiplano Cundiboyacense. Varios de los sismos mostrados tienen fuerte recordación en la cuenca como el sismo reciente de Quetame en 2008 que provocó daños en viviendas y habría detonado varios deslizamientos, así como el sismo histórico de Villavicencio de hace un siglo que generó daños en las edificaciones y detonó deslizamientos en las partes altas de todos los ríos vecinos de la capital del Meta.

Para considerar los posibles eventos, las intensidades del movimiento se estiman para todo el conjunto de combinaciones que resultan entre ambientes tectónicos y ecuaciones de atenuación, definidas para un determinado para el estudio de la amenaza, el número de realizaciones n (ramas del árbol lógico del cálculo de amenaza), puede estimarse como n=Mf x At x EA en donde Mf es el número de ramas del modelo de fuentes (dos en este caso; b1, b2), At es el número de ambientes tectónicos que influyen en el cálculo de la amenaza y EA corresponde al número de ecuaciones de atenuación por cada ambiente tectónico, metodología detallada en el modelo nacional de amenaza sísmica (SGC & GEM, 2018).

En el área del proyecto “Campos de Producción Castilla y Chichimene”; expediente LAM0227, (presentado por Ecopetrol S.A en 2015 a la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) en la solicitud de modificación del Plan de Manejo Ambiental del bloque Cubarral (Campos Castilla y Chichimene), aprobado por la resolución 293 de 2016 que modificó la resolución 728 de 2012.), se definido que la aptitud estructural del área del Campo Castilla presenta unas condiciones geológicas que han permitido el entrampe del hidrocarburo, identificando por medio de tomografías y líneas sísmicas, una estructura anticlinal asimétrico y alongado con una orientación en el rumbo de N60E, de 10 Km de largo y 4 Km de ancho en promedio, estructura que se encuentra fallada en el costado oriental controlados por el rumbo de la falla principal de carácter inverso; esta sistema de Falla Principal Castilla divide el campo en dos zonas muy marcadas, una zona de producción al oeste de la falla y una zona de disposición de agua al este de esta (Figura 67).

Figura 67. Sismicidad histórica del catálogo de sismicidad del Servicio Geológico Colombiano – SGC, Ubicación del Campo Castilla



Fuente. ANLA, adaptada de Servicio Geológico Colombiano – SGC.

Tomando en consideración que en el sector la aptitud estructural es marcada, en donde los eventos compresivos y orogénicos han permitido el levantamiento de la cordillera oriental, en el sector de la planicie llanera, ubicado al oriente del Piedemonte Llanero, los registros sísmicos de las estaciones del servicio geológico han detectado un total de 25 sismos, reportando esta actividad sísmica desde el año 1996 hasta el 2018, es importante indicar que la mayoría de los sismos se registran a partir del 2012, y la gran mayoría de los sismos son menores de 3 grados en la escala de Richter identificados a una profundidad de 0 a 30 Km y un solo registro sísmico entre 3 y 4 en la escala de Richter y a una profundidad de más de 30 Km, en las información sísmica y en los registros geofísicos realizados por ECOPETROL S.A., (Tabla 38) se evidencia la incidencia directa de la falla principal Castilla que divide el proyecto, en la conformación del sistema tectónico, con una trampa estructural, que está reteniendo el hidrocarburo; en la información presentada se identifica que las labores de exploración y perforación son más superficiales y están a una profundidad de 7128 Ft un poco más de 2.172 Km, en el, límite inferior que ha definido como Tope K2.

Tabla 38. Sismicidad histórica importante de la región del Campo castilla, registrada desde el 2018 hasta el 2021.

FECHA - HORA UTC	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	PROF. (Km)	MAGNITUD	TIPO MAGNITUD	REGION
2018-04-24 04:51:21	3,852	-73,721	0,02	1,2	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-04-26 17:41:07	3,799	-73,689	0	1,6	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-08-01 21:34:08	3,863	-73,654	0	1,6	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia

FECHA - HORA UTC	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	PROF. (Km)	MAGNITUD	TIPO MAGNITUD	REGION
2018-08-01 23:47:13	3,865	-73,667	-0,95	1	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-08-09 03:00:46	3,856	-73,658	-1,47	0,8	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-08-17 10:56:43	3,814	-73,642	-1,68	0,5	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-09-04 09:18:26	3,849	-73,674	-0,1	0,5	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-09-14 16:14:58	3,844	-73,667	-1,63	1,4	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-09-20 23:21:45	3,838	-73,672	-0,3	0,9	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-09-25 08:57:32	3,849	-73,651	-0,01	0,6	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-10-05 16:09:39	3,835	-73,658	-0,12	0,8	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-10-07 12:08:12	3,847	-73,643	1,85	0,9	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-10-12 09:56:40	3,836	-73,676	-1,5	1,2	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-11-04 04:26:33	3,838	-73,682	0,79	0,7	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-11-12 20:16:44	3,854	-73,664	-1,53	0,7	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-11-14 18:20:12	3,833	-73,658	2,16	1,5	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-11-26 22:27:58	3,834	-73,652	1,94	1,3	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-12-04 08:27:29	3,849	-73,668	0,06	0,7	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-12-04 08:28:04	3,849	-73,659	-1,2	0,3	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2018-12-04 13:24:25	3,837	-73,667	-0,19	0,6	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-01-10 14:50:31	3,896	-73,709	1,59	0,8	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-01-10 20:56:57	3,866	-73,604	11,58	0,8	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-01-12 04:50:40	3,827	-73,652	4,24	1,7	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-01-15 22:06:26	3,87	-73,662	-0,15	0,9	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-02-08 04:27:58	3,859	-73,66	2,2	1	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia

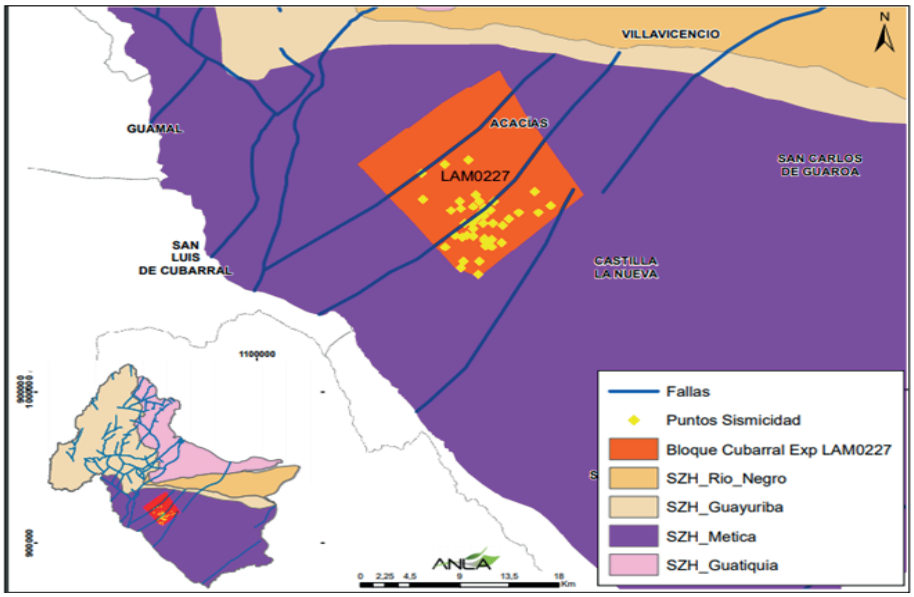
FECHA - HORA UTC	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	PROF. (Km)	MAGNITUD	TIPO MAGNITUD	REGION
2019-02-12 23:22:40	3,861	-73,685	16,6	0,6	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-03-06 00:07:18	3,87	-73,678	2,56	1,1	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-04-08 02:24:34	3,872	-73,708	2,95	0,9	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-05-18 06:31:29	3,859	-73,614	3,68	1,4	MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-06-14 08:49:25	3,839	-73,599	0,01	1,6	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-06-21 07:44:32	3,801	-73,663	-0,57	1,1	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-06-30 08:29:25	3,787	-73,642	-0,45	0,9	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-07-07 20:13:07	3,805	-73,629	11,54	1,6	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-08-28 01:07:27	3,827	-73,514	7,11	2	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-09-26 17:48:40	3,828	-73,657	14,63	1,2	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2019-09-26 22:15:58	3,813	-73,662	8,28	1,3	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-01-14 10:14:13	3,798	-73,553	7,45	1,4	M_MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-03-01 13:27:20	3,78	-73,625	0	1,8	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-03-29 09:50:47	3,819	-73,624	3,13	1,5	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-04-04 06:14:38	3,812	-73,605	2,58	1,4	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-04-11 20:30:29	3,85	-73,556	2,7	1,5	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-04-14 03:38:02	3,849	-73,524	41,23	1,5	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-04-22 03:00:02	3,813	-73,675	21,17	1,6	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-04-26 20:33:37	3,835	-73,711	0	1,5	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-06-27 08:47:44	3,85	-73,539	3,08	1,6	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-07-21 09:16:16	3,822	-73,621	4,16	1,6	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia

FECHA - HORA UTC	LATITUD (°)	LONGITUD (°)	PROF. (Km)	MAGNITUD	TIPO MAGNITUD	REGION
2020-08-07 00:26:56	3,772	-73,572	28,58	1,3	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-08-30 10:38:07	3,81	-73,625	-0,06	1,7	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-09-24 06:09:47	3,813	-73,634	1,15	1,6	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-10-10 22:31:19	3,861	-73,653	20,66	1,5	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-11-22 14:32:29	3,845	-73,729	11,64	1,6	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2020-11-26 03:02:34	3,853	-73,638	7,07	1,9	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2021-01-12 07:02:58	3,827	-73,69	13,4	1,5	M_MLr	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2021-01-23 11:54:54	3,863	-73,677	13,87	1,9	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia
2021-02-11 08:01:24	3,832	-73,655	15,98	1,7	MLr_3	Castilla la Nueva - Meta, Colombia

Fuente. ANLA, adaptada de Servicio Geológico Colombiano – SGC.

Teniendo en cuenta que en el sector se presenta estructuras de fallas y actividad sísmica recurrente registrada a profundidades de 0 a 30 Km, identificadas desde antes de la puesta en marcha del proyecto y considerando la información recolectada en el catálogo de sismos de servicio geológico colombiano se identifica que a partir del 2012 se genera un aumento en la cantidad de sismos especialmente desde el 2015, ubicados en los sectores de los lineamientos estructurales, en donde los sismos presentan registros inferiores a 2 en la escala de Richter; tomando en consideración que el sector del piedemonte llanero es una área en donde se ha desarrollado una intensa actividad tectónica y sísmica, y si bien la actividad sísmica ha aumentado en el sector no es concluyente que la actividad petrolera y de inyección de fluidos para mejorar la presión, haya generado estos sismos, ya que la actividad sísmica registrada se da en su mayoría a profundidades fuera del rango de perforación del proyecto; y en solo 8 registros se identifica la actividad sísmica a profundidades inferiores a los 2.5 Km y de estos registros, cinco (5) registros están a profundidades inferiores a un kilómetro, actividad que se pueden asociar con las actividades de inyección de fluidos del campo castilla, en este sentido en conveniente indicar que las actividades de inyección de fluidos pueden genera un hinchamiento en la unidad geológica a la que se le inyecta el fluido o un desgaste o fractura en las capas de lutitas o Shales, en el numeral 5.2.2.14 del presente informe se realiza un análisis detallado de las actividades de inyección de fluidos que se han realizado en el Campo Castilla y su relación con la sismicidad inducida.

Figura 68. Sismicidad histórica 2018 - 2021, LAM0227 - Campo Castilla



Fuente. ANLA, adaptada de Servicio Geológico Colombiano – SGC.

En la información consultada también se identificó que a partir del año 2018 las actividades sísmicas se incrementan registrando un total de 55 sismos hasta el 18 de marzo del 2021, sismos que si bien son de baja magnitud inferiores a 2 Ml, si se registra que existe un incremento en la cantidad de sismos superficiales enlistando 38 sismos a profundidades inferiores a los 4 km, en este sentido es conveniente que se realice la instalación de una red de monitoreo (sismógrafos) que permita tener un registro más detallado de la actividad de sismicidad inducida y que principalmente nos permita tener un registro en donde se pueda relacionar las actividades inyectivas con la actividad sísmica inducida que se presenta en el sector. Figura 68.

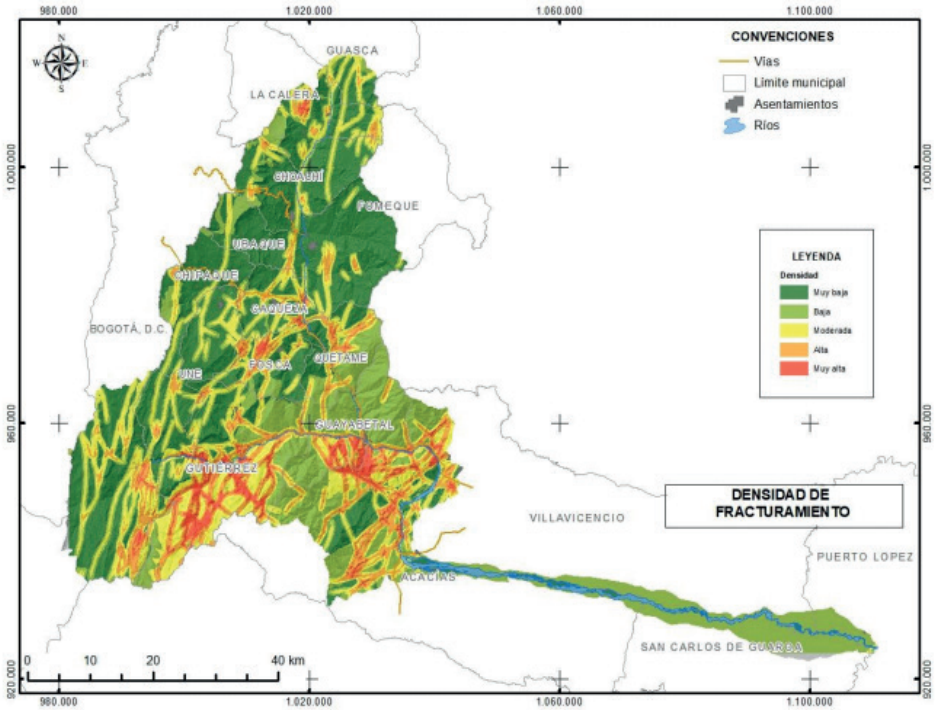
Densidad de fractura del Macizo Rocoso

Para determinar la densidad de fractura se tomó lo propuesto en la metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa (IDEAM, 2012), donde se establece la densidad de fractura asociado a elementos estructurales (Fallas y Pliegues); las condición físico mecánicas del macizo rocoso y su estado de fractura está asociado, a las zonas de mayor deformación tectónica, que corresponde a los sectores en donde transcurren los planos de las fallas geológicas y ejes de pliegues de las capas de las rocas sedimentarias.

En el caso de los sectores en donde se exhibe un claro dominio estructural, marcado por el trazo de una estructura de fallas geológicas de carácter regional y local, en estos sectores es de esperar que la deformación y fractura se intensifique con las tasas de desplazamiento de las fallas, generando que el macizo rocoso pierda sus condiciones físico-mecánicas y aumente el grado de fractura, generando una disminución en las condiciones y en la caracterización del macizo rocoso.

IDEAM (Robertson et al., 2013) presenta un modelo que da una idea razonablemente confiable sobre la distribución y densidad de discontinuidades estructurales y/o mecánicas de las rocas, bien sea, las que se relacionan con su forma de yacimiento (planos de estratificación, pliegues, foliación, clivaje, relajación, etc.), como las que tienen que ver con el comportamiento frágil o dúctil de las rocas, frente a las fuerzas tectónicas (diaclasas, zonas de cizallamiento y fallas geológicas). Se pretende visualizar este modelo de manera sencilla, interpretándolo desde el punto de vista de su influencia sobre el estado y condición de fractura de los macizos rocosos y sus características geomecánicas.

Figura 69. Densidad de fractura del macizo rocoso sector de la cuenca del Rio Guayuriba.



Fuente. POMCA Guayuriba- Tomada de SGC 2018.

Si bien el patrón estructural revela únicamente la expresión superficial de las zonas de falla, esta expresión es representativa de la zona afectada por los movimientos en masa, la orientación de las zonas de falla guarda una cierta relación con la orientación de los sistemas de fracturas o planos de diaclasas que exhibe el macizo rocoso. En este estudio se han definido las áreas de unidades geológicas sedimentarias y metamórficas que presentan algún grado de plegamiento, producto de los esfuerzos compresivos que han generado una mayor densidad de fractura de las rocas del macizo rocos involucradas especialmente en los ejes de los pliegues anticlinales y sinclinales en donde se pudo identificar ejes truncados y cortados por estructuras de fallas. Figura 69.

De los resultados obtenidos de la valoración general del grado de fractura del macizo rocos en el área, se puedo determinar sectores con moderada a muy alta densidad de fractura, localizados principalmente en el sector de la cordillera oriental, en la parte alta de las cuencas de los ríos Guatiquia, Guayuriba y

Guamal, sectores de los municipios de Guasca y este del municipio de La Calera, en los municipios de Fosca y Quetáme, al este del municipio de San Bernardo colindando con el municipio de Gutiérrez y cerca a los límites de los municipios de Guayabetal y Acacías.

También se puede distinguir una baja a muy baja densidad de fractura en el área comprendida por los municipios de Fómeque, Choachí, Chipaque, Ubaque, Norte del municipio de Une y Oeste del municipio de Cáqueza. Otro sector de baja densidad se presenta al sur de los municipios de Fosca y Quetame y norte de los municipios de Gutiérrez y Guayabetal. Finalmente existe un sector al este de la cuenca donde la cartografía no presenta fallas ni pliegues.

En el sector del piedemonte llanero y parte baja de las cuatro cuencas de los ríos que han sido objeto de este estudio se pudo identificar que el grado de fractura y la incidencia de los planos y estructuras de falla ha generado un grado de fractura bajo a muy bajo ya que en este sector los planos existentes de las estructuras de falla generalmente se encuentran cubiertas bajo depósitos coluviales, glaciales, y fluviales recientes, haciendo que estas estructuras no generen una afectación notable en superficie, pero su eje y plano de falla es el que generalmente está controlando el cauce de los ríos principales, quebradas y lineamientos estructurales de toda la región.

Valoración de la Pendiente

En el área de Regionalización, se toma en consideración la valoración de uno de los factores principales de inestabilidad como lo es la pendiente, la cual es una expresión morfológica de las condiciones físico mecánicas del macizo rocoso, en este sentido en el área de estudio podemos diferenciar claramente dos marcados sectores uno en donde predominan los ambientes estructurales y morfodinamicos con sectores con alta pendiente, fuertes y escarpadas y que se ubica en la parte central y la cual comprende el sector de la parte alta de los cuencas de los ríos, Guayuriba, Guatiguia, rio Negro y Metica, en los estudios revisados para la elaboración de este documento se identifica que las Pendiente de terreno se han clasificado y se realizó una reclasificación de las pendientes teniendo en cuenta los rangos establecidos por el IGAC.

En el sector central del área de regionalización de metica se encuentra con pendiente superiores al 12% y tan solo el 12,6% de la superficie total presentan pendientes inferiores al 12%, en este sector la categoría de pendiente ligeramente escarpada es la de mayor incidencia en el área con 37,2% de la superficie de la cuenca.

Las pendientes superiores al 50%, correspondiente a moderada y fuertemente escarpada se localizan en su mayoría en la zona media de la cuenca del Guayuriba en los municipios de Gutiérrez, Acacías y Guayabetal, y los municipios que se ubican a lo largo del trazo del sistema de Falla de Servita. La zona más extensa en la que se conserva una sola pendiente es la aledaña al cauce principal del río Guayuriba, zona baja de la cuenca, corresponde a una superficie homogénea de 28.471 hectáreas aproximadamente en la que se concentran pendientes inferiores al 3%, donde los municipios San Carlos de Guaroa, Villavicencio, Acacías y Puerto López los mayores contribuyentes. Ver tabla 39.

Tabla 39. Distribución de la pendiente en Rango de porcentajesen la cuenca del rio Guayuriba.

ID	RANGO DE PENDIENTE	TIPO DE PENDIENTE DEL TERRENO	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE
a	0-3%	Ligeramente plana	28.503,52	9%
b	3-7%	Ligeramente inclinada	2.310,92	1%
c	7-12%	Moderadamente inclinada	9.752,99	33%
d	12-25%	Fuertemente inclinada	66.489,09	21%
e	25-50%	Ligeramente escarpada	119.261,34	37%
F	50-75%	Moderadamente escarpada	59.472,42	18%
g	>75%	Fuertemente escarpada	34.958,91	11%

Fuente. ANLA adaptada de POMCAs.

La reclasificación de la Pendiente de terreno en grados que se realizada a las pendientes en grados, está establecida por los alcances técnicos del proyecto y depende directamente de las temáticas de amenazas y riesgos que se han definido para la evaluación de los POMCAs.

Tabla 40. Distribución de la Pendiente de terreno en rangos de grados en la cuenca del rio Guayuriba.

ID	RANGO DE PENDIENTE	TIPO DE PENDIENTE DEL TERRENO	SUPERFICIE (HA)	PORCENTAJE
a	5°	Plana o suavemente inclinada	34.529,08	11%
b	5 – 10°	Inclinada	34.818,45	11%
c	11 – 15°	Muy inclinada	43.933,94	14%
d	16-20°	Abrupta	41.725,	13%
e	21-30°	Muy abrupta	89.926,80	28%
F	31-45°	Escarpada	67.548,11	21%
g	>45°	Muy escarpada	8.267,26	2%

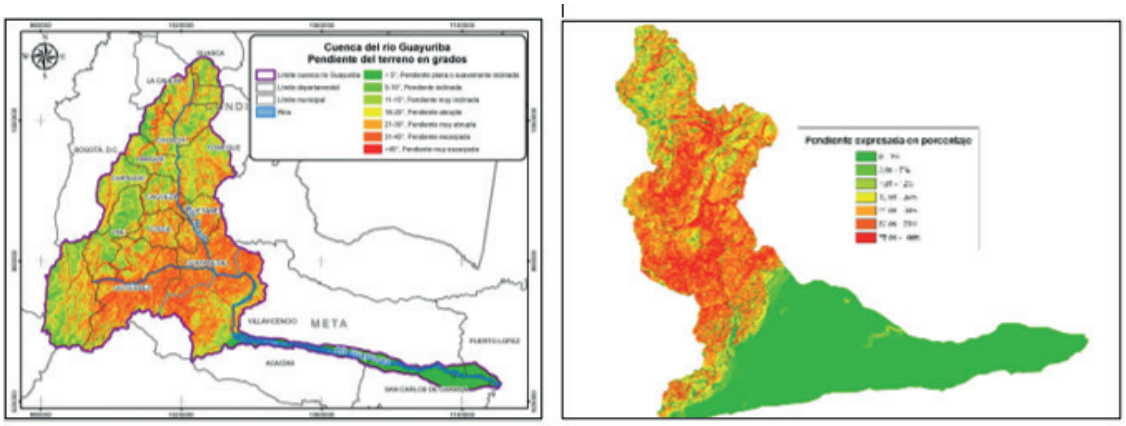
Fuente. ANLA adaptada de POMCAs.

Al analizar la pendiente del terreno en grados (tabla 40), se evidencia aún más la topografía heterogénea del área de estudio, donde no se identifica una categoría dominante. Sin embargo, se encontró que las pendientes de 45° Muy escarpada, y las abruptas de 17.5° y 15° están en mayor proporción en el área de la parte alta de las cuencas de Guayuriba, Guatiguia y Guamal, principalmente en los alrededores de los

municipios de Villavicencio y Acacías.

Las pendientes muy abruptas y escarpadas tienen mayor presencia en la cuenca del Guayuriba, Guatiquia y Guamal (Figura 70), respectivamente y se ven reflejadas en los municipios de Gutiérrez, Acacías y Guayabetal.

Figura 70. Pendientes del terreno en grados cuencas de Guayuriba y Guatiquia



Fuente. ANLA adaptada de POMCAs.

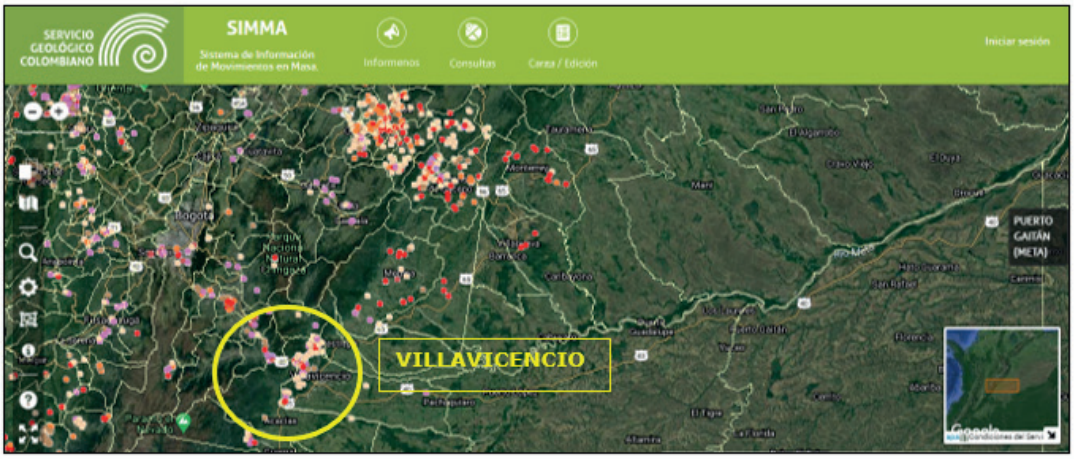
En el sector oriental del área hasta el límite con el piedemonte llanero las pendientes del terreno tienden en su mayoría a ser de una pendiente ligeramente inclinada a pendientes suave mente inclinadas a planas, y se caracterizan por ser un sector en donde predominan los depósitos de tipo aluvial, coluvial, glacial y fluvial, para generar un análisis adecuado, valoración del macizo rocoso y zonificación, este estudio realiza la caracterización clasificación y jerarquización de las pendientes y se define un porcentaje de amenaza que representa.

Caracterización de las zonas de Amenaza y su clasificación.

Tomando en consideración la información presentada en los POMCAS de las cuencas de los ríos Guayuriba, Guatiquia, rio Negro y Guamal, en donde se han desarrollado las valoraciones y clasificaciones del macizo rocoso de todas las UGS; ya clasificadas y evaluadas sus propiedades físico mecánicas, y de las condiciones geológicas, estructurales y morfodinámicas que están presentes en el área de regionalización de Metica, se procede a jerarquizar y avalorar para cada una de las categorías definidas y se desarrolla el cruce de la información, generando tres zonas con tres grados de amenaza, Baja, Media y, Alta, estas zonas están interpoladas y han generado una área integral con las valoraciones geomecánicas y de susceptibilidad necesarias para la valoración de la amenaza, en este caso la valoración generada en los POMCAS se concentró en la valoración realizada de la amenaza por fenómenos de remoción en masa (FRM) y procesos erosivos con la suma de dos factores detonantes (Lluvia y sismo), información gráfica que ha sido carga en los POMCAs y que está valorada en una escala de 1:50000 con una definición y caracterización final del terreno por fenómenos de remoción en masa y con dos procesos erosivos o detonantes de lluvia y la aceleración sísmica incorporados en el análisis, el ultimo detonante se ha tomado

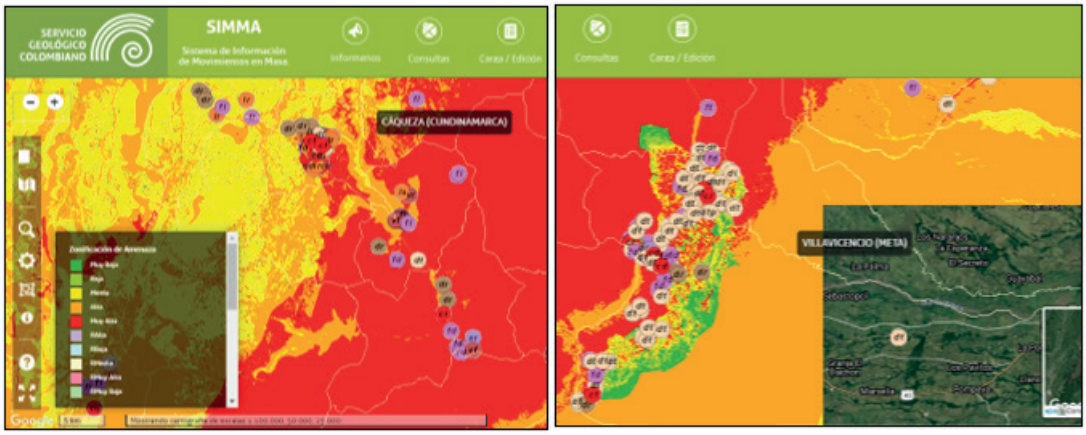
en consideración con lo establecido en al NSR-10, para la valoración y evaluación del componente de aceleración sísmica en la región, en este caso en particular y teniendo en consideración que la evaluación realizada está tomando en cuenta la información presentada y consultada (Página SIMMA, Del Servicio Geológico de Colombia (SGC)., n.d.). Figura 71 – 74.

Figura 71. Eventos registrados en el sistema de información de movimientos en masa en la regional de la SZH de los ríos: Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN)



Fuente. ANLA, adaptada de SIMMA - Servicio Geológico Colombiano – SGC.

Figura 72. Eventos registrados en el sistema de información de movimientos en masa en los municipios de Cáqueza y Villavicencio en la SZH de los ríos: Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN).



Fuente. ANLA, adaptada de SIMMA - Servicio Geológico Colombiano – SGC.

En la información consultada en la página SIMMA se han extraído los diferentes eventos clasificados como fenómenos de remoción en masa o eventos de remoción en masa ya de pendiendo de las

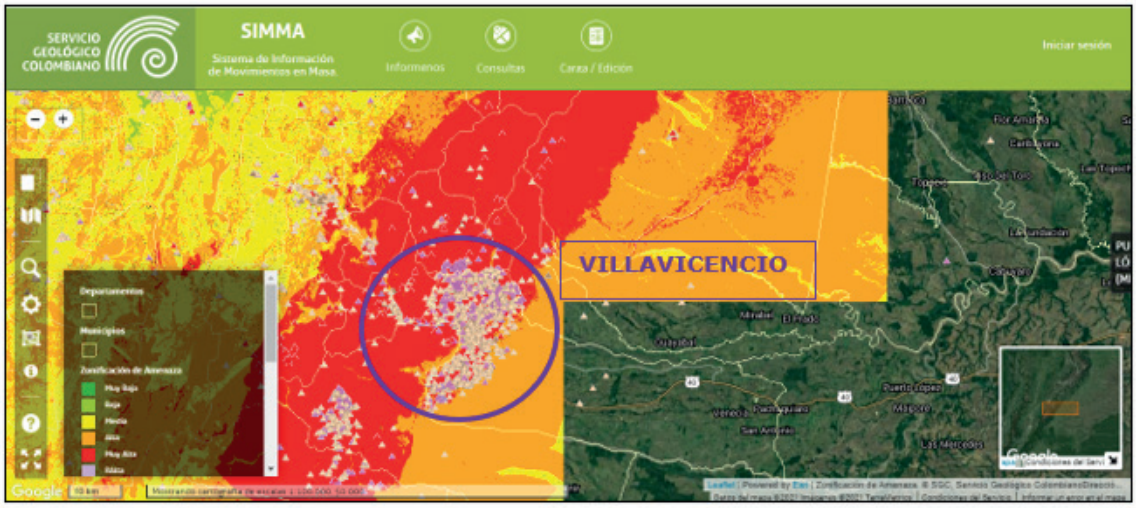
características y condiciones que se genera el eventos clasificados como deslizamientos, deslizamientos rotacionales y deslizamientos por licuación, flujos, caídas de rocas, volcamientos, avalanchas, reptación, propagación Lateral y deformación gravitacional profunda, en este reporte de los eventos la página tiene eventos que han sido reportados, algunos eventos solo están catalogados y otros eventos que si han sido inventariados en detalle, todos los eventos se encuentran debidamente georefenciados y caracterizados, solo los inventariados presentan detalle en sus eventos, en general esta información se puede consultar por municipios, para el Municipio de Villavicencio se tienen catalogados un total de 841 eventos de los cuales, 94 están inventariados. Figura 73

Figura 73. Eventos registrados en el sistema de información de movimientos en masa del municipio de Villavicencio, departamento del meta.

Fuente. ANLA, adaptada de SIMMA - Servicio Geológico Colombiano – SGC.

En la zonificación de la amenaza generada en este portal SIMMA del Servicio Geológico de Colombia, se pudo identificar que el sector de la cordillera oriental presenta una amplia zona clasificada con una amenaza por eventos de movimientos en masa como zonas muy altas, y alta, la clasificación de zonas media a baja se ubica principalmente en el flanco oriental de la cordillera oriental, piedemonte llanero y en el sector occidental, valle intramontano, margen sur oriente de la sabana de Bogotá. En el único sector que se tiene identificado y catalogada como una zonificación de baja a muy baja es en las inmediaciones de Villavicencio. Figura 74.

Figura 74. Zonificación de la Amenaza por eventos de movimientos en masa y el registro histórico importante de Fenómenos de Remoción en Masa de la regional de la SZH de los ríos: Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN)



Fuente. ANLA, adaptada de SIMMA - Servicio Geológico Colombiano – SGC.

En consideración con los proyectos que esta autoridad nacional ha autorizado y está siguiendo en este sector del rio Guayuriba se destaca la presencia del proyecto LAM4409 vía al llano, en donde se han presentado importantes eventos de inestabilidad geotécnica, producidos principalmente por el desconocimiento de las condiciones físico mecánicas y geotécnicas iniciales del macizo rocoso y como el proyecto llegaría a impactar la estabilidad de laderas y taludes, y en donde se han generado sectores en donde las condiciones geotécnicas lo clasifican como puntos críticos, eventos desarrollados en el punto K58.

En el expediente LAM1230 Chingaza, ubicado en la parte alta de la cuenca del rio Guatiquía, zona en donde la clasificación de la amenaza por movimientos en masa es alta y muy alta y en donde se han presentado eventos de inestabilidad geotécnica, que han sido identificados y en donde se han tomado las acciones correctivas necesarias, para mitigar los eventos de inestabilidad y de amenaza presentes en el sector, si bien la empresa a desarrollado actividades geotécnicas de sostenimiento y reconformación, existe el problema latente en el sector del túnel Guatiquía, túnel de descarga.

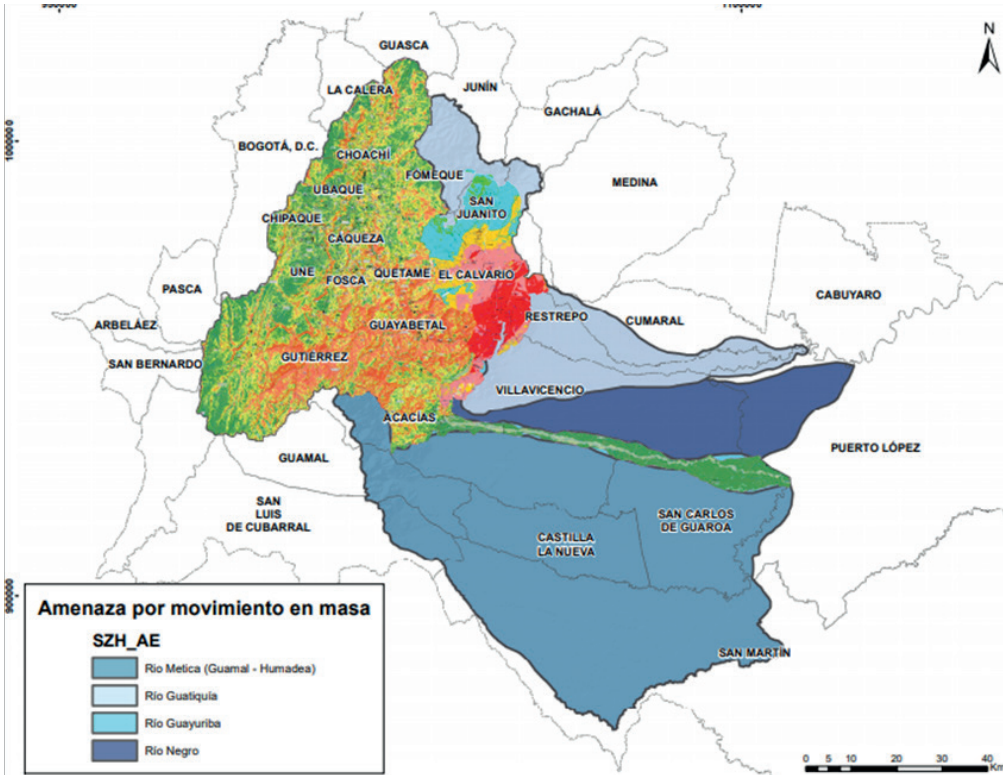
Al incorporar estos detonantes al análisis de la amenaza por fenómenos de remoción en masa, se obtiene una zonificación con un grado de susceptibilidad a la amenaza por fenómenos de remoción en masa y procesos erosivos (Tabla 41), valoración final que se ha definido y clasificado en 5 grados de amenaza, generando zonas susceptibles a la Amenazas por fenómenos de remoción en masa (FRM), con los detonantes antes expuestos de lluvia y sismo, se han evaluado las zonas y clasificado como de Amenaza muy Baja, Amenaza Baja, Amenaza Media, Amenaza Alta y, Amenaza Muy Alta. Clasificación presentada en Memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100 000 plancha 60-Canalete (SGC & UNAL, 2016).

Tabla 41. Amenaza Por Fenómenos De Remoción En Masa (FRM) Y Procesos Erosivos

Amenaza Por Fenómenos De Remoción En Masa (FRM) Y Procesos Erosivos	Condición del Terreno
Amenaza Muy Alta	Zonas altamente inestables en donde se evidencia procesos denudativos intensos y con fuerte actividad erosivas, zonas fuertemente relacionadas al uso del suelo y a la fuerte tectónica que afecta el macizo rocoso de la zona, la fuerte pendiente del terreno es un factor importante en la ocurrencia de los fenómenos de inestabilidad.
Amenaza Alta	Zonas inestables con alta pendiente y una fuerte intervención antrópica, con una actividad tectónica marcada con procesos erosivos y presencia de fenómenos de remoción en masa con alta ocurrencia, es frecuente encontrar rasgos morfodinámicos antiguos, cicatrices, coronas de deslizamiento anteriores, y la presencia de grietas e indicadores insipientes de fenómenos de inestabilidad.
Amenaza Media	Zonas de inestabilidad, susceptibles a fenómenos de remoción en masa y a procesos erosivos, condicionados al manejo del suelo y al correcto manejo hídrico, con pendientes moderadas a altas, presencia de rasgos morfodinámicos menores como deslizamientos, formación de cárcavas, reptaciones, flujos de lodos y detritos, el factor detonante de la inestabilidad es la lluvia intensa y sismos superficiales fuertes que puedan llegar a generar fenómenos de remoción en masa y denudativos de alto riesgo
Amenaza Baja	Zonas con una estabilidad relativa, en donde los procesos erosivos y denudativos se encuentran poco desarrollados y son de poca extensión, en esta zona las pendientes son bajas a moderadas, el macizo rocoso se encuentra poco afectado por la actividad tectónica, pequeños sectores que presentan una pendiente alta se encuentran cubiertos por vegetación espesa y nativa y con una baja intervención antrópica.
Amenaza Muy Baja	Zonas estables en donde no se presentan procesos de inestabilidad geológica recientes, con pendientes bajas a moderadas con abundante vegetación nativa, en estas zonas se han incluido las áreas de baja precipitación a moderadas.

Fuente: ANLA, 2021 -adaptada criterios de clasificación de amenaza.

Figura 75. Mapa de amenaza por Movimientos en masa.



Fuente: ANLA, 2021

Tomando en consideración esta última clasificación (amenaza por fenómenos de remoción en masa y procesos erosivos) desarrollada en los POMCAS, del área de regionalización de Metica (Figura75), se puede hacer una relación con la zonificación geotécnica del área de estudio, esta zonificación geotécnica toma en consideración cada una de las condiciones físico mecánicas, geológicas, estructurales y morfodinámicas de las áreas y desarrolla una clasificación del macizo rocoso y de las necesidades de valoración geotécnica y da una valoración geotécnica, con algunas recomendaciones, para la ejecución de los diferentes tipos de proyectos que se desarrollan en el área de estudio de Metica, en este sentido se debe entender que cada proyecto tendrá la obligación de implementar obras geotécnicas y parámetros geotécnicos particulares en cada proyecto que suplan las necesidades.

CLASIFICACION DE ZONAS HOMOGENEAS

Para desarrollar la zonificación de zonas geotécnicas homogéneas se toma como insumo la última clasificación resultante de la valoración realizada a la susceptibilidad a la amenaza por fenómenos de remoción en masa con los dos factores detonantes analizados definiendo cinco zonas, clasificadas desde zonas con una inestabilidad muy baja hasta zonas con una inestabilidad muy alta, tomando en consideración esta última clasificación realizada al área de estudio, la cual podemos relacionar con las clasificaciones generadas para la caracterización del macizo rocos (RMR), (Discontinuity et al., 1989); en donde se define la tabla de clasificación del macizo en cinco categorías definidos por el rango de RMR

presente en cada macizo rocoso:

- Macizos de calidad muy mala o de Clase V con un RMR 0-20.
- Macizos de calidad mala o de Clase IV con un RMR 20-40.
- Macizos de calidad regular o de Clase III con un RMR 40 - 60.
- Macizos de calidad buena o de Clase II con un RMR 60 - 80.
- Macizos de calidad muy buena o de Clase I con un RMR 80 - 100.

Tabla 42. Caracterización general de zonas geotécnicas

Zona de Amenaza	Rango De Calificación De La Zonificación Geotécnica
Zona de inestabilidad muy alta	Clase V, Zona muy inestable de manejo especial, (Punto crítico).
Zona de inestabilidad alta	Clase IV, Zona inestable recuperable.
Zona de inestabilidad media	Clase III, Zona potencialmente inestable.
Zona de inestabilidad baja	Clase II, Zona moderadamente estable.
Zona de inestabilidad muy baja	Clase I, Zona estable sin problema de manejo.

Fuente: Base Tabla de clasificación de zonas homogéneas, Modificada ANLA,2021.

Tabla 43. Rango De Calificación De La Zonificación Geotécnica

Rango de Calificación de la Zonificación Geotécnica	Rango de Calificación
Clase V, Zona muy inestable de manejo especial, (Punto crítico)	Estas zonas se caracterizan por presentar procesos de inestabilidad de tipo asentamientos y deformaciones de la superficie del macizo rocoso de gran magnitud, el diagnostico geotécnico es complicado y son zonas en donde van a existir incertidumbres sobre las clasificaciones geotécnicas, y de los patrones determinantes de la inestabilidad y la evolución de esta con el proyecto. Las posibles soluciones o medidas que se puedan desarrollar según las necesidades de cada proyecto se deben desarrollaran en base a los resultados de un estudio geotécnico detallado; adicionalmente en esta clasificación se incluye los sectores en los cuales el número de procesos morfodinámicos y de inestabilidad, su categorización, y el volumen del material y área amenazada puedan llegar a ocasionar problemas importantes en la estabilidad ambiental de cada proyecto y de las áreas asociadas, especialmente en proyectos lineales, en donde es necesaria adelantar medidas encaminadas a la conformación y conservación de taludes.

Rango de Calificación de la Zonificación Geotécnica	Rango de Calificación
Clase IV, Zona inestable recuperable.	En este tipo de zonas, frecuentemente se dan ´procesos geomorfológicos que afectan la estabilidad en superficie de los taludes laderas y áreas de proyecto, y en donde el grado de incertidumbre con respecto al comportamiento geotécnico y su desarrollo es de fácil modelación y análisis, y se pueden entender y conocer las condiciones del macizo rocoso por medio de un estudio geotécnico detallado en función de su magnitud, en donde las posibles medidas geotécnicas a implementar por cada uno de los proyectos, es tratado con medidas de mitigación geotécnicas convencionales que se puedan implementar en cada caso específico y según las necesidades propias de cada proyecto.
Clase III, Zona potencialmente inestable.	En este tipo de zonas, las propiedades de los materiales son deficientes de manera que, se debe garantizar el correcto manejo de las aguas de infiltración y de escorrentía, sistemas de drenajes y de evacuación controlada de las aguas de escorrentía y generar la confinación necesaria, en las zonas que puedan llegar a ser afectada, la constante variación de los factores externos de inestabilidad presentes en la zona nos llevan a definir una alta probabilidad de eventos de inestabilidad, sin embargo estos eventos no se consideran activos si nos producto del cambio en las condiciones y de los factores externos, en tal sentido en estas zonas se ´pueden desarrollar la infraestructura necesaria para la mitigación de la amenaza y para el manejo adecuando de la inestabilidad, se considera que en estas zonas el manejo de la estabilidad se puede realizar mediante la implementación de medidas sencillas de drenaje, contención, revegetalización, y con la conformación de taludes y áreas afectadas, es importante entender que en estas zonas los eventos de inestabilidad que se puedan presentar no son permanentes.
Clase II, Zona moderadamente estable	En esta categoría se clasifican las zonas con la presencia de fenómenos insipientes de procesos erosivos y/o de remoción en masa de pequeñas dimensiones que no afectan la estabilidad general del proyecto o del área de intervención. Se proyecta que en este sentido las condiciones geológicas y geotécnicas, de los materiales presentes en el macizo rocoso, no representan o no son un factor pasivo de inestabilidad, sin embargo, las pendientes de las laderas presentes en estas zonas pueden ser inclinadas a quebradas, en donde los proyectos deben implementar un adecuado manejo de las aguas de escorrentía y de la estabilidad.
Clase I, Zona estable sin problema de manejo.	Se Clasifica como zona sin problemas de estabilidad, en donde no está comprometida la estabilidad del proyecto ni del áreas aledañas y de influencia, en donde la probabilidad de ocurrencia de procesos erosivos y morfodinámicos son mínimos, debido a las características físico mecánicas del macizo rocoso, y a las condiciones morfológicas y estructurales del área, como de baja pendiente y caracterizaciones del macizo rocoso que le confieren una buena condición, se traducen en condiciones aceptables para la estabilidad.

Fuente: ANLA, 2021 -adaptada criterios de clasificación de zonas homogéneas.

5.2.4.2 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA para en el marco del licenciamiento ambiental

Los criterios técnicos que a continuación se presentan son el resultado del análisis regional realizado para el capítulo de geotecnia, no obstante, el profesional de evaluación será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por los usuarios.

Tabla 44. Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA

Situación evidenciada	Requerimiento
Tomando en consideración las condiciones y los factores de inestabilidad presentes en las zonas que han sido clasificadas como zonas Clase V y IV, consideradas zonas muy inestables	• En estas áreas se deben desarrollar labores de exploración específicas que permitan tanto al usuario como a esta Autoridad Nacional (ANLA), tener claros los modelos geológico y geotécnico del área y poder definir como es el comportamiento en la meteorización del macizo rocoso y el grado de fractura (RMR, GSI, Q, o el método que utilice para caracterizar al macizo rocoso), y que se exhibe en cada uno de los sectores. • Los proyectos de índole lineal que atraviesan estos sectores, deben desarrollar modelos geotécnicos, el perfil longitudinal a lo largo de todo el eje y los perfiles transversales en los sectores más críticos. • Las Zona muy inestable de manejo especial Clase V (Punto crítico), Tomando en consideración las observaciones realizadas es muy importante que los proyectos, implementen las metodologías de exploración geotécnica, planteadas en la norma sismo resistente NSR-10, titulo H. estudios geotécnicos y desarrollen un modelo geotécnico con caracterización geotécnica del Macizo rocoso, (GSI),(Bongiorno, n.d.); (RMR) Bieniaswski (1973), (Discontinuity et al., 1989); o mediante el Análisis del índice (Q) Barton et.al (1974) (Sciences, 2005), para el caso específico de túneles. Los proyectos lineales que estén en fase de evaluación y que se desarrollan en estas zonas, realicen una clasificación geotécnica del macizo rocoso detallada a lo largo del perfil longitudinal del proyecto, y presenten los perfiles de meteorización y de clasificación del macizo rocoso en una escala 1:2000 a más detallada de ser posible en puntos considerados como críticos, con perfiles transversales y de meteorización, implementación de métodos de exploración geotécnica y el desarrollo de mapas en escala detallada de ser posible en escalas de 1:500, con la implementación de la norma sismo resistente NSR-10, titulo H, estudios geotécnicos, tomando en consideración las recomendaciones expuestas en este documento y tomando en consideración los valores mínimos de los factores de seguridad presentados en esta norma para las evaluación en condición estática, dinámica o los valores definidos por esta autoridad nacional en los términos de referencia de cada proyecto y desarrollar las evaluaciones necesarias de otros factores detonantes de la inestabilidad de ser necesaria su evaluación, ya que estas dependen de las condiciones, físico mecánicas, geológicas y estructurales del macizo rocoso o de los suelos y depósitos presentes en el área y la implementación de medidas geotécnicas especiales. • En las áreas Clase IV, Zona inestable recuperable, Tomando en consideración las observaciones realizadas es muy importante que los proyectos, implementen las metodologías de exploración geotécnica, planteadas en la norma sismo resistente NSR-10, titulo H. estudios geotécnicos y desarrollen un modelo geotécnico con caracterización geotécnica del Macizo rocoso (RMR) Bieniaswski (1973) o mediante el Análisis del índice (Q) Barton et.al (1974) para el caso específico de túneles.

Fuente: Regionalización ANLA

5.2.5 COMPONENTE ATMOSFÉRICO

5.2.5.1 Calidad del aire

La calidad del aire en el área del reporte de análisis regional de la SZH de los ríos: Metica, Guatiquia, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN), consideró datos provenientes de campañas de monitoreo con Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire Industrial (SVCAI) indicativos de los proyectos licenciados de los años 2015 a 2020. Se obtuvieron registros de concentración de ciento treinta y tres (133) campañas de monitoreo, de cuatrocientos sesenta (460) puntos de monitoreo correspondientes a quince (15) proyectos licenciados distribuidos sectorialmente de la siguiente manera: hidrocarburos (10); infraestructura (4) y minería (1). Por otra parte, los contaminantes criterio monitoreados en el desarrollo de las campañas de monitoreo de los proyectos licenciados correspondieron a PST, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3 y contaminantes tóxicos COV, HCT y Benceno. Para los contaminantes CO, O_3 y los contaminantes tóxicos ya mencionados no se realiza el análisis de tendencia debido a que las concentraciones de los tiempos de exposición realizados no son compatibles con la normatividad y presentan baja frecuencia de monitoreo por parte de los proyectos.

En el área del SZH-MGGN se presentan tres (3) estaciones de calidad de aire de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena – CORMACARENA las cuales se ubican en el casco urbano del municipio de Villavicencio y su objetivo es establecer la calidad del aire de esta área urbana la cual presenta la mayor densidad poblacional de departamento del Meta y para las cuales se obtuvieron registros indicativos del contamínate criterio PM_{10} de los años 2017 a 2019.

5.2.5.1.1 Campañas de monitoreo realizadas por los proyectos

El resumen de las campañas de monitoreo de calidad del aire en la zona de estudio se presenta en la Tabla 45 en donde establecen las características en cuanto al sector, expediente, nombre del proyecto, año de la campaña de monitoreo, fuente de la información, contaminantes monitoreados, número de puntos de monitoreo, rango de días de monitoreo y representatividad del monitoreo la cual se calcula con el rango de días de muestreo respecto a la cantidad de días de un año, en donde la representatividad igual o superior al 5% es acorde con lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010).

Tabla 45. Descripción de las campañas de monitoreo realizadas por los proyectos licenciados.

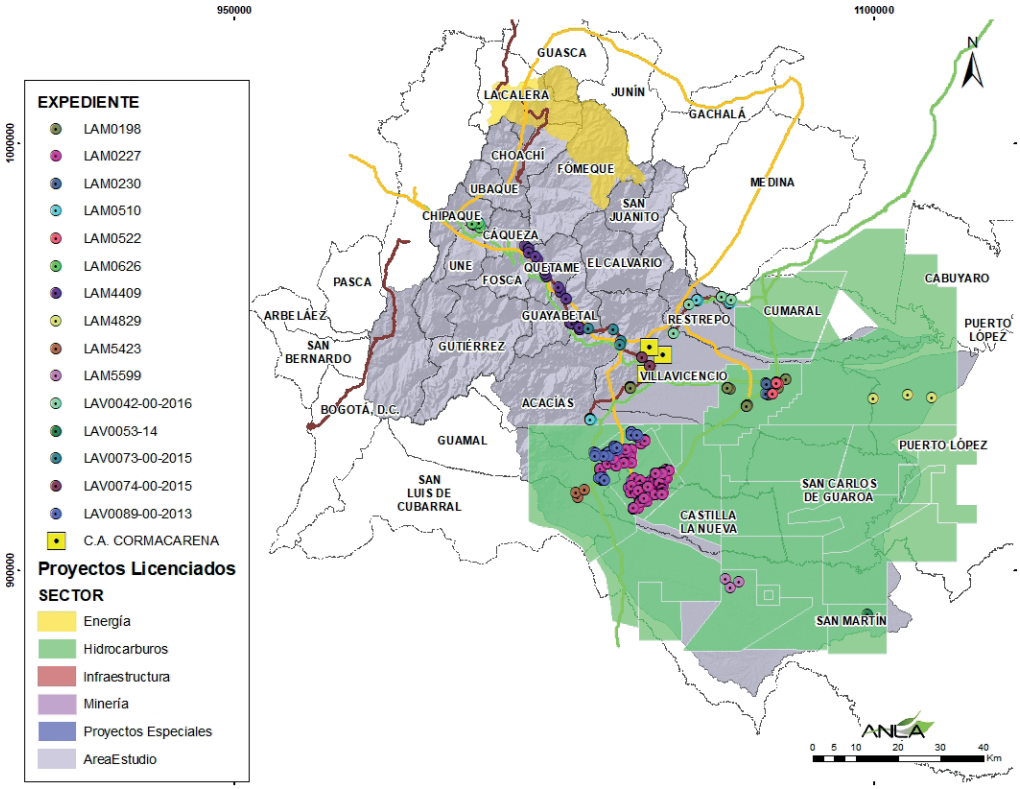
Sector	Número expediente	Nombre proyecto	Año - Información	Contaminantes monitoreados	Número de puntos	Rango de días	Represen-tatividad
Hidrocarburos	LAM0198	POZOS DE DESARROLLO APIAY A Y SURIA A Y B Y LIBERTAD	2015 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, O_3	10	18	5%
			2016 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO, O_3	9	18	5%
			2017 - ICA	PST, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3	10	17	5%
			2018 - ICA	PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, Benceno	10	18	5%
			2019 - ICA	PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3, HCT, COV	3	37	10%
	LAM0227	BLOQUE CUBARRAL, CAMPOS CASTILLA-CHICHIMENE	2015 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2	37	18 a 36	5% a 10%
			2015 - PMA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, O_3, HCT, COV	9	18 a 36	5% a 10%
			2016 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, O_3, HCT, COV	3	18	5%
			2016 - PMA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, O_3, HCT, COV	8	18 a 36	5% a 10%
			2017 - ICA	PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3	36	18 a 36	5% a 10%
			2018 - ICA	PST, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3, HCT, COV	37	18 a 36	5% a 10%
			2019 - ICA	PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3, HCT, COV	108	18 a 36	5% a 10%
	LAM0230	CONSTRUCCIÓN DE GASODUCTO DESDE CAMPO CUSIANA HASTA MONTERREY	2017 - ICA	PST, PM10, SO2, NO2, CO	3	22	6%
	LAM0510	GASODUCTO RAMALES CUMARAL RESTREPO Y ACACIAS	2016 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, HCT, COV	6	17	5%
			2017 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, HCT, COV	6	17	5%
			2018 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, HCT, COV	6	18	5%
	LAM0522	INSPECCIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO OLEODUCTO APIAY EL PORVENIR	2015 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO	5	18	5%
	LAM4829	SOLICITUD DE LICENCIA AMBIENTAL PARA EL PROYECTO DENOMINADO "BLOQUE EXPLORATORIO CPO-4"	2015 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO	3	17	5%

Sector	Número expediente	Nombre proyecto	Año - Información	Contaminantes monitoreados	Número de puntos	Rango de días	Represen-tatividad
	LAM5423	ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA CPO-9 (APE CPO9)	2015 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, O_3	12	18	5%
			2019 - ICA	PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO	3	35	10%
	LAM5599	ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA CSO	2017 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO	3	18	5%
	LAV0053-14	ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA LLANOS 65	2015 - PMA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2	1	18	5%
	LAV0089-13	CAMPO DE PRODUCCIÓN 50K CPO-09	2017 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO, O_3	18	18 a 36	5% a 10%
			2018 - ICA	PST, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3, HCT, COV	24	37	10%
			2018 - PMA	PST, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3, HCT, COV	5	5 a 18	5% a 5%
			2019 - ICA	PST, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3	9	18 a 50	5% a 14%
			2019 - PMA	PST, PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2, CO, O_3, COV	3	19	5%
Infraestructura	LAM4409	CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TRAMO EL TABLÓN (PR34) - CHIRAJARA (PR63) DE LA CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO	2015 - ICA	PM_{10}	28	17 a 24	10%
			2017 - ICA	PM_{10}, SO_2, NO_2	4	19	10%
			2018 - ICA	PM_{10}	1	19	10%
			2019 - ICA	PM_{10}	2	17	7%
	LAV0042-00-2016	PROYECTO VILLAVICENCIO – CUMARAL UNIDAD FUNCIONAL 1 DEL CORREDOR VILLAVICENCIO - YOPAL	2015 - ICA	PM_{10}	4	18	6%
			2019 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2	4	18	5% a 7%
			2020 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2	4	18	5%
	LAV0073-00-2015	CONSTRUCCIÓN NUEVA CALZADA DE LA CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO,	2018 - ICA	PM_{10}, SO_2, NO_2, CO	4	18	5%
	LAV0074-00-2015	CONSTRUCCIÓN NUEVA CALZADA DE LA CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO, TRAMO BIJAGUAL-FUNDADORES	2019 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO, O_3	2	17 a 33	5%
			2020 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2, CO, O_3	2	17	5%
Minería	LAM0626	CANTERA EL PEDREGAL EN UNE CUNDINAMARCA	2015 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2	3	38	5%
			2016 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2	3	38	5%
			2017 - ICA	PST, PM_{10}, SO_2, NO_2	6	38	5%
			2018 - ICA	PM_{10}, $PM_{2,5}$, SO_2, NO_2	3	25	5% a 9%
			2019 - ICA	PM_{10}	3	23	5%

Fuente: ANLA 2021, a partir de la información proporcionada por los proyectos licenciados.

De acuerdo con la información reportada por los proyectos licenciados del área de estudio, se procedió a representar espacialmente los puntos de monitoreo, cuyo resultado se presenta en la Figura 76 en donde se puede observar la distribución de los puntos, los cuales indican el área de operación de cada uno de los proyectos Licenciados por ANLA. La concentración de puntos de monitoreo más impórtate se presenta en los municipios de Acacías, Castilla La Nueva y Guamal del departamento del Meta correspondientes al expediente LAM0227 del proyecto Bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene.

Figura 76. Distribución de estaciones de monitoreo de calidad del aire en la zona de estudio entre 2015 y 2020



Fuente: ANLA 2021, a partir de la información reportada por los proyectos licenciados

5.2.5.1.2 Concentraciones de material particulado

Partículas Suspendidas Totales – PST

Las concentraciones promedio del contamínate PST de las campañas realizadas entre los años 2015 a 2020, presentaron excedencias indicativas para el proyecto LAM0626 del sector de minería el cual reporto 110,1 µg/m^3 en la campaña indicativa del año 2016 con representatividad del (10%), en la revisión de los datos con tiempo de exposición de 24 horas no se presentaron sobrepasos normativos. Para este año el proyecto monitoreo en tres (3) puntos en donde los puntos restantes no superaron el promedio de la norma anual.

En el año 2018 se realizó el monitoreo indicativo del contamínate PST en cuatro (4) estaciones del proyecto LAV0073-00-2015 del sector infraestructura con una representatividad del (5%) y con promedios anuales de 22,97 µg/m³ a 133,02 µg/m³, presentando esta última concentración un sobrepaso indicativo de la norma anual vigente. Ver Tabla 46. Para mayor detalle de la distribución de resultados del contaminante (PST) en el área SZH-MGGN, ver SIG WEB ANLA ÁGIL.

Tabla 46. Resumen de excedencias indicativas PST

Contaminante	Normatividad	Limite Normativo	Proyectos licenciados con monitoreos	Campañas de monitoreo	Excedencias Indicativas	Sector	Concentración
PST	Resolución 610/2010 MAVDT	100 µg/m³ año	14	39	LAM0626	Minería	110,1 µg/m³
Partículas Suspendidas Totales					LAV0073-00-2015	Infraestructura	133,02 µg/m³

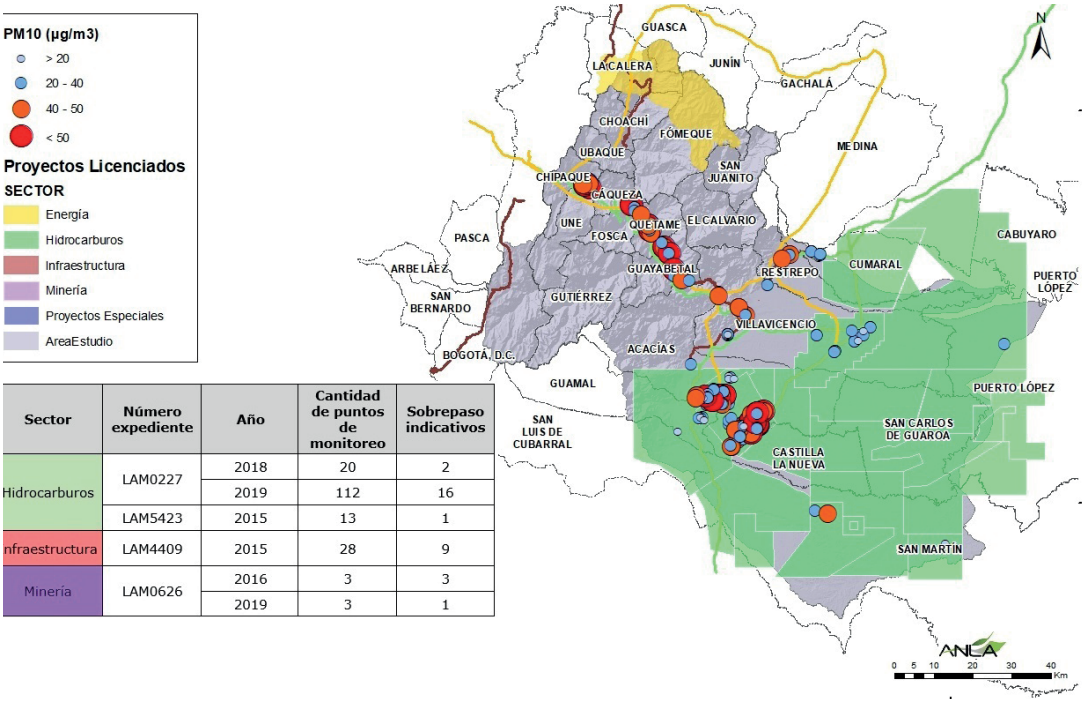
Fuente: ANLA 2021

Por otra parte, los proyectos: LAM0510; LAV0042-00-2016; LAV0073-00-2015; LAV0074-00-2015 y LAV0089-00-2013, han realizado campañas de monitoreo indicativas del contamínate PST después de la entrada en vigor de la Resolución 2254 de 2017.

Partículas Menores a 10 micras – PM_{10}

Los proyectos licenciados que presentaron sobrepasos indicativos en los promedios de campaña de se presentan en la Figura 77, en donde se puede establecer la distribución geográfica de las concentraciones promedio de PM_{10}, por rangos de concentraciones y para las cuales las excedencias están en el rango de <50 µg/m³ representadas en color rojo. De igual manera en esta figura se presenta la cantidad de sobrepasos indicativos por sector, expediente y año.

Figura 77. Mapa con la distribución de las concentraciones de material particulado PM10, como promedios de campaña entre 2015 y 2020



Sector	Número expediente	Año	Cantidad de puntos de monitoreo	Sobrepaso indicativos
Hidrocarburos	LAM0227	2018	20	2
		2019	112	16
	LAM5423	2015	13	1
nfraestructura	LAM4409	2015	28	9
Minería	LAM0626	2016	3	3
		2019	3	1

Fuente: ANLA 2021, a partir de la información reportada por los proyectos licenciados

Las concentraciones indicativas obtenidas para los proyectos LAM0227 y LAM5423 del sector hidrocarburos obedecen a la ubicación de los puntos de monitoreo de calidad de aire ya que están distribuidas sobre el perímetro de la locación tanto para las obras civiles como para la perforación de los pozos en donde de manera general para los tiempos de exposición de 24 horas los sobrepasos normativos son inferiores al 50% de las muestras obtenidas en la campaña indicativa.

Para el proyecto LAM4409 del sector infraestructura vial se relacionan los promedios de campaña en el Modelo de Almacenamiento de datos del año 2015, razón por la cual no es posible determinar la tendencia para los tiempos de exposición de 24 horas, sin embargo, dada la ubicación de los puntos de calidad de aire respecto al proyectó y la topografía del terreno con inclinaciones pronunciadas la ubicación de estas recibe el aporte directo tanto de las obras como del tráfico vehicular.

El proyecto LAM0626 del sector minería realizo campañas indicativas para los años 2015 a 2019 y en la campaña del año 2016 se presentó sobrepaso normativo al límite indicativo anual para las tres (3) estaciones monitoreadas. Para el año 2019 se presentó sobrepaso normativo al límite indicativo anual para una (1) estación de la tres (3) monitoreadas. En cuanto al límite normativo para los tiempos de exposición de 24 horas para las concertaciones diarias en el año 2016 no se presentaron sobrepasos normativos respecto a la norma vigente.

Los monitoreos de calidad de aire del contamínate PM_{10} realizados en tres (3) estaciones por CORMACARENA, para el año 2017 reportaron promedios de campaña de 21,2 µg/m³ a 54,3 µg/m³ con representatividad de (4% a 6%) en donde la última concentración presenta sobrepaso normativo al límite anual establecido en la norma vigente. En el año 2018 para las estaciones se presentó una variación en los

promedios de campaña de 23,1 µg/m³ a 62,4 µg/m³ con representatividades de (26% a 81%) en donde el sobrepaso normativo de la norma anual se presenta en la misma estación del año 2017. Finalmente, para el año 2018 las concertaciones promedio variaron de 26,5 µg/m³ a 30,3 µg/m³ con representatividades de (21% a 26%), sin que se presentaran excedencias en la norma anual para el contamínate PM_{10}.

Partículas Menores a 2,5 micras $PM_{2.5}$

Los proyectos que realizaron el monitoreo de particulado de tamaño menor o igual a 2,5 micras fueron cinco (5) entre los años 2017 a 2020. Se presentaron diez y ocho (18) excedencias indicativas respecto al nivel máximo permisible anual establecido, de 25 µg/m³, (Resolución 2254 MADS, 2017), en el proyecto LAM0227 del sector hidrocarburos en donde al igual que para el contamínate PM_{10} estas concentraciones obedecen a la ubicación de los puntos de monitoreo respecto a las fuentes de emisión de las obras civiles y perforación de los pozos. Ver Tabla 47. Para mayor detalle de la distribución de resultados del contaminante ($PM_{2,5}$) en el área SZH-MGGN, ver SIG WEB ANLA ÁGIL.

Tabla 47. Resumen de excedencias indicativas $PM_{2,5}$

Sector	Número expediente	Año	Cantidad de puntos de monitoreo	Sobrepaso indicativos
Hidrocarburos	LAM0227	2018	20	3
		2019	112	15

Fuente: ANLA 2021

5.2.5.1.3 Concentraciones de gases (NO_2 y SO_2)

Los resultados de Dióxido de nitrógeno (NO_2) en las campañas indicativas realzadas por los proyectos licenciados no se reportaron sobrepasos después de comparar los promedios de campaña con la norma de calidad de aire y las concentraciones obtenidas para los tiempos de exposición de 24 horas representan en el general de los datos el 25% de la norma vigente.

Para el contamínate Dióxido de azufre (SO_2) se realizó la comparación indicativa con el tiempo de exposición anual de la Resolución 610 de 2010, para los proyectos que realizaron campañas de monitoreo antes del año 2018 y para las cuales no se reportaron sobrepasos. Con la entrada en vigencia de la Resolución 2254 de 2017 los tiempos de exposición permisibles se deben reportar horarios y 24 horas. Para mayor detalle de la distribución de resultados de los contaminantes gaseosos (SO_2 y NO_2) en el área SZH-MGGN, ver SIG WEB ANLA ÁGIL

5.2.5.1.4 Permisos de emisiones atmosféricas

Los proyectos licenciados por ANLA que cuentan con permisos de emisiones atmosféricas en el área del SZH-MGGN, corresponde a siete (7), de los cuales siete (5) son del sector hidrocarburos y son otorgados para la quema de gas de las pruebas de producción y la operación de equipos y dos (2) del sector infraestructura vial en donde se otorga el permiso de operación de plantas trituradoras.

Por otra parte, CORMACARENA ha otorgado permisos de emisiones atmosféricas a dos (2) proyectos licenciados por ANLA del sector hidrocarburos en donde es relevante establecer que en proyecto LAM0227 BLOQUE CUBARRAL, CAMPOS CASTILLA-CHICHIMENE cuenta con seis (6) permisos de emisiones de teas y generadores de diferentes estaciones de producción.

El proyecto licenciado por ANLA LAM0626 del sector de minería cuenta con permiso de emisiones atmosféricas para la actividad de extracción y beneficio de materiales de construcción otorgado por CORPORINOQUIA. Para mayor detalle de los permisos de emisiones atmosféricas en el área SZH-MGGN, ver SIG WEB ANLA ÁGIL.

5.2.5.1.5 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA en el marco del licenciamiento ambiental para el componente Atmosférico (Aire).

Los criterios técnicos que a continuación se presentan son el resultado del análisis regional realizado para componente atmosférico (aire), no obstante, el profesional de evaluación será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por la Empresa.

Situación evidenciada	Requerimiento
No se establece en los seguimientos ambientales las acciones para garantizar el cumplimiento normativo de los proyectos que presentaron excedencias.	Después de corroborar los criterios de los monitoreos se debe solicitar como obligación un informe de las acciones implementadas para garantizar el cumplimiento del estándar normativo.
Se evidencia que los SVCAI indicativos de los proyectos licenciados por ANLA, no presentan un documento técnico de diseño para la operación con los criterios establecidos por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010).	Es obligación de los proyectos presentar el documento técnico de diseño del Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire tanto indicativos como fijos con criterios establecidos por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010).
Con la entrada en vigencia de la Resolución 2254 de 2017 del MADS, a partir del 1 de enero de 2018 no se cuenta con un nivel máximo permisible para Partículas Suspendidas Totales (PST).	Para los seguimientos a los proyectos licenciados, se recomienda actualizar las fichas correspondientes del plan de seguimiento y monitoreo. En el marco de las evaluaciones, los contaminantes a monitorear deben corresponder a los normalizados actualmente e incluir los que estén en el inventario de emisiones atmosféricas.

Situación evidenciada	Requerimiento
La información geográfica radicada por los proyectos licenciados por ANLA en el Modelo de Almacenamiento Geográfico, para las etapas de evaluación y seguimiento, es incompleta, ya que se reportan promedios de campaña y no resultados individuales de concentraciones de contaminantes.	Es una obligación de los proyectos Licenciados el diligenciamiento del Modelo de Almacenamiento Geográfico de los datos de manera individual, según el tiempo de exposición en la captura de la muestra.
La campaña de monitoreo de calidad del aire del proyecto LAM4409, del año 2018 realizo el monitoreo del contaminante PM_{10}, en un solo punto de monitoreo lo cual no cumple con lo establecido para un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire Industrial (SVCAI).	Se debe requerir al proyecto LAM4409, actualizar el programa de monitoreo y seguimiento ambiental del componente atmosférico – calidad del aire en el sentido de garantizar el mínimo de puntos de monitoreo, según lo establecido en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (MAVDT, 2010).
En la revisión de los permisos de emisiones atmosféricas no es claro si el permiso está vigente y si se a realizada el uso de este y dado que tanto ANLA como las corporaciones autónomas lo otorgan no se puede establecer el estado actual.	En el seguimiento de los proyectos se debe requerir a estos la actualización del estado del permiso de emisiones, así como la georreferenciación de estas autorizaciones para establecer un inventario de permisos otorgados por la Autoridad Nacional como por la Autoridad Regional.

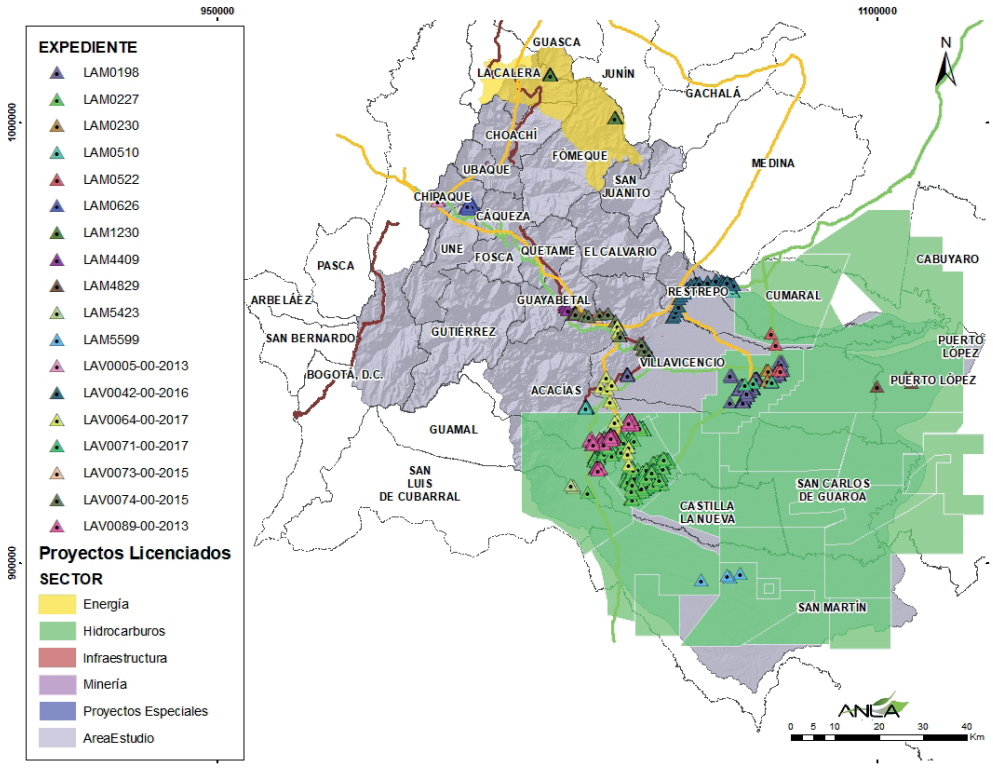
5.2.5.2 Ruido ambiental y emisión de ruido

5.2.5.2.1 Ruido ambiental

En el análisis de ruido ambiental del área SZH-MGGN consideró datos provenientes de monitoreos realizados por los proyectos Licenciados por ANLA, entre los años 2015 a 2020, en donde se identificaron dieciocho (18) proyectos con información para este componente y se realizaron cuarenta y uno (41) campañas de monitoreo anuales, para un total de (3.099) mediciones en la jornada diurna y (2128) mediciones en la jornada nocturna. Los proyectos licenciados con monitoreos de ruido ambiental fueron desarrollados sectorialmente de la siguiente manera: hidrocarburos (9), infraestructura (4), minería (1) y energía (4).

La distribución espacial de puntos de monitoreo de ruido ambiental en el área del SZH-MGGN, más representativa se presentó en el suroeste en los municipios de Acacías, Castilla La Nueva y Guamal del departamento del Meta correspondientes al expediente LAM0227 del proyecto Bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene, ver Figura 78.

Figura 78. Distribución de proyectos con información de monitoreo de ruido ambiental en la zona de estudio entre 2015 y 2020



Fuente: ANLA 2021, a partir de la información reportada por los proyectos licenciados

Debido a la distribución y los sectores de licenciamiento de los proyectos ANLA los potenciales receptores de ruido en el área del SZH-MGGN, es principalmente el Sector D. Zona Suburbana o Rural de Tranquilidad y Ruido Moderado establecidos en la (Resolución 627 MAVDT, 2006), ya que la ubicación de las fuentes de emisión de ruido reportadas por los proyectos se realiza en áreas con estas características, por lo anterior el área más sensible es la correspondiente al sur del área del reporte en lo los municipios de Acacías, Castilla La Nueva, Guamal, San Carlos de Guaroa, Puerto Lopez y San Martín del departamento del Meta en donde casi en la totalidad de las áreas de los municipios se ubican los polígonos de los proyectos del sector hidrocarburos.

Niveles de ruido ambiental:

Los monitoreos de ruido ambiental desarrollados en área del SZH-MGGN, en las jornadas diurna y nocturna entre los años 2015 a 2020 se presentan en la Tabla 48, en donde se establece el sector de licenciamiento, número de expediente, nombre del proyecto, año y fuente de información, cantidad de medicines diurnas y nocturnas y finalmente los niveles de ruido ambiental dB(A) máximos, en las jornadas diurna y nocturna, para cada uno de los años de monitoreo.

Tabla 48. Niveles de ruido ambiental máximos en los horarios diurno y nocturno

Sector	Número expediente	Nombre proyecto	Año - Información	Cantidad de mediciones		Niveles de ruido ambiental dB(A)	
				Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Hidrocarburos	LAM0198	POZOS DE DESARROLLO APIAY A Y SURIA A Y B Y LIBERTAD	2015 - ICA	164	162	74,7	71,8
			2016 - ICA	22	22	66,2	69,5
			2017 - ICA	11	16	65,8	67,3
			2018 - ICA	81	77	70,9	71,4
			2019 - ICA	64	102	79,4	82,5
	LAM0227	BLOQUE CUBARRAL, CAMPOS CASTILLA-CHICHIMENE	2015 - ICA/ PMA	99	99	73,7	76,4
			2016 - ICA/ PMA	25	25	80,7	73,4
			2017 - ICA	72	72	73,4	75,3
			2018 - ICA	174	160	78,4	77,3
			2019 - ICA	446	445	80,4	87,4
	LAM0230	CONSTRUCCIÓN DE GASODUCTO DESDE CAMPO CUSIANA HASTA MONTERREY	2017 - ICA	6	6	57,6	58,0
	LAM0510	GASODUCTO RAMALES CUMARAL RESTREPO Y ACACIAS	2016 - ICA	36	36	65,7	69,9
			2017 - ICA	48	48	76,6	77,2
			2018 - ICA	48	58	71,9	80,0
	LAM0522	INSPECCIÓN AMBIENTAL DEL PROYECTO OLEODUCTO APIAY EL PORVENIR	2015 - ICA	9	9	64,0	62,8
	LAM4829	SOLICITUD DE LICENCIA AMBIENTAL PARA EL PROYECTO DENOMINADO “BLOQUE EXPLORATORIO CPO-4”	2015 - ICA	5	5	65,5	68,8
	LAM5423	ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA CPO-9 (APE CPO9)	2015 - ICA	114	108	86,4	73,0
			2019 - ICA	6	6	69,2	55,2
	LAM5599	ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA CSO	2017 - ICA	8	8	67,0	64,5
	LAV0089 -00-2013	CAMPO DE PRODUCCIÓN 50K CPO-09	2017 - ICA	130	104	73,7	73,3
			2018 - ICA/ PMA	183	182	73,5	84,1
			2019 - ICA/ PMA	14	14	66,0	69,0

Sector	Número expediente	Nombre proyecto	Año - Información	Cantidad de mediciones		Niveles de ruido ambiental dB(A)	
				Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Infraestructura	LAM4409	CONSTRUCCIÓN DE LA SEGUNDA CALZADA TRAMO EL TABLÓN (PR34) - CHIRAJARA (PR63) DE LA CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO	2017 - ICA	23	24	78,9	70,4
			2018 - ICA	7	Sin dato	74,2	Sin dato
			2019 - ICA	30	Sin dato	91,5	Sin dato
	LAV0042 -00-2016	PROYECTO VILLAVICENCIO – CUMARAL UNIDAD FUNCIONAL 1 DEL CORREDOR VILLAVICENCIO - YOPAL	2015 - ICA	92	92	110,1	97,6
			2019 - ICA	48	48	61,1	61,1
			2020 - ICA	48	48	78,0	74,9
	LAV0073 -00-2015	CONSTRUCCIÓN NUEVA CALZADA DE LA CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO, TRAMO CHIRAJARA - BIJAGUAL	2018 - ICA	6	6	83,8	78,6
			2019 - ICA	28	28	78,9	77,9
	LAV0074 -00-2015	CONSTRUCCIÓN NUEVA CALZADA DE LA CARRETERA BOGOTÁ – VILLAVICENCIO, TRAMO BIJAGUAL-FUNDADORES	2018 - ICA	48	48	80,8	80,3
			2019 - ICA	40	40	79,5	78,4
			2020 - ICA	10	10	81,9	81,5
Mine-ría	LAM0626	CANTERA EL PEDREGAL EN UNE CUNDINAMARCA	2016 - ICA	96	Sin dato	74,0	Sin dato
			2018 - ICA	24	Sin dato	66,5	Sin dato
			2019 - ICA	10	Sin dato	64,2	Sin dato
Energía	LAM1230	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL DEL SISTEMA CHINGAZA	2015 - ICA	90	Sin dato	62,1	Sin dato
			2018 - ICA	659	Sin dato	70,5	Sin dato
	LAV0005 -00-2013	TRANSMISIÓN NUEVA ESPERANZA LÍNEA A 230 KV Y SUBESTACIÓN DE ENERGÍA	2016 - ICA	6	Sin dato	54,7	Sin dato
	LAV0064 -00-2017	CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 30 kV	2016 - ICA	28	28	79,1	81,5
	LAV0071 -00-2017	SUBESTACIÓN SURIA 230 kV Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ASOCIADAS	2015 - ICA	6	6	64,0	59,2

Fuente: ANLA 2021, a partir de la información reportada por los proyectos licenciados

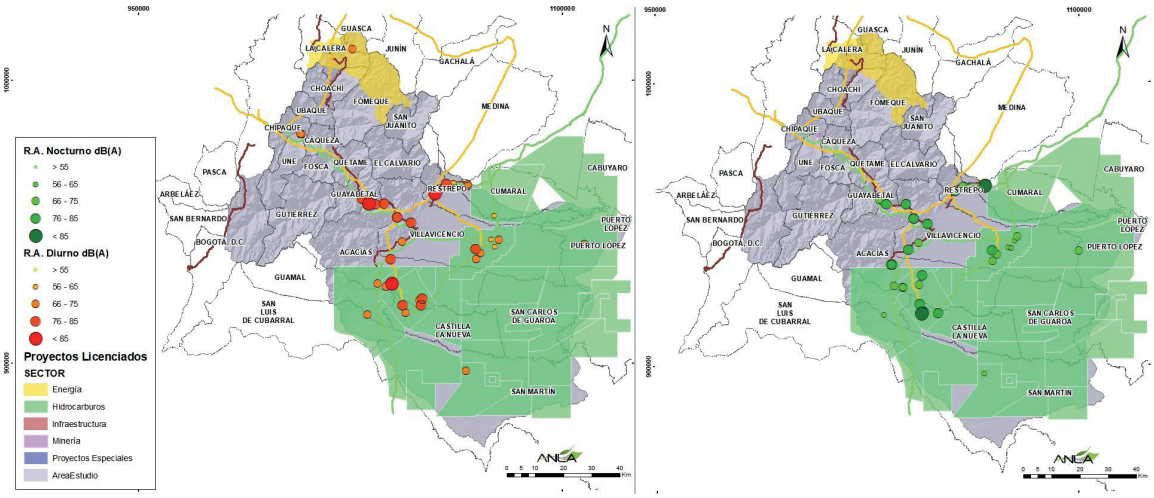
El proyecto que reporto los máximos niveles de ruido ambiental en las dos jornadas de monitoreo fue el proyecto LAV0042-00-2016 del sector de infraestructura en el seguimiento ambiental del año 2015 con 110,1 dB(A) para la jornada diurna y 97,6 dB(A) para la jornada nocturna. De las noventa y dos mediciones

realizadas para cada una de las jornadas, veintiséis (26) estuvieron por encima de los 85,0 dB(A) en la jornada diurna y doce (12) mediciones en la jornada nocturna. Para el seguimiento del año 2019 de este proyecto los valores máximos reparados fueron 61,1 dB(A) en la jornada diurna y 61,1 dB(A) en la jornada nocturna con cuarenta y ocho (48) medicines en cada jornada y en el año 2020 los máximos valores repostados fueron de 78,0 dB(A) en la jornada diurna y 74,9 dB(A) en la jornada nocturna con cuarenta y ocho (48) medicines en cada jornada. La ubicación de los puntos de monitoreo de ruido ambiental respecto al proyectó y la topografía del terreno con inclinaciones pronunciadas estos reciben el aporte directo tanto de las obras como del tráfico vehicular de la vía al llano.

Por otra parte, el proyecto que realizo más monitoreos de ruido ambiental en un año fue el LAM0227 BLOQUE CUBARRAL, CAMPOS CASTILLA-CHICHIMENE, lo que demuestra la gran caridad de actividades de obras civiles y perforaciones que se presentaron en el área de esta licenciada, en donde para el año 2019 reportaron cuatrocientas cuarenta y seis (446) mediciones diurnas y cuatrocientas cuarenta y cinco (445) medinés nocturnas con niveles máximos de 80,4 dB(A) y 87,7 dB(A) respectivamente, ver Figura 79.

Los proyectos LAM0626 del sector minería y LAM1230 del sector energía dentro de sus monitoreos de seguimiento anual reportaron datos solamente para la jornada diurna.

Figura 79. Mapa de ruido ambiental entre 2015 y 2020. Izquierda diurno y derecha nocturno



Fuente: ANLA 2021, a partir de la información reportada por los proyectos licenciados

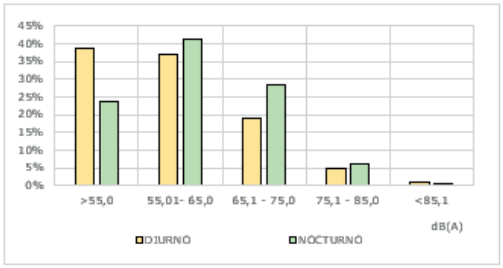
En la Figura 80, se presenta de la distribución por rangos en dB(A) para la totalidad de los puntos de monitoreo en el periodo de análisis en las dos jornadas en el área SZH-MGGN para las 3099 mediciones diurnas y 2128 mediciones nocturnas. El máximo porcentaje en la jornada diurna se presentó en el rango de >55,0 dB(A) con un 38,8% y en la jornada nocturna en el rango de 55,0 dB(A) a 65,0 dB(A) con un 41,1%. Los datos que están por encima de la norma respecto a cualquier uso del suelo están en el rango de 75,1 dB(A) a 85,0 dB(A) los cuales representan el 4,7% en la jornada diurna y 6,2% en la jornada nocturna y finalmente para ambas jornadas se reportaron datos superiores a <85,1 dB(A) el cual representa el 0,9%

en la jornada diurna y el 0,6% en la jornada nocturna.

Figura 80. Rangos de datos y comparación entre jornadas de monitoreo

DIURNO			Total, Mediciones:		3099
Rango dB(A)	>55	55 - 65	65 - 75	75 - 85	<85
Nº Datos	1203	1141	582	145	28
%	38,8	36,8	18,8	4,7	0,9
Nº Proyectos	17	17	14	9	3

NOCTURNO			Total, Mediciones:		2128
Rango dB(A)	>55	55 - 65	65 - 75	75 - 85	<85
Nº Datos	506	875	602	132	13
%	23,8	41,1	28,3	6,2	0,6
Nº Proyectos	11	15	11	9	2



Fuente: ANLA 2021, a partir de la información reportada por los proyectos licenciados

5.2.5.2.2 Emisión de ruido

La caracterización de emisión de ruido en el área SZH-MGGN consideró datos provenientes de monitoreos realizados por los proyectos licenciados por ANLA, entre los años 2015 y 2019 en donde se obtuvo la información de seis (6) proyectos, los cuales realizaron diez y ocho (18) campañas de monitoreo en el marco del seguimiento ambiental. Los proyectos licenciados con monitoreos de emisión de ruido fueron desarrollados sectorialmente de la siguiente manera: hidrocarburos (5), minería (1).

Niveles de emisión de ruido:

Los monitoreos de emisión ruido en área del SZH-MGGN, en las jornadas diurna y nocturna entre los años 2015 a 2019 se presentan en la Tabla 49, en donde se refiere el sector de licenciamiento, número de expediente, nombre del proyecto, año y fuente de información, cantidad de medicines diurnas y nocturnas y finalmente los niveles de ruido ambiental dB(A) máximos, en las jornadas diurna y nocturna, para cada uno de los años de monitoreo.

Tabla 49. Niveles de emisión ruido máximos horario diurno y nocturno

Sector	Número expediente	Nombre proyecto	Año - Información	Cantidad de mediciones		Niveles de emisión de ruido dB(A)	
				Diurno	Nocturno	Diurno	Nocturno
Hidrocarburos	LAM0198	POZOS DE DESARROLLO APIAY A Y SURIA A Y B Y LIBERTAD	2015 - ICA	13	13	71,0	70,7
			2016 - ICA	13	13	74,5	72,4
			2017 - ICA	5	5	71,1	74,5
			2018 - ICA	13	13	88,5	89,8
			2019 - ICA	25	25	88,0	90,6
	LAM0227	BLOQUE CUBARRAL, CAMPOS CASTILLA-CHICHIMENE	2015 - ICA	114	83	80,7	81,9
			2017 - ICA	88	55	101,7	91,3
			2018 - ICA	24	27	84,4	91,2
			2019 - ICA	125	33	92,9	91,1
	LAM0510	GASODUCTO RAMALES CUMARAL RESTREPO Y ACACIAS	2016 - ICA	24	24	67,4	59,2
			2017 - ICA	12	12	77,6	63,8
			2018 - ICA	12	12	61,2	63,7
	LAM5423	ÁREA DE PERFORACIÓN EXPLORATORIA CPO-9 (APE CPO9)	2015 - ICA	22	15	99,7	59,1
	LAV0089-00-2013	CAMPO DE PRODUCCIÓN 50K CPO-09	2017 - ICA	42	30	82,6	75,5
			2018 - ICA	10	10	77,1	76,8
Minería	LAM0626	CANTERA EL PEDREGAL EN UNE CUNDINAMARCA	2015 - ICA	10	Sin dato	73,4	Sin dato
			2016 - ICA	10	Sin dato	66,5	Sin dato
			2017 - ICA	10	Sin dato	66,7	Sin dato

Fuente: ANLA 2021, a partir de la información reportada por los proyectos licenciados

Los máximos niveles de emisión de ruido en las dos jornadas de monitoreo se reportaron en el proyecto LAM0227 BLOQUE CUBARRAL, CAMPOS CASTILLA-CHICHIMENE del sector de hidrocarburos en el seguimiento ambiental del año 2017 con 101,7 dB(A) para la jornada diurna en donde se realizaron ochenta y ocho (88) mediciones y 91,3 dB(A) para la jornada nocturna para la cual se realizaron cincuenta y cinco (55) mediciones. Este proyecto que fue el que realizo más monitoreos de emisión ruido en el periodo de estudio por lo cual se establece la gran caridad de actividades de obras civiles y perforaciones que se presentaron en el área de esta licenciada, en donde para el año 2019 reportaron ciento veinticinco (125) mediciones diurnas y treinta y tres (33) medinés nocturnas con niveles máximos de 92,9 dB(A) y 91,1 dB(A) respectivamente y las cuales son las segundas mediciones máximas para este proyecto.

En la jordana diurna el segundo registro más elevado reportado fue en el proyecto LAM5423 del sector hidrocarburos para un único seguimiento en año 2015 con un valor de 99,7 dB(A), y en la jornada nocturna el segundo registro más elevado lo reporto el proyecto LAM0227 del sector hidrocarburos en el seguimiento del año 2018, con 91,2 dB(A).

El proyecto del sector minería LAM0626 realizo monitoreos de emisión de ruido para los años 2015 a 2017 en la jornada diurna en donde para el año 2015 se reportó el máximo registro de 73,4 dB(A) y para el año 2016 el valor máximo reportado fue de 66,5 dB(A).

En los resultados reportados se presenta niveles altos de emisión de ruido de los proyectos del sector hidrocarburos ya que las fuentes de emisión se ubican generalmente en áreas industriales y la (Resolución 627 MAVDT, 2006), establece como estándares máximos permisibles de niveles de emisión de ruido en la jornada diurna y nocturna 75 dB(A), para el Sector C. Ruido Intermedio Restringido Zonas con usos permitidos industriales, según esto las medidas de control para mitigación o reducción del ruido que se desarrollan a nivel interno como las de seguridad industrial minimizan el ruido que perciben los trabajadores de los proyectos sin embargo se requiere la revisión de las medidas de control como la insonorización o uso de mamparas para la reducción de ruido y de igual manera establecer si el ruido trasciende a receptores sensibles aledaños a los proyectos.

5.2.5.2.3 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA en el marco del licenciamiento ambiental para el componente Atmosférico (ruido).

Los criterios técnicos que a continuación se presentan son el resultado del análisis regional realizado para componente atmosférico (ruido), no obstante, el profesional de evaluación será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por la Empresa.

Situación evidenciada	Requerimiento
La información geográfica radicada por los proyectos licenciados por ANLA en el modelo de datos, para las etapas de evaluación y seguimiento, es incompleta para los monitoreos de ruido ya no son diligenciados los indicadores de las mediciones (ruido residual y percentil 90).	Es una obligación de los proyectos Licenciados el diligenciamiento del modelo de almacenamiento geográfico de los indicadores de las mediciones para emisión de ruido, necesarios para el análisis de las mediciones.
Las campañas de monitoreo de ruido tanto ambiental como de emisión de los proyectos licenciados por ANLA, no establecen una metodología asociada al monitoreo permita la caracterización de la fuente específicamente.	Los proyectos deben establecer los lineamientos respecto al monitoreo de ruido ambiental y emisión de ruido; en donde la metodología asociada al monitoreo permita la caracterización de la fuente específicamente, lo relacionado con estimación de cantidad de puntos de monitoreo, tiempos de medición representativos para los horarios diurnos y nocturnos, y aplicación de ajustes.
Los proyectos del sector hidrocarburos presentan excedencias normativas en el desarrollo de la caracterización de ruido de emisión para las dos jornadas, los cuales pueden trascienden a otros sectores y generar molestias tanto a los seres humanos como a comunidades bióticas.	Es necesario el incremento de las medidas de control como (insonorización y mamparas) para los proyectos que reporten sobrepasos normativos en los monitoreos de emisión de ruido y a su vez después de implementadas estas medidas el reporte del cumplimento normativo.

5.3 MEDIO BIÓTICO

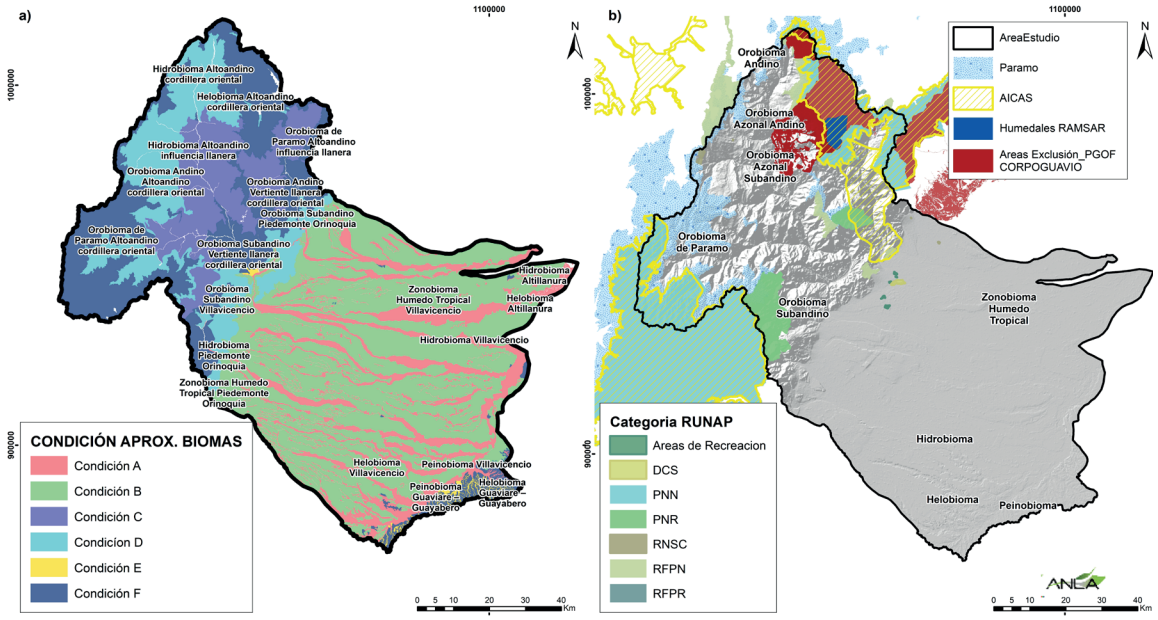
5.3.1 Contexto Regional

Para entender la situación de las unidades ecológicas, se generaron seis (6) categorías de condición aproximada de los biomas definidos por el Instituto Alexander von Humboldt, en una escala 1:100.000,

a partir de una evaluación sobre su condición en términos de rareza, remanencia, tasa de pérdida de sus coberturas naturales y representatividad (ANLA, 2018), a partir de los criterios establecidos en el "Manual de Compensaciones del componente Biótico" adoptado por la Resolución 256 de 2018 del MADS (modificada por la Resolución 1428 de 2018 y la resolución 370 del 15 de abril de 2021). La representatividad no tiene considerado los esquemas de protección locales que podrían incidir en la criticidad, por tanto, las condiciones representan aproximaciones diferenciables de vulnerabilidad y degradación de los ecosistemas, atributos que ponen en riesgo su permanencia y estabilidad a corto plazo.

Según las categorías planteadas, en la región se identificaron dos grandes sectores: el primer sector corresponde a la zona media y sur del área de estudio localizado en el piedemonte del Meta, donde se categorizo como "Condición A" los helobiomas de Altillanura y Villavicencio asociados a las zonas de inundación de los cuerpos de agua, y los hidrobiomas Piedemonte Orinoquia y Villavicencio asociados a los ecosistemas acuáticos con espejo de agua permanente, definidos en esta condición, debido a que son las únicas áreas naturales en medio de una matriz del paisaje con alta tasa de transformación y las cuales presentan una muy baja a baja representatividad en el sistema de área protegidas; específicamente estos biomas "Condición A" se ubican en medio del zonobioma húmedo tropical Villavicencio categorizado en "Condición B", el cual es el bioma con mayor representatividad en el área de estudio ocupando el 39% (Figura 81 a). Finalmente, se destaca que en este primer sector se concentran los proyectos licenciados por la autoridad y las figuras de protección para los biomas "Condición A y B" son áreas de recreación y reservas de la sociedad civil (Figura 81 b).

Figura 81 a) Categorías de criticidad de los biomas y b) figuras de protección en la SZH-MGGN



Fuente: ANLA (2021). Con información de IDEAM (2017), RUNAP (2021)

El segundo grande sector categorizado principalmente en Condición "C" y "D", se localiza en los ecosistemas de montaña (Orobiomas) que se caracterizan por su alto a muy alto grado de singularidad

y baja remanencia (Figura 81 a), como es el caso la zona de paramo de Sumapaz y Chingaza en la parte alta de las cuencas del área de interés, en este sector se concentran las estrategias de conservación representadas por el Sistema Nacional de Áreas Protegidas -SINAP, destacando en términos de extensión los Parques Nacionales Naturales (Sumapaz y Chingaza) y los Parques Naturales Regionales (Quebrada Honda y Bosque de Los Guayupes) junto con las áreas de distinción internacional (Figura 81 b).

En el área de estudio se encuentran un total de 45 áreas protegidas y cuatro áreas de distinción internacional: tres (3) de ellas áreas importantes para la conservación de las aves (AICAS) (AICA PNN Chingaza, AICA PNN Sumapaz y AICA cañon del río Guatiquia) y un (1) sitio RAMSAR (Sistema Lacustre de Chingaza); de los cuales, el AICA Cañón del rio Guatiquía no representa restricciones legales para su intervención ya que no se encuentra cobijada por la figura de protección normativa de PNN. No obstante, debe ser considerada como referente para la conservación de la biodiversidad, debido a que en esta zona se han registrado cerca de 100 especies de aves y se resalta la presencia del Condor de los Andes (Vultur gryphus) (BirdLife International, 2021).

En cuanto a instrumentos para el manejo de la biodiversidad, CORPOGUAVIO mediante Acuerdo 022 de diciembre 21 de 2017 adoptó el Plan General de Ordenación Forestal que contempla como áreas de exclusión la delimitación de paramo de la autoridad ambiental, los sitios de estatus RAMSAR, las áreas del SINAP, las reservas forestales protectoras de orden nacional; adicionalmente contempla en su zonificación zonas de protección, entendidas como todas aquellas en las cuales, por sus condiciones físicas, abióticas y/o por algún objeto especifico de conservación están destinadas a su total protección negando de esta manera la extracción de recursos forestales o de cualquier otro tipo de recurso natural presente en la zona y que pueda alterar su vocación y valor ambiental (Figura 81 b). En dichas áreas son prohibidas las actividades de aprovechamiento de productos forestales maderables, producción agropecuaria, usos industriales, minería, actividades como talas, quemas, caza y pesca, usos urbano, suburbano e institucional (CORPOGUAVIO, 2017)

Por otra parte, CORPORINOQUIA declara como especie protegida el helecho arborescente denominado comúnmente “Helecho Macho”, “Palma Boba” o Palma de Helecho, con los siguientes géneros: Dicksonia, Alsophylla, Cnemidaria, Cyathea.ceae, Nephelea, Sphaeropdteris y Trichipteris, adicionalmente, establece en todo el territorio de la Orinoquia la veda para el aprovechamiento del Pino Colombiano (Podocarpus rospigliossii, Podocarpus montanus y Podocarpus oleifolius), Nogal o Cedro Negro (Juglans spp), Hojarasco (Talauma caricifragans), Molinillo (Talauma hernandezii), Caparrapí (Ocotea caparrapí), Roble (Quercus Humboldtii) y Cespedón natural, de acuerdo a la resolución 0687 del 22 de diciembre de 1997. En ese sentido, los POA deben validar si dentro del área de influencia y el área de intervención hay presencia de especies en veda por parte de la autoridad regional o a nivel nacional, y proponer las medidas a que haya lugar para garantizar la conservación de las especies vedadas; de acuerdo con al parágrafo 2° del artículo 125 del decreto 2106 del 22 de noviembre de 2019.

5.3.2 Dinámica Faunística

5.3.2.1 Caracterización de fauna

En la región de la SZH-MGGN se identificaron 166 especies de interés por su grado de amenaza, endemismo y condición migratoria (Tabla 50). Estas especies pueden ser consideradas especies focales para realizar análisis y modelaciones ecológicas que permitan identificar áreas sensibles y de importancia ecosistémica al momento de evaluar los permisos asociados al medio bióticos y, definir medidas específicas por parte de los usuarios. Entre las especies de interés se destacan 40 migratorias y 78 endémicas, de las cuales 23

y 60 de ellas corresponden a peces, respectivamente. También hay siete especies en peligro de extinción (EN), 27 casi amenazadas (NT), seis en estado crítico (CR) y trece vulnerables (VU).

Es necesario destacar la riqueza de ictiofauna que se reporta en la región, ya que esta hace parte de la cuenca del Meta donde, según Trujillo et al. (2016), se encuentra la mayor proporción de especies de peces de la Orinoquia, más de la mitad de interés comercial y con condición migratoria o endémica. Trujillo et al. (2016) también hacen referencia a la importancia del piedemonte de la cuenca dadas las amenazas asociadas con las actividades agroindustriales, la explotación de hidrocarburos, la deforestación, la contaminación y la sobrepesca. Cabe anotar que la SZH-MGGN se encuentra localizada en el "Alto río Meta", área priorizada para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en la cuenca del Orinoco (Lasso et al., 2010).

Tabla 50. Especies faunísticas de interés reportadas en la SZH-MGGN

Fauna Terrestre				Fauna Acuática			
Nombre científico	Estado de amenaza			Nombre científico	Estado de amenaza		
	IUCN	Libro rojo	Res 1912/17		IUCN	Libro rojo	Res 1912/17
Clase Aves				**Clase Actinopterygii**			
Orden Accipitriformes				**Orden Characiformes**			
Familia Accipitridae				**Familia Anostomidae**			
Buteo swainsoni (M)	LC			*Leporinus friderici* (M)			
*Spizaetus isidori**	EN	EN	EN	**Familia Bryconidae**			
Familia Pandionidae				*Brycon falcatus* (M)			
Pandion haliaetus (M)	LC			*Brycon whitei*** (M)			
Orden Anseriformes				*Salminus hilarii* (M)			
Familia Anatidae				**Familia Characidae**			
Oxyura jamaicensis	EN		EN	*Astyanax abramis* (M)			
Orden Apodiformes				*Astyanax integer**			
Familia Trochilidae				*Astyanax maximus**			
*Campylopterus falcatus***	LC			*Bryconamericus cismontanus**			
*Chalcostigma heteropogon***	LC			*Bryconamericus macarenae**			
*Coeligena bonapartei***	LC			*Ceratobranchia sp.**			
*Coeligena helianthea***	LC			*Chrysobrycon guahibo**			
*Eriocnemis cupreoventris***	NT			*Creagrutus atratus**			
*Lesbia victoriae***	LC			*Creagrutus calai**			
*Oxypogon guerinii**	LC			*Creagrutus maculosus**			
Orden Cathartiformes				*Hemibrycon cristiani**			
Familia Cathartidae				*Hemibrycon metae**			
Vultur gryphus	NT	CR	CR	*Hemibrycon sp.* *			
Orden Charadriiformes				*Jupiaba sp.* *			
Familia Scolopacidae				*Knodus sp.**			
Actitis macularius (M)	LC			*Moenkhausia cotinho* (M)			
Gallinago nobilis	NT			*Moenkhausia lepidura* (M)			
Tringa melanoleuca (M)	LC			*Moenkhausia metae**			
Orden Cuculiformes				*Tetragonopterus argenteus* (M)			

Fauna Terrestre				Fauna Acuática			
Nombre científico	Estado de amenaza			Nombre científico	Estado de amenaza		
	IUCN	Libro rojo	Res 1912/17		IUCN	Libro rojo	Res 1912/17
Familia Cuculidae				*Tyttocharax metae**			
Coccyzus americanus (M)	LC			**Familia Crenuchidae**			
Orden Falconiformes				*Characidium sp.**			
Familia Falconidae				**Familia Curimatidae**			
Falco columbarius (M)	LC			*Potamorhina altamazonica* (M)			
Orden Gruiformes				*Psectrogaster ciliata* (M)			
Familia Rallidae				**Familia Cynodontidae**			
*Rallus semiplumbeus**	EN	EN	EN	*Hydrolycus armatus* (M)			
Familia Cardinalidae				*Rhaphiodon vulpinus* (M)			
Piranga rubra (M)	LC			**Familia Lebiasinidae**			
Familia Furnariidae				*Piabucina erythrinoides***			
*Asthenes flammulata***	LC			**Familia Parodontidae**			
*Synallaxis subpudica**	LC			*Apareiodon sp.**			
Familia Grallaridae				*Parodon apolinari***			
*Grallaria kaestneri**	EN	EN	EN	**Familia Prochilodontidae**			
*Grallaria quitensis***	LC			*Prochilodus mariae* (M)			
Familia Hirundinidae				*Semaprochilodus laticeps* (M)			
Hirundo rustica (M)	LC			**Familia Serrasalmidae**			
Riparia riparia (M)	LC			*Mylossoma duriventre* (M)			
Familia Parulidae				**Familia Triportheidae**			
Cardellina canadensis (M)	LC			*Triportheus brachipomus* (M)			
Geothlypis philadelphia (M)	LC			*Triportheus venezuelensis* (M)			
*Myioborus ornatus***	LC			**Orden Cyprinodontiformes**			
Setophaga fusca (M)	LC			**Familia Rivulidae**			
Familia Rhinocryptidae				*Anablepsoides sp.**			
*Scytalopus griseicollis**	LC			**Familia Apteronotidae**			
Familia Thraupidae				*Apteronotus galvisi**			
*Conirostrum rufum***	LC			*Apteronotus macrostomus**			
Sericossypha albocristata	VU			**Familia Cichlidae**			
Familia Troglodytidae				*Andinoacara sp. **			
*Cistothorus apolinari**	EN	CR		*Apistogramma alacrina**			
Familia Tyrannidae				*Apistogramma hoignei**			
Contopus cooperi (M)	NT	NT		*Apistogramma macmasteri**			
Empidonax alnorum (M)	LC			*Apistogramma viejita**			
Empidonax traillii (M)	LC			*Bujurquina mariae**			
*Leptopogon rufipectus***	LC			*Bujurquina sp.**			
*Phyllomyias uropygialis***	LC			*Cichla orinocensis* (M)			
Tyrannus savana (M)	LC			**Familia Aspredinidae**			
Tyrannus tyrannus (M)	LC			*Hoplomyzon sexpapilostoma**			
*Uromyias agilis***	LC			**Familia Astroblepidae**			
Orden Psittaciformes				*Astroblepus latidens**	VU		

Fauna Terrestre				Fauna Acuática			
Nombre científico	Estado de amenaza			Nombre científico	Estado de amenaza		
	IUCN	Libro rojo	Res 1912/17		IUCN	Libro rojo	Res 1912/17
Familia Psittacidae				*Astroblepus mariae**			
Hapalopsittaca amazonina	VU	VU	VU	*Astroblepus marmoratus**	DD		
*Pyrrhura calliptera**	VU	VU	VU	*Astroblepus sp.**			
Clase Amphibia				**Familia Auchenipteridae**			
Orden Anura				*Ageneiosus inermis* (M)			
Familia Bufonidae				**Familia Callichthyidae**			
*Atelopus lozanoi**	EN		CR	*Corydoras axelrodi**			
*Atelopus mandingues**	CR			*Corydoras loxozonus**			
*Atelopus muisca**	CR		CR	*Corydoras melanotaenia**			
Familia Craugastoridae				*Corydoras metae**			
*Pristimantis bogotensis**	LC			*Corydoras simulatus**			
*Pristimantis elegans**	VU			**Familia Cetopsidae**			
*Pristimantis nervicus**	LC			*Cetopsis orinoco**			
*Pristimantis w-nigrum***	LC			*Cetopsis plumbea* (M)			
Familia Dendrobatidae				**Familia Heptapteridae**			
*Hyloxalus subpuntactus**	LC			*Cetopsorhamdia orinoco**			
Familia Hylidae				*Cetopsorhamdia picklei*		NT	
*Dendrosophus molitor**	LC			*Chasmocranus rosae**	LC		
*Hyloscirtus bogotensis**	NT			*Imparfinis sp. **			
Orden Caudata				*Nemuroglanis mariai**			
Familia Plethodontidae				*Phenacorhamdia sp. **			
*Bolitoglossa adspersa**	LC			*Pimelodella figueroai**			
Clase Reptilia				**Familia Loricariidae**			
Orden Squamata				*Ancistrus triradiatus***			
Familia Dactyloidae				*Chaetostoma dorsale**			
*Anolis heterodermus***	LC			*Chaetostoma formosae**			
Familia Gymnophthalmidae				*Chaetostoma joropo**			
*Anadia bogotensis**	NT			*Chaetostoma platyrhynchus***			
*Riama striata**	LC			*Chaetostoma sp. **			
Familia Tropiduridae				*Dolichancistrus fuesslii**			
*Stenocercus trachycephalus***	LC			*Farlowella colombiensis**			
Orden Testudines				*Farlowella mitoupibo**			
Familia Testudinidae				**Familia Pimelodidae**			
Chelonoidis carbonarius			VU	*Pimelodus blochii* (M)			
Clase Mammalia				*Pimelodus garciabarrigai**			
Orden Artiodactyla				*Pimelodus ornatus* (M)			
Familia Cervidae				*Pimelodus pictus* (M)			
Mazama rufina	VU			*Pseudopimelodus schultzi* (M)	LC	VU	VU
Familia Tayassuidae				*Sorubim lima* (M)		NT	
Tayassu pecari	VU			**Familia Trichomycteridae**			

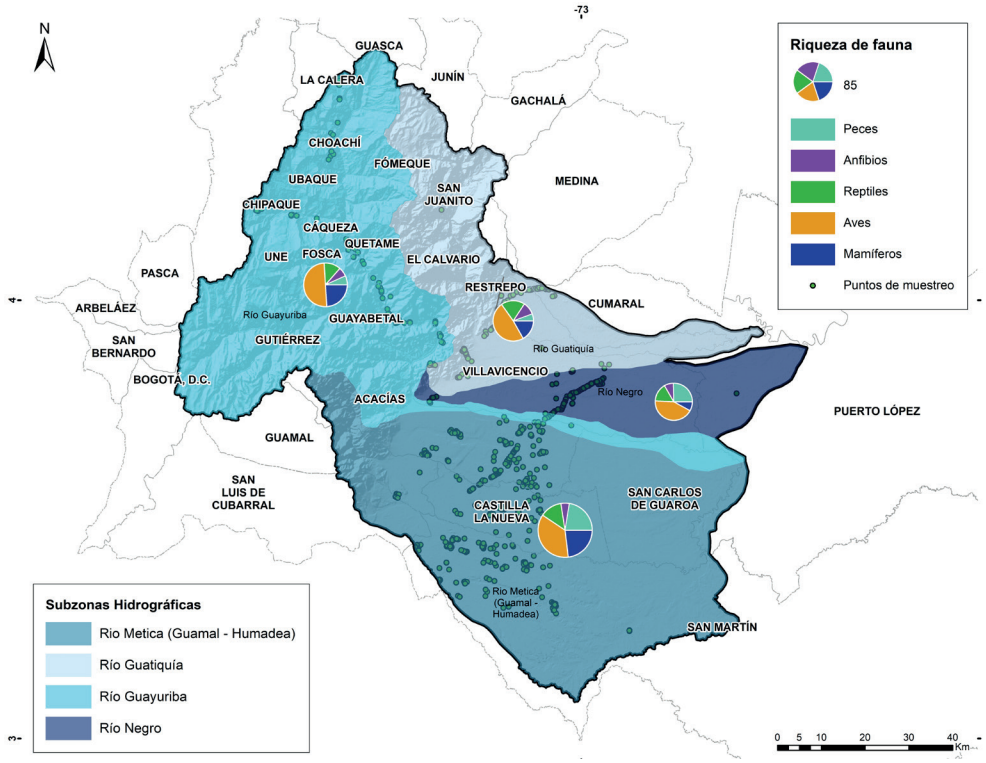
Fauna Terrestre				Fauna Acuática			
Nombre científico	Estado de amenaza			Nombre científico	Estado de amenaza		
	IUCN	Libro rojo	Res 1912/17		IUCN	Libro rojo	Res 1912/17
Familia Felidae				*Ituglanis metae**			
Leopardus tigrinus	VU		VU	*Paravandellia sp.* *			
Leopardus wiedii	NT			*Schultzichthys gracilis**			
Panthera onca	NT		VU	*Trichomycterus dorsostriatum**			
Familia Mustelidae				*Trichomycterus migrans**			
Lontra longicaudis	NT			*Trichomycterus sp.**			
Pteronura brasiliensis							
Familia Procyonidae				*Trichomycterus steindachneri**			
Nasuella olivacea	NT			**Clase Elasmobranchii**			
Familia Ursidae				**Orden Myliobatiformes**			
Tremarctos ornatus	VU		VU	**Familia Potamotrygonidae**			
Orden Perissodactyla				*Potamotrygon motoro*	DD	VU	VU
Familia Tapiridae				*Potamotrygon orbignyi*	LC	NT	
Tapirus pinchaque	EN						
Tapirus terrestris	VU		CR				
Orden Pilosa							
Familia Myrmecophagidae							
Myrmecophaga tridactyla	VU		VU				
Orden Primates							
Familia Aotidae							
Aotus brumbacki	VU		VU				
Familia Atelidae							
Lagothrix lagothricha lugens	VU		VU				
Orden Rodentia							
Familia Cuniculidae							
Cuniculus taczanowskii	NT						
Familia Dinomyidae							
Dinomys branickii	VU		VU				
Familia Echimyidae							
*Olallamys albicauda**	DD						

* Endémica; ** Casi Endémica; (M) Migratoria; VU: Vulnerable; EN: En Peligro; NT: Casi Amenazada; LC: Preocupación Menor; DD: Datos Desconocidos

Para tener una aproximación a la riqueza de fauna reportada por los usuarios, se sistematizaron 6.328 registros georreferenciados pertenecientes a 19 expedientes (LAM0198, LAM0227, LAM0230, LAM0510, LAM0626, LAM2048, LAM2947, LAM3960, LAM4409, LAM4829, LAM5423, LAM5688, LAV0089-13, LAV0005-13, LAV0042-00-2016, LAV0064-00-2017, LAV0071-00-2017, LAV0073-00-2015, LAV0074-00-2015).

En el área de estudio los proyectos han identificado 428 familias, de las cuales el 43% corresponden a aves, el 19% a mamíferos, el 16% a peces, el 15% a reptiles y el 7% a anfibios. De manera particular, en la SZH Río Metica (Guamal - Humadea) se ha registrado el mayor número de familias, (n= 160, 37%), probablemente asociado a un mayor esfuerzo de muestreo representado por el número de puntos sistematizados en esta SZH (Figura 82). No obstante, en el caso de la ictiofauna, la riqueza de familias coincide con la alta riqueza de especies (103 especies) documentada en la subcuenca Guamal-Humadea (Trujillo et al., 2016).

Figura 82. Riqueza de familias reportadas por los proyectos objeto de licenciamiento ambiental en la SZH-MGGN



Fuente: ANLA, 2021

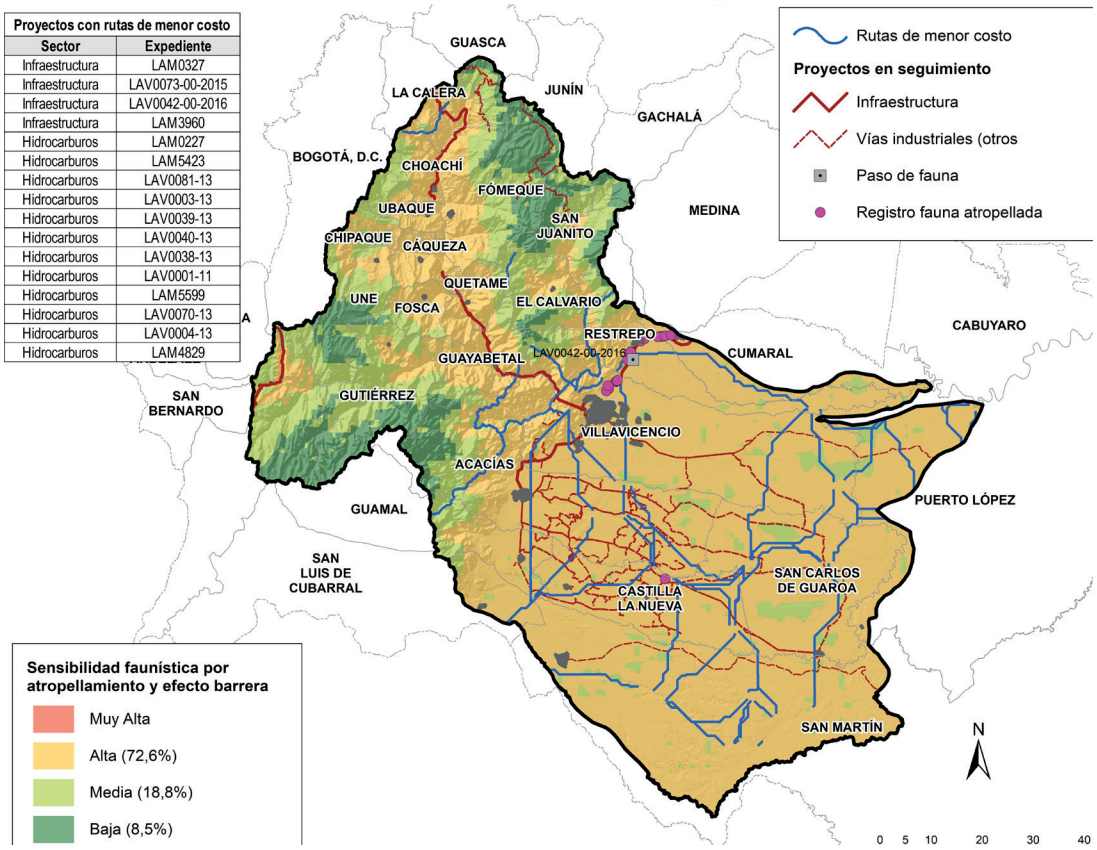
5.3.2.2 Sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera

El 72,6% del área de estudio presenta una “Alta” sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera, de tal forma que los proyectos de infraestructura vial se encuentran localizados sobre un paisaje con una alta probabilidad de distribución potencial de mamíferos medianos y grandes, algunos de ellos en estado de amenaza como se describe en la Tabla **50**. El sur de la SZH-MGGN presenta la mayor proporción de dicha sensibilidad, allí se localizan 27 bloques de hidrocarburos cuyas vías industriales podrían estar afectando el movimiento de las especies terrestres, particularmente en los municipios de Castilla La Nueva y San Carlos de Guaroa (Figura 83).

Asociada a la alta sensibilidad faunística, la depuración de las bases de datos sistematizadas arrojó 640 registros de mamíferos georreferenciados dentro del área regionalizada, en los últimos 5 años. Los registros representan 12 órdenes, 32 familias y más de 100 especies; de las

cuales, el 57% corresponden a mamíferos terrestres y arborícolas con una alta susceptibilidad frente al atropellamiento de fauna y al efecto barrera. A partir de la sistematización se identificó un paso de fauna (expediente LAV0042-00-2016) y 20 registros de atropellamiento en la región.

Figura 83. Sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera en la SZH-MGGN



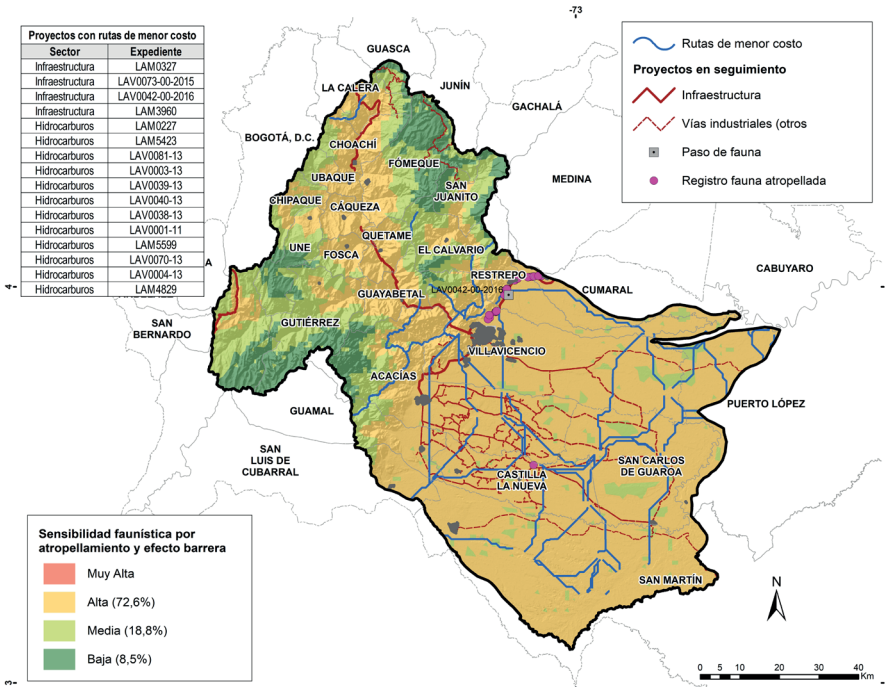
Fuente: ANLA, 2021

Teniendo en cuenta lo anterior, fue necesario complementar el análisis de sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera, mediante la modelación de rutas de menor costo que reflejen los posibles "caminos" que están utilizando las especies para moverse en el paisaje altamente transformado (ver numeral 5.2.1). Para tal fin, revisada la información de monitoreos ciudadanos compartida por Corpoguavio y la evidencia directa de atropellamiento por parte de los profesionales bióticos del grupo de Análisis Regional, se seleccionaron como especies focales el Oso Andino (*Tremarctos ornatus*) y el Oso Mielero (*Tamandua tetradactyla*), especies que representan los ecosistemas localizados en el gradiente altitudinal del área de estudio.

Las rutas de menor costo cruzan dieciséis proyectos (Figura 84), cuatro de ellos del sector Infraestructura y doce del sector Hidrocarburos. En relación con los proyectos de infraestructura, las rutas se localizan en los municipios de La Calera (LAM0327), Guayabetal (LAV0073-00-2015) y Villavicencio (LAM3960, LAV0073-

00-2015 y LAV0042-00-2016). Respecto a los proyectos de Hidrocarburos, el 46% de los "caminos" que podrían ser utilizados pora las especies se interceptan con las vías industriales del sector y más del 50% de los registros de mamíferos terrestres y arborícolas se encuentran a menos de 200 metros de estas. Es importante resaltar que el único paso de fauna identificado en la región se ubica sobre una de las rutas de menor costo, pero, también existen registros de atropellamiento en la misma zona y en todo el tramo de la vía (expediente LAV0042-00-2016).

Figura 84. Rutas de menor costo asociadas a los proyectos de infraestructura e hidrocarburos en la SZH-MGGN



Fuente: ANLA, 2021

5.3.3 Conectividad Ecológica Funcional

Para analizar el paisaje de la SZH-MGGN se evaluó la idoneidad del hábitat y la conectividad ecológica usando el Águila pescadora (*Pandion halietus carolinensis*) como especie focal. Esta especie migratoria boreal fue escogida por sus patrones comportamentales en la época de invierno, también por sus requerimientos específicos de hábitat y alimentación, aspectos que la convierten en una especie sensible dentro del territorio, cuyas poblaciones pueden llegar a afectarse por la confluencia de proyectos en la zona.

El Águila pescadora es un ave rapaz, perteneciente al orden de los Accipitriformes, que se distribuye en todo el territorio colombiano, en altitudes inferiores a los 4.000 msnm (Fernando Ayerbe Quiñones, 2018). Inicia su ciclo de migración a finales de septiembre y principios de octubre y emprende el regreso hacia su zona de reproducción a finales de febrero y principios de marzo (Ocampo-Peñuela, 2010). Hasta el momento no se ha reportado su reproducción en Colombia (Márquez et al., 2005), no obstante, se

ha determinado que los individuos juveniles de un año se establecen en los rangos no reproductivos durante dieciséis meses consecutivos antes de volver hacia el norte a reproducirse (Poole, 1989 citado por (Márquez et al., 2005). Es una especie piscívora, cuya necesidad básica de hábitat atañe a una fuente adecuada de peces que se puedan capturar cerca de la superficie del agua, la cual debe ser lo suficientemente clara para que los peces puedan ser observados desde puntos elevados (entre 20 y 30 metros) (Johnsgard, 1990). Puede ocupar humedales, inclusive urbanos y suburbanos, no obstante, tiene preferencia por los bosques riparios (Johnsgard, 1990). Al parecer, en el caso de nuestro país con el desarrollo creciente de la industria piscícola, esta ave ha variado (en parte) la ocupación de hábitats naturales tradicionalmente utilizados tales como estuarios, manglares, lagos y ríos para incorporar como sitios de forrajeo los estanques piscícolas, en donde son eliminadas debido a las supuestas pérdidas económicas que causan (Márquez et al., 2005).

De acuerdo con los registros obtenidos por medio de telemetría satelital se conoce que los individuos de *Pandion haliaetus* hacen paradas durante su migración y permanecen en sus zonas no-reproductivas, cerca de cuerpos de agua de donde obtienen los peces para alimentarse (Márquez et al., 2005). De igual forma, con resultados obtenidos a través de telemetría satelital, Washburn et al., 2014 sugieren que como estrategia de invernada para reducir el riesgo de mortalidad y maximizar la conservación de energía, los individuos adultos de *P. haliaetus* invernantes son sedentarios, demostrando un patrón de movimientos diarios limitado y una elevada fidelidad a las ubicaciones seleccionadas (presumiblemente dormideros), es así que una vez establecidos en sus áreas durante la época de invierno, se mueven con poca frecuencia y sus movimientos son muy localizados (i.e.<5 km de las áreas de dormideros seleccionadas); para los individuos juveniles residentes en el trópico señalan que presentan un rango de hogar y áreas núcleo relativamente pequeños, siendo en promedió de 12.7 km^2 y 1.4 km^2, respectivamente.

Teniendo en cuenta los requerimientos de hábitat de la especie, se realizó un análisis multicriterio de cinco variables que permitieron generar una aproximación a la aptitud del hábitat en la SZH-MGGN (Tabla 51). La modelación se realizó utilizando el programa libre *Linkage mapper* y la información cartográfica de todas las variables fue procesada con una resolución de 30 m para direccionar intervenciones específicas en sitios considerados relevantes para la conectividad (Beier et al., 2011)gene flow, range shifts, and other ecological and evolutionary processes that require large areas, lo cual se ajustaría, nuevamente, hacia aquellas áreas potenciales para realizar compensaciones e inversión del 1% por parte de los proyectos licenciados.

Tabla 51. Análisis multicriterio para determinar la aptitud del hábitat para el Águila Pescadora (Pandion haliaetus) en la SZH-MGGN

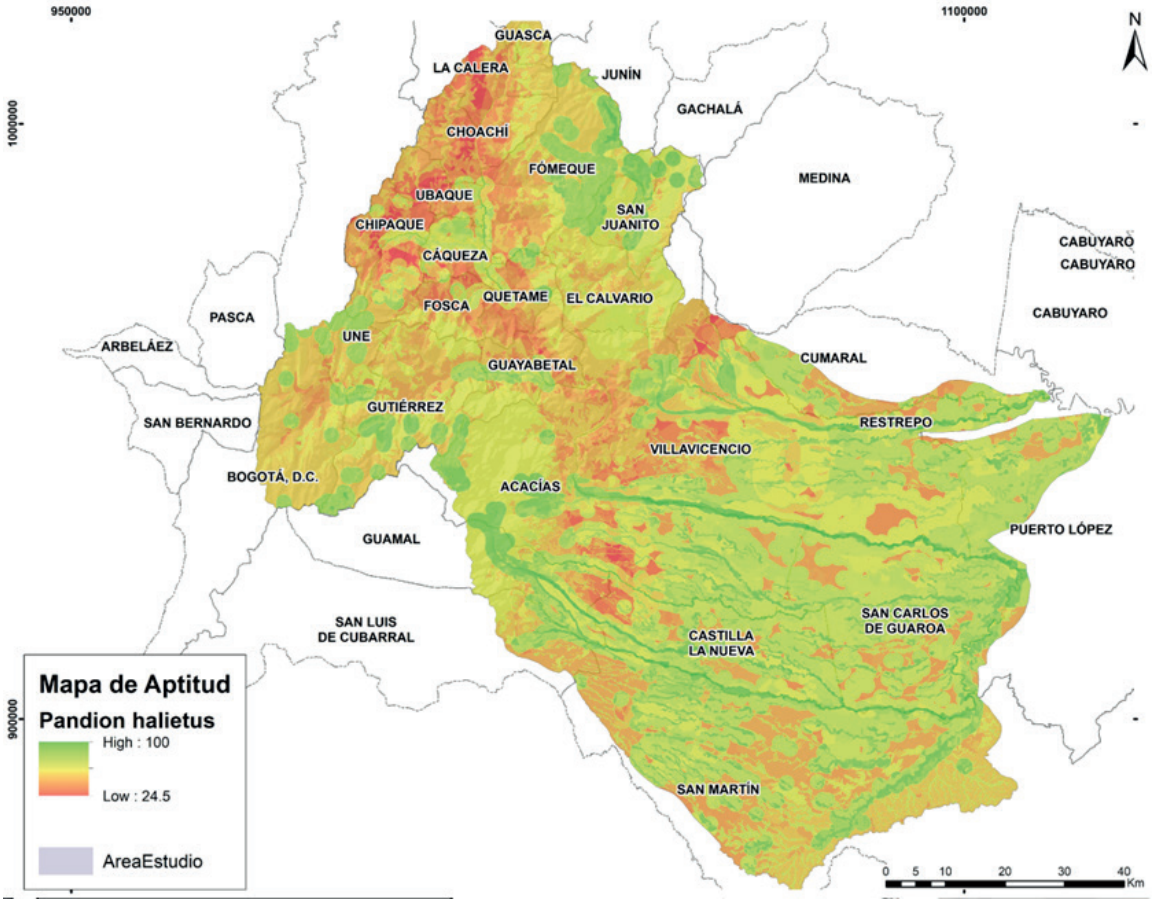
Variable	Descripción	Valoración
Áreas de alimentación	Fuentes de agua natural o superficial con la capacidad de mantener poblaciones de peces estables y condiciones ecológicas que permiten al águila pescadora obtener su presa con mayor facilidad. Johnsgard, 1990 indica que las Águilas pescadoras necesitan una fuente de peces que se puedan capturar cerca de la superficie del agua y donde pueda divisar su presa desde una altura aproximada de 20 a 30 metros, por lo tanto, se seleccionaron los cuerpos de agua que mantuvieran espejo de agua durante todo el año: drenajes dobles, lagunas, lagos, embalses, pantanos y piscinas de cultivo de peces obtenidos de la cartografía básica del IGAC a escala 1:100.000 (IDEAM-IGAC-CORMAGDALENA, 2008).	35

Variable	Descripción	Valoración
Coberturas	Utilizando el mapa de coberturas de la tierra para Colombia del año 2017 del IDEAM, a escala 1:100.000, se definieron las coberturas que representan mejores o peores condiciones de hábitat para el establecimiento de la especie. Dado los requerimientos de hábitat del Águila pescadora (Johnsgard, 1990) (Washburn et al., 2014)the Caribbean, South America, and Central America, las coberturas a las que se les asignó mayor valor corresponden a los ríos, lagunas, cuerpos de agua artificial que atañen a los embalses y bosques riparios, seguidos por las coberturas boscosas y vegetación secundaria, coberturas naturales abiertas, coberturas agrícolas y pecuarias y territorios artificializados los cuales comprenden aquellas zonas urbanizadas, en proceso de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos (IGAC, IDEAM & CORMAGDALENA, 2008). Las arroceras no se consideran fuentes de recursos alimenticios para el *P. halietus* dado que, al no tener la capacidad de soportar poblaciones de peces de buen tamaño, no cuentan con el recurso disponible. Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos. Se agrupa en las siguientes cuatro categorías así:	30
Áreas de establecimiento	Registros de presencia reportados en la plataforma *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF, 2021), sin umbral temporal, con un buffer de 5 km^2 según el rango de movimiento que presenta la especie, definido en el estudio de (Márquez et al., 2005).	10
Líneas de transmisión de energía	Proyectos de infraestructura eléctrica establecidos en la zona con un buffer de 5 km^2 y 12,7 km^2 (Márquez et al., 2005), consideradas como áreas de resistencia que disminuyen la capacidad de desplazamiento de los individuos de esta especie.	15
Presencia de AICAS	Las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves aumenta la posibilidad de éxito en su mantenimiento durante la época migratoria (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., 2021).	10

Fuente: ANLA, 2021

Los resultados obtenidos indican que los drenajes dobles, embalses y la vegetación asociada a ellos son los hábitats con mejor aptitud para la especie *P. halietus* en la SZH-MGGN (Figura 85), pues la disponibilidad de alimento para la especie está asociada a la disponibilidad del recurso hídrico. De esta manera, los ríos que constituyen las SZH Río Metica, Río Guayuriba, Río Guatiquía y Río Negro, el embalse de Chuza y la Represa de Carimata, son las zonas de interés para el Águila pescadora y su biodiversidad asociada en la región. Por otra parte, aunque los individuos de la especie se adaptan a áreas intervenidas, incluso establecen dormideros en postes y otras estructuras artificiales, su preferencia por las áreas boscosas es más alta puesto que esto supone mayor probabilidad de éxito en su sobrevivencia durante su etapa de migración, por tanto, los bosques riparios se consideran áreas óptimas para el resguardo, protección y mantenimiento de las poblaciones de Águilas pescadoras.

Figura 85. Aptitud de hábitat para el Águila Pescadora (Pandion haliaetus) en la SZH-MGGN



Fuente: ANLA, 2021

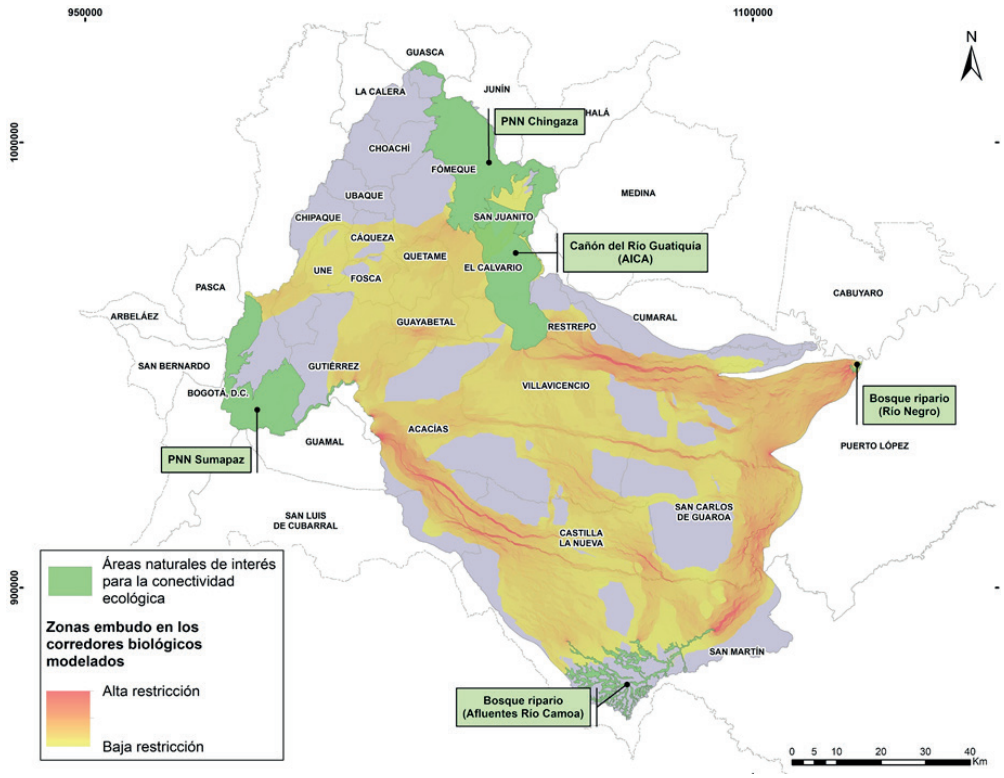
Respecto a la conectividad ecológica funcional, se identificaron cinco áreas apropiadas para establecer corredores de desplazamiento para el *P. halietus*, las cuales corresponden a tres AICA que concuerdan con los PNN Chingaza y Sumapaz en la parte alta de la SZH-MGGN y, en la parte baja, a dos bosques de galería, uno de ellos el de mayor tamaño en el área de estudio que ofrece condiciones para que la especie pueda resguardarse y establecerse de forma segura sin percibir las alteraciones de la matriz circundante, altamente transformada.

En la zona andina, el corredor biológico se conforma por las coberturas de bosque denso y abierto que conectan los PNN Chingaza y Sumapaz. Entre tanto, los corredores biológicos modelados para conectar los andes y el piedemonte orinocense corresponden a los bosques de galería del Helobioma Piedemonte Orinoquia. En particular, los bosques riparios de los Helobiomas Altillanura y Villavicencio son considerados de gran importancia para el mantenimiento de la conectividad ecológica en el área de estudio, pues representan las rutas de menor costo utilizadas por el Águila pescadora y su biodiversidad asociada, ésta última representada principalmente por la ictiofauna. En este sentido, los ríos Guatiquía,

Guayuriba, Metica, Guamal, Camoa, Humadea, Acacías, Orotoy, Pajure, Mudeita, Upín y Caney, conformados por esta cobertura, así como la Represa de Carimata, se convierten en los principales corredores disponibles en el piedemonte del departamento del Meta.

Los corredores biológicos modelados para la especie *P. halietus* se disponen en mayor proporción hacia las zonas bajas del área de estudio, donde el paisaje cuenta con un nivel de criticidad B (ver 5.2.1). Esto podría reflejar una posible presión hacia las rutas de movilidad que están representadas por los bosques riparios, no solo para el Águila pescadora como especie focal, también para otros grupos de fauna que probablemente estarán utilizando esos mismos corredores. Al respecto, se identificaron zonas con alta restricción para la conectividad ecológica en la parte alta de la SZH Metica (Guamal-Humadea), en la SZH Guatiquía y hacia la parte baja, sobre el Río Metica y otros afluentes del Río Meta que se ubican en la SZH Guayuriba y Río Negro (Figura 86).

Figura 86. Corredores biológicos y zonas embudo para el Águila Pescadora (Pandion haliaetus)



Fuente: ANLA, 2021

5.3.4. Diagnóstico compensaciones ambientales e Inversión no menor del 1% en la región

Inversión no menor del 1% y Compensaciones

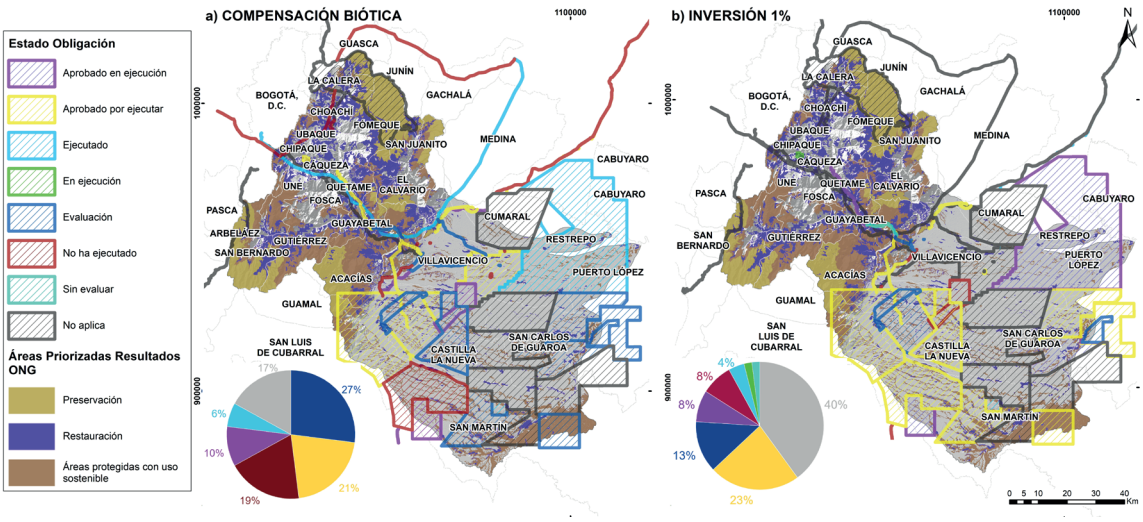
De los 48 expedientes analizados, el 17% no presentan obligaciones de compensaciones bióticas con esta autoridad nacional y el 40% no les aplica obligaciones de inversión de no menos del 1% con esta autoridad. Debido a que los permisos de demanda de recursos naturales son competencia de la autoridad regional, así como las obligaciones de compensación asociadas o no es necesario el aprovechamiento forestal y/o captación de agua para la ejecución de actividades.

En cuanto al estado de cumplimiento de estas obligaciones, en el caso de las compensaciones biótica, 40 proyectos presentan esta obligación, la mayoría se encuentran en estado de “evaluación” (27%); seguido por “aprobado por ejecutar” (21%); luego en estado de “no se ha ejecutado” (19%) donde se destaca que en general corresponden a obligaciones por aprovechamiento forestal y cambio de uso del suelo, es decir, que son obligaciones impuestas previo a las adopciones de los manuales de compensación; “aprobado en ejecución” (10%) y el 6% en estado “Ejecutado”.

En cuanto a la obligación de inversión no menor al 1%, de los 48 proyectos en total 29 presentan esta obligación; principalmente en estado “Aprobado por ejecutar” (23%), en “Evaluación” (13%); “Aprobado en ejecución” (8%); “No se ha ejecutado” (8%); “Ejecutado” (4%); “En ejecución” (2%) y “Sin evaluar” (2%); estas obligaciones se concentran en la SZH Rio Metica (Guamal - Humadea).

En la figura 87 se observa el estado de las obligaciones asociado a la localización del proyecto licenciado junto con las áreas priorizadas como resultado de la estrategia nacional para dinamizar las compensaciones ambientales y la inversión forzosa de no menos del 1%, como alternativas de “Donde” Compensar para los proyectos presentes en la SZH-MGGN.

Figura 87. Ubicación de licencias ambientales con la obligación de compensación e inversión del 1% con su respectivo estado



Fuente: ANLA, 2021

5.3.5 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA en el marco del licenciamiento ambiental para el Medio Biótico.

Los criterios técnicos que a continuación se presentan son el resultado del análisis regional realizado para el medio biótico, no obstante, el profesional de evaluación o de seguimiento ambiental será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por la Empresa.

Situación evidenciada	Requerimientos
La escala de los resultados del medio biótico es de 1:100.000. Puesto que no se encuentra con información a escala con mayor detalle, en la totalidad del área de estudio.	Con los resultados de este reporte a escala 1:100.000, los evaluadores deben validar con la información que presentan los usuarios, si en el área de influencia del proyecto objeto de evaluación, se cumplen los criterios aquí definidos para determinar la idoneidad del hábitat, aplicando la misma escala de valoración y aspectos metodológicos subsiguientes, en relación con condición aproximada de los biomas, la conectividad funcional y la sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera.
En la SZH-MGGN se identificaron ecosistemas con baja remanencia, baja representatividad en el sistema de áreas protegidas y alta tasa de transformación. Esto refleja condiciones desfavorables que podrían afectar los bienes y servicios que prestan, por tanto, es necesario propender por la conservación de sus remanentes naturales. Dichos ecosistemas corresponden a: los helobiomas de Altillanura y Villavicencio asociados a las zonas de inundación de los cuerpos de agua, y los hidrobiomas Piedemonte Orinoquia y Villavicencio asociados a los ecosistemas acuáticos con espejo de agua permanente	• Las coberturas naturales de los helobiomas de Altillanura y Villavicencio asociados a las zonas de inundación de los cuerpos de agua, y los hidrobiomas Piedemonte Orinoquia y Villavicencio asociados a los ecosistemas acuáticos con espejo de agua permanente (biomas en condición A) deben ser considerados elementos altamente sensibles en la región que no son compensables; en tal sentido, en la evaluación de los proyectos nuevos y/o modificaciones nuevas, se debe considerar en la zonificacion ambiental como elemento sensible los ecosistemas identificados por el usuario como helobiomas e hidrobiomas y asi mismo dentro de la zonificación de manejo, como áreas de exclusión o en su defecto como áreas de restricción alta donde el usuario debe garantizar y demostrar que sus diseños contemplan aspectos para prevenir, mitigar y corregir el impacto de remosión de cobertura vegetal. • Las coberturas naturales que se encuentran localizadas en los ecosistemas en condición B, ecosistemas con muy alta tasa de transformación, requieren una evaluación detallada en cuanto a la interacción de los componentes de flora y fauna, con el fin de analizar el hábitat disponible como criterio relevante al momento de evaluar la viabilidad de intervenciones de aprovechamiento forestal
En la SZH-MGGN existen instrumentos regionales para la gestión, manejo y conservación de la biodiversidad. • CORPOGUAVIO mediante Acuerdo 022 de diciembre 21 de 2017 adoptó el Plan General de Ordenación Forestal que contiene en su zonificación áreas de exclusión y zonas de protección.	En el proceso de evaluación se debe validar que las actividades de los proyectos sean compatibles con las actividades permitidas según la zonificacion de manejo del Plan General de Ordenación Forestal adoptado por Corpoguavio mediante Acuerdo 022 de diciembre 21 de 2017. En especial aquellas zonas catalogadas como zonas de exclusión y protección donde son actividades prohibidas: el aprovechamiento de productos forestales maderables, producción agropecuaria, usos industriales, minería, actividades como talas, quemas, caza y pesca, usos urbano, suburbano e institucional.

Situación evidenciada	Requerimientos
En la SZH-MGGN existen instrumentos regionales para la gestión, manejo y conservación de la biodiversidad • CORPORINOQUIA, mediante Resolución 0687 del 22 de diciembre de 1997, declara especies protegidas a los helechos arborescente denominados comúnmente "Helecho Macho", "Palma Boba" o Palma de Helecho, con los siguientes géneros: *Dicksonia*, *Alsophylla*, *Cnemidaria*, *Cyatheaceae*, *Nephelea*, *Sphaeropdteris* y *Trichipteris*. Adicionalmente, establece en todo el territorio de la Orinoquia la veda para el aprovechamiento del Pino Colombiano (*Podocarpus rospigliossii*, *Podocarpus montanus* y *Podocarpus oleifolius*), Nogal o Cedro Negro (*Juglans sp.*), Hojarasco (*Talauma caricifragans*), Molinillo (*Talauma hernandezii*), Caparrapí (*Ocotea caparrapí*), Roble (*Quercus Humboldtii*) y Cespedón natural.	Los POA deben validar si dentro del área de intervención hay presencia de especies en veda por parte de la autoridad regional o a nivel nacional, con el fin de proponer las medidas a que haya lugar para garantizar la conservación de las especies vedadas; de acuerdo con al parágrafo 2° del artículo 125 del decreto 2106 del 22 de noviembre de 2019.
Se identificaron 166 especies de interés por su grado de amenaza, endemismo y condición migratoria. Entre las especies de interés se destacan 40 migratorias y 78 endémicas, de las cuales 23 y 60 de ellas corresponden a peces, respectivamente. También hay siete especies en peligro de extinción (EN), 27 casi amenazadas (NT), seis en estado crítico (CR) y trece vulnerables (VU).	Los proyectos objeto de licenciamiento deben contemplar una ficha en su PMA dirigida hacia el manejo y conservación de la fauna silvestre. Se debe seleccionar un grupo de especies focales para generar las medidas específicas dentro de la ficha de fauna en el PMA. La selección debe contemplar como mínimo la siguiente información: 1) caracterización de la línea base y 2) las especies identificadas como amenazadas, endémicas, casi endémicas y migratorias en este reporte. Además, deberán contemplar en el PSM una ficha de seguimiento y monitoreo para el mismo grupo de especies focales seleccionados. El monitoreo deberá realizarse de manera sistemática y continua a mediano y largo plazo, particularmente en los biomas condición B, dada su alta transformación.
Se realizan análisis de riqueza a nivel de familias dado que la información almacenada y entregada por los usuarios en los modelos de datos presentan errores taxonómicos y otras inconsistencias asociadas a atributos funcionales de interés para realizar análisis sobre la condición del paisaje.	Depurar las bases de datos en relación con la taxonomía de las especies reportadas y sus atributos funcionales (grado de amenaza y gremio trófico), con el fin de mejorar la calidad de la información y generar análisis detallados sobre la condición del paisaje.

Situación evidenciada	Requerimientos
El 72,6% del área de estudio presenta una “Alta” sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera, de tal forma que los proyectos de infraestructura vial se encuentran localizados sobre un paisaje con una alta probabilidad para la distribución potencial de mamíferos medianos y grandes.	Se debe realizar un seguimiento específico para evaluar las posibles afectaciones de dicha infraestructura sobre las poblaciones de fauna silvestre, con el fin de determinar la magnitud de sus impactos y establecer las medidas de manejo necesarias para mitigar o corregir. En el caso del expediente LAM0316, el cual se encuentra en etapa de “desmantelamiento y abandono”, el seguimiento debe ser realizado por CORMACARENA. Para aquellos proyectos que se encuentran en etapa de pre-construcción y construcción (LAV0074-00-2015, LAV0073-00-2015, LAV0087-00-2015, LAV0042-00-2016, LAV0025-00-2017, LAV0037-00-2017), el seguimiento debe requerir, como mínimo, un análisis de las zonas con mayor probabilidad de atropellamiento a lo largo de la vía, el establecimiento de un sistema de pasos de fauna con un inventario de las estructuras definidas para cumplir dicha función georreferenciadas, elementos de adaptación para las estructuras hidráulicas teniendo en cuenta los periodos de retorno y, la implementación de estructuras adicionales disuasivas y de encausamiento hacia los pasos de fauna. Estos tres aspectos permitirán tener un sistema de pasos de fauna sobre el cual se debe desarrollar una estrategia adaptativa de monitoreo y seguimiento con aspectos claros en modo, tiempo y lugar, la cual debe contemplar como mínimo: 1) el registro periódico y estandarizado del atropellamiento de fauna silvestre en los sitios con mayor probabilidad de atropellamiento, información que debe ser registrada en el modelo de datos vigente de la entidad, en la capa “punto de muestreo fauna” con la observación de atropellado; y 2) el registro periódico y estandarizado del uso del sistema de pasos de fauna por especies silvestres, información que también debe registrarse en la capa “punto de muestreo fauna”. Aquellos proyectos que se encuentren en etapa de operación (LAM0327, LAM2585, LAM3960, LAM4409), la recomendación previamente descrita aplica para posibles modificaciones futuras.
Asociada a la alta sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera, la depuración de las bases de datos sistematizadas arrojó 640 registros de mamíferos georreferenciados, un paso de fauna (expediente LAV0042-00-2016) y 20 registros de atropellamiento en la región. Rutas de menor costo cruzan dieciséis proyectos, doce del sector Hidrocarburos, el 46% de los “caminos” que podrían estar utilizando las especies para moverse se interceptan con las vías industriales del sector y, más del 50% de los registros de mamíferos terrestres y arborícolas se encuentran a menos de 200 metros de estas.	El seguimiento de todos los proyectos de hidrocarburos debe requerir, como mínimo, un análisis de las zonas con mayor probabilidad de atropellamiento relacionadas con las rutas de menor costo modeladas en el numeral de Sensibilidad faunística por atropellamiento y efecto barrera (ver 5.2.2.2), el establecimiento de un sistema de pasos de fauna con un inventario de las estructuras definidas para cumplir dicha función georreferenciadas, elementos de adaptación para las estructuras hidráulicas teniendo en cuenta los periodos de retorno y, la implementación de estructuras adicionales disuasivas y de encausamiento hacia los pasos de fauna. Estos tres aspectos permitirán tener un sistema de pasos de fauna sobre el cual se debe desarrollar una estrategia adaptativa de monitoreo y seguimiento con aspectos claros en modo, tiempo y lugar, la cual debe contemplar como mínimo: 1) el registro periódico y estandarizado del atropellamiento de fauna silvestre en los sitios con mayor probabilidad de atropellamiento, información que debe ser registrada en el modelo de datos vigente de la entidad, en la capa “punto de muestreo fauna” con la observación de atropellado; y 2) el registro periódico y estandarizado del uso del sistema de pasos de fauna por especies silvestres, información que también debe registrarse en la capa “punto de muestreo fauna”.

Situación evidenciada	Requerimientos
En la zona centro y sur del área de estudio, donde se concentran los proyectos licenciados, existen vacíos de conservación en relación con áreas protegidas legamente constituidas. Adicionalmente, el 19% de las obligaciones de compensación (LAV0025-14, LAM0316, LAM1461, LAM4829, LAV0005-13, LAV0025-00-2017, LAV0037-00-2017, LAV0070-13 y LAV0093-00-2014) y el 8% de las obligaciones Inversión 1% (LAM0230, LAM2635, LAM2944 y LAM3960) se encuentra en estado "No ejecutado"	Contemplar como acciones de compensación e inversión del 1%, el apoyo a las autoridades regionales enfocadas en: • Implementación de programas de restauración y rehabilitación de hábitats terrestres y acuáticos, que permitan la reconformación y el mantenimiento de la estructura ecológica principal de la región. • Se debe promover al usuario de considerar dentro de sus propuestas de planes de compensación, las áreas priorizadas como resultado de la estrategia nacional para dinamizar las compensaciones ambientales y la inversión forzosa de no menos del 1% publicadas por la ANLA en el evento la "Biodiversidad nos Une" del 02 Julio 2020. Puesto que la totalidad del área de la SZH-MGGN, presentan este análisis.

5.3.6 Valoración económica del servicio de regulación a través de la captura de carbono

Los diferentes ecosistemas terrestres y acuáticos regulan el clima de la tierra mediante la adición o el secuestro y almacenamiento de Gases de Efecto Invernadero (GEI), tales como CO2, contenidos en la atmósfera. Bosques, humedales y otras áreas combinadas, almacenan más CO2 que la misma atmósfera, por lo que la remoción de cualquiera de estas coberturas influye directamente, no solo en la liberación del carbono retenido, sino, además, en la capacidad de captura que tienen estas superficies naturales sobre el CO2 presente en el ambiente.

La emisión de GEI derivada de actividades humanas, tales como, la deforestación y el cambio de uso de la tierra, incrementa la cantidad de radiación infrarroja atrapada en la atmósfera, fenómeno conocido como calentamiento global, que tiene consecuencias directas sobre el bienestar de la población, principalmente en pérdidas de productividad agrícola, aumento de riesgo por inundaciones y pérdida de biodiversidad, entre otras. El manejo del uso de la tierra para el almacenamiento y captura de carbono requiere información precisa respecto al efecto de los cambios de uso del suelo sobre la cuantificación y la ubicación del carbono almacenado, así como sobre la ganancia o pérdida del carbono capturado en el tiempo; información que idealmente proveen los mapas de captura y almacenamiento.

En ese sentido, el modelo especifico de "Captura y Secuestro de Carbono" (CSC) de InVEST5 utiliza los mapas de uso y cobertura de la tierra y cuatro fuentes de almacenamiento de carbono (carbon pools): i) biomasa aérea, ii) biomasa subterránea, iii) suelo, y iv) materia orgánica muerta, para estimar la cantidad neta de carbono almacenado en el tiempo. Adicionalmente, el modelo permite a partir del valor monetario de la captura de una tonelada de carbono y una tasa de descuento determinada, evaluar el impacto monetario de un cambio en el uso de la tierra durante un horizonte de tiempo definido.

5.3.6.1 Cuantificación biofísica

En el área de estudio se utilizaron los mapas vector año 2012 (Mapa cobertura de la tierra 2010-2012 IDEAM6) y 2017 (Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia 2017 IDEAM7). Se analizaron un total de doce (12) coberturas de la tierra a un nivel de categorización 2 de la metodología Corine Land Cover-CLC (IDEAM 2012).

5 El programa InVEST - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs- es un software de acceso libre desarrollo por la Universidad de Stanford que permite modelar, valorar y localizar el cambio de servicios ecosistémicos (terrestres y marinos) mediante el uso Sistemas de información Geográfica (GIS).

6 http://www.siac.gov.co/catalogo-de-mapas

7 http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/mapa-ecosistemas-continentales-costeros-marinos

En la Tabla 52 se presenta el resultado de la modelación del almacenamiento de carbono por cobertura y fuente a partir de la información espacial (ráster de cada año para la ventana de estudio) e información biofísica de las capturas de carbono y la aplicación del programa InVEST 3.7.0 (Sharp, R. et al. 2018).

Tabla 52. Contenidos de carbono por cobertura y fuente (TonC/ha (C_above=carbono biomasa aérea, C_below=carbono biomasa subterránea, C_Soil=carbono orgánico en suelo y C_Dead= carbono en materia muerta)

Coberturas de la tierra	C_ above	C_ below	C_Soil	C_Dead
	TonC/ha	TonC/ha	TonC/ha	TonC/ha
Agropecuarios (Pastos y Cultivos)	47,4	0,0	45,4	0,0
Arbustal	72,7	8,5	43,7	6,9
Arroz	7,8	0,0	25,0	0,0
Bosque de galería	132,1	66,1	20,1	6,9
Bosques	91,5	45,8	26,7	6,9
Bosque fragmentado	91,5	45,8	35,7	6,9
Cuerpos de Agua	0,0	0,0	37,8	0,0
Herbazal	14,0	21,0	21,3	0,0
Palma de aceite	22,0	0,0	24,7	0,0
Pantano	0,0	0,0	22,3	0,0
Pastos	6,5	16,5	24,7	0,0
Vegetación secundaria	18,3	7,5	34,0	6,9
N/A[8]	0,0	0,0	0,0	0,0
Plantación Forestal	84,6	18,0	22,0	6,9

Fuente: Elaboración propia con base en IDEAM, (2010) (2012) (2017) IPCC (2018), IGAC (2017) y Cairns (1997)

La modelación del almacenamiento para el periodo 2012 – 2017 se relaciona en la Tabla 53.

8 Tales como para zonas desnudas, afloramientos rocosos, playas sedimentarias y áreas artificializadas (Ciudades)

Tabla 53. Almacenamiento de carbono periodo 2012-2017.

Coberturas	2012		2017		Diferencia Carbono (TonCO2) Almacenado (2017-2012)
	Área (ha)	Carbono (TonCO2) Almacenado	Área (ha)	Carbono (TonCO2) Almacenado	
Agropecuarios (Pastos y Cultivos)	193163	17921231,71	188224	17462998,29	-458233,4214
Arbustal	25141	3313080,95	24383	3213189,107	-99891,84319
Arroz	26893	883486,0983	26050	855793,2402	-27692,8581
Bosque de galería y ripario	47805	10764729,55	49345	11111354,1	346624,5496
Bosques	115020	19656457,47	116842	19967856,72	311399,25
Bosques fragmentados	60692	10917137,98	59323	10670905,73	-246232,2444
Cuerpos de Agua	19378	731633,8554	31931	1205593,625	473959,7692
Herbazal	173331	8990044,356	92678	5214903,072	-3775141,285
N/A	9041	0	8045	0	0
Palma de aceite	0	0	79410	3711209,436	3711209,436
Pantano	434	9669,389496	328	7307,743896	-2361,6456
Pastos	290537	13857702,92	286168	13649219,3	-208483,6192
Plantación Forestal	69	9074,604449	88	11573,40051	2498,796063
Vegetación secundaria	13684	912487,4393	12373	825065,8155	-87421,62384
Total general	**975188**	**87966736,32**	**975188**	**87906969,58**	**-59766,74004**

Fuente: ANLA con base en IDEAM, (2010) (2012) (2017) IPCC (2018) y Cairns (1997)

Los resultados de la modelación en la Tabla 53, evidencian una disminución en almacenamiento de carbono de 0.07% respecto de la línea base, pasando de 87966736,32 Ton CO2 en 2012 a 87906969,58 Ton CO2 en 2017. El área de estudio se caracteriza por coberturas altamente intervenidas, sin embargo, en especial en aquellas ubicadas en las sabanas de los llanos orientales se identifican como aquellas con mayor potencial de captura las relacionadas con bosques, debido a la capacidad de retener carbono en biomasa aérea. La cobertura con mayor pérdida de carbono en magnitud es la agropecuaria (pastos y cultivos), disminuyendo 2.6% respecto de la línea base, pasando de 17921231,71 Ton CO2 en 2012 a 17462998,3 a CO2 en 2017.

Por su parte, las coberturas que presentan un incremento porcentual en el almacenamiento de carbono, respecto de la línea base son: i) Bosque de galería y ripario (3%), ii) bosques (2%), iii) plantación forestal (28%) y, iv) cuerpos de agua (65%).

5.3.6.2 Valoración monetaria del servicio de regulación climática

En términos económicos, el valor social de la captura de una tonelada de carbono es igual al costo del daño evitado, en caso de que la misma tonelada fuese liberada a la atmósfera. Los principales daños estimados del cambio climático repercuten principalmente en pérdidas de productividad agrícola, aumento de riesgo por inundaciones y pérdida de biodiversidad, entre otras. El valor económico de estas aproximaciones varía según el tipo de escenario evaluado, cuyos rangos pueden estar entre USD $9.55 y USD $84.55 por tonelada métrica de CO2 emitida a la atmósfera (Nordhaus, 2007 y Stern, 2007). En Colombia, la Ley 1819 de 2016, estableció un valor del impuesto al carbono (IC) de $15.000 por cada tonelada de CO2 emitido, el cual, debe ser ajustado anualmente por las tasas de inflación más un punto porcentual. Para el año 2018 el valor de impuesto nacional9 al carbono fue fijado en $15.764 por tonelada de CO2.

Dado que el impuesto al carbono es el único valor oficial para Colombia, se utiliza este como precio referencia, no obstante, vale la pena mencionar que la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico OCDE argumenta que, “el precio fijado al 90% de las emisiones de carbono no refleja siquiera una estimación conservadora de su coste climático”10.

Los nuevos usos de la tierra han ocasionado una emisión estimada total aproximada de 59.767 toneladas de CO2 a la atmósfera, cuyo costo económico asciende a $942.162.889 pesos de 2018, heterogéneamente distribuidos sobre la región estudiada (Tabla 54). Sin embargo, en algunas zonas, la modificación de las coberturas ha generado beneficios ambientales, cuyo valor económico puede estimarse alrededor de los 4.478 millones de pesos, representados en la captura de 284.173 toneladas de CO2 adicionales, respecto a la línea base de 2012.

Tabla 54. Cambio de almacenamiento y valor de carbono por departamento (2012-2017)

DPTO	Diferencia Valor Económico 2017-2012 (COP$2018)	Diferencia Almacenamiento de Carbono 2017-2012 (Ton CO2)
BOGOTÁ, D.C.	-103.819.295	-6585,84718
CUNDINAMARCA	-323.970.417	-20551,2825
META	-514.373.177	-32629,6103
Total general	-942.162.889	**-59766,73998**

Fuente: ANLA con base en IDEAM, (2010) (2012) (2017) IPCC (2018) Cairns (1997) y DANE (2018)

La Tabla 54 muestra los resultados agrupados por departamento de los municipios pertenecientes al área de estudio.

9 Resolución DIAN N° 000006 de 30 de Enero de 2018 - http://svrpubindc.imprenta.gov.co/diario/index.xhtml;jsessionid=7e39729073e85554353e8824438f
10 https://www.oecd.org/tax/tax-policy/summary-effective-carbon-rates-spanish.pdf

De igual forma, se estableció un valor de referencia determinando la participación del valor monetario del cambio en el almacenamiento de carbono en el Valor Agregado Municipal11 (VA) reportado por DANE para el año 201812. En la Tabla 55 se puede observar que los municipios El Calvario, San Juanito y San Martín, presentan la mayor afectación económica, con una pérdida estimada del -2.04%, -1.97% y -0.49% sobre su VA respectivamente. Por su parte, los municipios con las mayores ganancias son Ubaque y Restrepo, cuyos beneficios pueden representar un incremento del 0.18% y del 0.14% del VA respectivamente. Cabe anotar que estas ganancias se dan debido al incremento en área de ciertas coberturas.

Tabla 55. Valor del cambio en almacenamiento de carbono y participación en Valor Agregado Municipal

Municipio	Dpto	Diferencia carbono 2017-2012 (t/CO_2)	Valor económico del cambio en almacenamiento Carbono (VC)	Valor Agregado Municipal COP $2018	Participación de VC en VA municipal 2018 (VC/VA)
			COP $2018	(VA)	
ACACÍAS	META	12516,62	197.311.998	5.193.683.237.371	0,004%
ARBELÁEZ	CUNDINAMARCA	0,00	-	221.241.493.389	0,000%
BOGOTÁ, D.C.	BOGOTÁ, D.C.	6585,85	103.819.339	226.206.437.339.067	0,000%
CÁQUEZA	CUNDINAMARCA	7233,47	26.021.004	349.409.056.975	0,007%
CABUYARO	META	1650,66	114.028.421	919.553.187.798	0,012%
CASTILLA LA NUEVA	META	28158,24	443.886.495	3.260.956.893.396	0,014%
CHIPAQUE	CUNDINAMARCA	-3251,39	- 51.254.912	68.643.079.639	-0,075%
CHOACHÍ	CUNDINAMARCA	3529,12	55.633.048	134.018.860.211	0,042%
CUMARAL	META	8357,14	131.741.955	358.583.611.775	0,037%
EL CALVARIO	META	-21490,43	- 338.775.139	16.648.207.516	-2,035%
FÓMEQUE	CUNDINAMARCA	9635,71	151.897.332	324.347.105.740	0,047%
FOSCA	CUNDINAMARCA	-5301,15	- 83.567.329	123.808.257.572	-0,067%
GACHALÁ	CUNDINAMARCA	-0,01	- 158	40.226.969.188	0,000%
GUAMAL	META	18520,60	291.958.738	1.031.764.998.789	0,028%
GUASCA	META	-2468,09	- 38.906.971	155.556.045.106	-0,025%

11 El Valor Agregado representa la agregación de: i) La remuneración a los asalariados, ii) Los impuestos menos las subvenciones sobre la producción, iii) Ingresos mixtos y iv) Excedente bruto de explotación de las diferentes Ramas Productivas presentes en un municipio. En términos económicos su valor representa una aproximación del Producto Interno Bruto, cuyo valor, medido desde los ingresos, es igual a la distribución del valor agregado entre los diferentes factores productivos: remuneración a los asalariados, impuestos y excedente de explotación o ingreso mixto. (DANE)

12 https://geoportal.dane.gov.co/geovisores/economia/valor-agregado-por-municipio/?lt=5.291830482955624&lg=-75.27365710050002&z=9

Municipio	Dpto	Diferencia carbono 2017-2012 (t/CO_2)	Valor económico del cambio en almacenamiento Carbono (VC)	Valor Agregado Municipal COP $2018	Participación de VC en VA municipal 2018 (VC/VA)
			COP $2018	(VA)	
GUAYABETAL	CUNDINAMARCA	-12032,57	- 189.681.433	63.990.269.350	-0,296%
GUTIÉRREZ	CUNDINAMARCA	-10494,67	- 165.437.978	48.307.261.719	-0,342%
JUNÍN	CUNDINAMARCA	433,20	6.828.965	87.375.206.894	0,008%
LA CALERA	CUNDINAMARCA	4839,31	76.286.883	482.756.365.739	0,016%
MEDINA	META	0,00	-	87.517.211.862	-
PASCA	CUNDINAMARCA	302,04	4.761.359	158.576.209.402	0,003%
PUERTO LÓPEZ	META	54474,97	858.743.427	1.031.269.550.857	0,083%
QUETAME	CUNDINAMARCA	-6689,64	- 105.455.485	78.247.864.482	-0,135%
RESTREPO	META	19839,74	312.753.661	216.460.500.897	0,144%
SAN CARLOS DE GUAROA	META	15534,91	244.892.321	401.820.506.192	0,061%
SAN JUANITO	META	-17840,68	- 281.240.480	14.272.936.644	-1,970%
SAN LUIS DE CUBARRAL	META	14193,35	223.743.969	-	-
SAN MARTÍN	META	-144837,58	-2.283.219.611	464.767.431.334	-0,491%
UBAQUE	CUNDINAMARCA	19325,58	304.648.443	168.071.138.118	0,181%
UNE	CUNDINAMARCA	13022,29	205.283.380	243.793.861.621	0,084%
VILLAVICENCIO	META	46020,16	725.461.802	8.009.738.296.673	0,009%

Fuente: ANLA con base en IDEAM, (2010) (2012) (2017) IPCC (2018) Cairns (1997) y DANE (2018)

5.3.6.3 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento del POA en el marco del licenciamiento ambiental para Valoración Económica

Se recomiendan acciones de conservación en las áreas que presentan mayores niveles de captura de carbono, y desarrollar estimaciones adecuadas del valor económico del daño evitado por la emisión de una tonelada de CO2. Así mismo, evaluar los trade-offs o compromisos entre servicios ecosistémicos, según las coberturas y ecosistemas sujetos a intervención por parte de los proyectos, de manera que se opte por la opción que represente menor interferencia en funciones ecosistémicas estratégicas del territorio.

6. CAMBIO CLIMÁTICO

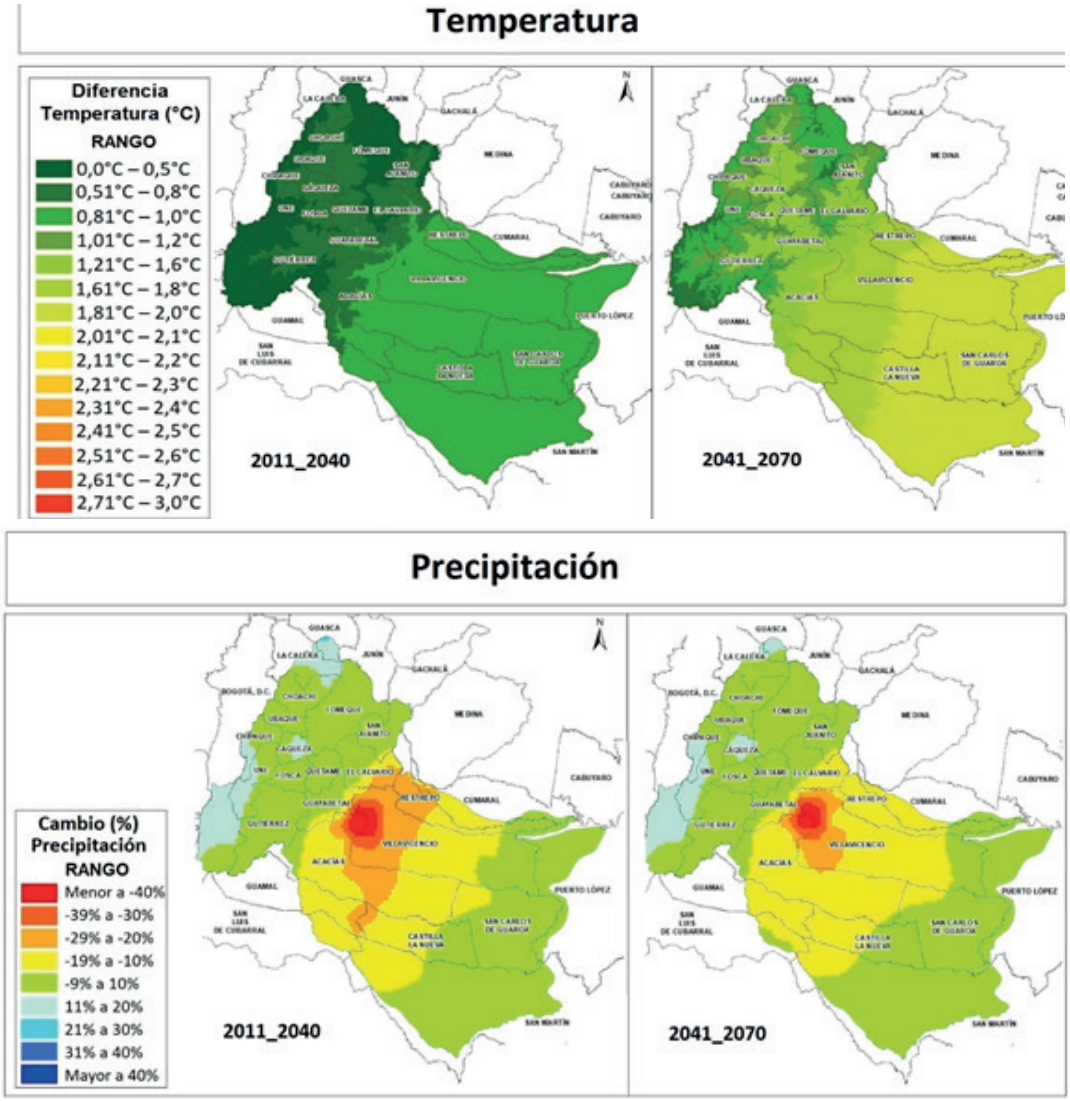
Los efectos de cambio climático proyectados y analizados en la SZH-MGGN comprenden cambios en la temperatura y en la precipitación según lo establecido por el IDEAM en la "Tercera comunicación Nacional de Cambio Climático" (IDEAM et al., 2015), en donde se establecen tres escenarios prospectivos (1: 2011-2040; 2: 2041-2070 y 3: 2071-2100), tanto para diferencias en la temperatura media como cambio porcentual de la precipitación.

Para el fin de siglo, entre 2071 y 2100 (Figura 88) , el en el área SZH-MGGN se podrán presentar aumentos de temperatura promedio de hasta 2,4°C (IDEAM et al., 2015). Los mayores aumentos se presentarían en el suroriente del área correspondiente al departamento del Meta, particularmente en los municipios de Villavicencio, San Carlos de Guaroa, Castilla la Nueva y San Martín.

Según la proyección de cambio de porcentaje de precipitación en el área SZH-MGGN (Figura 88), se podrían presentar aumentos de precipitación en áreas parciales de los municipios de Guasca, Cáqueza, Chipaque y Une del departamento de Cundinamarca, en el escenario 2011 – 2040 con 610 km2, donde existe una reducción de esta área proyectada de 82% en el escenario 2071-2100 con 110 Km2. Por otra parte, las principales disminuciones de precipitación podrán presentarse en los municipios de Villavicencio y Acacías en el departamento del Meta y en municipio de Guayabetal del departamento de Cundinamarca con valores menores al 40% respecto al valor actual (para los escenarios 1 y 2), siendo la situación más crítica proyectada. Para los municipios anteriormente establecidos y adicionando los municipios de Acacias y Restrepo y áreas parciales de los municipios de Guamal, Castilla la Nueva y El Calvario del departamento del Meta se proyecta la disminución porcentual de precipitaciones en los rangos de -39% a 30% y -19% a -10%, para los tres escenarios.

Según lo establece IDEAM et al., (2015) los principales efectos del cambio de temperatura y precipitación podrán presentarse para el sector agrícola dado las posibles disminuciones de precipitación en algunos sectores del área. De Igual forma, el sector ganadero podría verse afectado debido a los aumentos graduales de temperatura a lo largo del siglo; los cultivos extensivos podrían verse afectados por plagas y enfermedades asociadas a los aumentos de temperatura generalizados (IDEAM et al., 2015).

Figura 88. Escenarios de cambio climático (Diferencia en temperatura media y Cambio porcentual de la precipitación)



Fuente: Adaptado del IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2015

De acuerdo con el estudio de Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo por Cambio Climático en Colombia IDEMA et., (2017), en el área de estudio Villavicencio presenta los mayores valores de riesgo por cambio climático. No obstante, se debe tener en cuenta que cuatro municipios del área del reporte de Alertas tienen riesgo medio por cambio climático: Guamal, Acacías, Restrepo, San Carlos de Guaroa. Este mismo estudio indica que las dimensiones de seguridad alimentaria, recurso hídrico y biodiversidad (Figura 89) deben ser prioritarios para su gestión ambiental en el departamento, puesto que en su mayoría tienen valores entre muy altos, altos y medios de riesgo, y en conjunto tienen contribuciones relevantes al valor total de riesgo por cambio climático de los municipios (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, 2017).

Figura 89. Dimensiones con mayores valores de riesgo por cambio climático

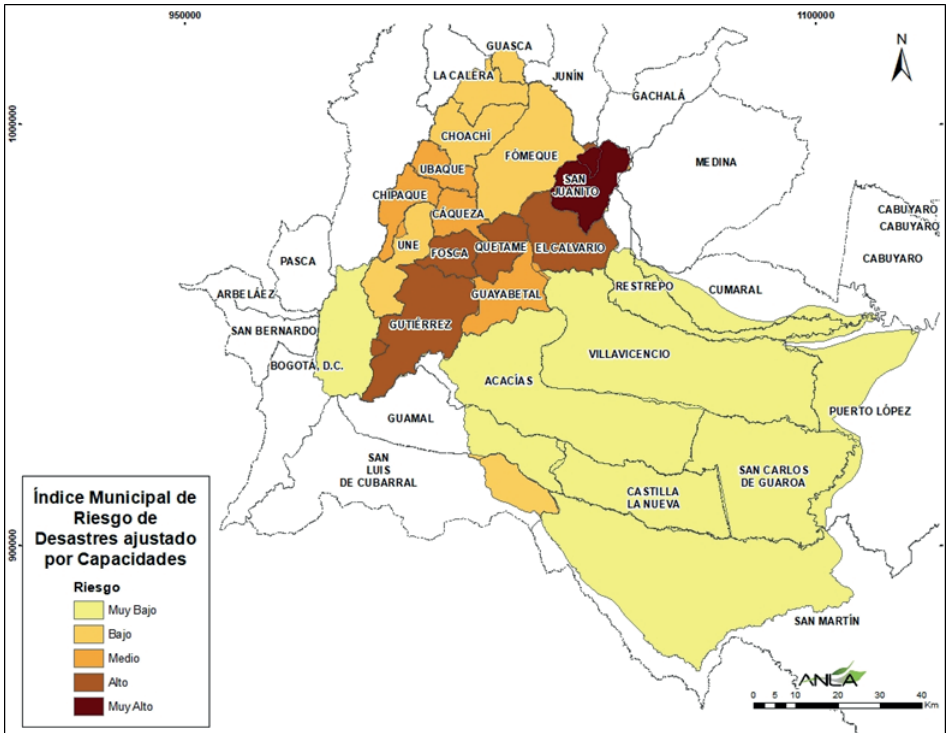
Fuente: ANLA, 2021

Por otra parte, el índice municipal de riesgo de desastres ajustado por capacidades (DNP, 2019), el cual tiene como objetivo medir a los municipios según el riesgo que tiene la población ante eventos relacionados con inundaciones, flujos torrenciales y movimientos en masa; y comparar a los municipios según sus capacidades para gestionarlo (DNP, 2019), muestra (Figura 90) que en el área SZH-MGGN el municipio de San Juanito, del departamento del Meta, es el que presenta el riesgo en la mayor categoría (muy alto).

En la categoría de riesgo alto se encuentran los municipios del Calvario, Quetame, Fosca y Gutierrez y en riesgo medio los municipios de Ubaque, Chipaque, Cáqueza y Guayabetal. Finalmente, los municipios en el área de SZH-MGGN que presentan el riesgo en la categoría muy bajo, presentan unas condiciones topográficas homogéneas en donde el riesgo relacionado a eventos por desastres es bajo y las capacidades para atendarlos son altas los cuales son los municipios del departamento del Meta distribuidos al sur y al oriente del área definida.

Es pertinente indicar que las amenazas hidroclimáticas pueden ser exacerbadas por eventos hidroclimatológicos extremos, como es el caso del fenómeno del Niño y La Niña.

Figura 90. Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado por Capacidades



Fuente: Adaptado del DNP (2019) Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado por Capacidades.

Inventario de Emisiones y Absorciones de GEI

El departamento del Meta está caracterizado por emisiones asociadas a actividades forestales y agropecuarias. La pérdida de bosque natural que se convierte en pastizales y a otras tierras forestales representa el 63% de las emisiones. La población bovina corresponde al 7,25% del total nacional y son responsables del 11% de las emisiones por metano entérico y óxido nitroso por la gestión de estiércol de animales en pastoreo. El 7% de las emisiones se generaron por el crecimiento y resiembra de cultivos, principalmente palma de aceite, maíz y arroz. Para 2012 la tasa de deforestación en el Meta corresponde a un 16% del total nacional. El Meta presenta el 31% de las áreas plantadas de palma de aceite del país, estas plantaciones generan el 19% de las absorciones departamentales del sector agropecuario (IDEAM, 2016).

De acuerdo con los resultados, la región de la Orinoquía emitió 34.311 Gg CO2eq a la atmósfera correspondiente a 16,8% de las emisiones nacionales. El departamento del Meta realiza el mayor aporte de la región con 51,7%, seguido por Casanare con 28,3%, y en menor proporción Vichada y Arauca con 10,9 y 9,0% respectivamente. En el caso del Meta, 85,6% de las emisiones provienen del sector denominado AFOLU (incluye el sector agropecuario, forestal y cambios de uso del suelo) seguido por el sector energía (Emisiones por el uso de combustibles fósiles y quema de biomasa en calderas, generación de energía térmica, emisiones generadas en la producción de minería de carbón y producción de petróleo y gas) con 13,2% (gran parte representado en transporte), (CIAT, Cormacarena, Corporinoquia, 2017).

6.1 Criterios técnicos para futuras evaluaciones y seguimiento de POA

En el marco de la Ley No. 1931 del 27 de julio de 2018 (por la cual se establecen directrices para la gestión de Cambio Climático), la Política Nacional de Cambio Climático y la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC), se recomienda para POA futuros la incorporación en el proceso de evaluación del EIA y seguimiento de POA las siguientes actividades de adaptación al cambio climático y de mitigación de gases efecto invernadero, los cuales el profesional de evaluación y/o seguimiento será el responsable de ajustarlo o complementarlos.

Tabla 56. Acciones de adaptación al cambio climático para el seguimiento y evaluación de POA

Amenaza	Acción
Inundaciones y sequías	Planificación del mantenimiento y rehabilitación de infraestructura considerando los riesgos derivados de la variabilidad climática (Fenómeno de La Niña) y cambio climático, principalmente del LAV0064-00-2017, LAM4409, LAV0073-00-2015, LAV0074-00-2015, LAM0626 y LAM0579, dada la alta amenaza a las remociones en masa por aumento en las precipitaciones y que se agudizarán bajo escenario de cambio climático en comparación con la situación actual.
	Promover los procesos de restauración de ecosistemas estratégicos para la provisión de agua, con el fin de reducir las presiones de cambio climático en mediano y largo plazo, principalmente de los POA: LAM0227, LAM0198, LAM4829, LAV0038-13, LAM5423, LAV0039-13, LAV0001-11, LAV0004-13 y LAV0040-13, LAV0081-13, LAV0053-14, LAV0003-13, LAM5599, LAV0058-14, debido a que los mayores aumentos de temperatura se proyectan para el suroriente del área.
	Los POA: LAV0064-00-2017, LAM4409, LAV0073-00-2015, LAV0074-00-2015, LAM0626 y LAM0579 deberán implementar sistemas de alerta temprana en conjunto con las comunidades como mecanismo de gestión integral de riesgos asociados a los cambios en el clima y los eventos climáticos extremos, así como al riesgo asociado a movimientos en masa.
	Los nuevos POA deberán realizar planificación y diseño para la construcción de obras nuevas considerando los riesgos derivados de amenazas de inundaciones, flujos torrenciales y movimientos en masa, así como los riesgos del cambio climático.
	Los nuevos POA deberán establecer medidas asociadas al manejo del material particulado teniendo en cuenta las consideraciones de disminución de precipitaciones y aumento de la temperatura en el área de estudio.
	Los POA: LAM0227, LAM0198, LAM4829, LAV0038-13, LAM5423, LAV0039-13, LAV0001-11, LAV0004-13 y LAV0040-13, LAV0081-13, LAV0053-14, LAV0003-13, LAM5599, LAV0058-14 deberán adelantar estrategias de reforestación de bosque ripario y revegetación de las zonas aledañas a las obras principales y en los edificios para reducir el aumento de temperatura.
	Todos lo POA nuevos y en seguimiento ambiental deberán realizar estrategias de sensibilización, educación y comunicación en cambio climático y gestión del riesgo de desastres naturales.
	Los POA: LAM0227, LAM0198, LAM4829, LAV0038-13, LAM5423, LAV0039-13, LAV0001-11, LAV0004-13 y LAV0040-13, LAV0081-13, LAV0053-14, LAV0003-13, LAM5599, LAV0058-14 deberán implementar sistemas de captación, manejo y almacenamiento de aguas lluvias, p.ej. “jardines” en la parte superior de los edificios que, además de absorber CO2, favorecen la climatización de estos, bio-infiltración o zanjas vegetales y pavimento permeable para infiltrar la mayor cantidad de agua de escorrentía.
	Todos lo POA nuevos y en seguimiento deberán utilizar tecnologías de reducción del consumo de agua.
	Los POA: LAV0064-00-2017, LAM4409, LAV0073-00-2015, LAV0074-00-2015, LAM0626 y LAM0579 deberán analizar la reubicación de la infraestructura existente para evitar áreas propensas a riegos identificados bajo escenarios de cambio climático.

Fuente: ANLA 2021

En la siguiente tabla se identifican las acciones de mitigación de gases efecto invernadero para ser tenidas en cuenta en la construcción y operación de POA en el área de estudio.

Tabla 57. Acciones claves de mitigación de gases efecto invernadero para construcción y operación de proyectos de POA en el área de estudio

Segmento	Acción
Captura de CO_2	Los POA: LAM0227, LAM0198, LAM4829, LAV0038-13, LAM5423, LAV0039-13, LAV0001-11, LAV0004-13 y LAV0040-13, LAV0081-13, LAV0053-14, LAV0003-13, LAM5599, LAV0058-14 deberán adelantar estrategias de protección o restauración de ecosistemas con funciones de captación de CO_2
	Los nuevos proyectos del sector de hidrocarburos y los que se encuentran en seguimiento ambiental deberán promover la adecuada gestión de las emisiones fugitivas asociadas a la cadena productiva de los hidrocarburos, y aprovechar el gas natural capturado para otros fines, y fomentar su aprovechamiento para que las actividades del POA sean sostenibles.
	Los nuevos POA deberán realizar gestión de las Aguas Residuales Domésticas a través de medidas enmarcadas en la gestión de aguas residuales domésticas contemplando de manera integrada la gestión de biogás mediante quema y/o aprovechamiento en PTAR y la reducción de emisiones GEI a través del aumento en cobertura en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
	Los nuevos POA del sector de hidrocarburos y los que se encuentran en seguimiento deberán realizar la cuantificación y reducción de las emisiones fugitivas de los gases de efecto invernadero para ser utilizadas como insumo en el inventario nacional para evidenciar la contribución a la meta de Colombia frente al Acuerdo de Paris de reducir el 20% de las emisiones para el año 2030.
	Todos los POA nuevos y en seguimiento deberán establecer indicadores para evaluar el impacto de las acciones de adaptación y mitigación ejecutadas por los POA en su área de influencia.
Energías renovables y Eficiencia energética	Todos los POA nuevos y en seguimiento deberán reducir la diferencia de consumo de energía eléctrica entre horas pico y valle, así como gestionar la generación de energía eléctrica en horas valle a partir de fuentes no contaminante como es la instalación de paneles fotovoltaicos para energizar unidades pequeñas de infraestructura (p.ej. baños, casetas).
	Todos los POA nuevos y en seguimiento deberán realizar adecuación de las instalaciones para optimizar el consumo de energía y agua, p.ej. reutilización de aguas grises, maximizar el uso de la iluminación natural.
	Todos los POA nuevos deberán realizar la adopción del CONPES 3919 “Política nacional de edificaciones sostenibles”, la Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones o de estándares de construcción y renovación sostenible para incrementar la capacidad de adaptación y la mitigación en edificaciones.

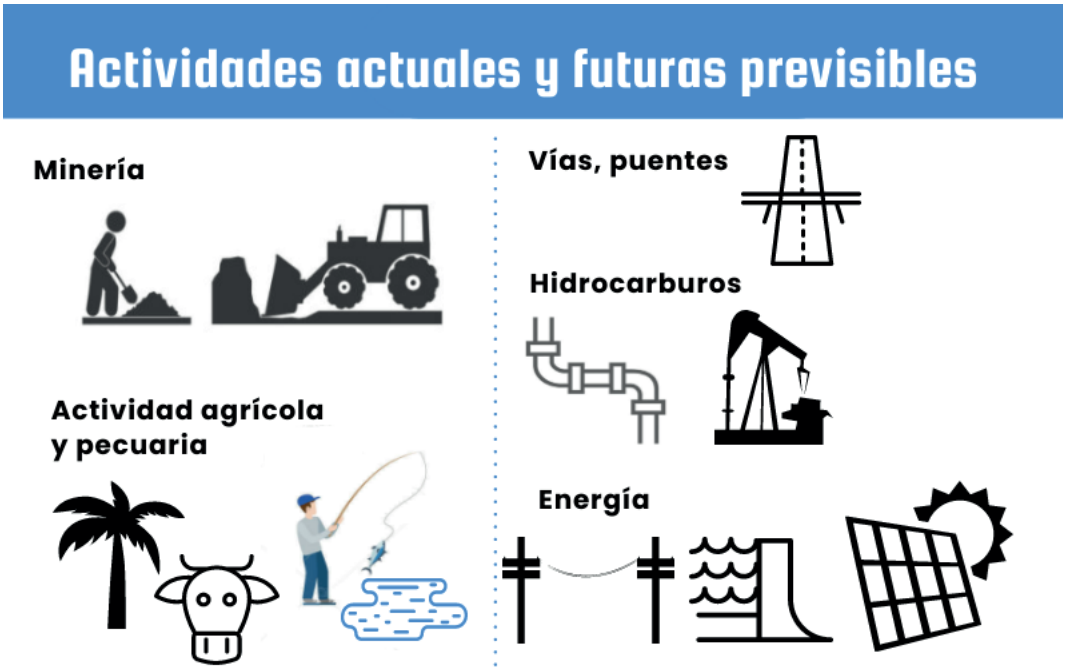
Fuente: ANLA, 2021

7. ANÁLISIS DE IMPACTOS ACUMULATIVOS

7.1 DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES PRESENTES Y FUTURAS PREVISIBLES

A continuación, se describen de manera general los proyectos, obras o actividades preexistentes, actuales y futuras previsibles en el área seleccionada para el análisis de los VEC (Figura 91).

Figura 91. Actividades actuales y futuras previsibles en el área de estudio



Fuente. ANLA, 2021

7.1.1 Sector Minero

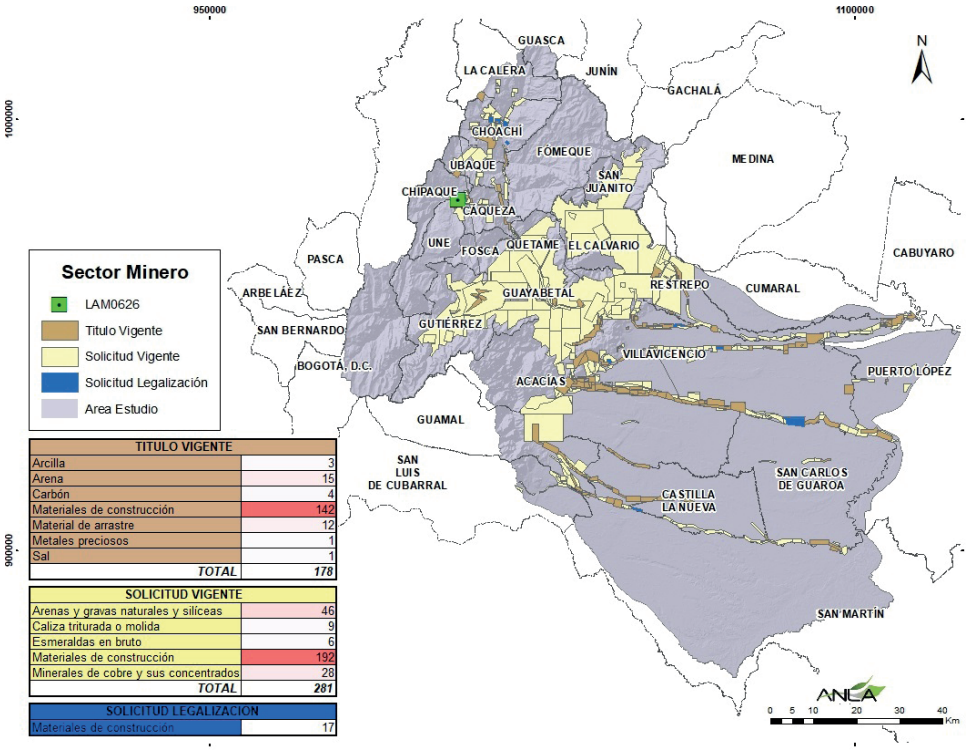
La titulación minera vigente al año 2018 en el área del reporte de análisis regional de la SZH de los ríos: Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN), esta concertada en departamento del Meta en los municipios de Villavicencio, Acacías, Guamal y Castilla la Nueva sobre las cuencas de los ríos Guatiquía, Guayuriba y Humadea. Los títulos mineros vigentes corresponden principalmente para el mineral material de construcción con 142 títulos de 178 en total reportados por la Agencia Nacional Minera – ANM (Figura 92).

Se presentan 281 solicitudes de titulación minera en donde los minerales para material de construcción reportan 192, seguida de arenas y gravas naturales y silíceas con 46 y minerales de cobre y sus concentrados con 28, siendo estas las solicitudes más representativas en el área. La distribución geográfica de estas solicitudes de titulación minera en el área SZH-MGGN corresponde a los municipios de San Juanito, El

Calvario, Restrepo, Villavicencio y Acacias en el departamento del Meta y a los municipios de Guayabetal, Quetame y Gutiérrez en el departamento de Cundinamarca.

De igual manera tanto para la solicitud de títulos mineros como para la legalización de estos existen solicitudes en el departamento del Meta en los municipios de Villavicencio, Acacías, Guamal y Castilla la Nueva sobre las cuencas de los ríos Guatiquía, Guayuriba y Humadea para materiales de construcción.

Figura 92. Distribución de titulación minera área de SZH-MGGN



TITULO VIGENTE	
Arcilla	3
Arena	15
Carbón	4
Materiales de construcción	142
Material de arrastre	12
Metales preciosos	1
Sal	1
TOTAL	*178*

SOLICITUD VIGENTE	
Arenas y gravas naturales y silíceas	46
Caliza triturada o molida	9
Esmeraldas en bruto	6
Materiales de construcción	192
Minerales de cobre y sus concentrados	28
TOTAL	*281*

SOLICITUD LEGALIZACION	
Materiales de construcción	17

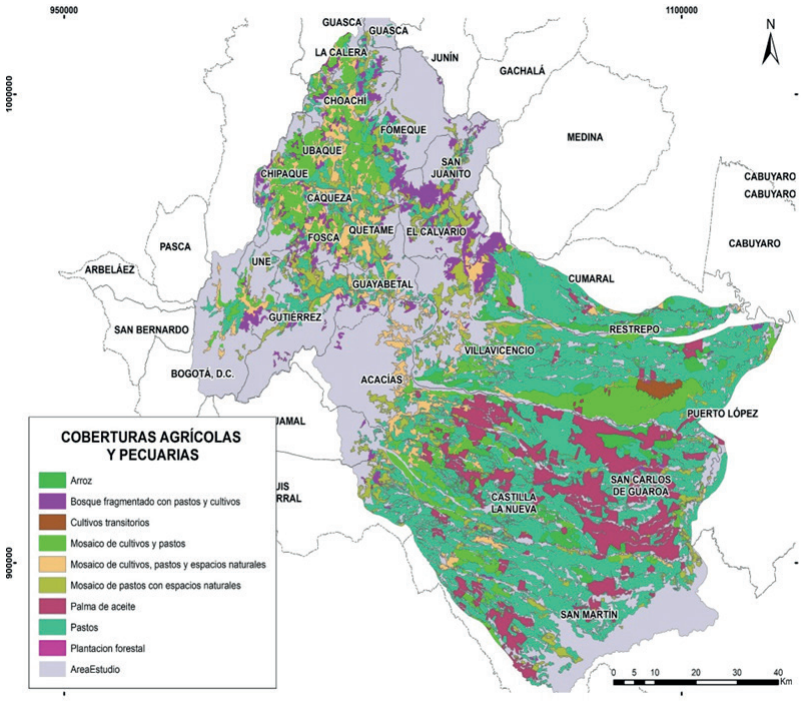
Fuente: Adaptado de Sistema Integral de Gestión Minera - ANNA Minería, (Agencia Nacional de Minería -ANM, 2020)

7.1.2 Sector Agrícola y Pecuario

En el área e interés, las actividades del sector agropecuario se desarrollan en gran medida en el departamento de Cundinamarca, debido a la gran extensión que lo caracteriza; Según el IGAC, cuenta con 1.541.595 hectáreas dedicadas a la producción agrícola, ganadera y explotación de recursos naturales, lo cual corresponde aproximadamente al 64% del departamento. Se destaca la producción de papa en municipios como Une, Fonseca, Fosca, Ubaque y Cáqueza; de maíz en Gutiérrez, Ubaque, Fosca, y Cáqueza; de tomate en Cáqueza, Quetame y Ubaque. Respecto a cultivos permanentes se encuentra el café, la caña panelera y el tomate de árbol, en municipios como Guayabetal, Quetame, Gutiérrez, Fómeque, Ubaque y Cáqueza. No se puede dejar de lado, la producción de flores para exportación.

En cuanto a los sistemas productivos de los municipios del Meta que integran el área de interés, sobresale la producción del cultivos perennes como la palma de aceite que se desarrollan en grandes extensiones de tierra como se puede evidenciar en la Figura 93, cultivos transitorios como el arroz en Castilla la Nueva y Puerto López, la caña en Puerto López y Puerto Gaitán, cultivos herbáceos como el maíz y soya en Puerto López, sino que, además, se caracteriza por una consolidada producción piscícola principalmente en los municipios que integran la cuenca hidrográfica del río Guayuriba; en Villavicencio - vía Acacias se encuentra ubicada la planta de procesamiento de peces, siendo este el municipio con mayor producción de peces en estanque, ya que cuenta con 37 granjas productoras.

Figura 93. Coberturas vegetales de la SZH-MGGN



Fuente: ANLA, 2021 adaptado de IDEAM, (IDEAM, 2017)

Es de resaltar que como parte fundamental para el desarrollo de este sector y de las unidades productivas agropecuarias, se identifican diez y nueve (19) distritos de riego a pequeña escala, de los cuales siete (7) se encuentran en Fomeque y correspondiente a: ASOCRUN, ASODISCHINIA, ASOPORVENIR, ASORENACER, ASOSUSAGRAMAL, ASOUCHOACHA y ASOURIOBLANCO; seis (6) en Ubaque y correspondientes a: ASOCACIQUE, ASODATROCA, ASODISRIEGO EL PORVENIR, ASODISRIEGO N°2, ASOESPERANZA y ASOPEÑAZUL; cuatro (4) en Choachí y correspondientes a: ASOFONTE, ASOPROGRESO, ASORESGUARDO y ASOUCHIBAGRO; uno (1) en Chipaque llamado ASOCASIE; y uno (1) en Fosca denominado ASOHERRERO GRANADILLO. Estos distritos cuentan con una infraestructura básica para el manejo del agua: bocatoma, desarenadores, líneas de conducción y distribución; además de depósitos para el almacenamiento de agua como reservorios, así como tanques de gran capacidad.

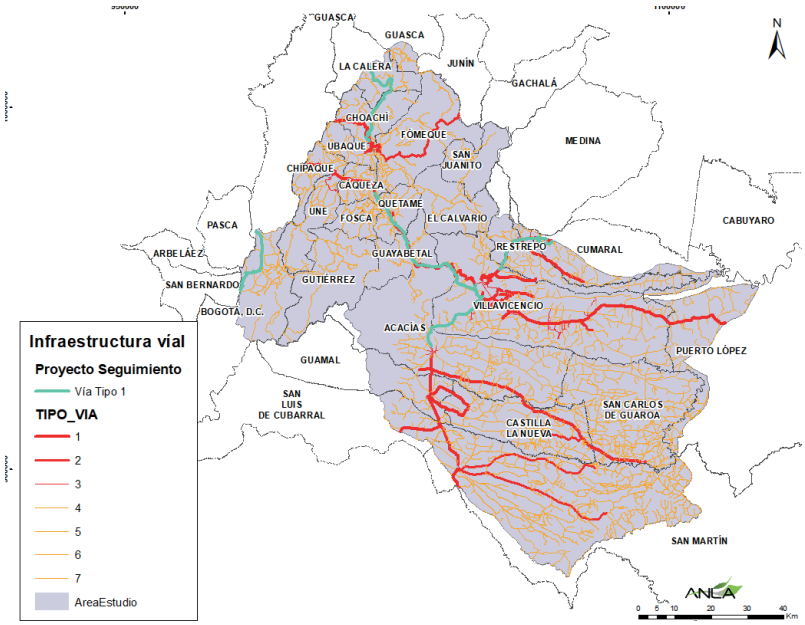
Finalmente, desde la Gobernación de Cundinamarca continuamente se desarrollan diversos programas para la consolidación de las cadenas productivas como la de café, lácteos, caña panelera, cacao, hortofrutícola, papa y caucho, así como, el mejoramiento de la economía campesina, la transformación del campo, la diversificación de la canasta exportadora, la implementación de las cadenas de valor en las empresas, entre otros. Y en el Meta se cuenta con el Plan de Ordenamiento Productivo y Social de la Propiedad Rural, que fue construido en coordinación con la Unidad de Planificación Rural Agropecuaria (UPRA), el cual tiene como principal objetivo armonizar la gestión de los usos agropecuarios y la tenencia de la tierra, el uso eficiente del suelo, la competitividad y la sostenibilidad ambiental y económica, considerando el ordenamiento del territorio.

7.1.3 Sector Infraestructura

Según la cartografía del IGAC, año 2019, el Área de estudio de la SZH Metica cuenta con vías de tipo 1 a tipo 7, las cuales suman un total de 6.334,23 Km. Las vías de tipo 1 representan el 7,32% (463,75 Km), las de tipo 2 atañen al 2,35% (148,57 Km), las de tipo 3, al 2,05% (129,92 Km), las de tipo 4, representan el 17,80% (1127,21Km), las de tipo 5 ocupan el 20,72% (1312,57 Km), las de tipo 6, que son las más representativas para el área de estudio, conforman el 36,21% (2.293,49 Km) y las vías de tipo 7 cubren el 13,56% (858,72Km).

De los 463,75 Km de vías de tipo 1, existentes en el área de estudio, la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales – ANLA realiza el seguimiento a 258,62 Km equivalentes al 55,76% de la longitud total de las vías de este tipo, presentes en el área de estudio (Figura 94).

Figura 94. Infraestructura vial en el Área de Estudio – SZH Metica



Fuente: ANLA, 2021

Según información obtenida de La página web de la Agencia Nacional de Infraestructura - ANI, los proyectos viales concesionados que hacen parte del área de estudio y que hacen parte del grupo 1G, se encuentran administrados por la concesión Vial de los Andes S.A.S. con el proyecto Corredor Bogotá – Villavicencio, en etapa de construcción; dentro del grupo 4G se encuentran la concesionaria Perimetral Oriental de Bogotá S.A.S., con el Proyecto Corredor Perimetral del Oriente de Cundinamarca, en etapa de construcción; Concesionaria Vial Andina S.A.S, con el Proyecto Construcción Nueva Calzada de la Carretera Bogotá – Villavicencio, tramo Chirajara – Fundadores, en etapa de construcción; Concesión Vial de los Llanos S.A.S., a cargo de la Malla Vial del Meta, que actualmente se encuentra en etapa de preconstrucción, con la Conectante Vía Nueva - Vía Antigua Villavicencio – Bogotá; y Concesionaria Vial del Oriente con el Proyecto Corredor Villavicencio – Yopal, en etapa de construcción.

Dentro de los proyectos viales previstos para el grupo 5G no se presenta ninguno que intercepte el área de estudio.

7.1.4 Sector Hidrocarburos

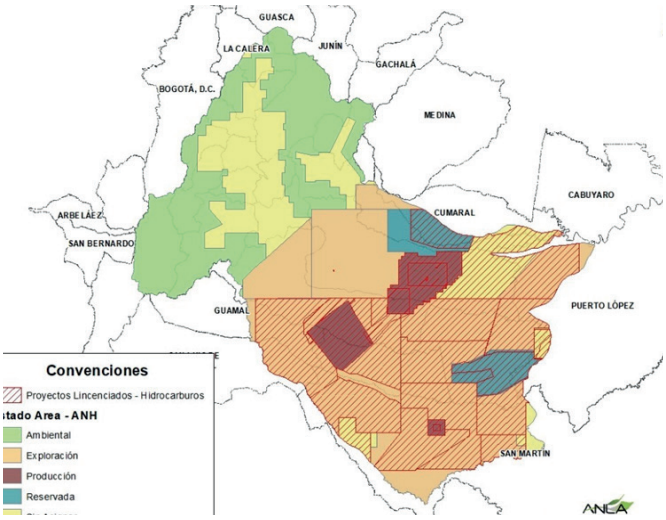
La Cuenca de los Llanos Orientales es la cuenca sedimentaria más grande del país. Cuenta con una extensión de 225.603 km2, en la que se ubican cerca de 337 campos petroleros que concentran el 68,9% de la producción total del país. Está ubicada entre los departamentos de Casanare, Cesar, Meta, Arauca y Vichada. En particular, el 71,5% del petróleo que se produce en dicha cuenca se extrae en el Meta, mientras que el 19,1% en Casanare y el 7,8% en Arauca. En cuanto a la composición del crudo producido, el 68,6% corresponde a crudos pesados, el 12,8% a crudos medianos y el 5,6% a crudos livianos. Los principales campos petroleros que se ubican en esta zona son: Rubiales, Castilla y Quifa, precisamente los tres campos más grandes del país (PNUD, 2016), se resalta que el campo Castilla se encuentra ubicado en el área de estudio.

Por otra parte, la cuenca de los Llanos Orientales es la mayor productora de gas natural del país, con una participación cercana al 69,7% de la producción nacional. Los principales campos productores de gas natural que se ubican en esta cuenca son: Cupiagua, Pauto Sur, Cusiana, Cusiana Norte y Cupiagua (PNUD, 2016).

Dentro del área de estudio se encuentran 29 proyectos de Hidrocarburos licenciados por la ANLA, de los cuales, 14 corresponden a Exploración, 6 en Explotación, 7 Transporte y Conducción, 1 Terminal y 1 Refinería (Ver numeral 2. Estado de Licenciamiento).

Con base en la información del mapa de tierras de la Agencia Nacional de Hidrocarburos actualizado diciembre de 2020, se puede indicar que de las 975.178 ha que conforman el área de estudio 185.011 (19%) son áreas disponibles, las cuales no han sido objeto de asignación, de manera que sobre ellas no existe contrato vigente ni se ha adjudicado propuesta o no se encuentran en estudio por parte de la ANH para definir el esquema de oferta pública. La distribución espacial se presenta en la Figura 95.

Figura 95. Localización de proyectos hidrocarburos licenciados por la ANLA

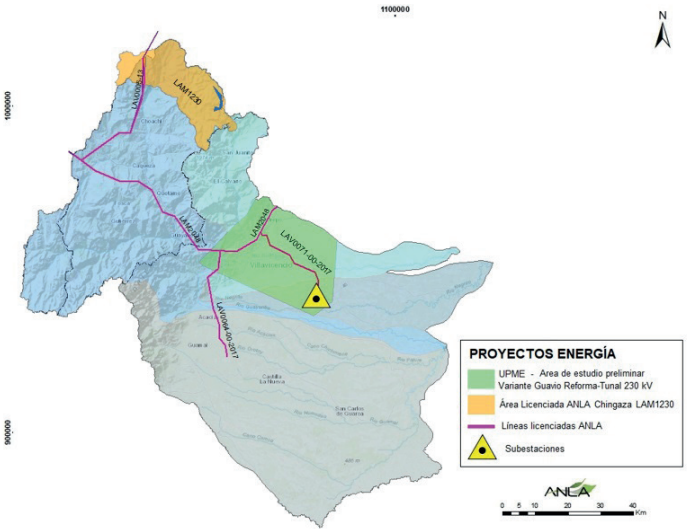


Fuente. ANLA, 2021

7.1.5 Sector Energía

En el área de análisis regional se encuentran actualmente licenciados proyectos hidroenergéticos (como parte del área de influencia del proyecto Sistema Chingaza, licenciado por ANLA LAM1230) y proyectos lineales licenciados por ANLA (expedientes LAM2048, LAV0005-13, LAV0064-00-2017 y LAV0071-00-2017). Adicionalmente, por parte de la Unidad de Planeación Minero-Energética UPME, en los proyectos que se encuentran en convocatoria está en etapa de estudio preliminar la variante Corredor Sur (Guavio – Reforma Tunal) como se representa en la Figura 96.

Figura 96. Proyectos del sector energía en el área de estudio



Fuente: ANLA, 2021. Adaptado: Convocatorias, UPME.

Referente a los proyectos licenciados por ANLA, el LAV0005-13 Proyecto de transmisión Nueva Esperanza Línea a 230 kV - Subestación Nueva Esperanza y parte del área del LAM1230 Sistema Chingaza, fueron analizados en el Reporte de la SZH Río Bogotá y el Análisis Regional para la identificación de impactos acumulativos en las áreas de intervención del proyecto LAV0017-00-2019, en la Tabla 58 se presentan los aspectos más importantes y las recomendaciones para este tipo de proyectos.

Tabla 58. Impactos acumulativos identificados para proyectos de energía en análisis regionales previos

ANÁLISIS REGIONAL	IMPACTOS ACUMULATIVOS IDENTIFICADOS	ASPECTOS IMPORTANTES / RECOMENDACIONES
Análisis regional para la identificación de impactos acumulativos en las áreas de intervención del proyecto LAV0017-00-2019	i) Disminución de la disponibilidad de hábitat, ii) Disminución de la calidad de hábitat iii) La disminución de la calidad visual del paisaje y la perdida de resiliencia en el paisaje, iv) El aumento en la resistencia de la matriz del paisaje para la movilidad de especies migratorias con movilidad en las zonas de disposición de la infraestructura del proyecto.	Para el proyecto LAV0005-13, se realiza mención de algunas de las recomendaciones dadas: Procesos de modificación de licencia: analizar como criterio de evaluación el impacto acumulativo de la remoción de la vegetación. En seguimiento de actividades de compensación, verificar la recuperación estructural de las áreas de mayor extensión que puedan suplir los requerimientos de hábitat del Leopardus tigrinus. Teniendo en cuenta la importancia ecológica de las áreas circundantes a la Subestación Nueva Esperanza, se sugiere para proyectos futuros que pretendan conexión en esta zona, la evaluación de los impactos sobre la conectividad ecológica para nuevos trazados, para así, mantener y/o mejorar las condiciones actuales de los fragmentos y evitar la pérdida del capital natural por la ejecución de proyectos lineales objeto de licenciamiento ambiental por parte de ANLA.
Reporte de Alertas SZH Río Bogotá	AVES ACUÁTICAS: Se determinaron las aves acuáticas como el componente ambiental y social de valor especial -VEC, debido a las siguientes condiciones presentadas en el área de estudio: Existe una asociación entre la infraestructura eléctrica y el colisionamiento como impacto acumulativo sobre la avifauna. La presencia de especies en categoría de amenaza en la SZH Rio Bogotá. El hábitat donde se desenvuelven tiene estrecha relación con la disponibilidad y calidad del recurso hídrico descrito también como VEC para la SZH Rio Bogotá.	Para mitigar los tensores ocasionados por las líneas eléctricas sobre las aves y en especial sobre las migratorias, así como la generación y fortalecimiento de una estrategia de evaluación y monitoreo para fauna, se recomienda incluir en la evaluación: Requerir modelos de conectividad específicos para especies que se identifiquen en alguna categoría de amenaza o por su importancia como migratorias o endemismo y priorizar estas áreas para el despliegue de desviadores de vuelo. Realizar con especial atención el monitoreo de los indicadores de impacto de forma sistemática según épocas del año y por un periodo de tiempo considerable, por ejemplo: Interanual en los 3 a 5 primeros años y luego cada 3 años o ante la ocurrencia de fenómenos macro climáticos (niño/niña). Anualmente en épocas de alto (migración) y bajo desplazamiento.

Fuente: ANLA 2021, Adaptado de Reporte de Alertas SZH Río Bogotá y Análisis regional para la identificación de impactos acumulativos en las áreas de intervención del proyecto LAV0017-00-2019. ANLA, 2020.

En cuanto a la prospección de proyectos, de acuerdo con el estudio de Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia (Unidad de Planeación Minero Energética 2015) se evidencia un gran potencial para la energía solar fotovoltaica, indicando que nuestro país supera el promedio mundial de irradiación, siendo la Orinoquía, específicamente el departamento de Meta (con

una irradiación promedio de 4,5 kWh/m2/d) una zona con proyecciones de este tipo de energía no convencional, siendo una de las grandes apuestas el proyecto Parque Solar San Fernando, el cual se plantea que sea el mayor centro de autogeneración de energía desarrollado en el país, el cual busca autoabastecer parte de la demanda de energía de las estaciones de bombeo de San Fernando y Apiay, así como de los campos petroleros de Castilla, Chichimene y Apiay.

7.2 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTOS ACUMULATIVOS

Los impactos acumulativos, se definen como aquellos que resultan de efectos sucesivos, incrementales, y/o combinados de proyectos, obras y/o actividades, cuando se suman a otros impactos existentes, planeados y/o futuros razonablemente anticipados. Para el análisis de los impactos acumulativos, es pertinente comprender el concepto de componente ambiental y social de valor especial (en adelante VEC), el cual se define como cualquier parte del ambiente que se considera importante por los sectores productivos, la sociedad, la ciencia y el Estado.

En este sentido, el término VEC hace referencia a los receptores socioambientales sensibles cuyo estado o condición futura deseada pudieran verse afectada por el desarrollo de múltiples POA. En el área de estudio se identificó el VEC ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica funcional.

VEC identificados en el área de estudio

Fuente: ANLA 2021 adaptado de Federal Interagency Group (1998)

Los ecosistemas acuáticos, son considerados como un “Complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos en su medio no viviente, que interactúan como una unidad funcional materializada en un territorio o ambiente de tipo acuático (abiertos o cerrados) la cual se caracteriza por presentar una homogeneidad, en sus condiciones biofísicas y antrópicas” (IDEAM, 2019a), atañen a ecosistemas de alta sensibilidad y vulnerabilidad debido a su baja representatividad y la tasa acelerada de

transformación, tanto de las coberturas vegetales a las que se encuentran asociados como de los cuerpos de agua propiamente dichos (ronda hídrica y espejos de agua de sistemas lénticos), no obstante, son estos ensamblajes los que ofrecen una amplia variedad de servicios ecosistémicos para las comunidades humanas y representan en algunos sectores, los únicos hábitats naturales disponibles para la biodiversidad de la zona.

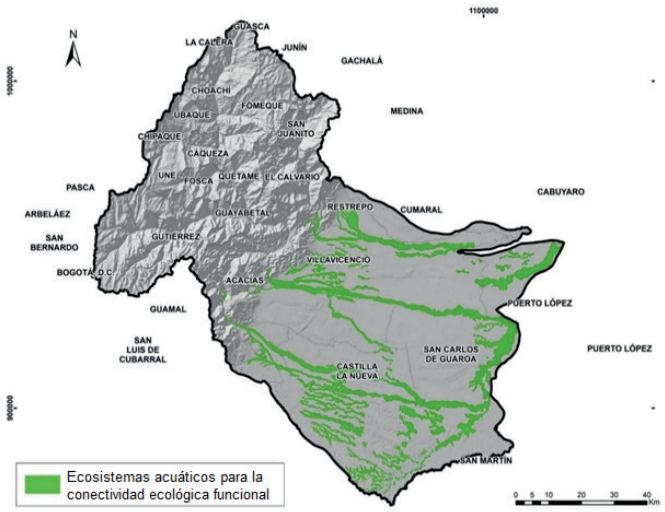
7.2.1 Límite espacial del VEC: ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica funcional

La definición del límite espacial del VEC de la SZH - MGGN se obtuvo a partir del análisis de criticidad de biomas (ver 5.2.1) y de conectividad ecológica funcional para el Águila pescadora (ver 5.2.3).

Como primer insumo para la definición del VEC se utilizaron las rutas de menor costo obtenidas en el análisis de conectividad para la especie focal Pandion halietus, la cual está directamente relacionada con los cuerpos de agua y su capacidad de mantener poblaciones de peces vivos y de buen tamaño como recurso para su alimentación. El segundo insumo correspondió a los biomas en condición A inmersos en una matriz altamente transformada que, posiblemente, están generando presiones sobre los remanentes de las coberturas naturales que los conforman disminuyendo así su calidad y disponibilidad.

De esta manera, al realizar el cruce de los insumos seleccionados se obtuvo el área presentada en la Figura 97 concibiendo los ecosistemas acuáticos con sus rondas hídricas como el atributo socioambiental de gran valor tanto para las comunidades de flora y fauna que se benefician de la interacción entre los cuerpos de agua y sus sistemas ribereños, que a su vez constituyen la conectividad ecológica funcional para la biodiversidad de la zona sureste del área de estudio; como para las comunidades humanas que obtienen múltiples servicios a partir de la complejidad ecológica de estos ecosistemas, tales como oferta de agua dulce, recurso pesquero para alimentación y comercialización, materias primas, control de inundaciones, depuración del agua, conservación de la estructura de los suelos, recarga de acuíferos, sitios de recreación, entre otros (IDEAM, 2019a).Esta área ocupa 78.184,85 ha del área de estudio definida para SZH – MGGN.

Figura 97. Delimitación espacial del VEC en la SZH - MGGN



Fuente: ANLA, 2021

7.2.2 Condición actual del VEC: ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica

funcional

7.2.2.1 Medio abiótico:

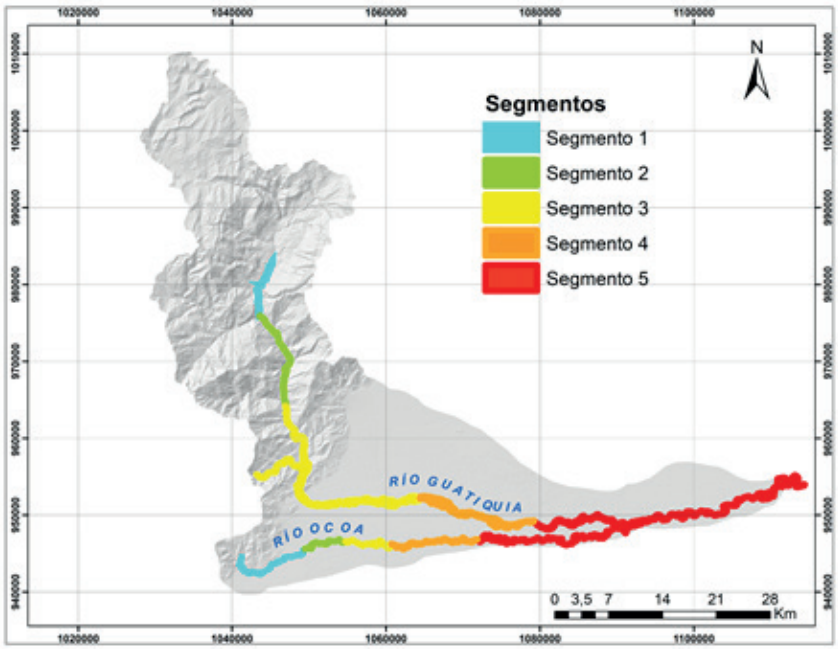
Recurso hídrico superficial:

Con el objetivo de caracterizar el atributo hídrico del VEC se identificaron y caracterizaron los segmentos de los ríos que hacen parte del VEC. Los segmentos de ríos son definidos por el MADS (2019) como la longitud de un río con condiciones similares de energía y escala del valle, delimitados por características como cambios significativos de la pendiente del valle, confluencia de tributarios principales, cambios topográficos abruptos, valles de confinamiento, aportes laterales significativos de sedimentos, entre otros factores; información de utilidad para la formulación de medidas de restauración del sistema fluvial; una de las ventajas de la segmentación consiste en su utilidad para establecer enlaces entre las condiciones físicas y biológicas de los cuerpos de agua (MADS, 2019).

Se realizó la segmentación de cauces principales de las cuencas río Guatiquía, río Metica (Guamal – Humadea), río Guayuriba y río Negro, para esta segmentación se tuvo en cuenta la metodología propuesta por Rinaldi et al., (2015), la cual a partir de un MDE, a cada segmento se le asignan características morfométricas, como el área aferente y pendiente longitudinal, con las cuales se puede llevar a cabo su clasificación geomorfológica. Se empleó un Modelo Digital de Elevación (MDE) Alos Palsar de 12,5 metros de resolución espacial (acceso libre de la NASA:https://search.asf.alaska.edu/#/).

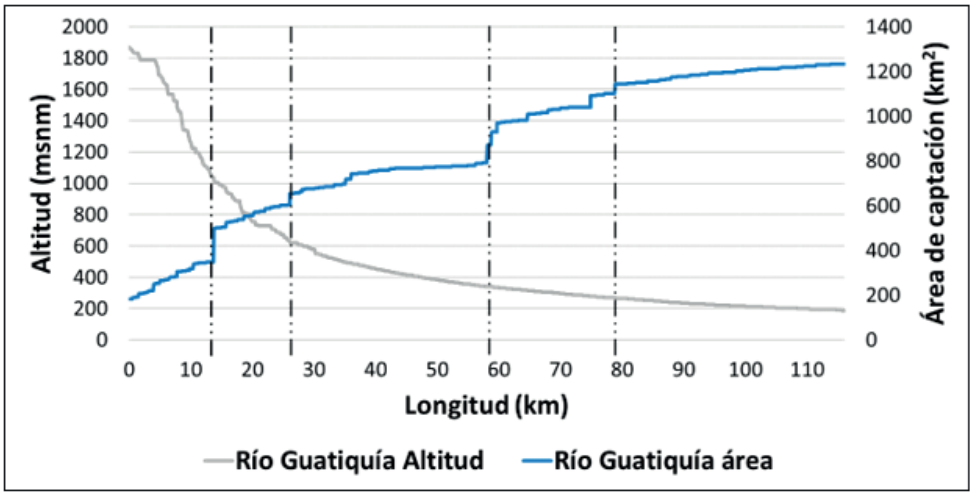
Cuenca Río Guatiquía. La segmentación del río se realizó en función a las variaciones asociadas a la altitud y el área de captación. El cauce del Río Guatiquía fue segmentado 5 partes (Figura 98), a partir de los incrementos representativos en cuanto al área de captación contemplados a partir del 18 % (Figura 99).

Figura 98. Segmentos del cauce del Río Guatiquía



Fuente: ANLA, 2021

Figura 99. Segmentación del cauce del Río Guatiquía.



Fuente: ANLA, 2021

La distribución de los segmentos del Río Guatiquía, el tipo de confinamiento, el incremento de área de captación se presenta en la tabla 59:

Tabla 59. Características de los segmentos del Río Guatiquía

Segmento	Longitud (km)	Área acumulada (km²)	Confinamiento del Valle
1	15	348	Confinado
2	14	655	Confinado – Semi Confinado
3	35	791	Semi confinado - Sin confinamiento
4	18	1041	Sin confinamiento
5	44	1233	Sin confinamiento

Fuente: ANLA, 2021

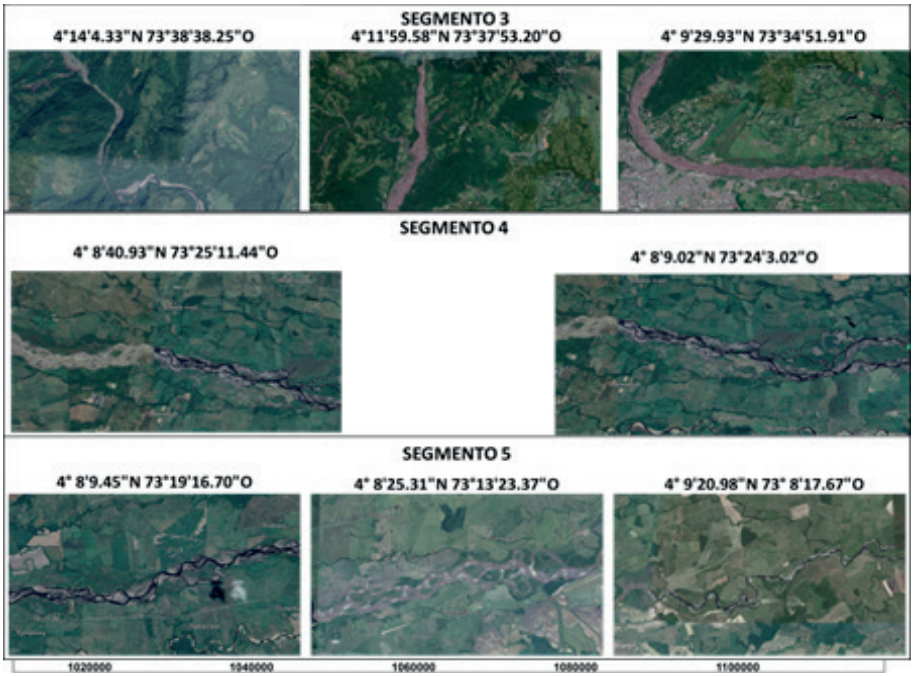
En la cuenca del río Guatiquía el VEC se encuentra distribuido en los segmentos 3, 4 y 5, zona donde se presenta erosión hídrica ligera (IDEAM-MADS-UDCA, 2015) y la alteración Potencial de la Calidad de Agua (IACAL) es alta para año medio (IDEAM, 2019). Se encontró que, los segmentos 4 y 5 presentan concentración de permisos de vertimientos y que los permisos de captaciones se concentran en los segmentos 3 y 5. El río después del segmento 3 (64% de su área tiene pendientes entre 0-7%) empiezan a presentar zonas con alta sinuosidad (meándricos), con múltiples hilos de alta y baja sinuosidad. Adicionalmente es importante resaltar que este río en las zonas de relieve plano tiene alta erosión, debido a la disponibilidad de sedimentos a partir de los bancos de arena, siendo la presencia de meandros abandonados en el segmento 5 (el 93% de su área tiene pendientes entre 0-7%) una de sus características.

En los tres segmentos en los que se distribuye el VEC (Figura 100), los mesohábitats13 (también de nominada unidad morfológicas) característicos son de tipo lentos como poza (pool), lecho plano (plane

13 También conocidas como unidades geomórficas, subtramos o meso-hábitats, las unidades morfológicas son

bed), poza-cruce (pool-riffle); las pozas se caracterizan por su superficie lisa, lecho cóncavo, profundidad del agua > 0,6 m, velocidad del agua por debajo de la media del tramo y muy bajo gradiente longitudinal (Olaya-Marín et al., 2013); y los riffle se caracterizan por aguas poco profundas con ondulaciones en la superficie, una velocidad media del agua <0,4 m·s−1, secciones transversales casi simétricas y una profundidad media similar al tamaño medio del sustrato longitudinal (Olaya-Marín et al., 2013).

Figura 100. Tipos de morfología presente en el Río Guatiquía por segmentos



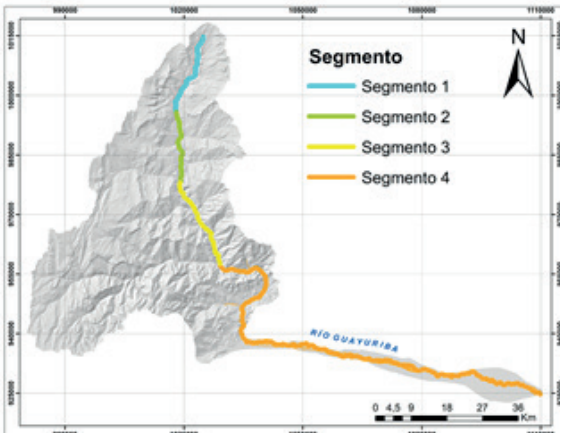
Fuente: ANLA, 2021 adaptado de Google Earth

Por otra parte, los segmentos 1, 2, 3 y 5 del río Ocoa hace parte del área del VEC, este río presenta un cauce de un solo hilo rectilíneo en el segmento número 1, el cual tiene el 21% del área en pendientes entre 12-35%. Sin embargo, a medida que el cauce va llegando a la zona de planicie se empiezan a presentar relieves planos y suaves con formas sinuosas sobre los segmentos 2 y 3. Sobre el segmento 4 y 5 (83% de su área con pendientes entre 0-7%) se pueden visualizar zonas con meandros bien demarcados y secciones con morfologías del cauce anastomosados.

Río Guayuriba. Se obtuvieron cuatro segmentos (Figura 101 y Figura 102), definidos por incrementos del área de captación mayores al 40%, es importante resaltar que el segmento 4 fue establecido por dos condiciones la primera la variación del área de captación y la otra por información disponible del MDE.

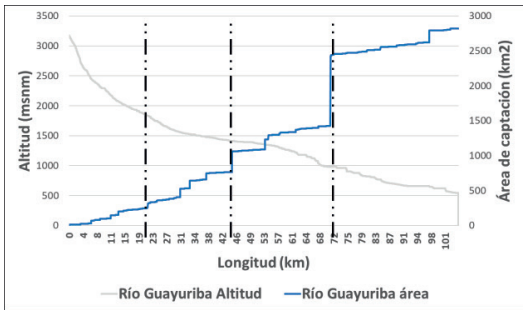
los componentes fundamentales de cada tramo de río, y corresponden a áreas del río con morfologías relativamente uniformes, generadas por la erosión o depósito de sedimentos, o por lechos rocosos (e.g., cascadas, escalón-pozo, pozo-cruce, etc.). Algunas unidades morfológicas también se encuentran compuestas por elementos de vegetación, viva y muerta (e.g., troncos de árboles) (MADS, 2019).

Figura 101. Segmentos del cauce del Río Guayuriba



Fuente: ANLA, 2021

Figura 102. Segmentación del cauce del Río Guayuriba



Fuente: ANLA, 2021

A continuación, se presenta en la tabla 60 las características por segmento en cuanto a longitud, área de captación y tipo de confinamiento.

Tabla 60. Características de los segmentos del Río Guayuriba

Segmento	Longitud (km)	Área acumulada (km^2)	Confinamiento del Valle
1	24	317	Confinado
2	21	764	Confinado
3	26	1422	Confinado- Semiconfinado
4	130	2822	Sin Confinamiento

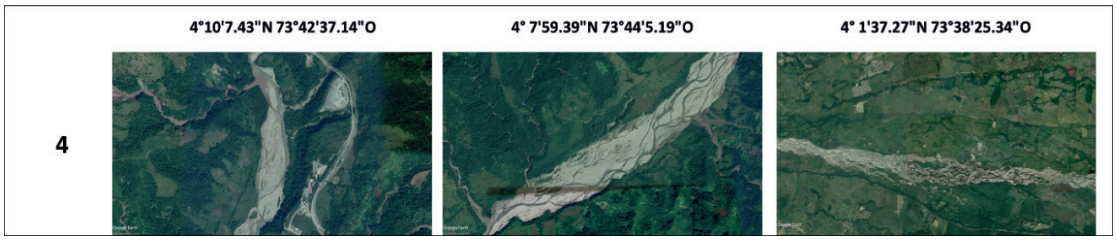
Fuente: ANLA, 2021

En el río Guayuriba, únicamente el segmento 4 hace parte del área del VEC, este segmento en algunos sectores presenta erosión ligera a moderada (IDEAM-MADS-UDCA, 2015) y la alteración Potencial de la Calidad de Agua es baja para año medio (IDEAM, 2019). El segmento se clasifica como sin confinamiento, ya que más el 77% de las pendientes corresponden a zonas de planicie (0%-7%). Por otra parte, a nivel de la cuenca del río Guayuriba, es en este segmento del río donde se concentra alrededor del 95% de los permisos de vertimientos otorgados por la ANLA y CORMACARENA. En el segmento 4 se presentan diferentes tipos de meandros abandonados, de alta y baja multiplicidad. Así mismo, este segmento tiene características propias de un sistema anastomosado (Figura 103).

Teniendo en cuenta las características del material transportado y las bajas pendientes, los canales de este segmento pueden adquirir formas del lecho transicionales pool-riffle y dunne-ripple. El material de lecho es tipo arena, grava o guijarros. Dicho material es susceptible de ser transportado en condiciones

de flujo cercanos a la condición de banca llena, por lo cual este tipo de sistemas tiene una configuración del lecho altamente cambiante.

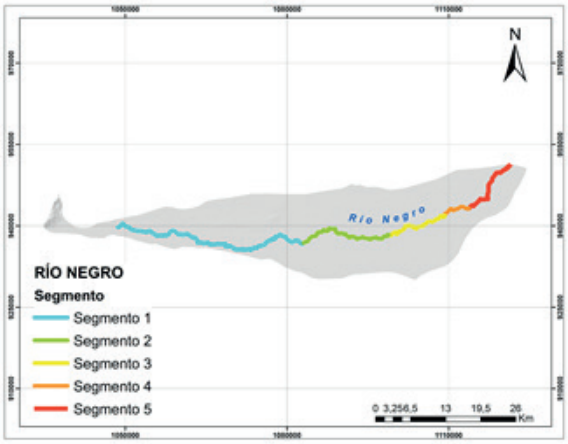
Figura 103. Tipos de morfología presente en el Río Guayuriba por segmentos



Fuente: ANLA, 2021 adaptado de Google Earth

Río Negro. Se establecieron 5 segmentos para este río (Figura 104). No obstante, el VEC se encuentra distribuido sobre los segmentos del 3 al 5, los cuales se caracterizan por presentar un tipo de relieve principalmente de plano (0%-3%) a suave (3%-7%). La distribución de los segmentos del Río Negro, el tipo de confinamiento, el incremento de área de captación se presenta en la tabla 61.

Figura 104. Segmentos del cauce del Río Negro



Fuente: ANLA, 2021

Tabla 61. Características de los segmentos del Río Negro

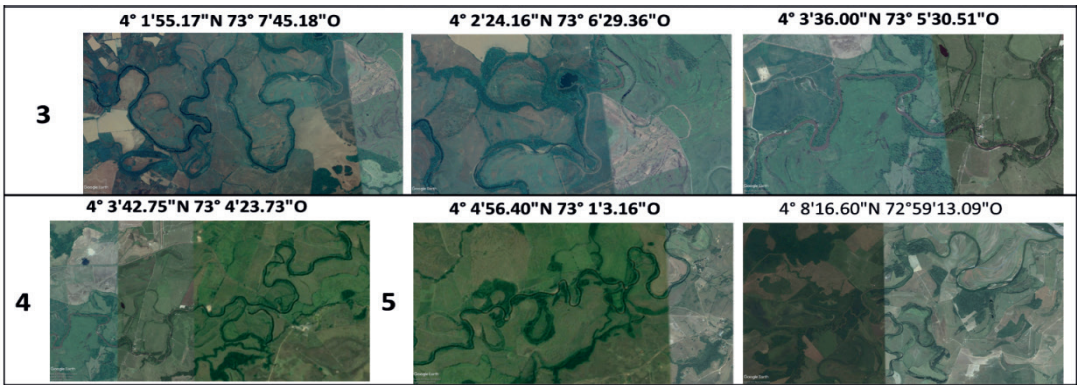
Segmento	Longitud (km)	Área acumulada (km^2)	Confinamiento del Valle
1	44	152	Sin confinamiento
2	21	319	Sin confinamiento
3	15	463	Sin confinamiento
4	6	677	Sin confinamiento
5	14	768	Sin confinamiento

Fuente: ANLA, 2021

Los segmentos donde se encuentra distribuido el VEC (3, 4 y 5) presentan erosión hídrica ligera (IDEAM-MADS-UDCA, 2015) y la alteración Potencial de la Calidad de Agua es baja para año medio (IDEAM, 2019). Por otro lado, los segmentos 2 y 3 presentan concentración de permisos de vertimientos otorgados por la ANLA y CORMACARENA. El cauce del río Negro no presenta confinamiento en ningún segmento, como resultado de ello en el transcurso de este río se observan zonas con alta sinuosidad y meandros pronunciados (Figura 105). Los segmentos donde se distribuye el VEC presenta un claro dominio de hábitats lentos como glide[14] (tabla) y pool (poza), como consecuencia de la menor pendiente del cauce.

14 Mesohábitat tipo glide: este tipo de mesohábitat se caracteriza por presentar profundidad del agua <0,6 m, velocidad del agua similar a la media del tramo, poca turbulencia y secciones transversales casi simétricas (Olaya-Marín et al., 2013).

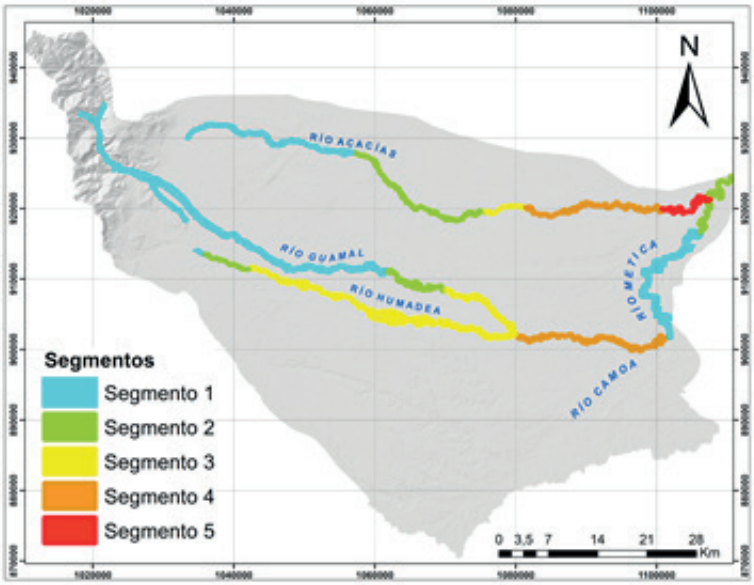
Figura 105. Tipos de morfología presente en el Río Negro por segmentos



Fuente: ANLA, 2021 adaptado de Google Earth

SZH del Río Metica. El VEC se encuentra distribuido en toda la cuenca del río Guamal y Humadea y en el segmento 2 del río Acacías (82% del área tiene relieve suave a plano) Figura 106. El río Guamal en su cuenca alta presenta un cauce semirrecto – confinado, a partir del segmento 2 es trenzado con meandros de alta y baja multiplicidad, morfologías que se extiende hasta su desembocadura en el Río Metica. En el segmento 1 del río Guamal se presenta mesohábitat tanto del tipo rápidos como lentos. En los segmentos 3 y 4 los mesohábitats característicos y que dominan son de tipo lentos. Los segmentos del río Guamal y Acacías presentan erosión hídrica ligera; y el Humadea tiene erosión moderada (IDEAM-MADS-UDCA, 2015). Todas las cuencas hidrográficas presentan una alteración Potencial de la Calidad de Agua media para año medio (IDEAM, 2019b).

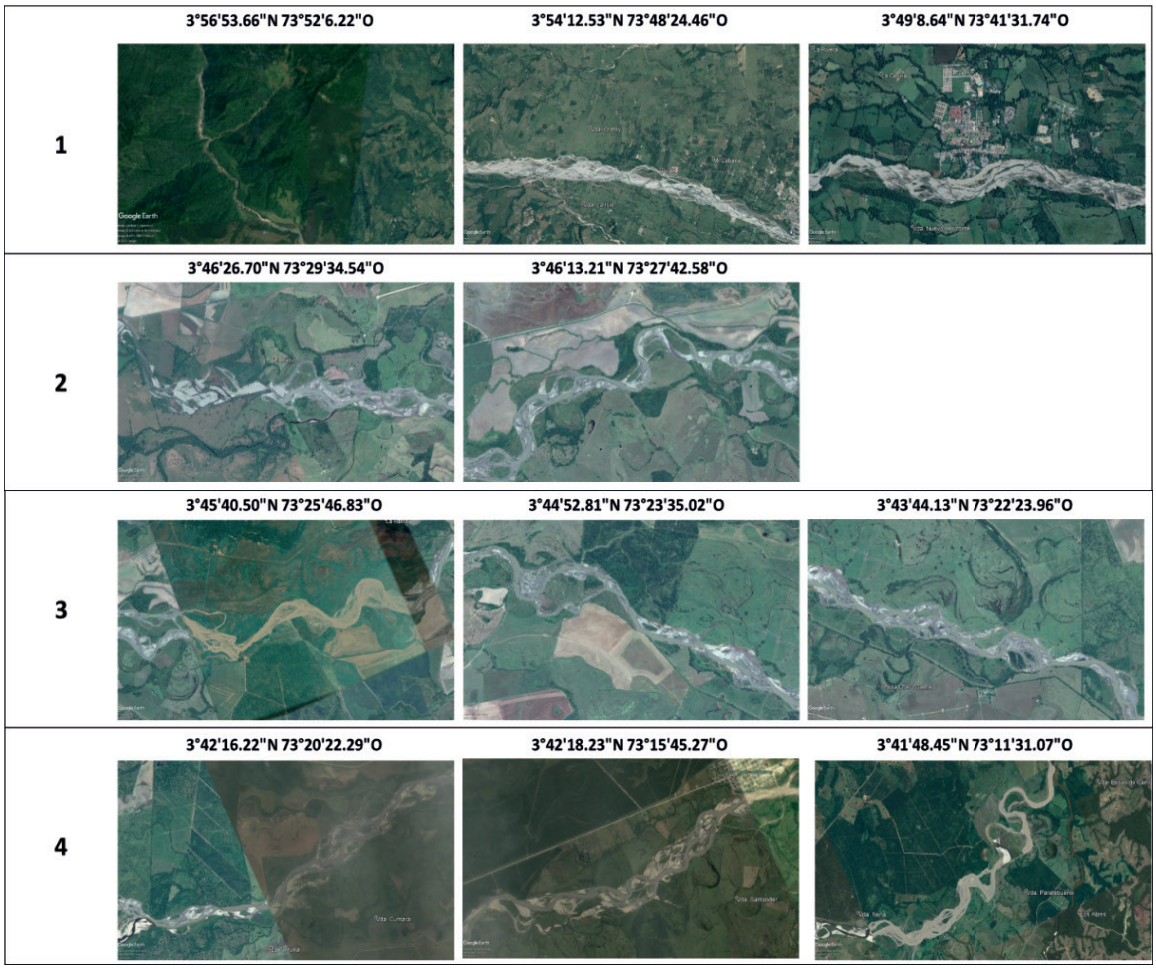
Figura 106. Segmentos del cauce de la SZH río Metica



Fuente: ANLA, 2021

En el río Guamal (Figura 107) los permisos de vertimientos se concentran en la parte final del segmento 1 y en los segmentos 3 y 4, específicamente en la unión del río Humadea con el Guamal. Para el caso del segmento 2 del río Acacías, este presenta concentración de vertimientos en alrededor el 50% de su longitud. Por otro lado, todo el cauce del Guamal y Humadea presenta concentración de permisos de concesiones de agua otorgados tanto por la ANLA como por CORMACARENA.

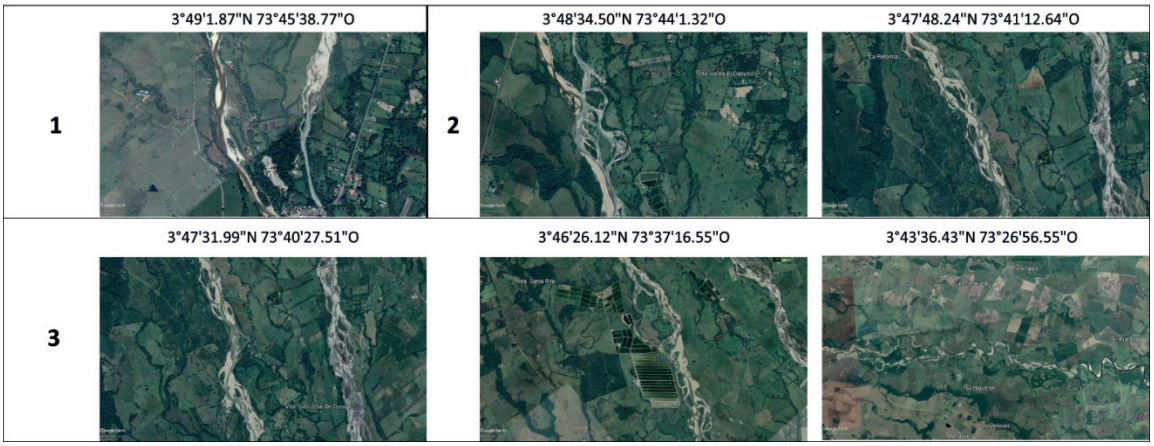
Figura 107. Tipos de morfología por segmento presente en el río Guamal



Fuente: ANLA, 2021 adaptado de Google Earth

El cauce del río Humadea no presenta ningún tipo de confinamiento, lo anterior debido a que la distribución de pendientes se concentra en un rango menor a 12%. En el primer segmento del río se presentan zonas de alta sinuosidad y erosión en las bancas. En el segmento 2 y 3 se presentan trenzamientos generados por barras laterales e islas de pequeñas dimensiones en un relieve suave a plano (Figura 108), además de un cauce anastomosado, finalmente meandros en su desembocadura en el Río Guamal.

Figura 108. Tipos de morfología presente en el Río Humadea por segmentos

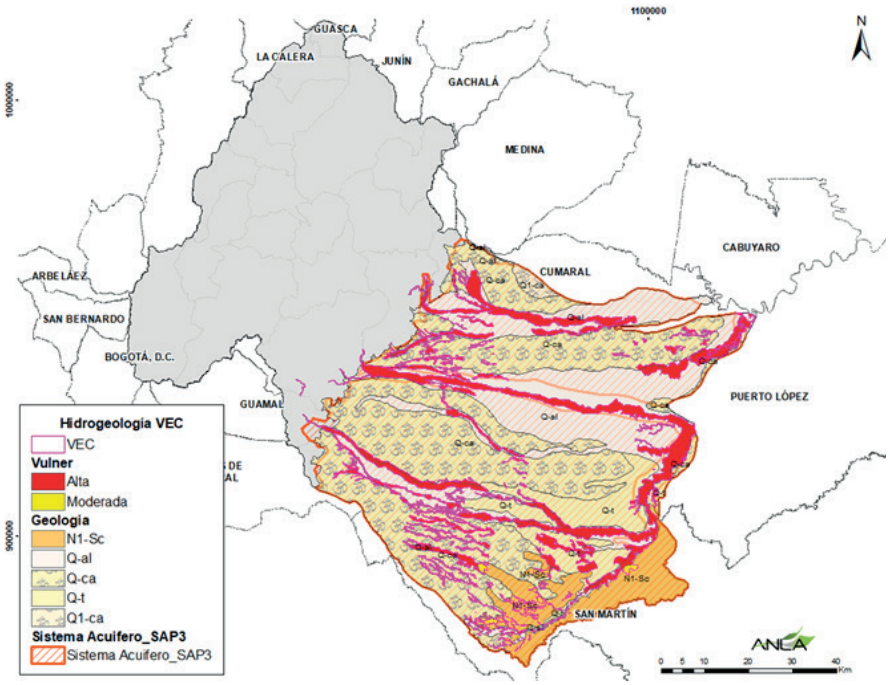


Fuente: ANLA, 2021 adaptado de Google Earth

Recurso hídrico subterráneo:

El área del VEC se encuentra ubicado en el sistema acuífero Villavicencio - Granada - Puerto Lopez SAP3.1, como se presenta en la Figura 109.

Figura 109. Distribución espacial de las variables hidrogeológicas en el VEC



Fuente: ANLA, 2021

El 96% del VEC se encuentra en depósitos poco consolidados del cuaternario, principalmente en los Depósitos aluviales – Q al y Abanicos Aluviales – Q-ca, los cuales corresponde a acuíferos de extensión regional y local discontinuo, multicapa, de baja a mediana productividad, de tipo cubierto a semiconfinado, con flujo esencialmente intergranular asociados a sedimentos granulares con alta variación lateral de facies (debido a su génesis) que varían desde arenas de grano medio a fino, Se estima que su espesor varía entre los 15 y 50 m y su capacidad especifica de 0.05 l/s/m a 2 l/s/m (CORMACARENA 2015).

Los niveles de agua varían entre 0.6 m y 12 m de profundidad, siendo la zona de Villavicencio donde se reportan los valores más profundos de nivel; por otro lado, se observa una dirección preferencial de flujo a nivel regional oeste – este con algunos flujos locales que podrían converger en los principales ríos del área de estudio (CORMACARENA 2015). Para el área de estudio, se define la zona de recarga regional para los acuíferos someros en el piedemonte de la cordillera oriental donde afloran los depósitos cuaternarios y se presentan las mayores precipitaciones. En cuanto a la zona de descarga regional, se establece al Río Metica, el cual se encuentra al este de la zona de estudio, siguiendo la dirección de flujo de aguas subterráneas y es de carácter permanente. (CORMACARENA 2015).

Las principales facies hidrogeoquímicas son: bicarbonatadas cálcicas, aguas recientes principalmente de recarga por precipitación y sulfatadas cálcicas, aguas que tendrían recorridos menos activos, más largos y mayores tiempos de permanencia en el sistema. Se evidencia la presencia de coliformes como el principal contaminante antrópico que altera la calidad del agua subterránea. El acuífero conformado por los depósitos y abanicos aluviales presentes en el VEC, dada su profundidad próxima a la superficie y las características de baja consolidación presenta una alta vulnerabilidad a la contaminación.

Finalmente, estos acuíferos son una de las principales fuentes de explotación de agua subterránea y el uso principal que se da al agua extraída es para labores abastecimiento público, agrícola e industrial. Sin embargo, actualmente en el VEC no se presentan concesiones de agua subterránea, permisos de inyección ni de vertimiento al suelo.

7.2.2.2 Medio biótico: Disponibilidad de hábitat para el Águila pescadora

En términos generales el hábitat se refiere a un espacio donde convergen condiciones biofísicas y ambientales que permiten su ocupación por individuos o poblaciones de una especie Morrison et al., 2006). Dichas condiciones pueden cambiar espacial y temporalmente afectando la calidad del hábitat y, por tanto, la distribución de las especies (Krausman, 1999). Un hábitat de alta calidad garantizará la sobrevivencia y reproducción de los individuos a largo plazo (>10 años) (Beier et al., 2006) Morrison et al. (2006) describen tres factores relacionados con la condición del hábitat: la cobertura vegetal, el alimento y el agua. En esta oportunidad, se generó una aproximación a la calidad de hábitat para el Águila pescadora, por medio de un análisis de fragmentación de las coberturas vegetales y de la disponibilidad de alimento dentro del límite espacial del VEC.

Fragmentación del hábitat

Utilizando el mapa de coberturas del Mapa de Ecosistemas Continentales, costeros y Marinos a escala 1:100.000 (IDEAM, 2017b), se establece que el área definida para el VEC se compone por 78.184,85 ha de las cuales el 57,86% (45.235,47 ha) corresponden a coberturas boscosas, de vegetación secundaria y de sistemas acuáticos con espejos de agua disponibles (ríos, lagunas y cuerpos de agua artificial). Estas coberturas representan los hábitats para el establecimiento, protección y obtención de recursos del

Águila pescadora y su pérdida y alteración figuran una amenaza directa frente a la conservación de la especie y su biodiversidad asociada.

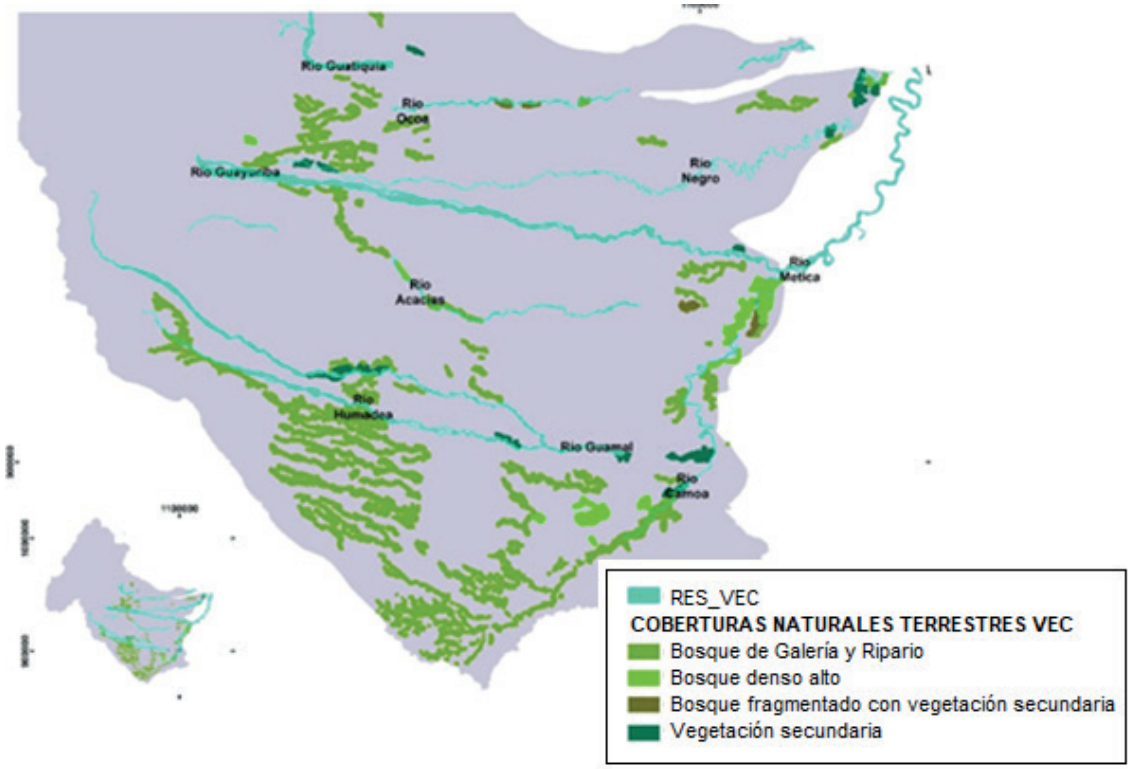
El hábitat del Águila pescadora está conformado por 272 parches divididos en bosque de galería y ripario (213 parches ≈17.715,77 ha), vegetación secundaria (20 parches ≈ 1.623,15 ha), bosque denso alto (17 parches ≈ 2.275,67 ha), río (13 parches ≈ 22.589,16 ha), bosque fragmentado con vegetación secundaria (4 parches ≈ 548,50 ha), cuerpos de agua artificial (3 parches ≈ 376,78 ha) y lagunas (2 parches ≈ 106,44 ha). Sin embargo, ha sufrido procesos de fragmentación extrema (≈95,33%), es decir, la disminución y pérdida de conectividad de la superficie total de coberturas de interés en el área delimitada para el VEC es alta, por tanto, es necesario destinar esfuerzos que conlleven a la recuperación del hábitat buscando mejorar atributos de los fragmentos que lo conforman, tales como su tamaño, forma y la distancia entre sí.

Particularmente, los ríos son la cobertura más representativa ocupando el 49,94% del área total del VEC; se conforman por parches alargados e irregulares (MSI ≈ 6,30); y su disponibilidad -en términos de cantidad- dentro del límite espacial del VEC es favorable para el Águila pescadora. No obstante, es necesario resaltar que la calidad de estas coberturas depende de las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas del recurso hídrico y de su relación con la ictiofauna pues como ya se ha mencionado es una especie primordialmente piscívora.

Por otra parte, los bosques de galería ocupan el 39,16%. Esta cobertura realiza el mayor aporte en áreas núcleo de coberturas boscosas (8.594,12 ha), sin embargo, es la cobertura más fragmentada (213 parches) y con un índice de forma alto (MSI ≈ 2,79), asociado a la sinuosidad de los cauces (alargados, irregulares y lobulados) y, posiblemente, a la pérdida de conectividad estructural que ha generado su intervención. La vegetación ribereña es el espacio donde se comunican los elementos acuáticos y terrestres que componen los ecosistemas acuáticos (Del Tánago & De Jalón, 2011), de allí la importancia de incrementar su conectividad, aumentar la disponibilidad de áreas núcleo y fortalecer la movilidad de las especies en zonas donde se identificaron los corredores biológicos, particularmente en el área de influencia de los bloques de hidrocarburos.

Actualmente, gran parte de la longitud de los ríos no cuentan con vegetación ribereña y sus rondas hídricas están ocupadas por áreas de cultivos, plantaciones y pasturas (Figura 110). En el caso del río Guayuriba, uno de los principales afluentes del área de estudio, se encuentra desprovisto de vegetación asociada en todo su segmento 4, situación que también presentan los ríos Guatiquía (segmentos 3, 4 y 5) y Guamal (segmentos 1, 2 y 3); por el contrario, el río Metica, en sus segmentos 1 y 2, aunque tiene parte de su ronda hídrica sin vegetación asociada, se rodea de parches de bosque denso y bosque ripario, lo cual repercute en la calidad del agua y, probablemente, en la capacidad de mantener un mayor número de elementos faunísticos, reflejado también en la evaluación de disponibilidad de alimento para el Águila pescadora (Ver Figura 112).

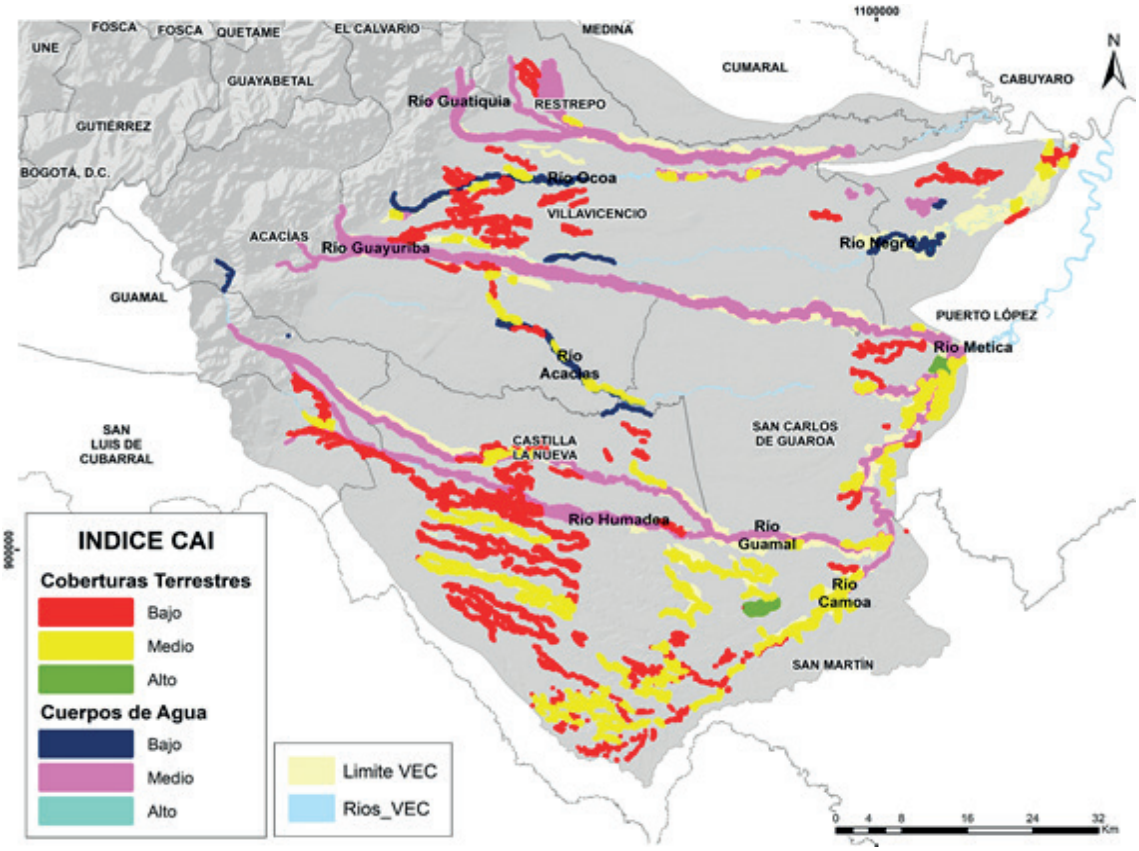
Figura 110. Distribución de los bosques asociados a los principales afluentes que se localizan en el límite espacial del/ VEC



Fuente: ANLA, 2021

Para profundizar en el estado de fragmentación del hábitat para el Águila pescadora, se identificaron las áreas núcleo como los mejores hábitats disponibles para la especie, donde el efecto de la matriz, representada por zonas de uso agropecuario, tiene poca o nula incidencia. En este sentido, el índice CAI (Core Area Index) presenta el porcentaje de área núcleo que aporta un fragmento y fue calculado asumiendo un espesor de borde de 50m (Murcia, 1995). Teniendo en cuenta que se evalúan coberturas terrestres y acuáticas, se presentan por separado dado que ambos tipos de cobertura, pese a ser vitales para el éxito en la conservación del Águila pescadora, ofrecen recursos diferentes (Figura 111).

Figura 111. Índice de Área Núcleo (CAI) para los parches de hábitat del Águila pescadora en el límite espacial del VEC



Fuente: ANLA, 2021

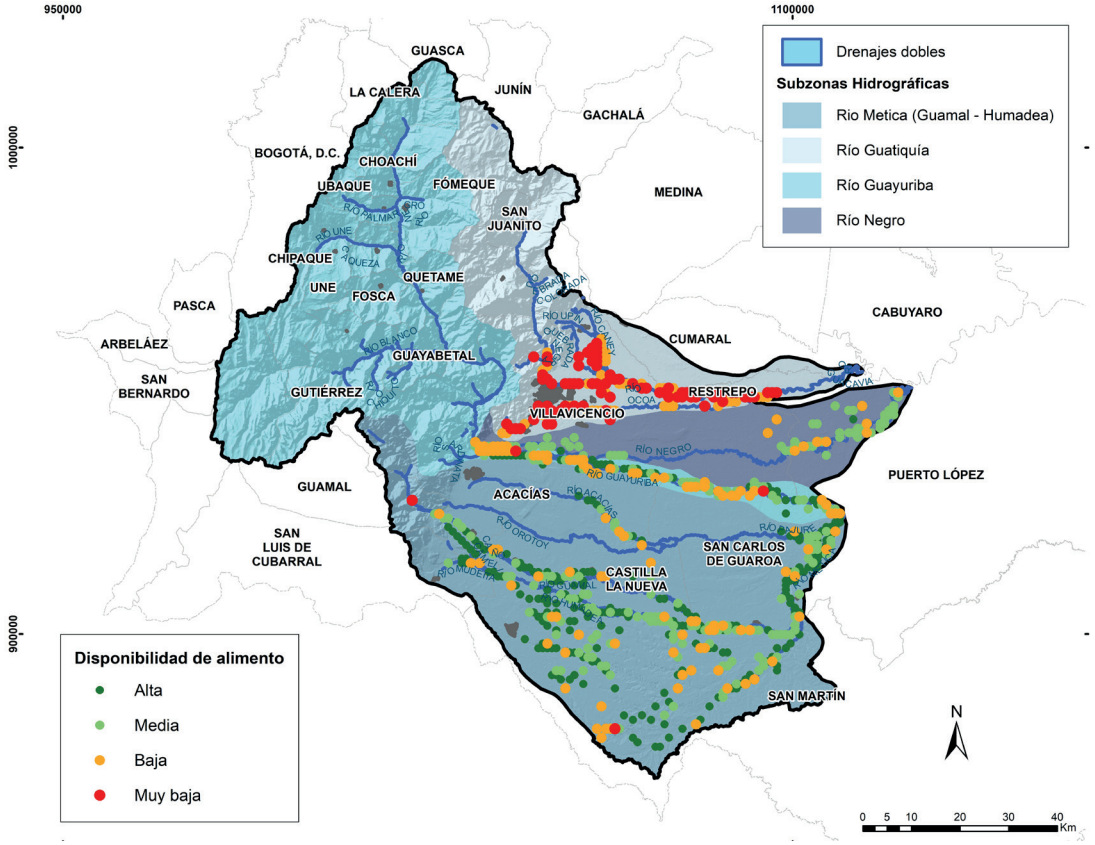
En los municipios de San Martín y San Carlos de Guaroa se identificaron hábitats de bosque denso alto con el valor de CAI más alto (Porcentaje de área núcleo disponible superior al 80%), pues tienen un menor efecto de borde (forma regular y compacta) que aumenta la disponibilidad de área núcleo del parche y podrían estar brindando áreas de refugio para los individuos jóvenes. Entre tanto, los bosques fragmentados con vegetación secundaria, la vegetación secundaria y los bosques de galería y ripario tienen fragmentos entre las categorías medio y bajo; los parches categorizados con índices CAI bajo corresponden principalmente a remanentes de bosques de galería que se encuentran desconectados de los parches más grandes, por ende, estos se consideran los fragmentos más vulnerables dada su tendencia a desaparecer y entrar a hacer parte de las matrices transformadas.

Finalmente, los cuerpos de agua se caracterizan por tener un índice CAI medio (Porcentaje de área núcleo disponible entre 50% y 80%), en particular, el río Acacias y sus afluentes (Caños Danta y Jordán), y el río Ocoa en el municipio de Villavicencio cuentan con un CAI bajo. Respecto a estos resultados, es necesario revisar el uso que se está haciendo de estos recursos y, a partir del POMCA, verificar las medidas de manejo correspondientes para mejorar su condición.

Disponibilidad de alimento

La disponibilidad de alimento se definió a partir de la distribución potencial de tres órdenes considerados posible dieta del Pandion halietus de acuerdo con lo reportado en la literatura científica (Francour & Thibault, 1996; Siverio et al., 2011; Rojas et al., 2018). El análisis de distribución potencial se realizó con el programa libre Maxent e incorporo la siguiente información: a) registros de la dieta15, b) NDVI16, c) IACAL17 y d) régimen de caudal (Dallaire & Lehner, 2018). Como resultado, los ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica funcional no cuentan con condiciones biofísicas idóneas que permitan tener una muy alta disponibilidad de dieta para el Águila pescadora (modelo con valores < 0.75) (Figura 112).

Figura 112. Disponibilidad de dieta para el Águila pescadora en el límite espacial del VEC



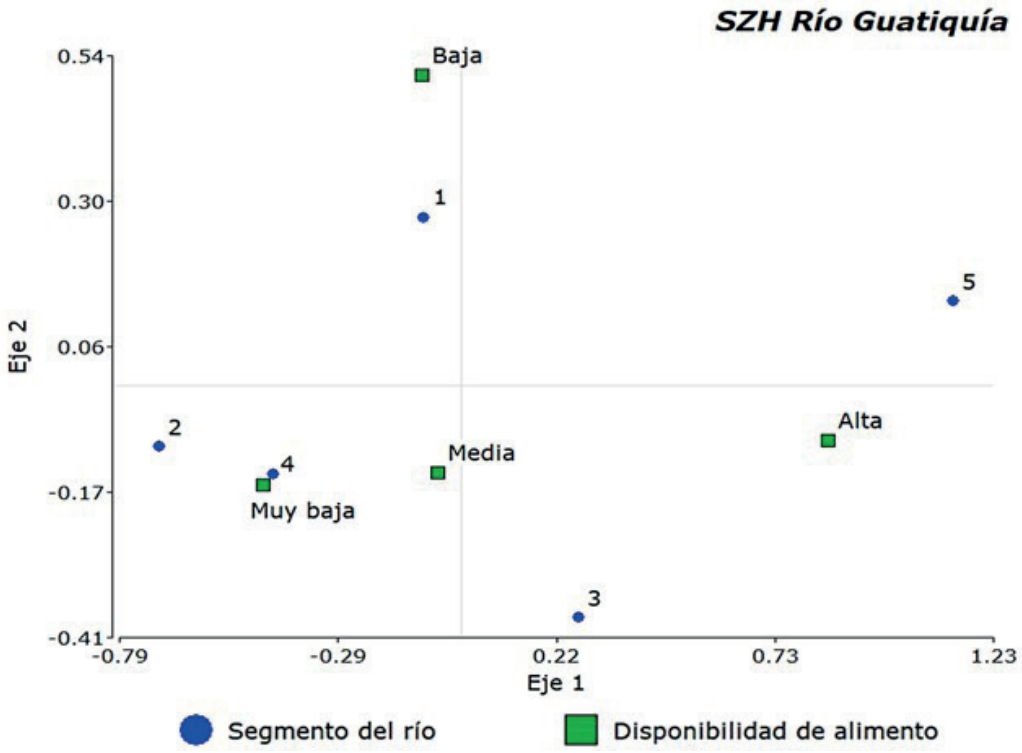
Fuente: ANLA, 2020

En particular, la SZH del río Guatiquía presenta una muy baja disponibilidad de alimento, asociada posiblemente a una alta presión potencial por carga contaminantes y, a su vez, por la concentración de permisos de vertimientos y captaciones en el segmento 4, donde el análisis de correspondencias

15 Puntos de presencia de Siluriformes, Cichliformes y Periciformes, presentados por los proyectos licenciados en el área de estudio.
16 Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI por sus siglas en inglés) (Didan, 2015).
17 Presión potencial por carga contaminante -DBO5, DQO, SST NT, OT- (IDEAM, 2019b)

mostró una alta asociación con esa condición de muy baja disponibilidad (Figura 113). Esto, sumado a la alta erosión en las zonas planas (ver 7.2.2.1) podría contribuir al deterioro del hábitat para el Águila y explicaría las zonas embudo de alta restricción identificadas en ese sector del corredor biológico (ver numeral 5.2.3).

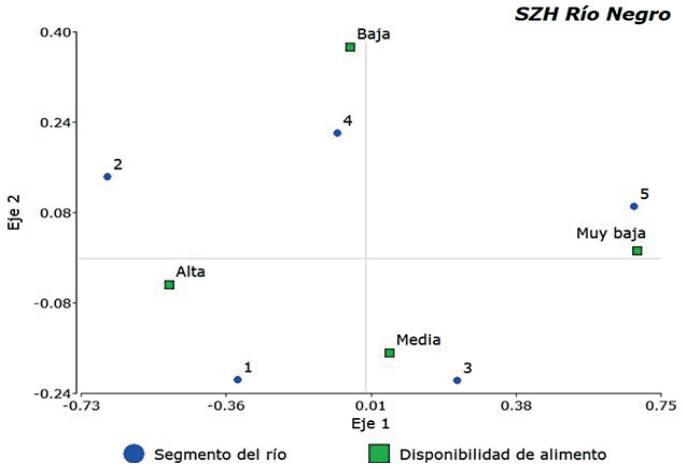
Figura 113. Asociación entre los segmentos de los ríos y la disponibilidad de alimento en la SZH del Río Guatiquía



Fuente: ANLA, 2021

Entre tanto, una baja disponibilidad caracteriza el VEC localizado en la SZH del río Guayuriba, donde se concentra un alto porcentaje (95%) de los permisos de vertimientos otorgados en la región (ver numeral 5.1.2); así mismo, la baja disponibilidad de dieta se relacionó en su totalidad con el segmento 4, donde al parecer podría haber una alta carga de sedimentos de acuerdo con la caracterización realizada en el numeral 5.1.1.1. En cuanto a la SZH de Río Negro, se observa un aumento en la disponibilidad de alimento ya que, a pesar de la concentración de permisos de vertimientos en el segmento 3, donde se observó una alta asociación con la disponibilidad media (Figura 114), la presión potencial por cargas contaminantes es baja. Así mismo, la diversidad de hábitats es baja pues corresponden, en su mayoría, a meso hábitats de tipo léntico.

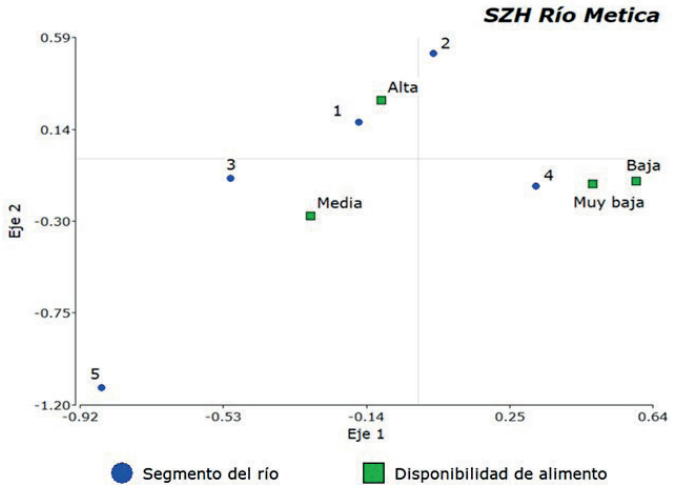
Figura 114. Asociación entre los segmentos de los ríos y la disponibilidad de alimento en la SZH del Río Negro



Fuente: ANLA, 2021

Por último, la SZH del Río Metica (Guamal-Humadea) cuenta con una mayor disponibilidad de alimento – entre media y alta -, asociado a una menor fragmentación de hábitats para el Águila pescadora (Ver Figura 111) y al segmento 1, donde también existe una diversidad de mesohábitats rápidos y lentos. A pesar de esto, se identifica una asociación del segmento 4 con una baja y muy baja disponibilidad (Figura 115), específicamente sobre el caño El Toro en el municipio de Castilla La Nueva, también en otras localidades aguas abajo donde confluyen los ríos Humadea y Guamal donde se concentran los permisos de vertimientos y captaciones.

Figura 115. Asociación entre los segmentos de los ríos y la disponibilidad de alimento en la SZH del Río Metica



Fuente: ANLA, 2021

7.2.2.3 Medio Socioeconómico

Acorde con los aspectos de sensibilidad social y conforme con el VEC definido para estar área de interés, se realiza un análisis desde una perspectiva de servicios ecosistémicos, los cuales permiten obtener una lectura de las dinámicas que se desarrollan en el territorio, percepciones y usos por parte de beneficiarios directos e indirectos de este ecosistema, en los niveles regional y local.

De esta manera, considerando el nivel de sensibilidad social asociado al número de denuncias sobre presuntas infracciones ambientales que se encuentran principalmente relacionadas con proyectos del sector de infraestructura e hidrocarburos, se identifica que el recurso hídrico en cuanto a la afectación en su disponibilidad para la provisión de las comunidades locales, y el medio biótico, considerando que el ecosistema acuático representan una fuente de abastecimiento para comunidades locales que desarrollan la actividad pesquera en áreas ribereñas y las cuales han presentado cambios en las cantidades de captura en las diferentes épocas del año, aumento del esfuerzo pesquero, dificultades en la comercialización, entre otras problemas que aboca este recurso, son situaciones que tienen un potencial generador de conflictividad socioambiental en el territorio.

Por otro lado, de acuerdo con lo mencionado por diferentes actores estratégicos del área de interés la ocurrencia de contingencias y el desarrollo de vertimientos, han generado transformaciones o limitaciones en los usos tradicionales del suelo por parte de las comunidades, donde manifiestan un nivel de criticidad debido a que los suelos han perdido drásticamente la humedad y las cualidades que permitan el desarrollo óptimo de las diferentes actividades productivas para el autoabastecimiento y económicas, como lo es la palma de aceite.

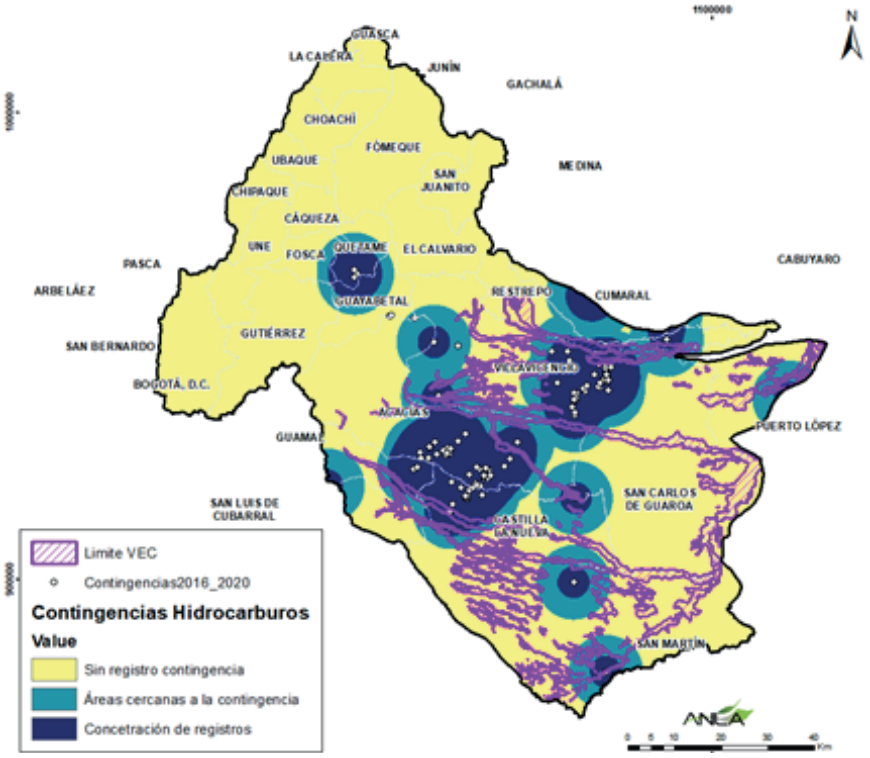
7.2.3 Contingencias ambientales de origen antrópico

En el marco del presente reporte se realizó un análisis de las contingencias reportadas dada la presión que estas generar sobre el estado de los recursos, análisis que influye y complementa los resultados y requerimientos derivados del análisis de impactos acumulativos.

Las contingencias reportadas (Resolución 1486 de 2018) en el área de estudio por los diferentes proyectos, obras o actividades licenciadas, sirvió de insumo para valorar cualitativamente la amenaza intrínseca que se presenta el VEC, para ello, se integró la información de las contingencias presentadas y reportadas en el periodo 2016-2020.

En total para el periodo de análisis se presentaron 125 contingencias (Figura 1169, de las cuales 62 tuvieron origen en el marco del proyecto Bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene – LAM0227, y 42 en el Pozo De Desarrollo Apiay A y Suria A Y B Y Libertad - LAM0198 se presenta el peso porcentual de estas (Figura 117).

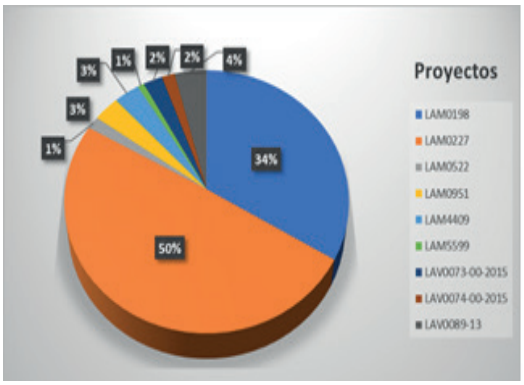
Figura 116. Distribución espacial y cualificación de las contingencias presentadas en el área de estudio para el periodo 2016 - 2019



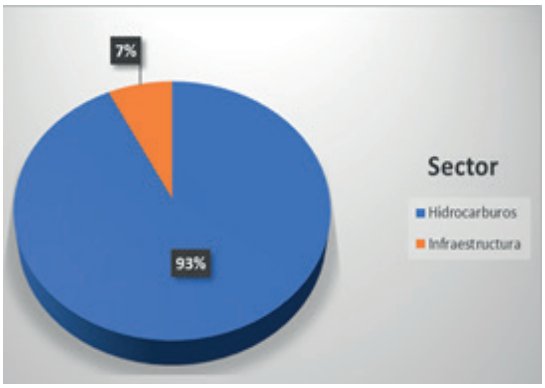
Fuente: ANLA, 2021

Figura 117. Distribución porcentual de las contingencias presentadas en el área de estudio para el periodo 2016 - 2019

A) Por Expediente



B) Por Sector



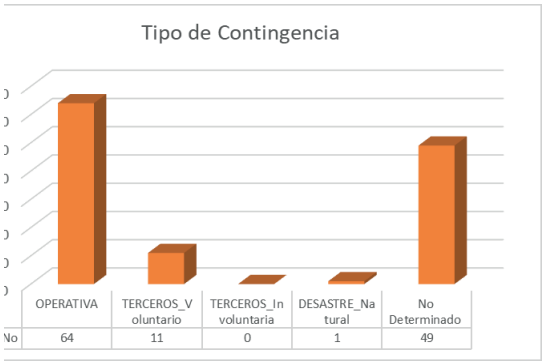
Fuente. ANLA, 2021

De las 125 contingencias reportadas 122 fueron de carácter local o menor y solo dos fueron de carácter Nacional o mayor y correspondieron a las presentadas en el marco de la Construcción segunda Calzada carretera Bogotá-Villavicencio Tramo Chirajara el tablón – LAM4409, ocurrida en 2018, año que reportaron más contingencias con 44 como se evidencia en la Figura 118a. De las 125 reportadas 11 fueron generadas por actos de terceros voluntarios que hacen referencia a emergencias suscitadas por personal externo a las operaciones y que, en el marco de la normativa actual, no están consideradas por ningún instrumento respecto a la responsabilidad de restaurar y reparar los componentes afectados por estas contingencias. En la Figura 118b, se presentan los tipos de contingencia que en su mayoría se deben a temas operacionales 64 y para 49 reportes no se indicó el tipo.

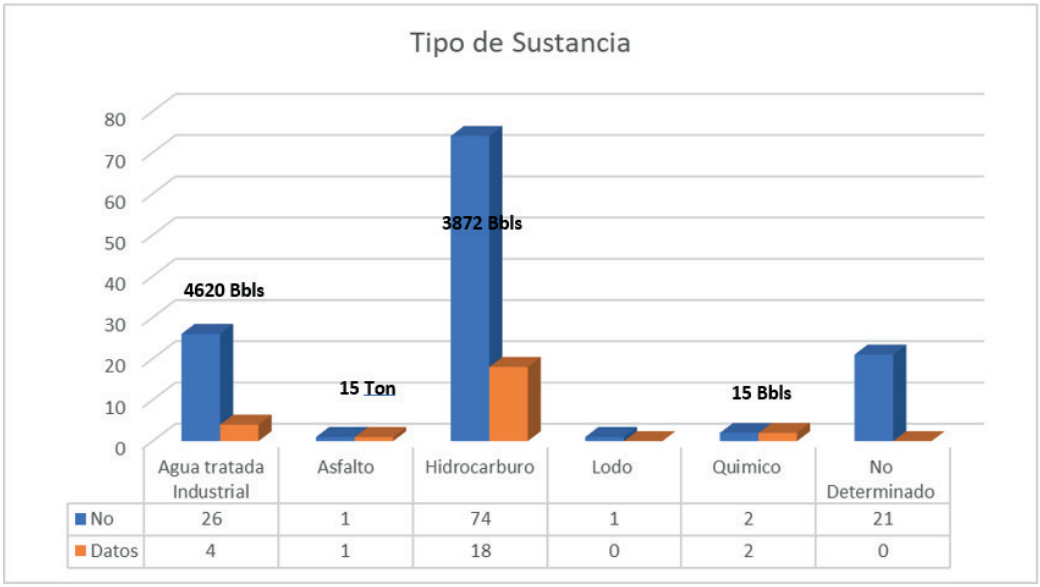
Figura 118. Número y tipo de contingencias y sustancias derramadas en el área de estudio para el periodo 2016 - 2019

a) Numero de Contingencias por año

b) Tipo de Contingencias



c) Tipo de sustancias derramadas



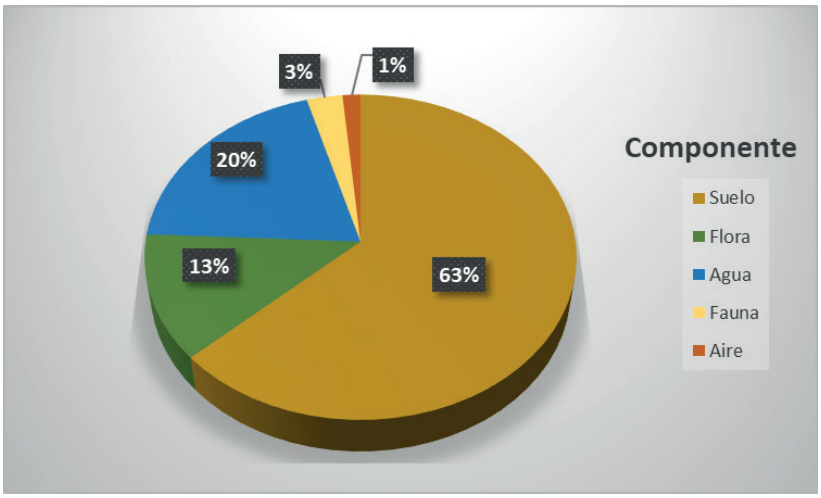
Fuente. ANLA,2021

La pérdida de contención de hidrocarburo fue la principal causa de las contingencias reportadas, el 59,2% de las contingencias indicaron hidrocarburo como sustancia derramada, por otra parte, el

derrame de agua residual no domestica es la segunda sustancia que más se reportó en total se derivaron 26 contingencias por agua residual no doméstica. No todas las contingencias reportadas indicaron el volumen de sustancia derramada, para el caso del hidrocarburo solo 18 reportes entregaron este dato, para los cuales el volumen derramado total fue de 3872 bbls y para agua residual tratada 4620 bbl según 4 datos. En la Figura 118c se presentan las sustancias derramadas el número de contingencias reportadas para esa sustancia y las contingencias que indicaron el volumen de la sustancia derramada.

Respecto a los recursos afectados por los derrames presentados en el área de estudio en el periodo evaluado, se identifica que el principal componente afectado por derrames en el área de estudio es el suelo, en un 63% de los derrames reportados reportaron este componente como afectado, vale resaltar que no se indica cual fue la técnica de respuesta ante las contingencias y cuáles fueron los métodos de restauración y recuperación, datos importantes para dimensionar la afectación real al recurso. En la Figura 119 se presenta la distribución porcentual de los recursos naturales afectados.

Figura 119. Distribución porcentual de los recursos afectados por las contingencias presentadas en el área de estudio para el periodo 2016 - 2019



Fuente. ANLA,2021

El otro componente afectado por las contingencias presentadas en el área de estudio es el recurso hídrico en total 27 contingencias reportaron un grado de afectación sobre este recurso y de estos 16 se presentaron en el área del proyecto Bloque Coastilla - expediente LAM0227. Con base en lo anterior, se precedió a revisar las caracterizaciones fisicoquímicas presentadas en los Informes de Cumplimiento Ambiental para los componentes hídrico superficial e hídrico subterráneo, con el fin de evidenciar alguna relación positiva entre las contingencias y la alteración de las condiciones fisicoquímicas.

Afectación al Recurso Hídrico Subterráneo

Para identificar un posible impacto sobre el agua subterránea presente en el área de influencia del expediente LAM0227, por las contingencias presentadas (62), se realizó un análisis de los reportes de calidad de agua subterránea entregados por Ecopetrol en el marco de los Informes de Cumplimiento Ambiental para el periodo 2016-2020. Específicamente se revisaron las concentraciones reportadas para los parámetros, Hidrocarburos Totales, Fenol, Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno. Es importante mencionar que los parámetros analizados no cuentan con criterios de calidad establecidos, dado ello se

utilizaron los criterios establecidos por la EPA18, para poder determinar una posible afectación por los derrames de hidrocarburos.

Los Informes de Cumplimiento Ambiental son presentados de manera trimestral por Ecopetrol, por lo que al año se caracteriza el agua subterránea 4 veces y por consiguiente para el periodo de análisis se tuvieron 20 caracterización fisicoquímicas realizadas en los diferentes puntos hidrogeológicos objeto de seguimiento presentes en el área de influencia del proyecto.

Luego de revisar la información para los parámetros analizados (Hidrocarburos Totales, Fenol, Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno) se encontró que todos los registros para las 20 caracterizaciones correspondientes a 5 años de seguimiento se encontraban por debajo del límite cuantificable del método de detección. Cuando el límite detección del método es mayor que el límite permisible o criterio de calidad no es posible saber si hay o no presencia del parámetro en concentraciones que puedan afectar al recurso y quien lo usa, por ejemplo, el Benceno reporto límites de cuantificación <0,5 mg/L pero el criterio de calidad está en 0.06 mg/L, por lo que la posible presencia de benceno en este rango no se será posible detectar. En la Tabla 62 se relacionan los parámetros con los límites de detección mínimos y máximos reportados y los criterios de calidad para los parámetros establecidos por la EPA.

Tabla 62. Límites de detección mínimos y máximos reportados y los criterios de calidad para los parámetros establecidos

Parámetros	Mínimo (mg/L)	Máximo (mg/L)	Referencia (mg/L)
Hidrocarburos Totales	<2	<4	N/A
Benceno	<0,001	<0,5	0,06
Tolueno	<0,001	<0,1	0,52
Etilbenceno	<0,001	<0,1	0,13
Xileno	<0,001	<0,1	N/A
Naftaleno	<0,001	<0,1	N/A
Fenol	<0,002	<0,2	0,2

Fuente: ANLA, 2021

7.2.4 Contingencias ambientales asociadas al fenómeno de La Niña

El IDEAM (2021), informó que las condiciones de la “Niña” presentarán valores para el área de estudio entre el 10 % y el 40 % superiores a los normales hasta junio del 2021. Razón por la cual se vio la necesidad de identificar los POA que en los últimos cinco años han sido objeto de contingencias por incremento en las precipitaciones y que deben activar el Plan de Contingencia para mitigar afectaciones ambientales por los efectos de la temporada invernal (Tabla 63).

Para el análisis se realizó algebra de mapas de la capa de cambio en porcentaje de la precipitación para el escenario 2011-240 y el mapa de áreas afectadas por inundaciones del fenómeno de La Niña 2010-2011 del IDEAM, y se identificaron en total seis proyectos, de los cuales la mitad corresponde al sector de infraestructura, específicamente a segundas: Calzadas de Bogotá – Villavicencio.

Tabla 63. Listado de seis proyectos con alerta por contingencias que

18 https://www.epa.gov/wqc/national-recommended-water-quality-criteria-aquatic-life-criteria-table

deben sumar criterios al ejercicio de priorización en el seguimiento

SECTOR	TIPO PROYECTO	EXPEDIENTE	PROYECTO	ETAPA
Energía	Líneas de Transmisión	LAV0064-00-2017	Construcción y operación de una línea de transmisión de energía eléctrica a 30 kv entre la subestación del sistema interconectado nacional "la reforma" y la subestación "San Fernando"	Preconstrucción
Infraestructura	Segundas Calzadas	LAM4409	Construcción De La Segunda Calzada Tramo El Tablón (Pr34) - Chirajara (Pr63) De La Carretera Bogotá – Villavicencio	Operación
		LAV0073-00-2015	Construcción Nueva Calzada De La Carretera Bogotá – Villavicencio, Tramo Chirajara - Bijagual	Construcción
		LAV0074-00-2015	Construcción Nueva Calzada De La Carretera Bogotá – Villavicencio, Tramo Bijagual-Fundadores	Construcción
Minería	Carbón	LAM0626	Cantera El Pedregal En Une Cundinamarca, Área De 35 Hectáreas Para Transformación De Materiales De Construcción Para De Agregados De Concretos.	Operación
	Materiales de construcción y arcillas o minerales	LAM0579	Explotación De Materiales Para La Construcción De La Cantera El Pilar Cundinamarca Plan De Recuperación Y Restauración Ambiental Del Área Intervenida.	Desmantelamiento y/o abandono

Fuente: ANLA, 2021

7.2.5 Evaluación de impactos acumulativos

Con base en el ejercicio de Jerarquización de Impactos Ambientales de la ANLA por subzona hidrográfica (2019), se realizó una matriz de interacción VEC vs. POA, donde fue posible establecer las categorías de impactos con mayor frecuencia que podrían acumularse en el área del VEC y, por tanto, afectar la

condición actual y futura de este (Figura 120), identificándose que la calidad y disponibilidad del recurso hídrico y la alteración a la cobertura vegetal son las categorías de impactos que presentan las mayor frecuencia acumulada y que coinciden con las quejas ambientales interpuestas por la comunidad.

Figura 120. Potenciales impactos acumulativos sobre los ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica funcional en la SZH - MGGN

Fuente: ANLA 2021

El análisis de los potenciales impactos acumulativos se basó en la metodología propuesta por Elisa Furlan et al., (2019), la cual aplica un análisis multicriterio que inicia con la identificación de las presiones y vulnerabilidades presentes en el área de estudio, para luego determinar la probabilidad de ocurrencia de los impactos y, finalmente, identificar aquellas áreas dónde hay una mayor potencialidad de acumulación. Para esto, las categorías de impacto con mayor frecuencia fueron agrupadas en dos impactos tipo asociados al recurso hídrico y el hábitat natural: 1) Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico y 2) Alteración del hábitat para el Águila pescadora.

7.2.5.1 Identificación de presiones

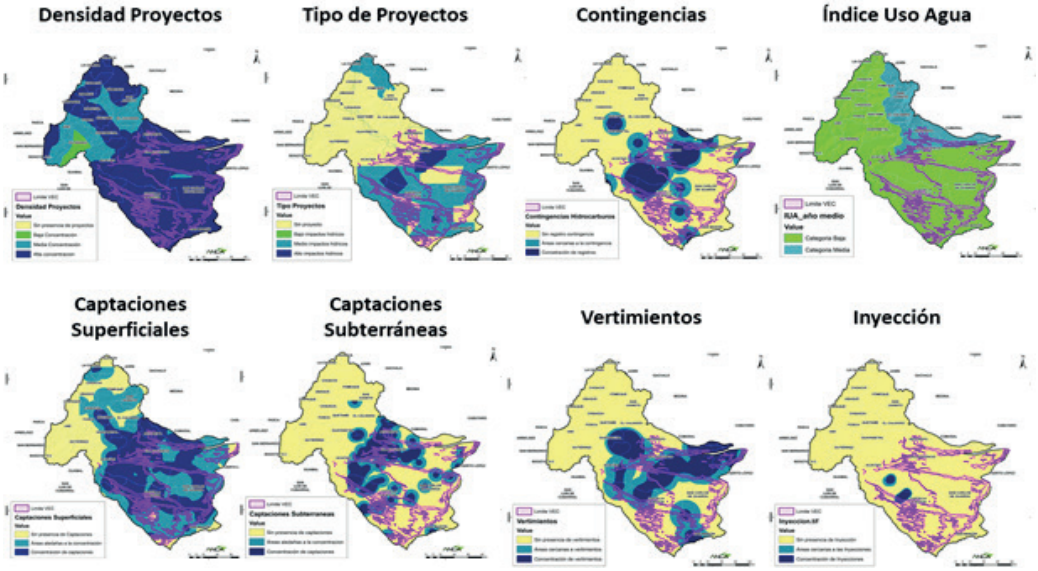
Es importante tener en cuenta que en un mismo territorio pueden presentarse varios tipos de presiones sobre los recursos naturales, aunque no todas con la misma frecuencia o intensidad, por lo que es necesario priorizarlas (Elisa Furlan et al., 2019). En este sentido, se priorizaron las presiones más significativas respecto a criterios de frecuencia, magnitud y afectación (Tabla 64) para la “Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico” (Figura 121) y la “Alteración del hábitat para el Águila pescadora” (Figura 122).}

Tabla 64. Presiones priorizadas en la SZH – MGGN

Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico	Alteración del hábitat para el Águila pescadora
Densidad de proyectos: Se define por el número de proyectos que confluyan en un espacio definido; entre más proyectos se establezcan en un sitio específico, más presiones habrá sobre el espacio natural. Tipo de proyecto: Con base al sector y fase del proyecto, se pondera la potencial presión a ejercer sobre el medio. Localización de permisos de uso y aprovechamiento del recurso hídrico superficial y subterránea (captaciones, vertimientos al agua y al suelo e inyecciones para disposición final del agua): Las fuentes de información utilizadas para este análisis son: SIRH, información proporcionada por CORMACARENA y permisos de proyectos licenciados por ANLA en el área de estudio, el resultado de este análisis es la identificación de aquellas fuentes hídricas que presenten presiones por concentración de permisos y caudales otorgados. Índice de Uso del Agua, el cual corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores usuarios por SZH, con el cual se procedió a identificar las zonas en donde las condiciones propias de cada lugar favorecen en mayor o menor medida la ocurrencia del evento amenazante. El resultado de este análisis es la identificación de las áreas con el mismo nivel de susceptibilidad (categorías: alta, media y baja). Posteriormente, a partir del análisis y zonificación de la susceptibilidad del terreno, se analizaron los factores detonantes de la amenaza para así poder obtener un mapa del VEC, clasificada en baja, media o alta. Contingencias (2016-2020) ver numeral 6.2.2.4	Densidad de proyectos: se define por el número de proyectos que confluyen en un espacio definido; entre más proyectos se establezcan en un sitio específico, más presiones habrá sobre el espacio natural. Tipo de proyectos: Se enfoca en el volumen y área de aprovechamiento forestal que requiere cada tipo de proyecto; en esta medida, los proyectos de infraestructura vial y minería representan presiones superiores a los proyectos de exploración y explotación petrolera y líneas de transmisión, dado que los primeros realizan aprovechamientos forestales únicos para toda el área de intervención, que implican un cambio total en el uso del suelo mientras que los segundos requieren aprovechamientos únicos en sitios puntuales y tienen la posibilidad de optimizar el aprovechamiento requerido implementando ajustes técnicos en la infraestructura utilizada. Deforestación: a partir del mapa de cambio forestal global (Hansen et al., 2013) en el cual se presentan los resultados del análisis de series de tiempo de imágenes Landsat que caracterizan la extensión y el cambio de bosque se evalúan las áreas de la SZH - MGGN con registro de desforestación, incluyendo la faja paralela y las áreas de protección que conforman las rondas hídricas de los cuerpos de agua. Huella Humana: a partir del Índice de Huella Humana obtenido por (Correa Ayram et al., 2020), se identificaron aquellas zonas donde ha existido una mayor transformación de los ecosistemas naturales debido a la intensidad de las actividades humanas desarrolladas en estos sitios. Entre mayor es el índice, mayor es la presión. Contingencias (2016-2020): ver numeral 6.2.2.4.

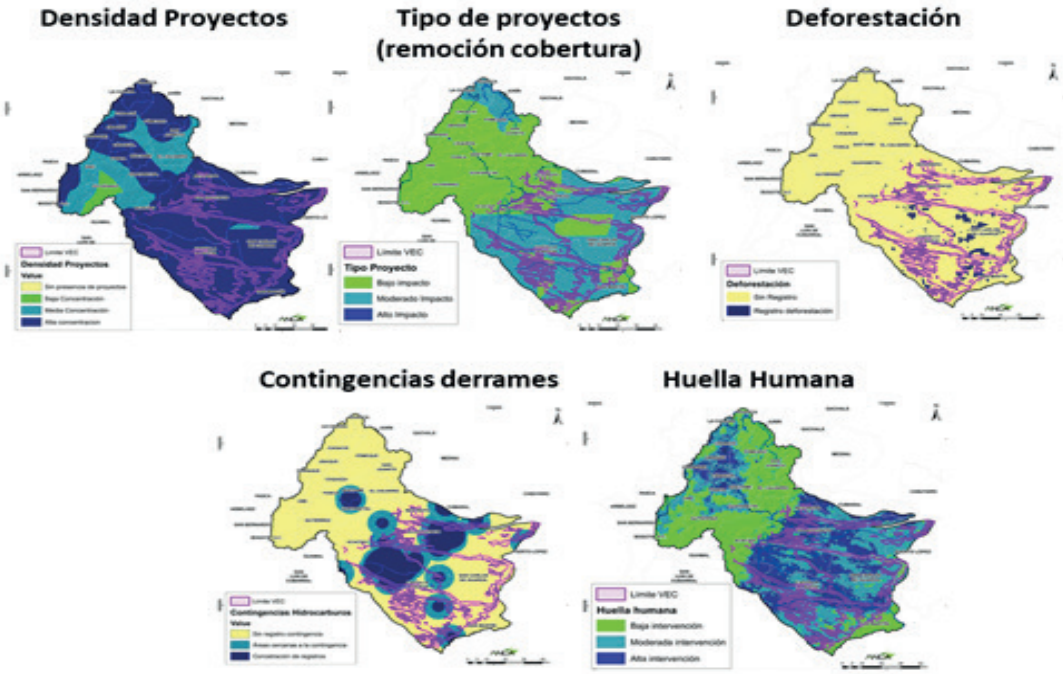
Fuente: ANLA 2021

Figura 121. Distribución espacial presiones priorizadas sobre el recurso hídrico



Fuente: ANLA 2021

Figura 122. Distribución espacial presiones sobre el hábitat natural de la Águila pescadora

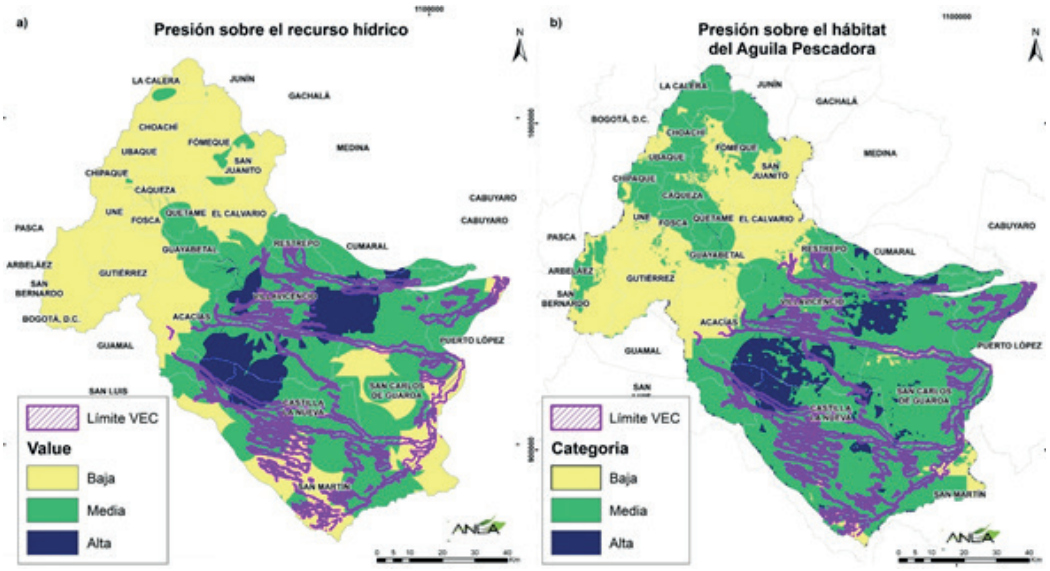


Fuente: ANLA 2021

7.2.5.1.1 Resultados Presiones

La Figura 123 muestra el resultado de la ponderación de las presiones priorizadas para cada uno de los atributos evaluados, con el fin de detectar la distribución espacial donde se concentran e intensifican las presiones sobre los recursos naturales.

Figura 123. Resultado de Presiones



Fuente: ANLA 2021

Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico

El 8,9% (69.43km2Ocoa. Estas situaciones estarían generando una presión ALTA en los ríos Guamal (segmento 1), Acacías (segmento 1), Humadea (segmentos 1 y 2) (Figura 123), Ocoa (segmento 1 -cuenca alta-, 4 -cuenca media- y 5 -cuenca baja-, y Guatiquía (segmentos 4 y 5 -cuenca baja-). El 54,8% (428,3 km2) del área de análisis presenta una presión Media, específicamente en el segmento 4 del río Guayuriba. Por último, el 36.3% del área (284,5 kmCamoa, Metica y Humadea en su segmento 3 (cuenca media).

Las zonas de mayor presión sobre el recurso hídrico subterráneo se localizan en áreas donde se concentran el mayor número de contingencias y existe una concentración de permisos respecto a la concesión de agua subterránea, inyección subterránea para disposición final y vertimientos al suelo. Estas zonas están asociadas a las áreas de los proyectos: Bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene– LAM0227, y los Pozos de Desarrollo Apiay A y Suria A Y B Y Libertad– LAM0198.

Alteración del hábitat para el Águila pescadora

El 8,36% (6.534,50 ha. Aprox.) del límite del VEC se encuentra en la categoría de alta presión y el 85,77% (67.040,75 ha.) en la categoría de media presión (Ver Figura 108-b). Teniendo en cuenta que el VEC

se seleccionó con base en los ecosistemas acuáticos que funcionan como corredores para la especie focal evaluada (P. halietus) y como hábitats naturales únicos disponibles para la conservación de la biodiversidad de la zona, es preocupante el escenario observado y se considera muy necesario establecer medidas que permitan disminuir la intensidad y la cantidad de las presiones que ejercen las actividades humanas sobre estos ecosistemas. Las áreas con presión alta más representativas se localizan sobre parte de los cauces y las rondas hídricas de los ríos Guamal, Ocoa, Guatiquía, Guayuriba y Humadea, reforzando la necesidad que se tiene de mermar las presiones sobre estos cuerpos de agua.

Las áreas sobre las cuales la presión es alta tienen en común una alta densidad de proyectos (21 de hidrocarburos, 2 de energía y 1 de infraestructura vial), concentración de registros de contingencias por derrames y una alta intervención como resultado de la huella humana (Figura 107), situación que permite inferir la responsabilidad que tienen los proyectos de desarrollo que se ejecutan en el área del VEC. Así mismo, se evidencia la presión que ejerce la dinámica de transformación que ha tenido el territorio a causa de las actividades económicas de las comunidades humanas, donde predominan los espacios para la implementación de actividades agropecuarias. El 59,41% (3.882,44 ha) de las áreas de presión alta corresponden a coberturas transformadas, el 27,58% (1.801,90 ha) a cuerpos de agua y el 13,01% (850,17 ha) a coberturas naturales.

Entre tanto, las áreas con presión baja se localizan en los cauces de los ríos Guatiquía y Guayuriba, no han sido afectados con derrames, y también a zonas con parches de coberturas naturales en buen estado de conservación, manteniendo la estructura vegetal que las caracteriza y aportando áreas núcleo por encima del 50% del valor total de su propia área. El 48,91% (2.245,95 ha) de las áreas clasificadas en esta categoría corresponden a ríos, el 38,61% (1.72,97 ha) a coberturas naturales y el 12,49% (573,43 ha) a coberturas transformadas, demostrando de esta manera que el buen estado de las coberturas naturales disminuye la sobre los ecosistemas acuáticos.

7.2.5.2 Identificación de factores de vulnerabilidad

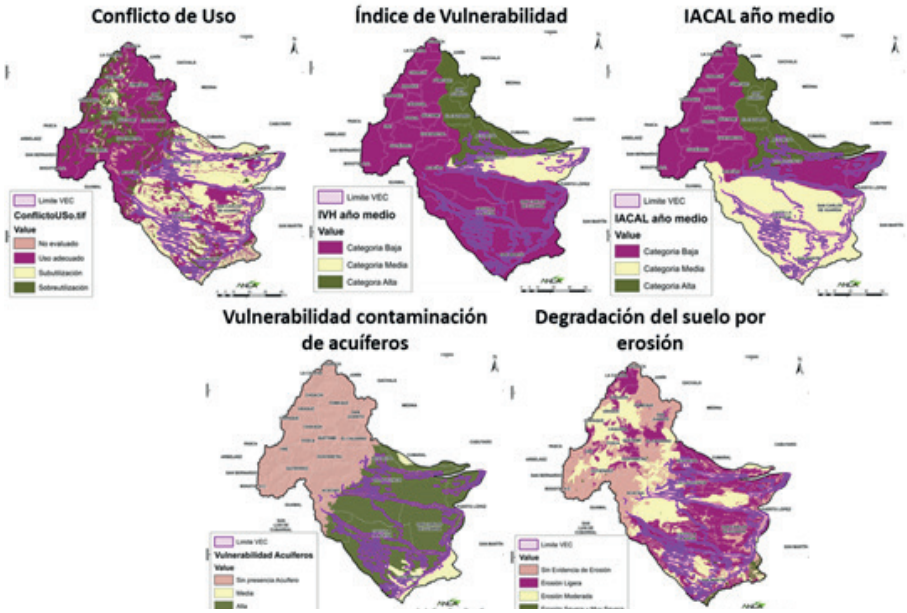
La vulnerabilidad se refiere a las condiciones de los atributos expuestos a una presión (Ej.: fauna, hidrobiota, espejo de agua), que los hace susceptibles a sufrir un daño. Es importante resaltar que dichos atributos no son vulnerables por sí mismos, su condición responde diferencialmente frente a cada presión y está relacionada con sus características intrínsecas (Elisa Furlan et al., 2019). Bajo esta premisa y en función de los ecosistemas acuáticos, se identificaron cinco factores vulnerables (Tabla 65) para la “Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico superficial” (Figura 124) y cuatro para la “Alteración del hábitat para el Águila pescadora” (Figura 125). Es importante precisar que el factor de vulnerabilidad del VEC depende también de las múltiples actividades no licenciadas que tienen presencia en el área de estudio y que generan impactos ambientales como son: las actividades agroindustriales (palma), ganadería, piscicultura, cultivos transitorios como el arroz, la caña y, cultivos herbáceos como el maíz y soya.

Tabla 65. Factores de vulnerabilidad priorizados en la SZH – MGGN

Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico superficial	Alteración del hábitat para el Águila pescadora
Conflictos de usos del suelo del IGAC, índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (ENA, 2018), Índice de alteración potencial del agua para año medio (ENA, 2019), Vulnerabilidad intrínseca a la contaminación de acuíferos: Se estimó la vulnerabilidad a partir del método GOD con base en la información disponible, para los acuíferos someros presentes en el área de estudio. Degradación del suelo (UDCA, MADS, 2015).	Fragmentación: Utilizando el índice CAI (Core Area Index) fueron clasificados los fragmentos de las coberturas de importancia para la especie focal (P. halietus) según el porcentaje de área núcleo disponible que tuviera cada uno de ellos. Para este análisis se evaluaron las coberturas boscosas, de vegetación secundaria y los cuerpos de agua. Los fragmentos con bajos porcentajes de áreas núcleo disponible se consideran más vulnerables dado la baja capacidad que tiene para mitigar las presiones del medio y la alta probabilidad de que sean intervenidos por ser remanentes pequeños inmersos en grandes áreas transformadas. Disponibilidad de alimentos del águila pescadora: a partir del análisis de distribución potencial de tres órdenes de peces que se consideran potencial dieta para el Águila pescadora se determinan las áreas en las que existe disponibilidad del recurso y se consideran más vulnerables las áreas en las que esta disponibilidad es baja. Distanciamiento de áreas protegidas reglamentadas: se identificaron las áreas protegidas registradas ante el RUNAP (Registro Único Nacional de Áreas Protegidas) y se clasificaron las zonas según su distanciamiento a estas áreas reglamentadas, considerándose con mayor vulnerabilidad las zonas que se encuentran más alejadas y con menor vulnerabilidad las zonas que las constituyen. Servicios ecosistémicos: a partir del trabajo sobre vulnerabilidad de la oferta de servicios ecosistémicos (VOSE) desarrollado por el Instituto Humboldt, quienes definen la vulnerabilidad de las áreas con base en la relación entre las probabilidades de deforestación y la espacialización de los servicios ecosistémicos en el territorio para determinar su oferta. En esta línea, las áreas con mayor vulnerabilidad son aquellas con alta probabilidad de deforestación y con mayor concentración de ofertas de servicios ecosistémicos (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., 2019).

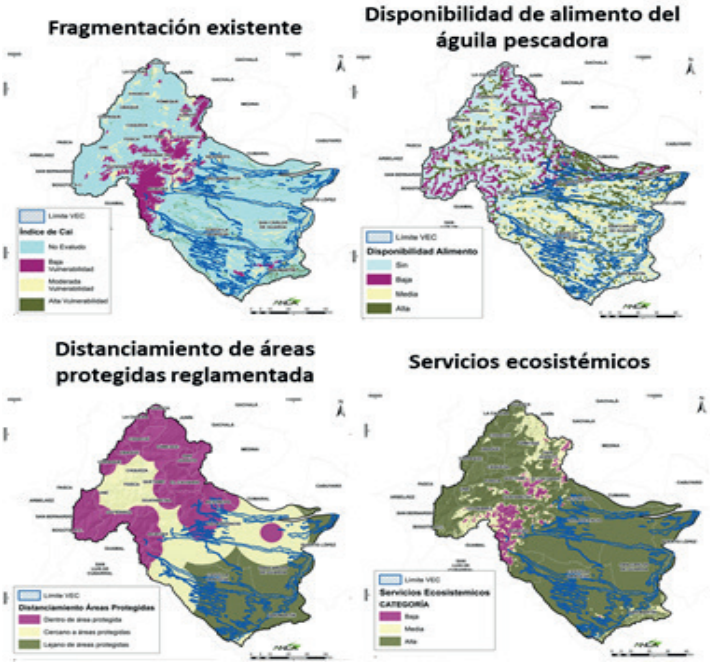
Fuente: ANLA 2021

Figura 124 Vulnerabilidad del recurso hídrico



Fuente: ANLA 2021

Figura 125. Vulnerabilidad del hábitat natural de la Águila pescadora



Fuente: ANLA 2021

7.2.5.2.1 Resultados Vulnerabilidad

Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico

Los ríos Guamal, Humadea, Acacías y la cuenca baja del Guayuriba (segmento 4) presentan una vulnerabilidad media. Por otra parte, toda el área de distribución que tiene el VEC dentro del río Guatiquía y el Ocoa presenta una alta vulnerabilidad.

El 18,7% (146,33 km2) del área definida para el análisis del VEC se presenta una condición de vulnerabilidad ALTA (Figura 126), localizada en los segmentos 3 al 5 del Río Guatiquía, sustentada en el grado de fragilidad del sistema hídrico para mantener una oferta del abastecimiento de agua en condiciones de estiaje o amenazas naturales y, también, en el IACAL para año medio con una condición ALTA. En un 71,8% (561,6 km2) del área se presenta una condición de vulnerabilidad MEDIA, específicamente para el segmento 4 del Río Guayuriba, segmentos 4 y 5 del Río Negro y, los ríos Guamal, Humadea, Metica y Camoa. Finalmente, en un 9.44% (73,8 km2) se presenta una condición de vulnerabilidad media, específicamente en algunos tramos del segmento 4 del río Guayuriba.

Para tener una aproximación de la fragilidad intrínseca del recurso hídrico subterráneo que puede ser afectado por las presiones descritas, se tuvo en cuenta la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación determinada con el método GOD a partir de la información disponible. La evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación es alta, pero al cruzar con las demás capas teniendo en cuenta más aspectos, la zona presenta una vulnerabilidad media frente a la perdida en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico subterráneo, excepto para la zona ribereña del rio Guatiquía, la cual coincide con el área de influencia del proyecto Pozos de Desarrollo Apiay A y Suria A Y B Y Libertad– LAM0198.

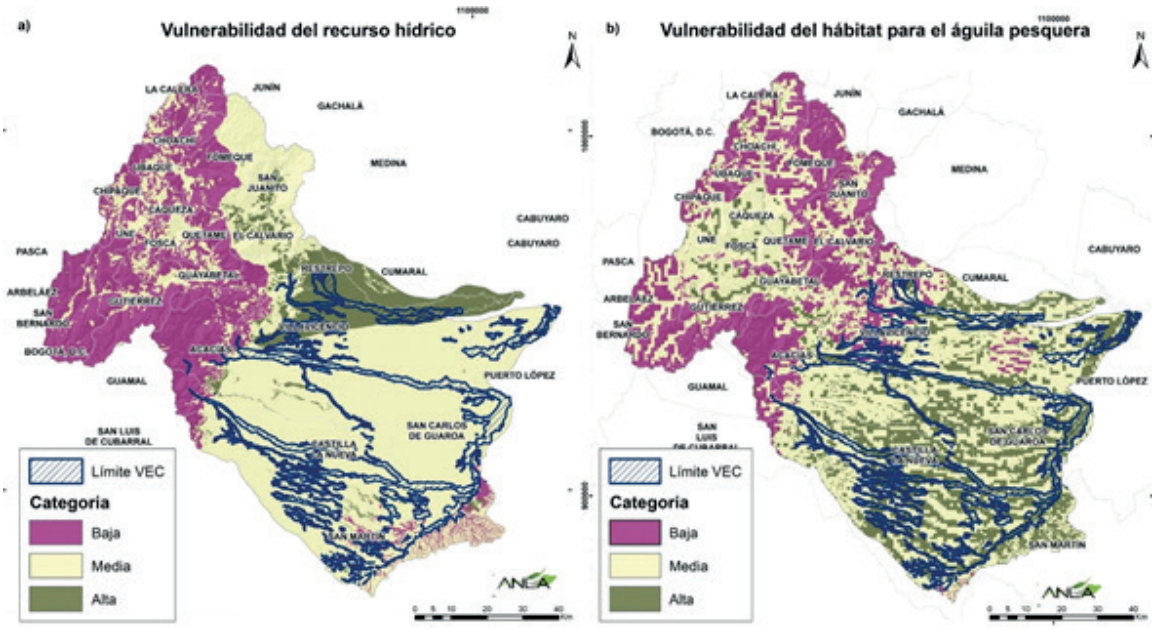
Alteración del hábitat para el Águila pescadora

El 62,18% (48.595,80 ha, aprox.) del área definida se encuentra dentro de la categoría alta de vulnerabilidad, el 36,86% (28.809,37 ha, aprox.) en categoría media y el 0,96% (751,41 ha, aprox.) en categoría baja (Figura 126).

Las zonas con alta vulnerabilidad se localizan sobre todo el límite espacial del VEC, con una concentración sobre el río Metica y su vegetación ribereña, entre los municipios de Puerto López y San Carlos de Guaroa, sustentado en la alta probabilidad de deforestación sumado a la oferta de servicios ecosistémicos (Figura 126). Por otra parte, estas zonas se conforman por coberturas naturales (36,65%), coberturas transformadas (32,82%) y cuerpos de agua (30,53%), donde los ríos (30,24%) y los bosques de galería (27,86%) constituyen las coberturas con mayor representatividad. Así mismo, el 72,47% (20.708,15 ha, aprox.) de las áreas núcleo identificadas, asociadas a las coberturas de bosque, son altamente vulnerables.

Las áreas núcleo con media o baja vulnerabilidad están localizadas en el noroeste de Villavicencio y hacía el centro de los municipios de Restrepo, Acacías y Guamal, las cuales se encuentran dentro de áreas protegidas o cercanas a estas. Dentro de las áreas protegidas que tienen mayor influencia sobre el VEC se encuentran las Reservas Forestales Protectoras Nacionales Cuenca Alta del Caño Vanguardia, Cerro Vanguardia, Quebrada Honda y Caños Parrado y Buque, el Distrito de Conservación de Suelos Kirpas Pinillas La Cuerera, y el Parque Natural Regional Bosques de Los Guayupes.

Figura 126. Vulnerabilidad del recurso hídrico superficial (a) y del hábitat para el águila pescadora (b) en la SZH – MGGN



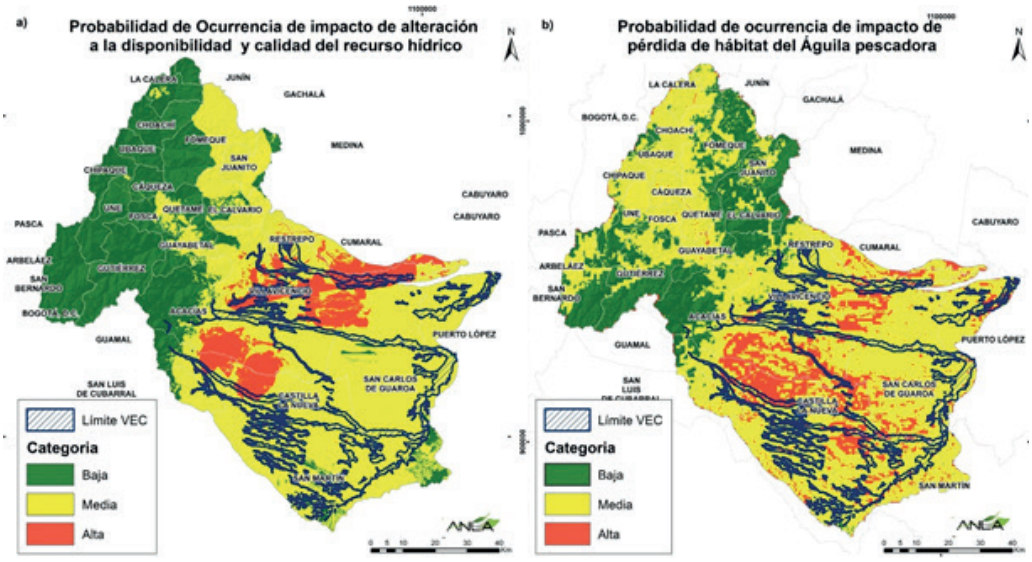
Fuente: ANLA 2021

7.2.5.2.1 Probabilidad de ocurrencia en la alteración del recurso hídrico y elhábitat para el águila pescadora

La probabilidad de ocurrencia de los dos impactos tipo, "Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico" y "Alteración del hábitat para el Águila pescadora", se determinó a partir de una evaluación de riesgo19, en el marco metodológico de Elisa Furlan et al., 2019), el cual involucra como sus dos principales componentes las presiones (amenazas) y vulnerabilidades previamente descritas (Figura 127).

19 "*daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos*" (Ley 1523 de 2012).

Figura 127. Probabilidad de "Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico" (a) y "Alteración del hábitat para el Águila pescadora" (b) en la SZH– MGGN



Fuente: ANLA 2021

Alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico

La alta probabilidad de alteración en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico se encuentra en los ríos Guatiquía, Ocoa, cuenca media del río Negro (con implicaciones en la cuenca baja (segmentos 3, 4 y 5)), igualmente, para los ríos Guamal (segmento 1), Humadea (segmento 2) y Río Acacías (segmento 1), este último, con consecuencias en la calidad del agua en el segmento 2 (área de distribución del VEC) (Figura 127a). Esta alta probabilidad está asociada a las áreas de los proyectos: Bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene– LAM0227, y los Pozos de Desarrollo Apiay A y Suria A Y B Y Libertad– LAM0198. Debido a las múltiples actividades que se realizan en estas áreas que ocasionan presiones sobre el recurso hídrico y, a la vulnerabilidad intrínseca del mismo, estas zonas deben tener una especial atención en el seguimiento y control del estado del recurso hídrico subterráneo, con el fin de entender la relación y conexión que hay entre estos ríos y el agua subterránea para, así, gestionar el recurso hídrico y prevenir su eventual afectación.

Alteración del hábitat para el Águila pescadora

La mayor parte del límite espacial del VEC se encuentra con una probabilidad media de alteración del hábitat para el águila pescadora (57.998 ha). Alrededor de 20.104 ha presenta una alta probabilidad de alteración, la mayoría localizada en la SZH del río Metica (Guamal-Humadea) donde se distribuye la mayor proporción de coberturas terrestres que brindan refugio y, a su vez, la mayor disponibilidad de alimento para la especie. Algo similar ocurre en la SZH del río Guayuriba, los parches de hábitat localizados al norte del límite del VEC se cruzan también con una alta probabilidad de alteración, explicada por el bajo índice de área núcleo de los bosques y algunos cuerpos de agua. En la SZH del río Guatiquía la alta probabilidad de alteración responde a la baja disponibilidad del recurso alimenticio, y en la parte baja de la SZH del río Negro a la baja disponibilidad de bosques y una media y baja disponibilidad de peces.

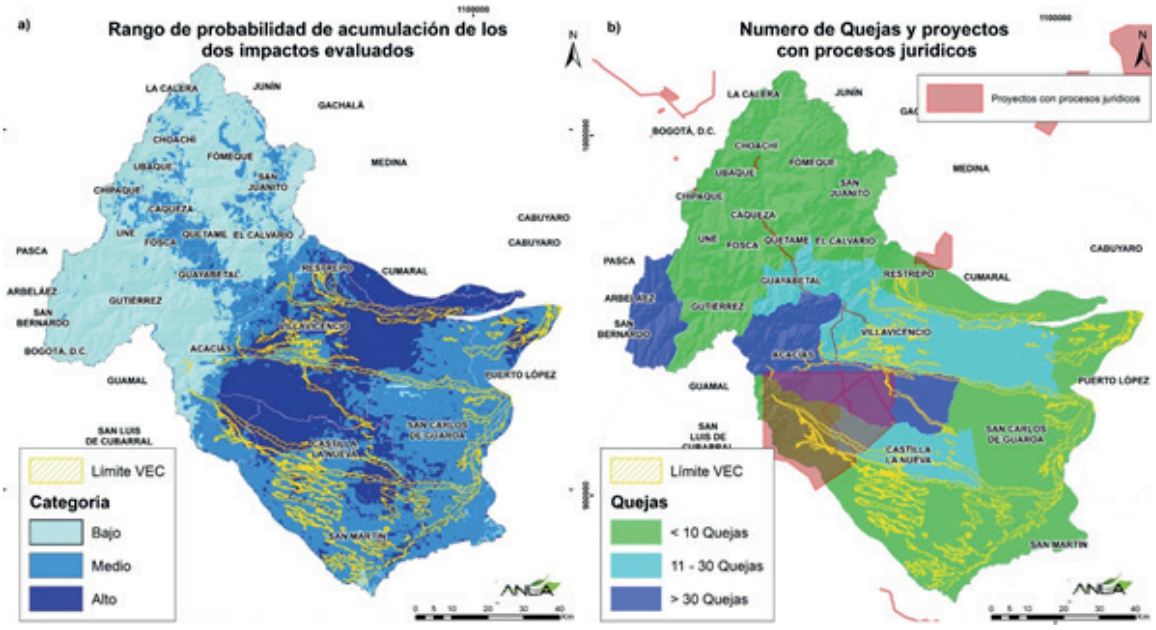
Los esfuerzos de conservación y recuperación de hábitats deberán estar direccionados a las áreas con mayor probabilidad de alteración y que se cruzan con los siguientes proyectos de hidrocarburos LAV0070-13, LAM5790, LAM4829, LAM2944, LAM4012, LAM5423, LAM0227, LAV0003-13, LAM5599, LAV0039-13, LAV0038-13, LAV0081-13, LAV0040-13, LAM0198, LAV0004-13, LAM2635, LAM0522, LAM1461, LAM2947, LAM0510 y LAM0230; infraestructura vial LAV0037-00-2017 y LAM3960; y de energía LAV0064-00-2017 y LAV0064-00-2017.

7.2.5.4 Probabilidad de ocurrencia de impactos ambientales acumulativos

De acuerdo con la metodología de Furlan et al., (2019), la integración de toda la información relacionada con presiones, vulnerabilidad y probabilidades de ocurrencia de los impactos se resume en un índice de impactos acumulativos, el cual consiste en la suma de la probabilidad de ocurrencia de los dos (2) impactos tipo analizados.

Alrededor del 57% (~44.883 ha) de los ecosistemas acuáticos para la conectividad ecológica funcional cuentan con una media probabilidad de acumulación de impactos y el 42% (~33.037 ha) con una alta probabilidad (Figura 128). El mayor peligro de acumulación se presenta hacia el norte del límite espacial del VEC, el cual corresponde al piedemonte de la cuenca del río Meta que ha sido priorizado para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad en la cuenca del Orinoco (Lasso et al., 2010). Adicionalmente, esta alta probabilidad de acumulación de impactos concuerda con zonas próximas a los proyectos Bloque Cubarral, Campos Castilla-Chichimene– LAM0227 y los Pozos de Desarrollo Apiay A y Suria A Y B Y Libertad– LAM0198.

Figura 128. Probabilidad de acumulación de impactos y percepción del licenciamiento en la en la SZH– MGGN

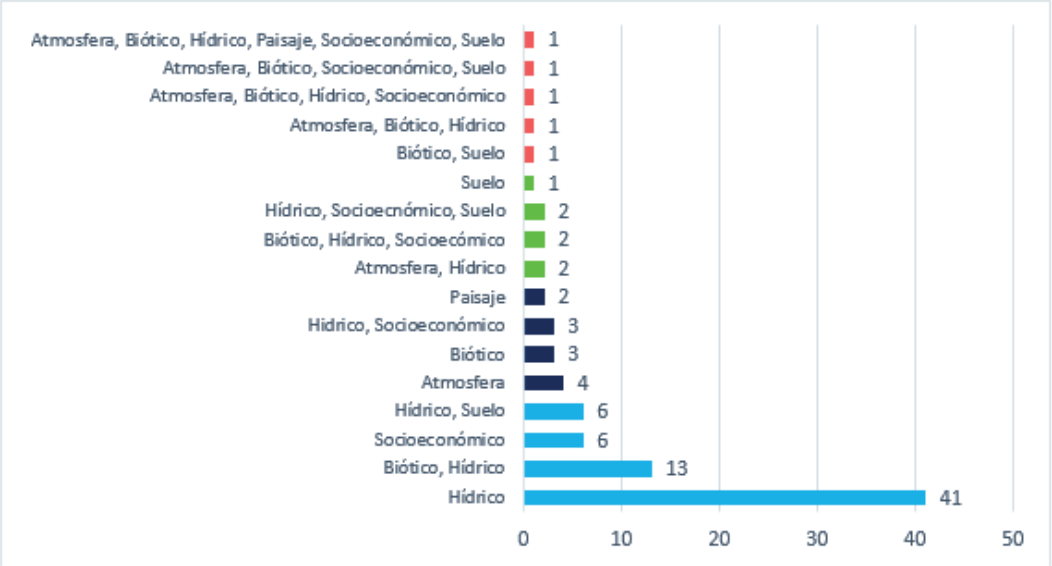


Fuente: ANLA 2021

Para completar el análisis de impactos acumulativos, desde el medio socioeconómico se revisaron los municipios localizados sobre las áreas que presentan una ALTA probabilidad de impactos acumulativos. Se encontró que los municipios de Acacías, Castilla La Nueva y Villavicencio presentan un alto nivel de sensibilidad social asociados a las denuncias sobre presuntas infracciones ambientales. Se identificó una acumulación representativa de denuncias ambientales (90 denuncias en total) sobre el recurso hídrico, seguido de medio biótico y socioeconómico (ver Figura 129), donde se referencian afectaciones en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico para el desarrollo de las actividades productivas y de abastecimiento de los hogares (aljibes), situaciones de captación de aguas sin autorización, vertimientos en fuentes hídricas, contingencias y derrames de Nafta, entre otros; situaciones de potencial conflictividad socioambiental en el área de interés que generaran alertas tempranas.

Por otro lado, es de resaltar que estas áreas con potencial de acumulación de impactos se encuentran traslapados con las áreas de proyectos que se encuentran asociados con algún proceso jurídico, entre los cuales se destaca el expediente LAM0227, LAM5423, LAV0064-00-2017.

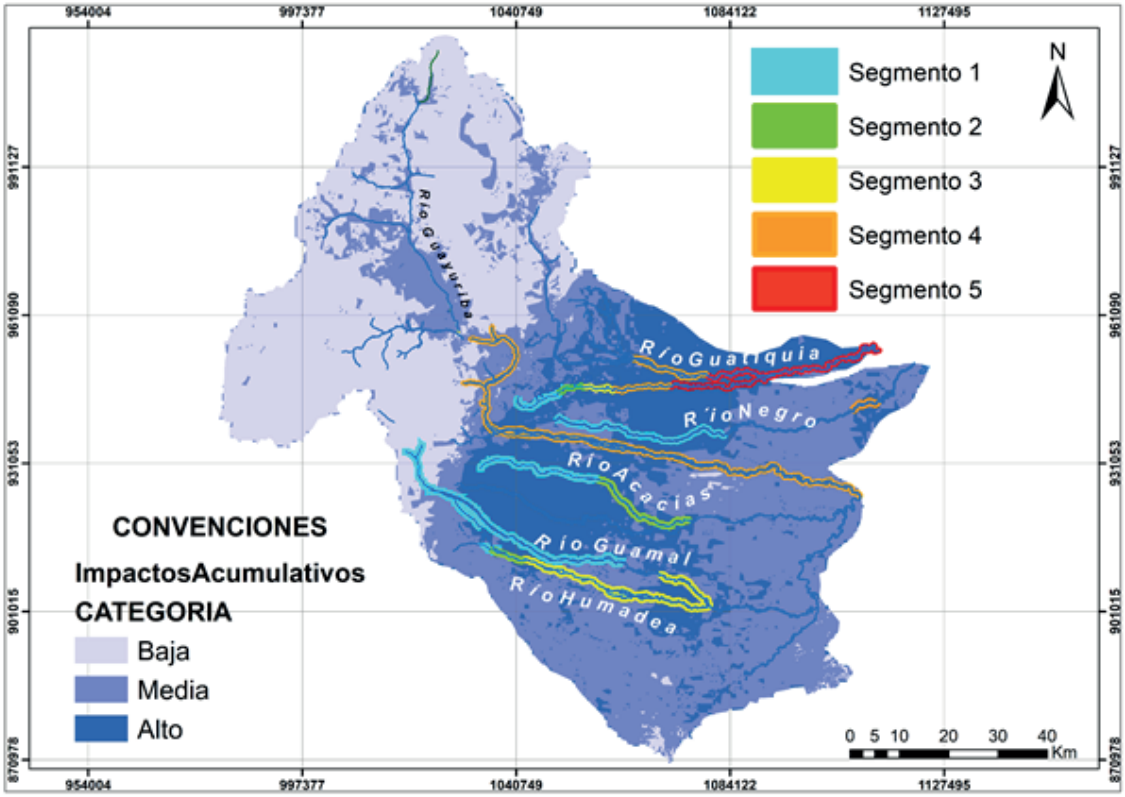
Figura 129. Denuncias en los municipios de Acacías, Castilla La Nueva y Villavicencio según recurso afectado



Fuente: ANLA, 2021

Los segmentos de ríos con ALTA probabilidad de presentar impactos acumulativos son los siguientes (Figura 130): río Guatiquía: segmentos 4 y 5; río Ocoa: segmentos 1, 2, 3, 4 y 5; río Guayuriba: parte alta y media del segmento 4; río Negro: segmentos 1 y 4; río Humadea: segmentos 1, 2 y 3; río Guamal: segmentos 1 y 3; río Acacías: segmento 1 y 2.

Figura 130. Segmentos de ríos con ALTA probabilidad de presentar impactos acumulativos



Fuente: ANLA, 2021

Dada la ALTA y MEDIA probabilidad de presentarse impactos acumulativos en el VEC surge la necesidad de implementar una estrategia de monitoreo regional que involucre los componentes hídrico superficial, hídrico subterráneo y biótico para entender las interacciones que ocurren en los ecosistemas acuáticos y las presiones y vulnerabilidades que representan. De esta manera, se podrán direccionar de manera integral las medidas de manejo garantizando una óptima condición del VEC a largo plazo.

Para el componente hídrico superficial, debido a la alta probabilidad de alteración a la disponibilidad y calidad del agua, en el área de análisis del VEC, se hace necesario reforzar el conocimiento del estado actual de las fuentes hídricas, estableciendo una red de monitoreo que permita evidenciar en tiempo real (con telemetría) nivel, caudal, parámetros fisicoquímicos (pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad) y adicional a la red mencionada, se requiere que cada proyecto licenciado por ANLA en el área del VEC con permisos de uso y aprovechamiento del componente hídrico superficial asociados o que presente contingencias, realice monitoreos que incluyan para sedimentos y parámetros fisicoquímicos (además de los establecidos para cada proyecto), la medición de variables como fenoles, plomo, cadmio, hidrocarburos, grasas y aceites en el año hidrológico (teniendo en cuenta temporada seca, media y transiciones), cumpliendo con los estándares establecidos para estos monitoreos (IDEAM) y que los equipos de medición sean iguales o inferiores a los límites máximos permisibles establecidos

en el Decreto 1076 de 2015 para usos (artículos 2.2.3.3.9.3 a 2.2.3.3.9.10), Resolución 631 de 2015 (norma de vertimientos) y Resolución No. 2053 de 2018, o los establecidos por aquellas normas que las deroguen o modifiquen.

Respecto al componente subterráneo, se deben medir niveles de manera continua a través de sensores de presión que permitan determinar una posible afectación a la disponibilidad y entender mejor el flujo local del agua subterránea y así su interacción con los cuerpos hídricos superficiales. A su vez es necesario implementar una red de monitoreo de calidad del agua subterránea, asegurando que se soliciten todos los parámetros asociados a entender y evidenciar una posible afectación de la calidad del recurso, asegurando un muestreo representativo y acorde con los establecido por el protocolo del monitoreo del IDEAM, sumado a ello requerir el cálculo del error de balance iónico de las muestras fisicoquímicas y finalmente asegurar que los límites de cuantificación del método de análisis son inferiores a los limites o criterios mínimos de calidad.

Sobre el medio biótico, se sugiere monitorear la vegetación ribereña entiendo esta como el hábitat refugio para el águila pescadora y su biodiversidad asociada. También se sugiere realizar muestreos de las comunidades de ictiofauna que son el principal recurso alimenticio del águila, en los mismos sitios donde se planteen los muestreos del recurso hídrico superficial y asociado a las demás comunidades hidrobiológicas (plancton, perifiton y macroinvertebrados). Para tener un panorama completo de las dinámicas en la cadena trófica dulceacuícola del VEC, se propone monitorear el uso de hábitat del águila pescadora en las tres categorías de acumulación de impactos definidas.

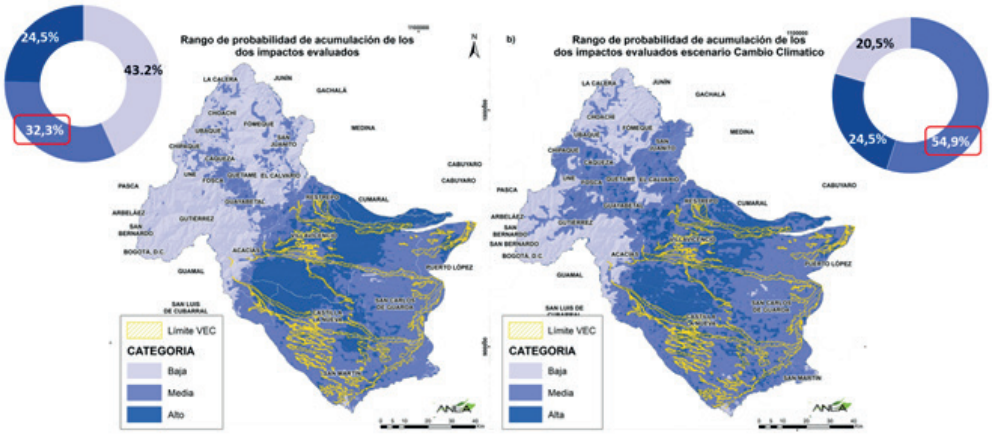
7.2.5.5 Probabilidad de acumulación de impactos en escenario de cambio climático y variabilidad climática

Con el fin de visualizar la probabilidad de impactos acumulativos en un escenario de cambio climático y también de variabilidad climática, se calculó nuevamente para el área de estudio la vulnerabilidad frente a la disponibilidad y calidad del recurso hídrico y la vulnerabilidad a la pérdida de hábitat del águila pescadora; incorporando a los factores analizados en el numeral 6.2.3.2 el factor de vulnerabilidad frente al cambio climático y fenómeno Niña y Niño de la SZH-MGGN; para posteriormente recalcular la probabilidad de ocurrencia de los dos impactos analizados y finalmente la probabilidad de acumulación de impactos.

En este sentido, las capas adicionales para el análisis de impactos acumulativos bajo escenario de cambio climático y variabilidad climática fueron las siguientes: cambio en porcentaje de la precipitación para el escenario 2011-240 del IDEAM, el mapa de áreas afectadas por inundaciones del fenómeno de La Niña 2010-2011 y el mapa de fenómeno del Niño 2014 del IDEAM y la capa Índice Municipal de Riesgo de Desastres ajustado por Capacidades del DNP (2018).

Una vez incorporado el factor del cambio climático y de variabilidad climática, el resultado en comparación con el escenario actual muestra un aumento del 22,6% de probabilidad de acumulación de baja a media. Es decir, que bajo el escenario de cambio climático y fenómeno Niña y Niño aumenta las probabilidades de que se acumulen los impactos evaluados (Figura 131). En ese entendido, los POA nuevos y las modificaciones futuras deben considerar incorporar dentro de sus planes de manejo, medidas que promuevan la mitigación y adaptación al cambio climático, las cuales contribuyan a prevenir o reducir la probabilidad impactos ambientales acumulativos.

Figura 131. Probabilidad de acumulación de impactos en un escenario actual Vs Probabilidad de acumulación de impactos en un escenario de cambio climático



Fuente: ANLA, 2021

7.3. MANEJO DEL VEC

7.3.1. Criterios técnicos en el marco del licenciamiento ambiental de la ANLA y autoridades ambientales competentes

Los criterios técnicos que a continuación se presentan para el VEC son el resultado del análisis regional realizado. No obstante, el profesional de evaluación o seguimiento será el responsable de ajustarlo o complementarlo a partir de la revisión y evaluación de la información allegada por la Empresa.

Componente	Situación evidenciada	Requerimientos Regionales
Integral	Se evidencia una alta concentración de proyectos de hidrocarburos en el área del VEC con una alta probabilidad de acumulación de impactos, lo cual afecta el componente hídrico superficial y, por ende, las comunidades de ictiofauna representativas y de gran importancia económica en la región.	Formulación de una estrategia de monitoreo regional de los ecosistemas acuáticos que permita evidenciar los cambios y/o alteraciones ocasionadas al recurso hídrico en las cuencas que conforman el VEC y, a su vez las alteraciones sobre el hábitat y las fuentes de alimento del Águila pescadora en los segmentos de ríos con ALTA probabilidad de impactos acumulativos: río Guatiquía: segmentos 4 y 5; río Ocoa: segmentos 1, 2, 3, 4 y 5; río Guayuriba: parte alta y media del segmento 4; río Negro: segmentos 1 y 4; río Humadea: segmentos 1, 2 y 3; río Guamal: segmentos 1 y 3; río Acacías: segmento 1 y 2. Formulación de estrategia regional de restauración fluvial de segmentos de ríos con ALTA probabilidad de impactos acumulativos, la cual deberá contar como mínimo con las siguientes actuaciones: • Recuperación y protección de rondas hídricas. • Recuperación del bosque de ribera • Revegetalización • Control de especies vegetales invasoras • Caudales ambientales • Creación de hábitats acuáticos tipo lentos y rápidos. • Seguimiento

Componente	Situación evidenciada	Requerimientos Regionales
Hídrico superficial	En segmentos de las cuencas río Humadea, río Guayuriba, Río Negro, río Acacías, río Guatiquía, río Metica, río Camoa y río Ocoa se presentan condiciones de Alta concentración de permisos de vertimientos y de captación de agua superficial, tanto de ANLA como de CORMACARENA, evidenciando ALTA presión sobre estas fuentes hídricas.	Para nuevas solicitudes, verificar que estos permisos no se encuentren sobre los tramos definidos para las fuentes que ya presentan presiones por concentración ALTA de permisos otorgados y en caso de que sea necesario, se debe condicionar o restringir los permisos, a las épocas del año de máxima disponibilidad del recurso (captación) y/o máxima asimilación de las fuentes receptoras (vertimientos), lo anterior, para evitar el deterioro de la calidad de las fuentes superficiales y no limitar la utilización del recurso para el uso doméstico. Cuando el permiso de vertimientos esté condicionado para ciertas épocas del año, se debe implementar un sistema de medición de caudales debidamente calibrado sobre la fuente hídrica receptora con frecuencia de medición diaria, con el fin de poder restringir el vertimiento en los caudales mínimos de la fuente hídrica. Para las concesiones de agua superficial se deberá registrar diariamente el caudal captado a través de la instalación de equipos de medición que se encuentren debidamente calibrados. Se deberá conformar una base de datos que indique: fecha, lectura anterior y actual del equipo, volumen de agua captada, régimen de la captación (hora/día), la cual debe ser presentada en los respectivos Informes de Cumplimiento Ambiental -ICA en hoja de cálculo. Suspender las actividades de captación cuando el caudal aguas arriba del punto de captación sea igual o inferior al caudal ambiental o al 50% del caudal medio mensual multianual de acuerdo con el estudio hidrológico establecido en el Estudio de Impacto Ambiental Esta situación principalmente para las fuentes hídricas que se encuentran el SZH Río Guatiquía (Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico ALTA) y Río Negro (Vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico MEDIA).
Hídrico superficial	Se evidencia una alta presión a la contaminación hídrica, derivado de las contingencias ocasionadas por los proyectos de explotación de hidrocarburos.	Para los POA que cuentan con licencia para la explotación de hidrocarburos en el área del VEC (LAM0198, LAM3723 y LAM0227) y demás proyectos de hidrocarburos que presenten una contingencia que afecte el recurso hídrico superficial, es necesario que posterior a la ocurrencia de esta, realicen campañas de monitoreo hidrosedimentológicas y se realice un monitoreo adicional un año después sobre las fuentes hídricas afectadas, que incluyan parámetros como hidrocarburos, fenoles, cadmio, plomo, que permitan evidenciar si se presentan impactos acumulativos en las fuentes hídricas, derivadas de estas contingencias.
Hídrico subterráneo	Se evidencia una alta concentración de actividades en el área del VEC, que potencian la presión sobre el recurso hídrico subterráneo.	Se requiere implementar una estrategia regional de seguimiento y monitoreo del componente hídrico subterráneo en las áreas con mayor peligro de acumulación de impactos ambientales, con el fin de medir niveles de manera continua a través de transductores de presión que permitan determinar una posible afectación a la disponibilidad y entender mejor el flujo y dirección del agua subterránea a nivel local y así su interacción con los cuerpos hídricos superficiales. A su vez es necesario implementar una red de monitoreo de calidad del agua subterránea, asegurando que se soliciten todos los parámetros asociados a entender y evidenciar una posible afectación de la calidad del recurso, garantizando un muestreo representativo, y acorde con los establecido por el protocolo del monitoreo del IDEAM, sumado a ello requerir el cálculo y reporte del error de balance iónico de las muestras y finalmente asegurar que los límites de cuantificación del método de análisis son inferiores a los limites o criterios mínimos de calidad.
		En caso de proyectos nuevos, si el área de influencia se traslapa con áreas con mayor peligro de acumulación de impactos ambientales; Se requiere que el grupo de modelación realice un ejercicio de modelización numérica de flujo y transporte, con el fin de predecir escenarios futuros frente a potenciales afectaciones en la disponibilidad y calidad del recurso hídrico subterráneo, respecto a las condiciones actuales y a posibles concesiones, permisos de inyección y vertimiento al suelo que puedan ser otorgados.

Componente	Situación evidenciada	Requerimientos Regionales
Hídrico Subterráneo	Vulnerabilidad Intrínseca a la Contaminación La metodología utilizada por las empresas para determinar la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación es la metodología GOD que es muy subjetiva y deja de lado información importante como el tipo de suelo y variables hidráulicas, derivando en una subestimación de la vulnerabilidad real de los acuíferos someros.	Para la determinación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación, se debe considerar para su determinación un mayor número de variables como el tipo de suelo y la conductividad hidráulica del acuífero.
	Calidad del Agua Subterránea Se evidencia la presencia sistemática de coliformes totales (indicador de contaminación por aguas residuales domésticas) en el agua subterránea somera de las unidades cuaternarias y más profundas de la formación guayabo.	Se debe solicitar un tratamiento de desinfección del agua residual doméstica vertida al suelo y en general todas las aguas residuales domesticas generadas por el proyecto. En caso de que para la remoción de los coliformes totales y fecales se utilice cloración se deberá monitorear el cloro residual libre en el vertimiento y asegurar que la concentración sea menor a 1 mg/l. A su vez, se deberán monitorear los Trihalometanos y asegurar que su concentración máxima en el vertimiento sea de 350 µg/l y finalmente se debe monitorear las Cloraminas y asegurar un límite máximo en el vertimiento de 1.5 µg/l.
Biótico	Las áreas con mayor riesgo de afectación en la disponibilidad de hábitat para el águila pescadora, se consideran elementos altamente sensibles en la región (VEC); en ese entendido, estos ecosistemas no son compensables.	Las áreas con mayor riesgo de afectación son aquellas zonas que coinciden con las áreas embudo modeladas en el análisis de conectividad para el Águila pescadora, las cuales corresponden a la parte baja de los segmentos 3 y 4 y parte alta del segmento 5, del Río Guatiquía; zona norte del segmento 5 del Río Negro; segmento 1 del Río Guamal; segmentos 1 y 2 y parte media alta del segmento 3 del Río Humadea; segmentos 1, 2 y 3 del Río Camoa y la ronda hídrica asociada a la mitad del segmento 1 del Río Metica. Las rondas hídricas asociadas a los segmentos mencionados también atañen a áreas con mayor riesgo de afectación. Estas zonas deben ser considerados dentro de la zonificación de manejo, como áreas de exclusión o en su defecto como áreas de restricción alta, donde el usuario debe garantizar y demostrar que sus diseños contemplan aspectos para prevenir, mitigar y corregir el impacto de remosión de cobertura vegetal.

Componente	Situación evidenciada	Requerimientos Regionales
Biótico	En la SZH Río Metica (Guamal - Humadea) se ha registrado el mayor número de familias, (n= 160, 37%) por parte de los usuarios. En el caso de la ictiofauna, la riqueza de familias coincide con la alta riqueza de especies documentada en la subcuenca Guamal-Humadea (Trujillo et al., 2016).	Los proyectos localizados en la SZH Río Metica (Guamal - Humadea) deben contemplar una ficha de manejo en el PMA asociada a las comunidades de peces. Además, deberán contemplar una ficha de seguimiento y monitoreo en el PSM, con metodologías estandarizadas de muestreo que incluyan como criterio de temporalidad las épocas migratorias de la ictiofauna. Los sitios de monitoreo estarán asociados con los de las comunidades hidrobiológicas y los parámetros fisicoquímicos, de tal forma que se maneje el mismo ID_PUNTO_M; sin embargo, el registro de la información deberá realizarse en el modelo de datos de fauna (PuntoMuestreoFauna, MuestreoFaunaTB y MuestreoFaunaResultadosTB).
Biótico	El sureste del área de estudio de la SZH-MGGN se caracteriza por tener una matriz dominante de pastos y cultivos, que ejerce presión sobre los relictos de vegetación natural que constituyen los hábitats y corredores disponibles para la fauna local y migratoria presente en la zona. Sumado a la intervención y transformación que ha venido teniendo el territorio a causa de las prácticas económicas de los pobladores, la confluencia de proyectos (principalmente de hidrocarburos) y la intervención que las actividades de las distintas fases de estos proyectos acarrean, de forma directa o indirecta, sobre los hábitats disponibles para la flora y fauna, constituyen una amenaza para la biodiversidad.	Es necesario articular las medidas de manejo de los proyectos en la zona, en torno a la recuperación de la calidad del hábitat del Águila Pescadora y por tanto de la conectividad ecológica funcional de la zona.En ese sentido, para los proyectos nuevos y las modificaciones futuras, como parte de las medidas de manejo que proponen dentro de los PMA, se considera fundamental que se integre una actividad que conlleve a la reconformación y recuperación de los sistemas de vegetación que funcionan como corredores biológicos y que se encuentran ya intervenidos; priorizando las áreas que fueron identificadas como hábitats de alta aptitud para el Águila pescadora y que se encuentran desprovistas de vegetación boscosa como es el caso del segmento 4 del Río Guayuriba, los segmentos 2, 3, 4 y 5 del río Guatiquía, segmentos 1, 3, 4 y 5 del Río Ocoa, segmentos 1, 2, 3 y 4 de Río Negro, segmento 3 del Río Humadea, zona norte del segmento 4 del Río Camoa, zona sur del segmento 2 del Río Metica, fragmentos 1, 2, 3 y 4 del Río Acacías y segmentos 1, 2 , 3 y 4 del río Guamal. Como ejemplo de las actividades que se pueden desarrollar para recuperar y/o reconformar las rondas hídricas de los segmentos de los Ríos mencionados anteriormente, se encuentran las siguientes: • Enriquecimiento de cercas vivas: dentro de la caracterización del área de influencia biótica definir qué cercas vivas están disponibles y qué cercas vivas se podrían establecer para conectar las áreas núcleo y corredores biológicos resultantes del análisis de fragmentación y conectividad. Una vez definidos los corredores a establecer, conformar estas cercas con especies arbóreas de importancia ecológica (endémicas, amenazadas, frutales, etc). • Reforestación de bosques riparios y otras áreas que se consideren zonas de movimiento para la fauna: a partir de los resultados del análisis de fragmentación y conectividad, definir áreas puntuales que al ser reconformadas puedan aportar a la conexión de los hábitats disponibles y realizar la reforestación o enriquecimiento de estas áreas con especies arbóreas de importancia ecológica (endémicas, frutales, amenazadas, etc). Una vez se establezcan dichas medidas de manejo es necesario realizar el mantenimiento y seguimiento durante la vida útil del proyecto, para garantizar el éxito de la medida y esto debe especificarse en el PSM.

Componente	Situación evidenciada	Requerimientos Regionales
Contingencias de Origen Antrópico	Alta frecuencia reportada de contingencias en el área de estudio Se reporta que el recurso hídrico fue afectado por las contingencias presentadas, pero no se evidencian trazas de hidrocarburos y sus derivados en las caracterizaciones fisicoquímicas del agua superficial y subterránea reportadas.	• Se debe indicar la cantidad total de sustancia derramada y el porcentaje de sustancia derramada recuperada. • Se debe indicar la técnica de atención de las contingencias, dado que en algunos casos la atención puede ser más impactante que el derrame, por ejemplo, el uso de dispersantes o combustión *in situ*. • Se debe indicar la técnica de recuperación y restauración de los recursos afectados por las contingencias, es necesario saber que paso con los recursos afectados y hasta qué punto este pudo volver a prestar sus servicios ecosistémicos. • Solicitar a los usuarios, que los límites de cuantificación del método analítico de la caracterización de los componentes afectados deben ser menores que los límites y criterios establecidos. • Solicitar el diligenciamiento completo de los formatos de reportes de contingencias. • Protocolo para la atención y recuperación de elementos ambientales afectados ante eventos antrópicos generados por terceros no voluntarios • Se debe establecer un protocolo de seguimiento del recurso hídrico subterráneo en términos de frecuencia y parámetros a determinar en caso de contingencias con el fin de poder evidenciar una alteración a las características fisicoquímicas y microbiológicas. • Verificar la calidad de los suelos de las rondas hídricas, mediante monitoreos semestrales según el periodo bimodal de precipitaciones en el área de afectación de la contingencia y en los sitios donde se registra el desbordamiento frecuente de los cauces, para descartar la presencia de hidrocarburos por la saturación del suelo o arrastre de sedimentos ocasionado por el incremento de la cota de inundación de los cuerpos de agua hasta el cierre de las actividades de limpieza propuestas por el usuario. • En el evento de una contingencia se debe realizar un análisis del estado del ecosistema post contingencia, enfocado en la ictiofauna y en la vegetación ribereña que conforman los corredores biológicos identificados en este reporte, para comparar con las condiciones existentes del hábitat antes del evento de contingencia. A partir de allí, plantear las medidas de manejo y recuperación biótica de estas áreas, las cuales se deben realizar hasta tanto se retorne a las condiciones previas en las que se encontraba los ecosistemas acuáticos que resultaron afectados por el evento. • En el evento de afectar vegetación arbórea dentro del hábitat identificado para el águila pescadora se debe recuperar la mayor cantidad posible de árboles fustales afectados por la impregnación de hidrocarburos (los individuos en los que en el tronco permanece la mancha de hidrocarburo) y presentar en los informes de avance los resultados correspondientes. En el evento en que los árboles en esta condición mueran, deberán implementarse las medidas de compensación.
Contingencias de Origen Natural	Se evidencia la presencia de contingencias debido al aumento de precipitaciones en el área de estudio.	• Los nuevos planes de gestión del riesgo deben incorporar medidas para el conocimiento, reducción y atención de contingencias originados por el aumento de la precipitación. • Actualizar vía seguimiento los planes de gestión del riesgo con el fin de incorporar medidas para el conocimiento, reducción y atención de contingencias originados por el aumento de la precipitación. • Activar todas las medidas en los planes de gestión del riesgo que reduzcan el riesgo respecto a presentar contingencias por eventos de fenómeno de la Niña: LAV0064-00-2017, LAM4409, LAV0073-00-2015, LAV0074-00-2015, LAM0626 y LAM0579.

Componente	Situación evidenciada	Requerimientos Regionales
Socioeconómico	Conflictividad Socioambiental por denuncias ambientales con afectación a recursos naturales	Considerando la acumulación de denuncias ambientales principalmente en los municipios de Acacías, Castilla La Nueva y Villavicencio, es necesario establecer una ''hoja de ruta'' que este orientada en la atención oportuna de las diferentes PQRS, así como la gestión en la respuesta para que los actores institucionales, comunitarios y demás actores de estratégicos del territorio cuenten con el conocimiento pleno referente a la respuesta otorgada y esta sea comprendida, especificando en los casos que aplique, los requerimientos, imposiciones de medidas, entre otros. De igual manera, es importante definir una metodología para registrar los conflictos sociales que surjan en las áreas que registren un nivel de sensibilidad social medio y alto, y considerando especialmente las áreas donde se encuentra los proyectos asociados a procesos jurídicos, considerando: • Las herramientas de registro y caracterización de los conflictos motivados por el desarrollo de las actividades propias de los proyectos. • El protocolo propuesto para la atención y gestión de los conflictos sociales identificados, con la caracterización de posibles instancias de atención y/o de coordinación para su atención. • Los mecanismos para realizar el reporte de la información de caracterización de los conflictos y las posibles rutas de atención y gestión.
Cambio Climático	Resultado de probabilidad de acumulación de impactos en un escenario de cambio climático	• Los POA: LAM0227, LAM0198, LAM4829, LAV0038-13, LAM5423, LAV0039-13, LAV0001-11, LAV0004-13 y LAV0040-13, LAV0081-13, LAV0053-14, LAV0003-13, LAM5599, LAV0058-14 deberán promover los procesos de restauración de ecosistemas estratégicos para la provisión de agua, con el fin de reducir las presiones de cambio climático en mediano y largo plazo. • Los POA LAM0227, LAM0198, LAM4829, LAV0038-13, LAM5423, LAV0039-13, LAV0001-11, LAV0004-13 y LAV0040-13, LAV0081-13, LAV0053-14, LAV0003-13, LAM5599, LAV0058-14 deberán implementar sistemas de captación, manejo y almacenamiento de aguas lluvias, p.ej. techos verdes, jardines de agua lluvia, bio-infiltración o zanjas vegetales y pavimento permeable para infiltrar la mayor cantidad de agua de escorrentía para reducir el aumento de temperatura. • Los proyectos LAM0227 y LAM5423, del sector de hidrocarburos deberán promover la adecuada gestión de las emisiones fugitivas generadas por las actividades de extracción, procesamiento, producción, almacenamiento y distribución de productos de hidrocarburos, y aprovechar el gas natural capturado para otros fines, y fomentar su aprovechamiento.

Fuente: ANLA, 2021

7.3.2. Recomendaciones externas

A las autoridades ambientales competentes y entes territoriales de acuerdo con sus competencias deberán:

- Generar estrategias de manejo y control de las actividades agropecuarias, para lo cual se recomienda identificar los usuarios informales del recurso hídrico a través de la implementación de censos de usuarios que permitan a la Corporación incrementar la base de usuarios sujeto de cobro y de esta manera fortalecer la gestión sobre el agua para ejecutar proyectos de conserva-

ción y recuperación del recurso hídrico. En el caso del sector ganadero y de palma de aceite se puede verificar a través del uso de imágenes satelitales al calcular el índice de vegetación y de esta forma se determina que predios posiblemente están captando agua de las fuentes hídricas para sus cultivos y se puede iniciar el proceso de formalización con sus respetivos dueños.

- Generar estrategias de reducción de las emisiones de Gases Efecto Invernadero generados en la producción ganadera e incrementar las remociones de carbono de los agro-ecosistemas dedicados a la ganadería, por medio de un ordenamiento ambiental y productivo a nivel regional, intensificando la producción de los sistemas ganaderos mediante la implementación de Sistemas Silvopastoriles, así como el manejo sostenible del sistema para aumentar la eficiencia , promoviendo la conservación y/o restauración de ecosistemas naturales ubicados dentro de las fincas ganaderas.
- Se recomienda al Servicio Geológico Colombiano, a CORMACARENA y al IDEAM, ampliar el conocimiento hidrogeológico de las áreas con mayor peligro de acumulación de impactos ambientales, con el fin de tener una mayor certidumbre que permita gestionar el recurso hídrico subterráneo y así determinar su interacción con los cuerpos de agua superficial y prever una posible alteración al recurso hídrico por el impacto de alguno de sus componentes sea superficial o subterráneo.
- Priorizar las corrientes hídricas superficiales que son fuentes abastecedoras de acueductos para la definición de la ronda hídrica de acuerdo con los lineamientos de la guía anexa a la Resolución 957 del 31 de mayo de 2018, de esta manera, al asegurar los procesos ecológicos en estas coberturas, se mejoran los servicios ecosistémicos.
- Actualizar los POMCA que presentan más de 7 años de elaboración y permitir el acceso a información actualizada de los índices de calidad del agua en la herramienta virtual, con el fin de conocer la variación de esta condición y tomar medidas adecuadas para su gestión y atención de impactos.
- Se recomienda a CORMACARENA iniciar y avanzar con el Plan de manejo Ambiental del Sistema Acuífero Villavicencio-Granada - Puerto Lopez – Sap 3.1, dado que se requiere aumentar el conocimiento hidrogeológico de este y así gestionar el recurso hídrico subterráneo con mayor certidumbre.
- Se recomienda que CORMACARENA delimite las zonas de recarga de los acuíferos cuaternarios y de la formación guayabo dado valor estratégico como fuentes abastecedoras de agua en la zona de estudio.
- Se recomienda a CORMACARENA determinar la conexión agua superficial agua subterránea de los principales cuerpo ríos que están presentes en su jurisdicción, con el fin de entender el aporte de un componente al otro y gestionar el recurso ante eventos de variabilidad climática.
- Se recomienda a CORMACARENA, CORPOGUAVIO, CORPORINOQUIA incorpore en sus PMA al águila pescadora como especie focal, para dirigir acciones tendientes a recuperar la calidad de su hábitat, por medio de la restricción en la ocupación de cauces, los permisos de vertimientos sobre cuerpos de agua y los permisos de aprovechamiento forestal, teniendo en cuenta los modelos de distribución potencial y de conectividad ecológica funcional generados en este reporte.
- Se recomienda a CORMACARENA, CORPOGUAVIO, CORPORINOQUIA solicitar compensaciones para el componente biótico que contemplen acciones de restauración y rehabilitación de bosques riparios

8. REFERENCIAS

ANLA. (2018). Metodología general para la definición de áreas prioritarias para el desarrollo de actividades de compensación del medio biótico e inversión de no menos del 1%. In *Autoridad Nacional de Licencias Ambientales*.

ANLA. (2020). *Jerarquización, estandarización y zonificación de impactos ambientales en proyectos licenciados*.

Armando, R., Corredor, T., Mauricio, D., & Martínez, G. (n.d.). *Guía metodológica*.

Beier, Paul; Majka, Dan; Jenness, J. (2006). Conceptual steps for designing wildlife corridors. *CorridorDesign Arizona USA*, *269*, 23784–23789.

Beier, P., Spencer, W., Baldwin, R. F., & Mcrae, B. H. (2011). Toward Best Practices for Developing Regional Connectivity Maps. *Conservation Biology*, *25*(5), 879–892. https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01716.x

Bongiorno, P. F. (n.d.). *Rocosos Según :* 1–20.

CARDER - IAvH. (2006). *Valoración económica de la calidad del agua de la cuenca alta del Río Campoalegre*.

Carvajal, J. H. (2011). Propuesta De Estandarizacion De La Cartografía. *Instituto Colombiano De Geología Y Minería Ingeominas*, 71.

Cheng, B., Li, H., Yue, S., & Huang, K. (2019). A conceptual decision-making for the ecological base flow of rivers considering the economic value of ecosystem services of rivers in water shortage area of Northwest China. *Journal of Hydrology*, *578*(August), 124126. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124126

CIAT, Cormacarena, Corporinoquia, E. (2017). *Plan Regional integral de cambio climático para la Orinoquía*.

CORMACARENA. (2010). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía* (Issue 001). CORMACARENA.

CORMACARENA. (2014). *Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Guamal*. CORMACARENA.

CORMACARENA. (2015). *Generación de avances en la construcción y estructuración de la línea base recurso hídrico subterráneo en las zonas de los acuíferos del piedemonte abanicos de los ríos Guatiquía, Negro, Guayuriba y Acacías, en el departamento del Meta*. CORMACARENA.

CORPOGUAVIO. (2017). *Plan de ordenación forestal -pof para la jurisdicción de la corporación autónoma regional del guavio - Corpoguavio área de biodiversidad y ecosistemas estratégicos*.

CORPOGUAVIO, CORMACARENA, CAR, & CORPORINOQUIA. (2019). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Guayuriba - Actualización*. CAR.

Correa Ayram, C. A., Etter, A., Díaz-Timoté, J., Rodríguez Buriticá, S., Ramírez, W., & Corzo, G. (2020). Spatiotemporal evaluation of the human footprint in Colombia: Four decades of anthropic impact in highly biodiverse ecosystems. *Ecological Indicators*, *117*(June), 106630. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106630

Dallaire, C. O., & Lehner, B. (2018). *GloRiC Global River Classification Technical Documentation Version 1.0*. 1–5. http://www.hydrosheds.org.

DANE. (2018). *Proyecciones de población 2018-2023 Censo Nacional de Población y Vivienda*.

DANE. (2019). Boletín Técnico Pobreza Multidimensional en Colombia Pobreza multidimensional en Colombia. *Dane*, 24. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2018/bt_pobreza_multidimensional_18.pdf

Del Tánago, M. G., & De Jalón, D. G. (2011). Riparian Quality Index (RQI): A methodology for characterising and assessing the environmental conditions of riparian zones. *Limnetica*, *30*(2), 235–254.

Didan, K. (2015). *MOD13Q1 MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid V006 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC*. https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006

Discontinuity, J. A., Rock, I. J., & Min, M. (1989). *Método del Índice RMR Cálculos : 0*, 1–7.

DNP. (2017). *Medición del Desempeño Municipal, MDM*. 43. https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo Territorial/MDM/Resultados_MDM_2017.pdf

DNP. (2019). *Índice Municipal de Riesgo de Desastres Ajustado por Capacidades*. Deparatamento Nacional de Planeación.

Ecopetrol. (2020). *Actualización modelo hidrogeológico matemático para reinyección de agua de producción en pozos disposal. Title*.

Fernando Ayerbe Quiñones. (2018). *Guía Ilustrada de la Avifauna Colombiana* (A. Barragán (Ed.); Primera ed). .PUNTOAPARTE BOOKVERTISING.

Francour, P., & Thibault, J. C. (1996). The diet of breeding Osprey Pandion haliaetus on Corsica: Exploitation of a coastal marine environment. *Bird Study*, *43*(2), 129–133. https://doi.org/10.1080/00063659609461004

GBIF. (2021). *Pandion haliaetus Ocurrence*. Global Biodiversity Information Facility. https://www.gbif.org/es/species/2480726

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, *342*(6160), 850–853. https://doi.org/10.1126/science.1244693

IDEAM-IGAC-CORMAGDALENA. (2008). *Mapa de Coberturas de la Tierra Cuenca Magdalena - Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000.*

IDEAM-MADS-UDCA. (2015). *Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia*. IDEAM, MADS, UDCA.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCILLERÍA, F. (2017). *Analisis de vulnerabilidad y riesgo por Cambio Climático en Colombia*.

IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de unidades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.

IDEAM. (2016). *Inventario Nacional y departamental de gases efecto invernadero- Colombia*. IDEAM.

IDEAM. (2017a). *Atlas Climatológico de Colombia*. IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales - Subdirección de Ecosistemas e Información Ambiental-Grupo de suelos y Tierras.

IDEAM. (2017b). *Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos de Colombia*. Mapa de Ecosistemas Continentales, Costeros y Marinos. http://www.ideam.gov.co/documents/11769/222663/E_ECCMC_Ver21_100K.pdf/addc175f-3ac6-415b-9b9e-a1c4368b5b3e

IDEAM. (2019a). *Aproximación técnica y conceptual para el monitoreo y seguimiento del estado de los ecosistemas acuáticos del país. Fase I: Proceso de construcción del Protocolo de Monitoreo y Seguimiento del Estado de los Ecosistemas Acuáticos del país, con énfasis en l*. 227pp.

IDEAM. (2019b). *Estudio nacional del agua*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCILLERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científica para los Tomadores de Decisione- Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicacion Nacional de Cambio Climatico*. IDEAM.

Ingeominas. (n.d.). *INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERIA INGEOMINAS Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica*.

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., Ia. (2019). *Vulnerabilidad de la oferta de servicios ecosistémicos*. Reporte de Estado y Tendencias de Biodiversidad Continental En Colombia. http://reporte.humboldt.org.co/biodiversidad/2019/cap2/201/

Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt., Ia. (2021). *Áreas importantes para la conservación de las aves AICAS*. http://humboldt.org.co/es/estado-de-los-recursos-naturales/item/525-areas-importantes-para-la-conservacion-de-las-aves-aicas

Johnsgard, P. A. (1990). *Biology and natural history of hpv*.

Krausman, P. R. (1999). Some Basic Principles of Habitat Use. *Grazing Behavior of Livestock and Wildlife*, 85–90.

Lasso, C. A., S, U. J., F, T., & A, R. (2010). Biodiversidad de la cuenca del Orinoco. In *Biodiversidad en la cuenca del Orinoco: bases científicas para la identificación de áreas prioritarias para la conservación y uso sostenible de la biodiversidad*.

Lopez, E. (2004). *Aspectos más relevantes de la geomorfología y geología y del piedemonte llanero de colombia*.

MADS. (2019). *Metodología para la estimación del caudal ambiental en el Río Bogotá*. MADS.

MADS. (2020). *Indicadores para la evaluación y el seguimiento de impactos ambientales*.

Márquez, C., Bechard, M., Gast, F., & Venegas, V. (2005). *Aves rapaces diurnas de Colombia. Insitituto de investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humbolt.*

Michael L. Morrison, Bruce G. Marcot, William Mannan. (2006). *Wildlife-habitat relationships: concepts and applications.* (Tercera). Island Press.

Murcia, C. (1995). Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, *10*(2), 58–62. https://doi.org/10.1016/S0169-5347(00)88977-6

Ocampo-Peñuela, N. (2010). El fenómeno de la migración en aves: una mirada desde la Orinoquia The phenomenon of migration in birds: a view from the Orinoco. *Orinoquia*, *14*(2), 188–200.

Olaya-Marín, E. J., Martínez-Capel, F., & Vezza, P. (2013). A comparison of artificial neural networks and random forests to predict native fish species richness in Mediterranean rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, *409*, 1–19. https://doi.org/10.1051/kmae/2013052

Ortiz, J. C. (2009). Application of a wind parametric model and a spectral wave model to study maximum waves generated by hurricane Lenny, in the Colombian Caribbean coasts in 1999. *Boletin Científico CIOH*, *36*(27), 29–36.

página SIMMA, del Servicio Geológico de Colombia (SGC). (n.d.).

Price, J. I., & Heberling, M. T. (2018). The Effects of Source Water Quality on Drinking Water Treatment Costs: A Review and Synthesis of Empirical Literature. *Ecological Economics*, *151*(March), 195–209. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.014

Resolución 2254 MADS. (2017). Resolución 2254 de 2017, de 01 de noviembre. *Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible*, *Diario Oficial N° 50415*, *12 noviembre de 2017*.

Resolución 627 MAVDT. (2006). Resolución 627 de 2006, de 06 de abril. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*, *Diario Oficial N° 46239*, *12 abril de 2006*.

Rinaldi, M., Gurnell, G., Belletti, B., Berga Cano, M. ., Bizzi, S., Bussettini, M., M, G. del T., Grabowski, R., Habersack, H., Klösch, M., Magdaleno Mas, F., Mosselman, E., Toro, M., & Vezza, P. (2015). *Final report on methods, models, tools to assess the hydromorphology of rivers*. 1–34.

Robertson, K. G., Jaramillo, O., & Castiblanco, M. A. (2013). *Guía Metodológica para La elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000*. IDEAM.

Rojas, B., Muñoz, J., & Marín, G. (2018). Dieta del Águila Pescadora (Pandion haliaetus) en el Complejo Lagunar Chacopata-Bocaripo, Península de Araya, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín Del Instituto Oceanografico de Venezuela*, *58*(2), 122–129.

Sanabria, J. (2006). *Beneficios económicos del Plan de Manejo de la Cuencia Río Cabí*. Universidad de Los Andes.

Sarmiento, A., Marcelo, D., & Villa, J. (2005). Propuesta Metodológica para la evaluación del impacto de la contaminación de las cuencas hídricas del país: Estudio de caso del río “la Vieja.” *Archivos de Economía*, *June 2015*, 33.

Sciences, M. (2005). *Método del Índice Q*. *05*, 1–7.

SGC & GEM. (2018). *Modelo Nacional de Amenaza Sísmica*. 196. https://amenazasismica.sgc.gov.co/

SGC, & UNAL. (2016). *Memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100 000 plancha 60-Canalete*. *05*, 43.

Siverio, M., Rodríguez, B., Rodríguez, A., & Siverio, F. (2011). Inter-insular variation of the diet of osprey Pandion haliaetus in the Canarian archipelago. *Wildlife Biology*, *17*(3), 240–247. https://doi.org/10.2981/10-004

Trujillo, F., Antelo, R., & Usma, S. (2016). Biodiversidad en la cuenca baja y media del Río Meta. In *Fundacion Omancha, Fundación Palmarito, WWF*.

VALLEJO, L. I. G.; FERRER, M.; ORTUÑO, L. (2002). *Ingenieria Geologica*.

Vardon, M., Keith, H., & Lindenmayer, D. (2019). Accounting and valuing the ecosystem services related

to water supply in the Central Highlands of Victoria, Australia. *Ecosystem Services*, *39*(January), 101004. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.101004

Varón, S. D., & Vargas, G. (2019). Análisis de la susceptibilidad por inundaciones asociadas a la dinámica fluvial del río Guatiquía en la ciudad de Villavicencio, Colombia. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, *28*(1), 152–174.

Washburn, B. E., Martell, M. S., Bierregaard, R. O., Henny, C. J., Dorr, B. S., & Olexa, T. J. (2014). Wintering ecology of adult North American Ospreys. *Journal of Raptor Research*, *48*(4), 325–333. https://doi.org/10.3356/JRR-OSPR-13-01.1

Zinck, J. A. (2012). Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. *International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation*, *January*, 123. https://www.researchgate.net/publication/259935872_Geopedologia_Elementos_de_geomorfologia_para_estudios_de_suelos_y_de_riesgos_naturales

Reporte de Análisis Regional de la SZH de los ríos:

Metica, Guatiquía, Guayuriba y Negro (SZH-MGGN)

ANLA
AUTORIDAD NACIONAL
DE LICENCIAS AMBIENTALES

Marzo 2021