



ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL
“ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141”

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE
INFLUENCIA
CAPÍTULO 3
3.2.1 Geología



CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| 3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA | 7 |
| 3.2 MEDIO ABIÓTICO | 7 |
| 3.2.1 Geología | 8 |
| 3.2.1.1 Geología Regional | 8 |
| 3.2.1.1.1 Estratigrafía Regional..... | 11 |
| 3.2.1.1.2 Marco Estructural Regional..... | 21 |
| 3.2.1.2 Geología del Área de Influencia..... | 33 |
| 3.2.1.2.1 Estratigrafía del área de influencia | 33 |
| 3.2.1.2.2 Marco estructural del área de influencia | 60 |
| 3.2.1.3 Amenazas naturales | 63 |
| 3.2.1.3.1 Amenaza por actividad sísmica | 63 |
| 3.2.1.3.2 Relación de eventos sísmicos históricos con las fallas geológicas cartografiadas y el desarrollo de fenómenos de remoción en masa | 74 |
| 3.2.1.3.3 Amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa | 77 |
| 3.2.1.3.4 Amenaza por Inundación | 80 |
| 3.2.1.3.5 Amenaza por avenidas torrenciales..... | 83 |
| 3.2.1.3.6 Amenaza Ceráunica (tormentas eléctricas)..... | 85 |
| 3.2.1.3.7 Amenaza por incendios..... | 89 |
| 3.2.1.3.8 Amenaza por sequia | 90 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|----------------|--|
| Tabla 3.2.1-1 | Columna estratigráfica generalizada de la cuenca de los Llanos Orientales (Llanos del Meta) y registro tipo para los reservorios en el Bloque Apiay..... 15 |
| Tabla 3.2.1-2 | Sistemas de Fallas Frontal de la Codillera Oriental..... 24 |
| Tabla 3.2.1-3 | Unidades geológicas aflorantes en el área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141 34 |
| Tabla 3.2.1-4 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de la Formación Guayabo (N2c) 38 |
| Tabla 3.2.1-5 | Perfil de meteorización (según Dearman, 1974) de los estratos rocosos de la Formación Guayabo (N2c) 42 |
| Tabla 3.2.1-6 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización del Depósito de Abanico -Terraza Nivel 1 (N-Qt1) 43 |
| Tabla 3.2.1-7 | Localización de la estación de control geológico para la caracterización del Depósito de Abanico Terraza Nivel 2 (N-Qt2) 43 |
| Tabla 3.2.1-8 | Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-2- Caracterización del Depósito de Abanico -Terraza Nivel 1 (N-Qt1) 45 |
| Tabla 3.2.1-9 | Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-15 - Caracterización del Depósito de Abanico -Terraza Nivel 2 (N-Qt2) 46 |
| Tabla 3.2.1-10 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab)..... 47 |
| Tabla 3.2.1-11 | Estación Geológica GEOL-14 - Caracterización del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab) 49 |
| Tabla 3.2.1-12 | Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-20 - Caracterización del Abanico Aluvial (Q1Ab) 49 |
| Tabla 3.2.1-13 | Localización de la estación de control geológico para la caracterización del Depósito de Terraza (Q2-t1) 50 |
| Tabla 3.2.1-14 | Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-16 - Caracterización del Depósitos de Terraza Aluvial (Q2t1)..... 52 |
| Tabla 3.2.1-15 | Localización de la estación de control geológico para la caracterización del Depósito de Llanura de Inundación (Q2lli)..... 53 |
| Tabla 3.2.1-16 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-1)..... 55 |
| Tabla 3.2.1-17 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de los Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores (Q2-al2)..... 56 |
| Tabla 3.2.1-18 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización del Relleno Antrópico (Qar)..... 59 |
| Tabla 3.2.1-19 | Datos estructurales capturados a partir de la fotointerpretación y durante la etapa de campo en el área de influencia 61 |
| Tabla 3.2.1-20 | Sismos reportados en un radio de 25 Km alrededor del área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141 (Años 2010 – Actual)..... 64 |
| Tabla 3.2.1-21 | Sismos en un radio de 25 Km alrededor del área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141 71 |
| Tabla 3.2.1-22 | Valores de aceleración pico (Aa) y velocidad pico (Av) - Definición de la zona de amenaza sísmica área aferente al municipio de Cumaral y Restrepo (Departamento del Meta)..... 73 |
| Tabla 3.2.1-23 | Fallas del Sistema de Falla frontal Oriental (Información secundaria) 75 |

| | | |
|----------------|---|----|
| Tabla 3.2.1-24 | Determinación de la amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa en el área de influencia | 78 |
| Tabla 3.2.1-25 | Calificación por amenazas de inundación en el área de influencia | 81 |
| Tabla 3.2.1-26 | Resultado amenaza por inundación en el área de influencia | 81 |
| Tabla 3.2.1-27 | Amenaza por avenidas torrenciales en el área de influencia | 84 |
| Tabla 3.2.1-28 | Resultado amenaza por incendios en el área de influencia | 89 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|-----------------------|---|
| Figura 3.2.1-1 | Localización del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” en el mapa de dominios tectónicos de Colombia 9 |
| Figura 3.2.1-2 | Localización del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” en el mapa de cuencas de Colombia..... 10 |
| Figura 3.2.1-3 | Localización del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” dentro de la cuenca de la Cordillera Oriental (ANH 2007) 11 |
| Figura 3.2.1-4 | Terrenos Estructurales de la cuenca de los Llanos Orientales 23 |
| Figura 3.2.1-5 | Marco geológico estructural a nivel regional del área de influencia donde enmarca el proyecto..... 24 |
| Figura 3.2.1-6 | Marco geológico estructural a nivel regional del área de influencia donde enmarca el proyecto..... 27 |
| Figura 3.2.1-7 | Línea sísmica – Transecta A – A’ del Área de Desarrollo Llanos 141 31 |
| Figura 3.2.1-8 | Línea sísmica – Transecta B – B’ del Área de Desarrollo Llanos 141 32 |
| Figura 3.2.1-9 | Columna estratigráfica en el área de influencia donde se enmarca el Área de Desarrollo Llanos 141 36 |
| Figura 3.2.1-10 | Marco geológico del área de influencia donde se enmarca el Área de Desarrollo Llanos 141 37 |
| Figura 3.2.1-11 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de las rocas de la Formación Guayabo (N2c) - Área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” 39 |
| Figura 3.2.1-12 | Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización das Abanico – Terraza Nivel 1 (N-Qt1) y Nivel 2 (N-Qt2) - Área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” 44 |
| Figura 3.2.1-13 | Afloramiento del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab) dentro del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” 47 |
| Figura 3.2.1-14 | Afloramiento del Depósito de Terraza (Q2-t1) dentro del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” 51 |
| Figura 3.2.1-15 | Localización espacial de las estaciones de control geológico del Depósito de Llanura de Inundación (Q2li) 53 |
| Figura 3.2.1-16 | Localización espacial de las estaciones de control geológico del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-1) 55 |
| Figura 3.2.1-17 | Localización espacial de las estaciones de control geológico del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-2) 57 |
| Figura 3.2.1-18 | Marco geológico estructural del área de influencia donde se enmarca el proyecto..... 61 |
| Figura 3.2.1-19 | Marco geológico estructural del área de influencia donde se enmarca el proyecto..... 62 |
| Figura 3.2.1-20 | Magnitud y Profundidad de los sismos cercanos al área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141 (Información secundaria) 71 |
| Figura 3.2.1-21 | Localización del área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141, según el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica PEI de Retorno 475 Años (Información secundaria)..... 72 |
| Figura 3.2.1-22 | Zonas de Amenaza Sísmica en Función de AA y AV..... 73 |
| Figura 3.2.1-23 | Marco geológico estructural a nivel regional en el área de influencia y las zonas aledañas (Información secundaria) 75 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| Figura 3.2.1-24 | Marco geológico estructural a nivel regional en el área de influencia y las zonas aledañas Vs eventos sísmicos históricos (Información secundaria)..... | 76 |
| Figura 3.2.1-25 | Amenaza Relativa por Fenómenos de Remoción en Masa (AFRM) en el área de influencia | 80 |
| Figura 3.2.1-26 | Variables utilizadas para la amenaza por inundaciones..... | 81 |
| Figura 3.2.1-27 | Amenaza por inundación en el área de influencia | 82 |
| Figura 3.2.1-28 | Modelo conceptual para determinar la amenaza por avenidas torrenciales | 84 |
| Figura 3.2.1-29 | Amenaza por avenidas torrenciales en el área de influencia | 84 |
| Figura 3.2.1-30 | Mapa de isoniveles ceránicos para Colombia (Área de 30 km x 30 km) - 1999 (Información secundaria) | 87 |
| Figura 3.2.1-31 | Mapa de densidad de rayos para Colombia-2012 (Información secundaria) | 88 |
| Figura 3.2.1-32 | Amenaza total por incendios forestales en el área de influencia | 90 |
| Figura 3.2.1-33 | Amenaza por sequía en el área de influencia..... | 92 |

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

| | Pág. |
|--|------|
| Fotografía 3.2.1-1 Estación Geológica GEOL-9 - Caracterización de la Formación Guayabo (N2c)..... | 40 |
| Fotografía 3.2.1-2 Estación Geológica GEOL-10 - Caracterización de la Formación Guayabo (N2c)..... | 40 |
| Fotografía 3.2.1-3 Estación Geológica GEOL-5 - Caracterización del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab)..... | 48 |
| Fotografía 3.2.1-4 Estación Geológica GEOL-4 - Caracterización Geológica de del Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Mayores (Q2al-1) – Río Guacavía..... | 54 |
| Fotografía 3.2.1-5 Estación Geológica GEOL – 7 - Caracterización Geológica de del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-1) – Río Guatiquía..... | 56 |
| Fotografía 3.2.1-6 Estación geológica GEOL-3 Detalle del Depósito Aluvial Asociado a Cauces Menores (Q2-al2)..... | 58 |
| Fotografía 3.2.1-7 Estación geológica GEOL-13. Detalle del Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores (Q2-al2)..... | 58 |
| Fotografía 3.2.1-8 Estación geológica GEOL-6. Detalle del Relleno Antrópico (Qar)..... | 60 |

3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INFLUENCIA

3.2 MEDIO ABIÓTICO

La caracterización del componente geosférico del área de influencias donde se enmarca el Estudio de Impacto Ambiental del Área de Desarrollo Llanos 141, involucró la descripción de los componentes de geología, amenazas naturales, geomorfología, suelos, paisaje, hidrología, hidrogeología y geotecnia, las cuales se consideran los más representativos a la escala de trabajo definida para el presente estudio (escala 1:10.000).

Es así, como en el presente capítulo inició con la descripción generalizada de la información del componente geológico tomando como punto de partida la existente en el Servicio Geológico Colombiano -SGC (antes llamado INGEOMINAS) y la contenida en los estudios elaborados por las firmas consultoras en la zona de interés. Paso seguido, se continuó con la descripción detallada de las características más relevantes del marco geológico regional y local (estratigrafía y estructural), sobre la base de una etapa de reconocimiento de campo; y cuyo resultado está representado por un informe y cartografía geológica a escala 1:10.000.

A continuación, la caracterización de las amenazas naturales se realizó desde el punto de vista de la actividad sísmica (tomando el registro de los últimos 12 años, es decir desde el año 2010), de los movimientos en masa (tomando como punto de partida la información contenida en el Mapa Nacional de Amenaza por Movimientos en Masa del año 2016, emitido por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la amenaza por inundación se realizó a partir de la información secundaria disponible en el Mapa de Inundaciones Periódicas emitido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y de acuerdo con la Guía Técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia (MADS, 2018) ¹. Para la determinación de la amenaza Cerámica, se tomó como base el documento de evaluación del riesgo por rayos incluyendo un sistema de alarma de tormentas en Colombia (SAT)² y la Norma Técnica Colombiana NTC 4552-1 - Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos) (Versión 2008-11-26) ³ en donde se referencia el nivel cerámico y la densidad de rayos a la tierra de acuerdo con el mapa de ISO-niveles cerámicos y el mapa de densidad típica de Colombia en una escala de 1:500.000.

Posteriormente, se continuó con la caracterización del componente geomorfológico, la cual tomó como base la metodología del sistema de clasificación geomorfológica propuesta por Alfred Zinck (1986) y adaptada por la subdirección Agrologica del Instituto Geográfico “Agustín Codazzi” (IGAC)⁴. La introducción al tema se realizó enmarcando el área de influencia en el ambiente geo estructural respectivo, para posteriormente realizar una descripción detallada de las unidades morfogenéticas (entre los que encontramos el paisaje de montaña hasta el deposicional y los diferentes tipos de relieves y formas del terreno asociados), las características morfológicas (índice de rugosidad, intervalos de pendiente, índice de contraste, longitud de laderas, patrón del drenaje) y finalmente, los procesos morfodinámicos.

La descripción de los suelos y sus componentes taxonómicos se desarrolló de acuerdo con los lineamientos del Sistema Taxonómico Americano (USDA, 2010)⁵ y con base en la información existente del “Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras, Departamento del Meta Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004⁶. Dicha información permitió generar los respectivos mapas de:

¹ MADS. Guía para el acotamiento de las rondas hídricas, 2018.

² Tomado de Evaluación del riesgo por rayos incluyendo un sistema de alarma de tormentas (SAT) en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C., año 2015.

³ Norma Técnica NTC-4552-1, Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, Bogotá D.C., año 2008.

⁴ Zinck, Alfred. Physiography and soils. Bogotá. 1988

⁵ United States Department of Agriculture –USDA. Natural Resources Conservation Services NRCS. Keys to soil taxonomy eleventh edition, 2010.

⁶ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI- IGAC. Estudio general de suelos y zonificación de tierras, departamento del Meta. 2004

suelos, uso actual del suelo, capacidad de uso del suelo (uso potencial o uso principal) y conflictos de uso del suelo.

La caracterización hidrológica, comprendió el análisis de la dinámica del recurso hídrico a partir de: la identificación de sistemas lentos y loticos, en el cual se describen los principales cuerpos de agua localizados en el área de influencia, y análisis morfométrico de cuencas, así como el análisis de los patrones de drenaje de las corrientes presentes en el área, régimen hidrológico y caudales característicos de las corrientes de mayor interés, dinámica fluvial, donde se incluye análisis de la alteración de la dinámica fluvial e identificación de usos y usuarios del recurso, a partir de la información capturada durante la recopilación de la información primaria.

El alcance del componente hidrogeológico está enfocado en la caracterización del agua subterránea, a partir del análisis de información existente y el inventario de puntos de agua subterránea (pozos, aljibes y manantiales), así como un análisis físico químico y bacteriológico en una red de monitoreo por cada unidad hidrogeológica, determinación de la vulnerabilidad de las unidades hidrogeológicas identificadas, caracterización de la cartografía hidrogeológica y finalmente la elaboración de un bloque diagrama del modelo hidrogeológico conceptual del área de influencia.

Finalmente, la zonificación geotécnica se realizó aplicando la metodología modificada (VARGAS, GOMEZ, & MONSALVE, 1999), la cual consiste en una metodología heurística semicuantitativa, cuyos lineamientos son el resultado de la evaluación interdisciplinaria y la experticia del grupo de profesionales que se fundamenta en el conocimiento del terreno de las temáticas de mayor relevancia en la generación de procesos de inestabilidad y erosión. A continuación, se realiza la descripción detallada de cada uno de los entornos mencionados anteriormente.

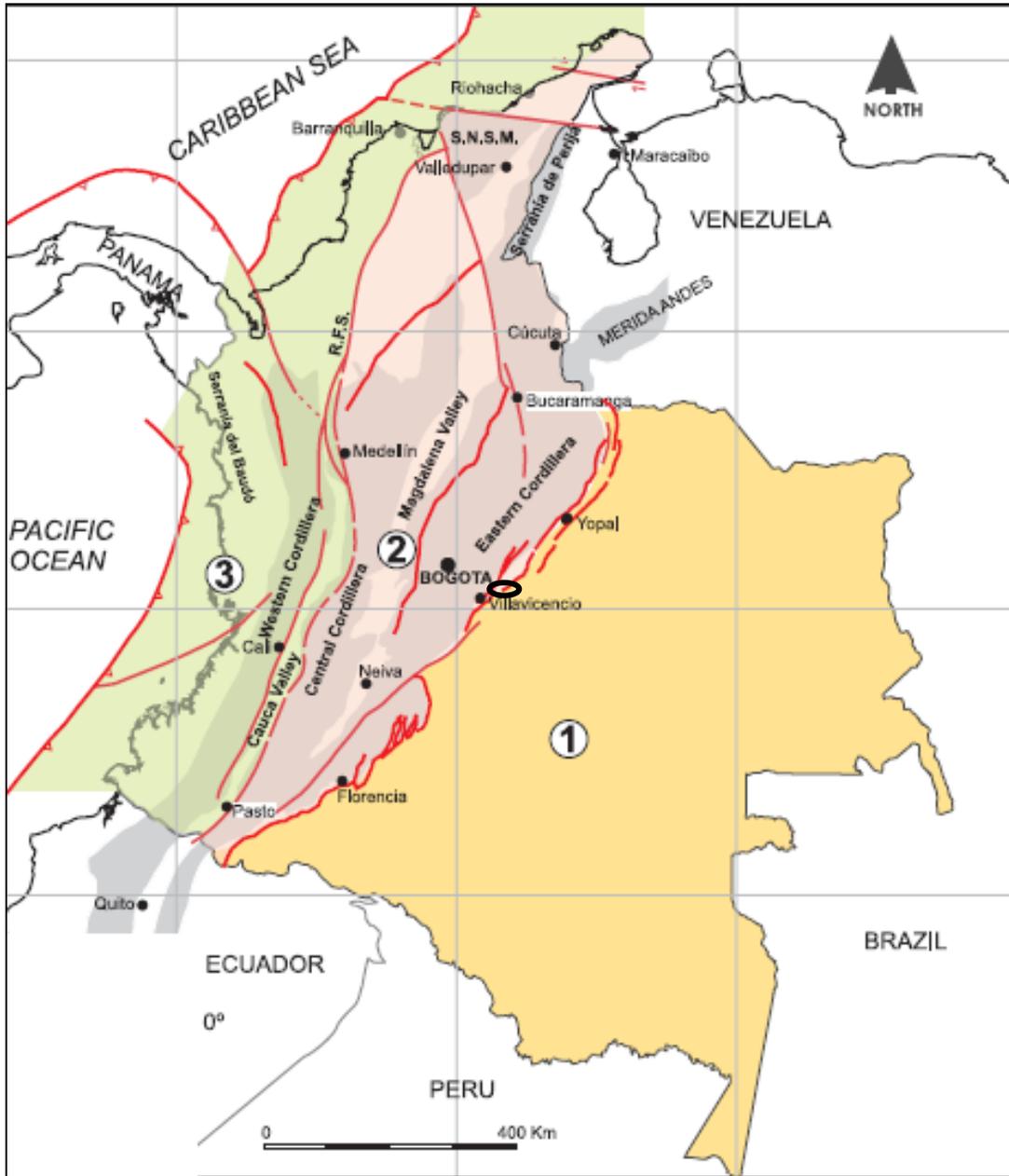
3.2.1 Geología

La evaluación geológica está orientada a la obtención del modelo geológico del área de influencia del Área de desarrollo Llanos 141, el cual es un pilar para la elaboración de la línea base, identificación y evaluación de los elementos ambientales que puedan verse impactados o afectados antes como durante el desarrollo de las actividades definidas para la presente estudio de impacto ambiental; En este orden de ideas, la generación del modelo geológicos, tanto estratigráfico como estructural, son derroteros de primer orden para poder diferenciar el comportamiento entre las unidades litológicas o materiales con comportamientos geotécnicos diferentes, presentes al interior del área de Influencia.

3.2.1.1 Geología Regional

Para entender las características geológicas a nivel regional y local sobre las que se encuentra el área de influencia donde se enmarca el proyecto, se hace necesario la ubicación de está, con relación a los dominios tectónicos definidos en Colombia según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), tales como: Región Este (1), Central (2) y la Oeste (3), las cuales están limitados con relación a los rasgos estructurales regionales, como lo son los grandes sistemas de fallas. Para el caso particular del área en mención, es claro, tal como se puede observar en la **Figura 3.2.1-1**, que se encuentra ubicada sobre el dominio tectónico denominado REGIÓN CENTRAL (identificada con el número 2).

Figura 3.2.1-1 Localización del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” en el mapa de dominios tectónicos de Colombia

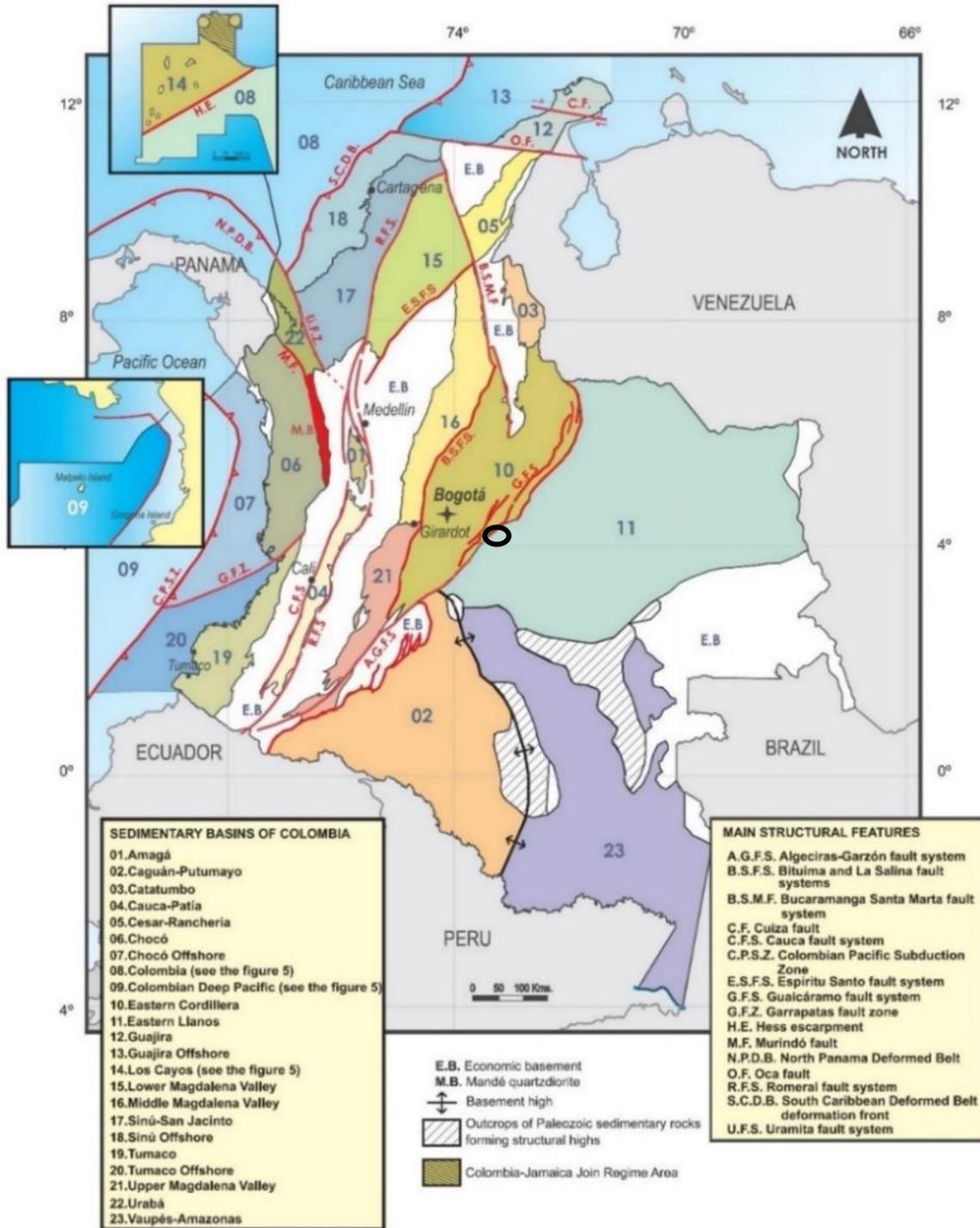


○ Área de influencia donde se enmarca el proyecto

Fuente: Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal

Adicionalmente, de acuerdo con el texto de la Agencia Nacional de Hidrocarburos denominado Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (Ao, 2007), geológicamente el territorio colombiano está conformado por 23 cuencas sedimentarias y estas a su vez están separadas por 16 rasgos estructurales principales. Es así, como el área de influencia está localizada en la cuenca denominada “Cordillera Oriental” (identificada con el número 10) y achurada en color verde claro (Figura 3.2.1-2).

Figura 3.2.1-2 Localización del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” en el mapa de cuencas de Colombia

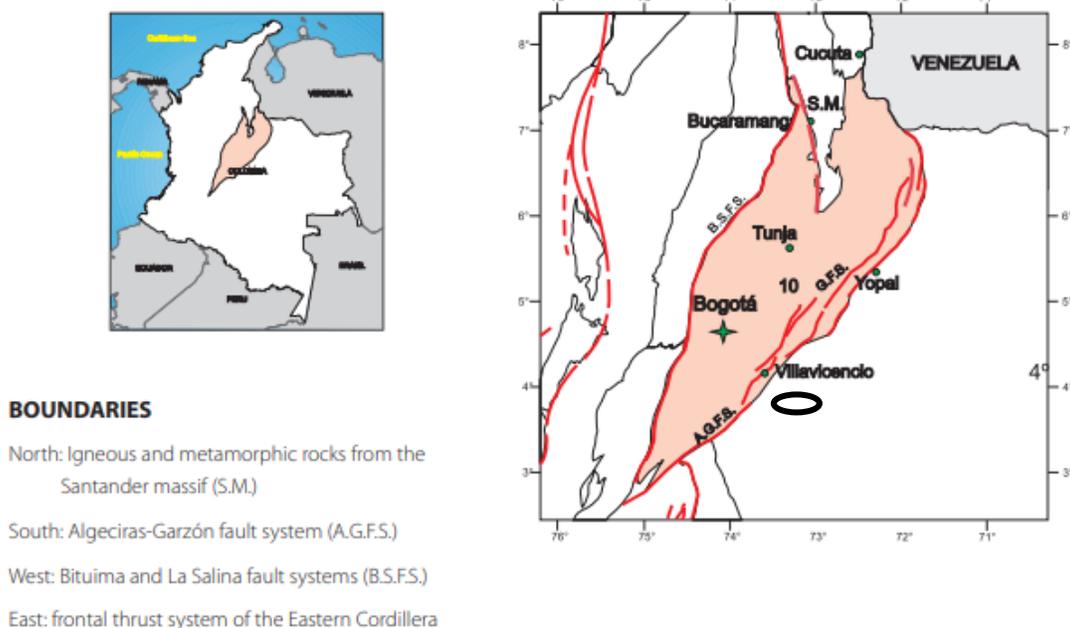


○ Área de influencia donde se enmarca el proyecto

Fuente: Tomado de Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal (año 2007)

Finalmente, la cuenca sedimentaria de la Cordillera Oriental como consecuencia de su origen y desarrollo estructural presenta los límites actuales muy irregulares y difíciles de describir de manera general. Al este y oeste los límites son fallas escalonadas bien desarrolladas que ejercen un empuje sobre las otras cuencas, el límite oriental se conoce como el sistema de cabalgamiento frontal de la cordillera Oriental (G.F.S.), hacia el oeste la cuenca está limitada por el sistema de fallas de rumbo dextral Algeciras – Garzón denominada como A.G.F.S. El límite norte esta dado ocas ígneas y metamórficas del macizo de Santander identificado como M.S, tal y como se presenta en la **Figura 3.2.1-3**.

Figura 3.2.1-3 Localización del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” dentro de la cuenca de la Cordillera Oriental (ANH 2007)



○ Área de influencia donde se enmarca el proyecto

Fuente: Tomado de *Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal Geología Histórica* (año 2007)

3.2.1.1.1 Estratigrafía Regional

A la luz de la información geológica regional consignada en la Memoria Explicativa de la Cartografía Geológica de la plancha 247 - Cáqueza. Escala 1:100.000⁷, Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁸, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001⁹, Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010¹⁰ y el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guatiquía. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (CORMACARENA). Escala 1:25.000. Resolución No. 003 del

7 INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Cartografía Geológica de la plancha 247 Cáqueza. Escala 1:100.000. Bogotá, mayo de 2011

8 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

9 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

10 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

7 de diciembre de 2010¹¹, información que fue debidamente identificada, evaluada y analizada en el numeral 1.63_Medio abiótico del Capítulo 1.0_Generalidades, se identificó que el área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” se localiza regionalmente en el Piedemonte Llanero y específicamente en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, enmarcada dentro de una franja elongada con dirección preferencial SW - NE y limitada e intersectada por el Sistema de Fallas de Guiacaramo.

La complejidad estructural generada por los sistemas de fallas antes mencionados, desencadena que actualmente se presente en el área donde se enmarca el proyecto una tectónica compresiva (en el sector noroccidental), ocasionado que las rocas aflorantes se encuentren plegadas, falladas y diaclasadas, formando estructuras asimétricas con dirección preferencial NE-SW.

Como un expresión de lo anteriormente enunciado, el área de influencia se caracteriza por presentar una morfología variada, siendo ondulada hacia costado noroccidental a ligeramente inclinada - plana hacia el costado suroriental, reflejo del afloramiento de rocas Cretácicas, Paleógenas – Neógenas y del Cuaternario, las cuales están siendo cubiertas parcial y aleatoriamente hacia el centro del área por una amplia cobertura de depósitos cuaternarios de origen fluvial y fluviotorrencial (estos últimos de morfología plana a suavemente inclinada y de poco espesor).

El Área de Desarrollo Llanos 141 se localiza en el costado suroccidental de la cuenca sedimentaria de los Llanos Orientales, en cercanías del piedemonte de la Cordillera Oriental. Esta cuenca es de tipo antepaís (foreland basin), cuya evolución está relacionada con el desarrollo de la margen convergente occidental de Sur América y especialmente con el levantamiento de la Cordillera Oriental durante el Mioceno – Plioceno. Presenta una espesa secuencia de rocas sedimentarias depositadas durante el Mesozoico – Cenozoico, basculada hacia el occidente y que se acuñan hacia el oriente.

Por su evolución geológica, la cuenca de los Llanos Orientales se puede dividir en dos dominios principales: dominio del Piedemonte y dominio de los Llanos y este último puede dividirse a la vez en dos sub-dominios: Llanos de Casanare-Arauca y Llanos del Meta¹². El Área de Desarrollo Llanos 141 se localiza bajo el subdominio de Llanos del Meta; sin embargo, el límite occidental se ubica sobre la transición de los dos dominios principales, Piedemonte - Llanos.

La evolución geológica de la cuenca de los Llanos Orientales inició en el Paleozoico Inferior (Cámbrico – Ordovícico), cuando se presentó una fase de rifting de tipo continental de relleno; la sedimentación provenía del cratón, depositando materiales siliciclásticos sobre el basamento cristalino Precámbrico¹³; posteriormente la Orogenia Caledoniana (Silúrico – Devónico), produjo metamorfismo en los sedimentos Cambro – Ordovícicos y generó una zona parcialmente emergida que se convirtió en fuente de sedimentos, la cual posteriormente sería la actual Cordillera Central¹⁴.

En el Paleozoico Superior una transgresión marina sedimentó las rocas metamórficas e intrusivas preexistentes; movimientos tectónicos de finales del Paleozoico levantaron el área, que fue sometida a una fuerte erosión, especialmente por el área de la ancestral Cordillera Central, depositando una gruesa secuencia de sedimentos continentales¹⁵.

11 UT POMCA RIO GUATIQUEIA. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (CORMACARENA). Escala 1:25.000. 2014

12 GOMEZ, Y.; YORIS, F.; RODRÍGUEZ, J.; PORTILLO, F.; ARAUJO, Y. Aspectos hidrodinámicos, estructurales y estratigráficos del Campo Rubiales. Cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. Pacific Rubiales Energy. Bogotá D.C. 2009. p. 02.

13 BARRERO, D.; PARDO, A.; VARGAS, C. y MARTÍNEZ, J. Colombian Sedimentary Basins: Nomenclature, Boundaries and Petroleum Geology, a New Proposal. ANH. Bogotá D.C., 2007. p.69

14 AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS-ANH. Levantamiento Aerogravimétrico y Aeromagnético, Sectores norte y oriental de la Cuenca de los Llanos Orientales, Colombia. Contrato No. 034. Informe final de interpretación, 2009. p. 5.

15 Ibid., p. 5.

El Cretácico basal reposa sobre diferentes conjuntos litológicos desde el Precámbrico hasta el Jurásico, lo cual atestigua un periodo de fallamiento (tectónica de bloques) y un importante periodo erosivo pre-Cretácico, lo anterior significa que las unidades Jura-Triásicas fueron zonas de aporte temporal para las unidades más bajas de la trasgresión Cretácica, la cual alcanza su máximo avance durante el Coniaciano – Santoniano, cuando cubre prácticamente toda la megacuenca, con una depositación aparentemente continua hasta comienzos del Cenozoico. En el periodo comprendido entre el Maastrichtiano y el Paleoceno Temprano, se presentó el evento final de la acreción de la Cordillera Occidental, lo que generó el levantamiento y erosión de la Cordillera Central¹⁶, ocasionando que la cuenca de los Llanos Orientales continuara como una cuenca de depositación, cambiando de condiciones marinas a no marinas¹⁷.

Posteriormente en el Eoceno Medio un importante evento compresivo afectó el Valle del Magdalena y la margen occidental de la Cordillera Oriental, debido al incremento en las tasas de convergencia de las placas de Nazca y Sur América¹⁸; en el periodo de tiempo Eoceno Tardío – Oligoceno Tardío se generó una intensa deformación de las cordilleras Occidental y Central, produciéndose en la cuenca de los Llanos Orientales un prolongado periodo de subsidencia, en el cual se desarrolló fallamiento normal localizado, como respuesta a la flexión de la litosfera en la cuenca de antepaís¹⁹, dando origen a depósitos fluviales, de llanuras costeras y perimareales²⁰. Este doblamiento de la cuenca continuó hasta el Mioceno Temprano, causando una continua subsidencia en la zona²¹.

En el Mioceno Medio, una fase de rápida deformación, levantamiento y erosión comenzó en la Cordillera Oriental, estableciéndose el piedemonte llanero como el área de depositación de mayor espesor en la cuenca y dando origen a unidades de ambientes deltaicos a fluviales de alta energía.

Finalmente, a partir del Mioceno Tardío y hasta el reciente, se ha presentado una fase de compresión e inversión tectónica asociada con el plegamiento y cabalgamiento de la Cordillera Oriental²². Los depósitos cuaternarios presentes en la Cuenca de los Llanos Orientales, se han generado a partir de la erosión, arrastre y depositación de los sedimentos provenientes de la Cordillera Oriental, apoyados además por la sucesión de las diferentes épocas glaciares del Cuaternario, eventos que produjeron grandes cauces por los cuales se transportaron enormes cantidades de sedimentos, los cuales conformaron abanicos aluviales en cercanía al piedemonte y depósitos de llanura aluvial que constituyen morfológicamente la Sabana de los Llanos Orientales.

De acuerdo a la nomenclatura de las unidades operativas usados por Ecopetrol S.A. para el área en evaluación y los campos de hidrocarburos cercanos, se tiene que el Cretáceo Inferior - Superior lo constituye la Formación Une (Unidad operacional K2), el Cretácico Superior está constituido por la Formación Chipaque / Guadalupe (Unidad operacional K1) y suprayaciendo de forma discordante por rocas Paleógenas de la Formación San Fernando (Unidad operacional T2), la Formación Carbonera (constituida de base a techo por las unidades Lutita E4, Arenisca T1, Lutita E3, Unidad C2, Areniscas de Carbonera, Lutita E y Unidad C1) y las formaciones León, Guayabo y los Depósitos Cuaternarios.

En la **Tabla 3.2.1-1**, se presenta la columna estratigráfica definida por Ecopetrol S.A. en el área del **Campo Apiay** y sus correspondientes unidades operacionales con amplia similitud a las definidas

¹⁶ COOPER, M.; ADDISON, F.; ALVAREZ, R.; HAYWARD, A.; HOWE, S.; PULHAM, A.; TABORDA, A. Basin development and tectonic history of the Llanos basin, Colombia. En: TANKARD, A.; SUÁREZ, S., y WELLSINK H., Petroleum basins of South America: AAPG Memoir 62. 1995. p. 660.

¹⁷ GOVEA & AGUILERA. Cuencas sedimentarias de Colombia. 1986. Cuadernos Técnicos de ECOPETROL S.A., No. 4, 79. p. 42.

¹⁸ COOPER, M. y otros. Óp. cit., p. 660.

¹⁹ Ibid.

²⁰ GOMEZ, Y. y otros. Óp. cit., p. 01.

²¹ COOPER, M. y otros. Óp. cit., p. 660.

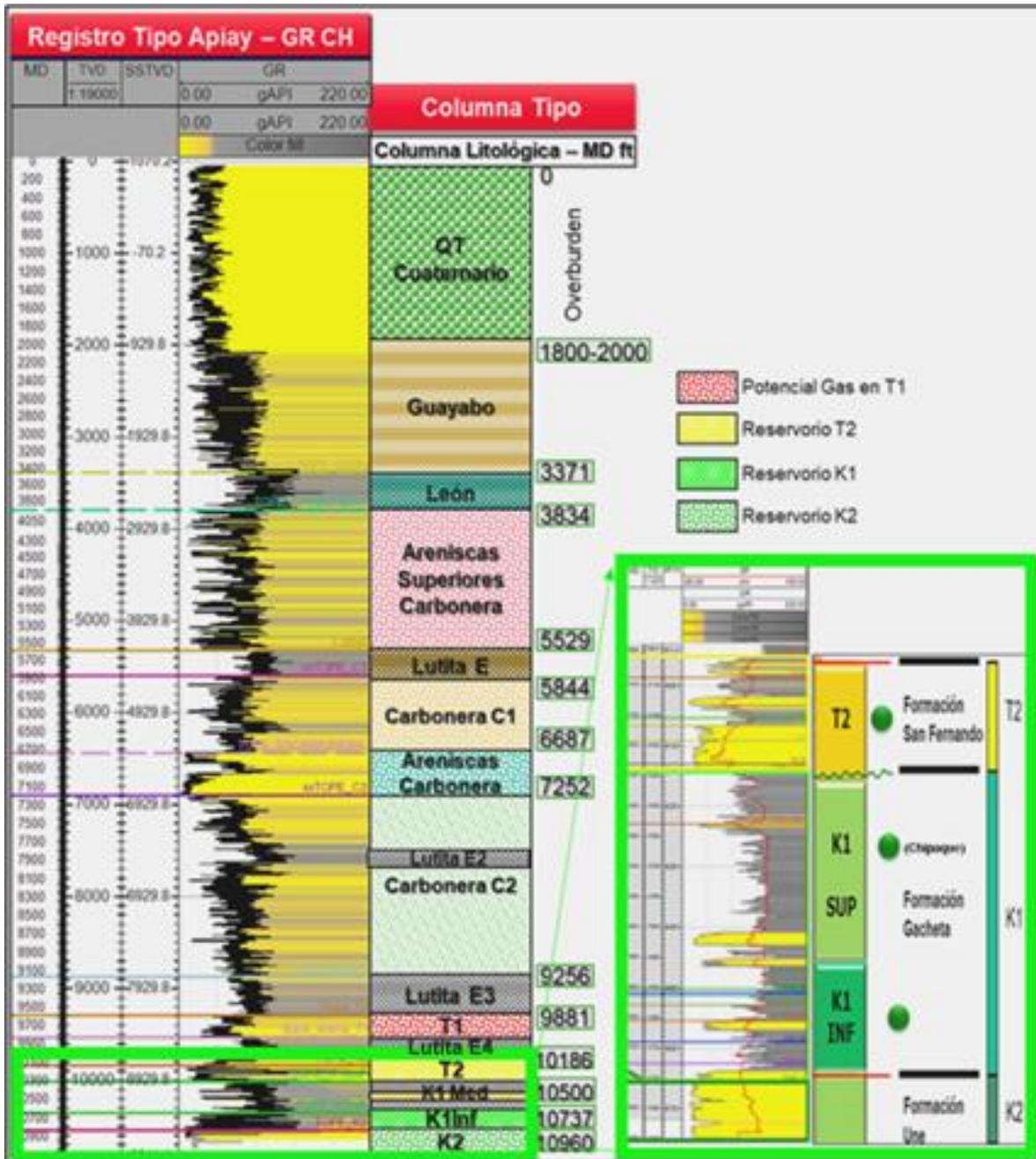
²² Ibid.

para el AD Llanos 141 y observándose las potenciales unidades receptoras relacionadas con la Unidad C1, Areniscas de Carbonera, Areniscas T1, Unidades T2, K1 y K2, aunque en este sector de la cuenca las unidades tienen un poco menos de espesor que en el AD Llanos 141.

En el área de estudio se presentan en superficie principalmente sedimentos cuaternarios fluviales y fluvioaluviales y en menor proporción afloran rocas neógenas de la Formación Guayabo Nivel Superior, que conforman acuíferos por porosidad primaria de baja a mediana productividad.

A continuación, se presenta el margo geológico definido para la ventana cartográfica y columna estratigráfica y una breve descripción de las mismas unidades, de la más antigua a la más reciente, a partir de la información previamente referida.

Tabla 3.2.1-1 Columna estratigráfica generalizada de la cuenca de los Llanos Orientales (Llanos del Meta) y registro tipo para los reservorios en el Bloque Apiay



Fuente: (ECOPEPETROL S.A. y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

A continuación, se presenta las profundidades y espesores promedio de las unidades litoestratigráficas en el Área de Desarrollo Llanos 141, con base en la información geológica de los pozos perforados dentro del polígono del AD Llanos 141 (Vanguardia-1, Guacavía-1 y Llanos-1). La descripción litológica, espesores y definición de los tres miembros de la Formación Guayabo, se extrae de información de pozos perforados dentro del AD y de pozos de hidrocarburos de campos cercanos (pozos Apiay-30, Guaitiquia-10 y Suria-15 ubicados en los campos Apiay y Suria – Bloque Apiay), que por su cercanía permite, como ya se ha mencionado, hacer analogías entre las áreas, especialmente las características litológicas y petrofísicas (campos Suria y Castilla), aunque difieren en algunas unidades de la Formación Carbonera (Areniscas Superiores y la posición de la Lutita E y Unidad C1).

Se hace énfasis en las unidades de interés que potencialmente podría estar sujetas a inyección correspondientes a las unidades operacionales K2, K1, T1 y Carbonera (Unidades: Arenisca T1, Areniscas de Carbonera y Unidad C1), las unidades que constituyen el sello regional suprayacente que corresponde a las formaciones León y Guayabo Nivel Inferior y Medio y las unidades que conforman los acuíferos someros que almacenan agua dulce correspondiente a la Formación Guayabo Nivel Superior y los Depósitos Cuaternarios.

- **Período: Cretáceo**
- ✓ **Unidad: Formación Une - Kiu (Unidad K2)**

Localidad tipo: Carretera Bogotá - Villavicencio, entre Chipaque y Cáqueza. Esta unidad fue descrita inicialmente por Hubach (1975 a), quien propone el nombre de la Formación Une para referirse a una secuencia de arenitas de grano fino con intercalaciones de lutitas en la parte media. Las arenitas se encuentran potentes bancos con estratificación inclinada y bajo ángulo; el color por lo general es gris oscuro, pero también se presenta en colores claros.

Expresión geomórfica: La morfología de esta unidad es de escarpes altos.

Descripción litológica: Compuesta principalmente por arenisca con ocasionales intercalaciones de limolita y arcillolita en la parte superior y en la parte media y hasta la profundidad final está conformada por arena que se presume para el sitio, debe estar reposando sobre rocas del Paleozoico. La arenisca es cuarzosa, de grano fino, local medio, regular a buena selección, cemento silíceo, local dolomítico, ocasional calcáreo, con inclusiones de pirita. La arena es cuarzosa, blanca lechosa, hialina, translúcida, grano fino a medio, buena selección. La arcillolita predomina pardo oscuro, ocasional parda clara, moderadamente firme, local blanda, homogénea, ligeramente limosa, micro micácea, soluble, gomosa, no calcárea. La limolita, predomina pardo oscuro gris media, moderadamente firme, sublocosa, local grada a arenisca de grano muy fino, micro micácea, micropirítica, con ligeras inclusiones carbonosas y de glauconita, no calcárea.

Espesor: El espesor promedio esperado en el AD Llanos 141 es de 198 pies y se espera hallar a más de 10.850 pies de profundidad. Es objetivo como productora y también sería objeto de reinyección para recobro y mantenimiento de la presión del yacimiento y disposición final. El espesor promedio en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 151 pies y se espera hallar en promedio a 13.300 pies de profundidad.

Naturaleza de los límites de la unidad: El contacto inferior con la Formación Fómeque (Kif) es neto y concordante. Muy cerca del municipio de Labranza Grande, el contacto superior con la Formación Chipaque (Ksc) es neto y concordante.

Ambiente de sedimentación: El ambiente de depositación se interpreta como deltaico con influencia marina (Ulloa & Rodríguez, 1976, Ulloa & et ál., 2001)

Edad: Ha sido considerada Albiano – Cenomaniano (Burgl, H., 1957 y Campbell, C., 1962 en Ulloa et al., 2001).

Sección estratigráfica: A continuación, se presenta una columna estratigráfica generalizada con base en datos de campo en la transversa entre el Alto del Pedrisco y el Alto Los Verdes y observaciones de la parte superior de la unidad en el oriente del sitio de Guerrero (**Figura 3.2.1-5**).

Correlación: De acuerdo con el cuadro comparativo de los nombres utilizados en la región de los llanos Orientales. Modificado de ECOPETROL – ICP – GER, 2000 (Tomado de Alvarado, S. y otros. INGEOMINAS (2009), la Formación Une conserva el mismo nombre.

✓ **Unidad: Formación Chipaque o Guadalupe - Ksc (Unidad K1)**

Localidad tipo: Se encuentra en las inmediaciones de la población de Chipaque. El nombre de formación en mención fue dado por Hubach (1931b) y redefinido por Renzoni (1962). La formación se caracteriza por presentar lodolitas que suprayacen e infrayacen las unidades areníticas, que son respectivamente, la Formación Une (Kiu) y el Grupo Guadalupe (Guerrero & Sarmiento, 1996). Aflora hacia el costado noroccidental (Plancha Geológica 192 – Laguna de Tota) de la ventana cartográfica definida para el presente estudio.

Expresión geomórfica: La morfología de esta unidad es escarpada.

Descripción litológica: Está compuesta básicamente por dos niveles: el inferior o K1-Inferior de predominio arenoso que está constituido por una intercalación de areniscas de grano fino a medio y arcillolitas y un nivel superior o K1-Superior de predominio arcilloso separados por niveles de areniscas cuarzosas de poco espesor; los niveles más finos están constituidos por una serie de lutitas negras con intercalaciones de arcillolitas y limolitas glauconíticas que actúan como capa sello y la separan de los niveles arenosos de la Formación San Fernando T2, (Ecopetrol S.A, 2013) en Ecopetrol- WSP, 2021²³

Unidad K1 – Inferior. Está constituida desde el tope hasta su base por una secuencia de areniscas intercaladas predominantemente con limolitas y en menor proporción con arcillolitas y lutitas. La arenisca es cuarzosa, parda clara, consolidada, local friable, cuarzo de grano fino, regular a buena selección, cemento silíceo, local dolomítico, ocasional calcáreo, con inclusiones de pirita. La limolita predomina gris media, moderadamente firme, local grada a arenisca de grano muy fino, micromicácea, micropirítica, con ligeras inclusiones carbonosas y de glauconita, no calcárea. La arcillolita es gris oscura, moderadamente firme, local blanda, homogénea, sublamina, no calcárea. La lutita es gris medio, firme a moderadamente firme, micromicácea, micropirítica, con inclusiones carbonosas, ligeramente limosa.

Es objetivo como productora y también sería objeto de reinyección para recobro y mantenimiento de la presión del yacimiento y disposición final. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de **3.237** pies y se espera hallar **en promedio** a más de **12.919** pies de profundidad.

Unidad K1 – Superior. Está compuesta por un grueso paquete de limolitas intercalado con delgados niveles de arenisca, arcillolitas, un escaso nivel de arena hacia el tope y esporádicos niveles de lutita. La arenisca es cuarzosa, cuarzo de grano fino a muy fino, ocasional medio. La arena es cuarzosa, blanca hialina, grano fino a medio menor grueso a muy grueso. La limolita es gris verdosa, moderadamente firme, local grada a arenisca de grano muy fino, micromicácea, micropirítica, no calcárea. La arcillolita es gris medio, parda rojiza, local limosa, soluble, gomosa, no calcárea y la lutita es de color verde grisáceo, ocasional pardo claro, subastillosa, sublamina, homogéneo, ligeramente limosa.

²³ ECOPETROL S.A – CONCOL By WSP. Modelo Hidrogeológico Matemático Tridimensional para el Bloque Apiay. 2021. p78

En la zona de interés se estima que puede estar presente **en promedio** a más de **12.533** pies de profundidad con un espesor de **370** pies.

Naturaleza de los límites de la unidad: Descansa concordante sobre la Formación Une (Kiu) y suprayace igualmente concordante con el Grupo Guadalupe.

Ambiente de sedimentación: En su parte inferior refleja zonas de bahías someras, zonas inundadas con depósitos de pantanos, lagunas costeras, llanuras de marea en un régimen de baja energía dominado por olas, según Guerrero & Sarmiento (1996). La presencia de arcillolitas negras ricas en materia orgánica, son indicativo de depósitos en aguas poco profundas. Hacia la parte media de la formación se observó predominio de arenitas de cuarzo de grano fino a grueso, que son indicativos de un sistema transgresivo con ambientes marinos de fuera de costa. Hacia la parte superior hay predominio de lutitas negras, con intercalaciones de arenitas de cuarzo y en algunas localidades con niveles de caliza, acumulada en aguas poco profundas en la plataforma.

Edad: Vergara & Rodríguez (1995) realizaron análisis bioestratigráficos con muestras recolectadas cerca al sitio denominado El Crucero y de secciones en el área del piedemonte, y obtuvieron una edad para esta formación del Cenomaniano al Campaniano.

Sección estratigráfica: A continuación, se presenta una columna estratigráfica generalizada con base en datos de campo en la transversa entre el Alto del Pedrisco y el Alto Los Verdes y observaciones de la parte superior de la unidad en el oriente del sitio de Guerrero (**Figura 3.2.1-6**).

Correlación: De acuerdo con el cuadro comparativo de los nombres utilizados en la región de los llanos Orientales. Modificado de ECOPETROL – ICP – GER, 2000 (Tomado de Alvarado, S. y otros. INGEOMINAS (2009), la Formación Chipaque se correlaciona con la Formación Gacheta.

- **Periodo: Paleógeno**
- ✓ **Formación San Fernando – Unidad T2 (Eoceno)**

Está constituida por una secuencia continua de areniscas con intercalaciones de limolitas, arcillolitas y en menor proporción lutitas. La arenisca es cuarzosa, consolidada, friable a moderadamente firme, cuarzo grano fino a muy fino, ocasional medio, regular selección, cemento calcáreo. La limolita es pardo oscuro, firme, subblocosa, local sublaminar, grada a arenisca de grano muy fino, micromicácea, local microcarbonosa, no calcárea. La arcillolita es gris, homogénea, subblocosa, sublaminar, local limosa, micromicácea, micropirítica, soluble, gomosa, no calcárea. La lutita es parda, gris verdosa clara, parda oscura, moderadamente firme a firme, laminar a sublaminar, micromicácea, limosa, ocasionalmente micropiritosa, lustre sedoso.

Es objetivo como productora y también sería objeto de reinyección para recobro y mantenimiento de la presión del yacimiento y disposición final. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de **386** pies y se espera hallar **en promedio** a más de **12.054** pies de profundidad.

- ✓ **Unidad: Formación Carbonera**

Descripción litológica: Se caracteriza por la sedimentación de areniscas y lutitas intercaladas de gran espesor que alcanza en el sitio alrededor de 5.800 pies. Las intercalaciones de los intervalos arenosos y lutíticos han sido diferenciados por Ecopetrol S.A. como unidades operativas que de base a tope se identifican así: Lutita E4, Arenisca T1, Lutita E3, Unidad C2, Areniscas de Carbonera, , Lutita E y **Unidad C1**. De los anteriores niveles cuatro son predominantemente arcillosos (Lutita E4, Lutita E3 y Unidad C2 y Lutita E) conformando sellos con más de 2.800 pies que confinan las unidades infrayacentes.

Lutita E4

Está constituida principalmente por un paquete importante de lutitas gris verdoso, intercaladas con una secuencia continua de arcillolitas de color pardo grisáceo, no calcárea y delgados niveles de limolitas de textura terrosa con inclusiones microcarbonosas. El espesor promedio esperado es de 479 pies y se hallaría [en promedio](#) a más de 11.892 pies de profundidad.

Arenisca T1

Está compuesta en su parte superior por niveles de limolita con intercalaciones de arenisca, arcillolita y lutita, en su parte media por arcillolita con algunos niveles de limolita intercalados con niveles de areniscas y hacia su parte inferior por arenisca intercalada con arcillolita. Es objetivo como productora y también sería objeto de reinyección para recobro y mantenimiento de la presión del yacimiento y disposición final. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 161 pies y se espera hallar a más de 11.505 pies de profundidad.

Lutita E3

Está compuesta por una secuencia de lutitas grises oscuro con intercalaciones de arcillolitas y delgados niveles de limolita. En la zona de interés se estima que puede estar presente [en promedio](#) a más de 9.134 pies de profundidad con un espesor de 387 pies. [Se comporta como un sello de baja permeabilidad.](#)

Unidad C2

Compuesto por arcillolitas, limolitas, lutitas y areniscas, en sucesivas intercalaciones. Las arcillolitas son grises, laminares moderadamente firme, las limolitas son pardas rojizas, blandas a moderadamente firmes, la lutita es laminar, micromicácea, astillosa y moderadamente firme, la arenisca es gris claro, blanco lechoso, de grano fino a muy fino, subangular y en algunos casos calcárea. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 2.371 pies y se espera hallar [en promedio](#) a más de 8.429 pies de profundidad. [Se comporta como un sello de baja permeabilidad.](#)

Areniscas de Carbonera

Niveles de areniscas grises a verde claro de grano muy fino a medio, cuarzosas, moderadamente consolidada, subangular, menor subblocosa, buena selección, alternados con delgados niveles de arcillolita gris claro y limolitas grises en menor proporción. Es objetivo como productora y también sería objeto de reinyección para recobro y mantenimiento de la presión del yacimiento y disposición final. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 706 pies y se espera hallar a más de 7.046 pies de profundidad. [Se comporta como un sello de baja permeabilidad.](#)

Lutita E

Compuesta principalmente por niveles de lutitas gris verdosa clara, gris clara, moderadamente firme a firme, sublaminar, subastillosa, subfísil, micropirítica, no calcárea, intercaladas con delgadas capas de arcillolita de color gris clara a blanca, gris clara moteada con rojo, moderadamente firme a firme, subblocosa, limosa, otra blanda amorfa, gomosa, pegajosa, soluble no calcárea. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 1.383 pies y se espera hallar a más de 5.189 pies de profundidad. [Se comporta como un sello de baja permeabilidad.](#)

Unidad C1

Niveles de arena y arenisca verde claro, menor blanco, ocasional amarillo claro de grano muy fino con intercalaciones de arcillolitas grises a marrón, menor firme, local gomosa, ocasional sublamina, no calcárea al tope de unidad. Hacia la base de la unidad se presentan niveles escasos de limolita.

Es objetivo como productora y también sería objeto de reinyección para recobro y mantenimiento de la presión del yacimiento y disposición final. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 1.857 pies y se espera hallar a un promedio de 4.347 pies de profundidad.

- **Periodo: Neógeno**
- ✓ **Unidad: Formación León**

Descripción litológica: Está constituida por intercalaciones de lutita y arcillolita, siendo de mayor espesor los paquetes de lutita. La arcillolita se presenta gris verdosa, moderadamente firme, blanda, plástica, pegajosa, subblocosa, amorfa, homogénea, algo limosa, no calcárea, no hidratable. La lutita es en general gris verdosa, local gris oliva, verde, moderadamente firme, sublamina, subfísil, astillosa, subastillosa, quebradiza, algunas limosas, no calcárea, local con inclusiones micropiríticas.

Edad: Es considerada Oligoceno - Mioceno.

Espesor: Conformar el principal sello regional, para todas las unidades que le infrayacen. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 842 pies y se espera hallar a un promedio de 4.347 pies de profundidad.

- ✓ **Unidad: Formación Guayabo (N2c)**

Localidad tipo: El nombre fue dado por Valencia, E. 1938 (en Van Der Hammen, 1960). La unidad aflora en el cuadrángulo K-13, Tauramena, al oeste del caserío Unete (formando el núcleo del sinclinal de Zapato y/o Nunchía).

Descripción litológica: Está constituida en su mayor parte por arenas cuarzosas de grano fino a grueso, gravas arenosas con trazas de chert y abundantes líticos de rocas oscuras, interestratificadas con arcillolitas grises con trazas de lutita verde grisácea, micromicácea y micropirítica. Está compuesta por tres (3) niveles de base a techo así:

Guayabo Nivel Inferior

Secuencia de predominancia finogranular de arcillolitas con algunas intercalaciones de areniscas y limolitas. Debido a su característica primordialmente arcillosa, se comporta como un acuitardo, conformando el basamento hidrogeológico de la zona de evaluación. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 1.734 pies y se espera hallar en promedio 2.613 pies de profundidad. **Se comporta como un sello de baja permeabilidad.**

Guayabo Nivel Medio

Está conformada por niveles de arcillolitas gris verdosa, verde claro, gris media, moderadamente consolidada, blanda a moderadamente firme, subblocosa a sublamina, homogénea, no calcárea, levemente hinchable, localmente limosa y microcarbonosa, con intercalaciones de areniscas y limolitas. En el área de evaluación se espera hallar con un espesor alrededor de 863 pies a partir de 1.734 pies de profundidad. **Se comporta como un acuitardo y sello de baja permeabilidad.**

Guayabo Nivel Superior

Está constituido por areniscas cuarzosas de grano medio, menor grueso y fino, hialino, blanco amarillento con trazas de chert pardo amarillento, grava arenosa cuarzosa y lítica y conglomerados

con intercalaciones de arcillolitas de color gris claro, gris medio, depositados en un ambiente fluvial de alta energía durante el Mioceno Medio – Plioceno. Conforman un acuífero continuo, de extensión regional, multicapa de baja a mediana productividad. El espesor promedio esperado en el Área de Desarrollo Llanos 141 es de 1.750 pies, **incluyendo en la mayor parte los depósitos cuaternarios que no superan los 300 pies de espesor y entre los dos niveles conforman los principales acuíferos de la zona, usado por la comunidad o con potencial para ser utilizados a futuro.**

Expresión geomórfica: Topografías más suaves y capas discontinuas de la Formación Caja (N1c).

Naturaleza de los límites de la unidad: El límite inferior con la Formación Diablo (N1d) es transicional y se ha colocado donde termina el predominio de bancos de areniscas muy biperturbadas de 1 a 2 m de espesor y geometría tabular, y comienzan las arcillolitas y lentes de areniscas grano-decrecientes, poco biperturbadas. El contacto superior con la Formación La Corneta (no aflorante en el área de influencia) es transicional en algunos sectores y abrupto, discordante en otros sitios.

Ambiente de sedimentación: el ambiente es continental (de ríos anastomosados, que progresan hacia el tope a meandriformes); el nivel que marca el tope es lagunar continental, con influencia de conos de inyección.

Edad: Es considerada Mioceno - Plioceno (Ulloa, C y Rodríguez, E. 1976).

Correlación: De acuerdo con el cuadro comparativo de los nombres utilizados en la región de los llanos Orientales. Modificado de ECOPETROL – ICP – GER, 2000 (Tomado de Alvarado, S. y otros. INGEOMINAS (2009), la Formación Guayabo se correlaciona con la Formación Caja.

➤ **Periodo: Cuaternario (Q)**

Los depósitos cuaternarios son los más extensos en el área de influencia, corresponden a sedimentos de origen fluvial y fluviotorrencial, depositados como consecuencia del cambio de pendiente en el sector de piedemonte. Están representados por Depósitos de Abanicos Aluviales, Depósitos de Abanico-Terraza, Depósitos de Terraza Aluvial, Depósitos de Llanura de Inundación, Depósitos Aluviales recientes asociados a Cauces Mayores y asociados a Cauces Menores. Se estima un espesor para la zona que oscila entre 25 y 100 m.

En el ANEXO_REINYECCIÓN / INYECCIÓN DE AGUA PARA MANTENIMIENTO DE LA PRESIÓN EN EL YACIMIENTO, RECOBRO MEJORADO Y DISPOSICIÓN FINAL, se presenta en detalle la descripción y espesores de las unidades geológicas.

3.2.1.1.2 Marco Estructural Regional

La caracterización del marco estructural tomó como punto de partida la relacionada con la cartografía y/o estudios existentes, a saber.

- Servicio Geológico Colombiano – SGC (antes INGEOMINAS) representados por el Anexo I – Compilación de la Cuenca de los Llanos Orientales. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano. Diciembre de 201.
- Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions, U. S. Geological Survey USGS (May 2010).
- Finalmente, tomando como referencia la información evaluada y analizada en la Memoria Explicativa de la Cartografía Geológica de la plancha 247 - Cáqueza. Escala 1:100.000²⁴,

²⁴ INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGIA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Cartografía Geológica de la plancha 247 Cáqueza. Escala 1:100.000. Bogotá, mayo de 2011

Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010²⁵, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001²⁶; Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010 ²⁷ y el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guatiquía. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (CORMACARENA). Escala 1:25.000. Resolución No. 003 del 7 de diciembre de 2010²⁸ y la información obtenida a partir de las observaciones de campo realizadas en el mes de mayo de 2022.

- Integración Geológica de la Digitalización y Análisis de Núcleos. Cuenca Llanos Orientales. Diciembre de 2012.

A continuación, se hará una breve, pero detallada descripción de cada una de las fuentes antes mencionadas.

➤ **Anexo I – Compilación de la Cuenca de los Llanos Orientales. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano. Diciembre de 2014.**

De acuerdo con la Compilación de la Cuenca de los Llanos Orientales y de la Cordillera Oriental 29, los esfuerzos extensionales y compresionales a los cuales fue sometida el piedemonte originaron fosas y pilares tectónicos, fallas normales e inversas y el levantamiento de estructuras como el Alto Vorágine y el Arco de Arauca (Sarmiento, 2011), dando como resultado el origen a cinco (5) provincias estructurales, a saber: Provincia Arauca, Provincia Casanare, Provincia Meta, Provincia Vichada y Provincia Piedemonte Llanero (en esta última provincia estructural es donde se enmarca el área de influencia donde se enmarca el “Área de Desarrollo Llanos 141”)(Figura 3.2.1-4).

La provincia de Piedemonte Llanero se caracteriza por que la Cordillera Oriental resultó de la inversión estructural de una cuenca del Triásico - Jurásico y Cretáceo temprano. El límite entre la Cordillera Oriental y el piedemonte es el sistema de fallas de Guaicáramo. El piedemonte tiene alrededor de 15 – 20 km de ancho, y está separado del antepaís, al norte y sur del área, por el sistema de fallas inversas de Cusiana – Yopal. En el cinturón de fallamiento y plegamiento del frente oriental de la Cordillera, se han identificado cuatro (4) estilos estructurales dominantes.

Un estilo de tectónica de cobertura delgada (thin- skin deformation): este estilo se caracteriza por fallas inversas de bajo ángulo que sólo involucran la sección sedimentaria (fallas de Aguaclara, de Yopal). Esta tectónica genera estructuras de tipo pliegues por propagación de fallas, pliegues por flexión de fallas, sinclinales pasivos, tales como los sinclinales de Nunchía y Zamaricote; abanicos imbricados de cabalgamientos, zonas triangulares y zonas de dúplex. Un estilo de tectónica de cobertura gruesa (thick-skin deformation): el estilo es semejante al anterior, pero involucra rocas del Paleozoico y el basamento precámbrico (cabalgamientos de Santa María y Lengupá). Esta deformación genera pliegues por flexión de fallas (anticlinal de Guavio), zonas de dúplex. A menudo se encuentran fallas fuera de secuencia con respecto a las fallas de la tectónica de cobertura delgada, tales como la falla de Guaicáramo. Un estilo de fallamiento de alivio: las fallas de superficie ubicadas en las escamas de cabalgamiento, perpendiculares u oblicuas al frente de deformación, corresponden a fallas de desgarre (tear faults) y rampas laterales.

25 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

26 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

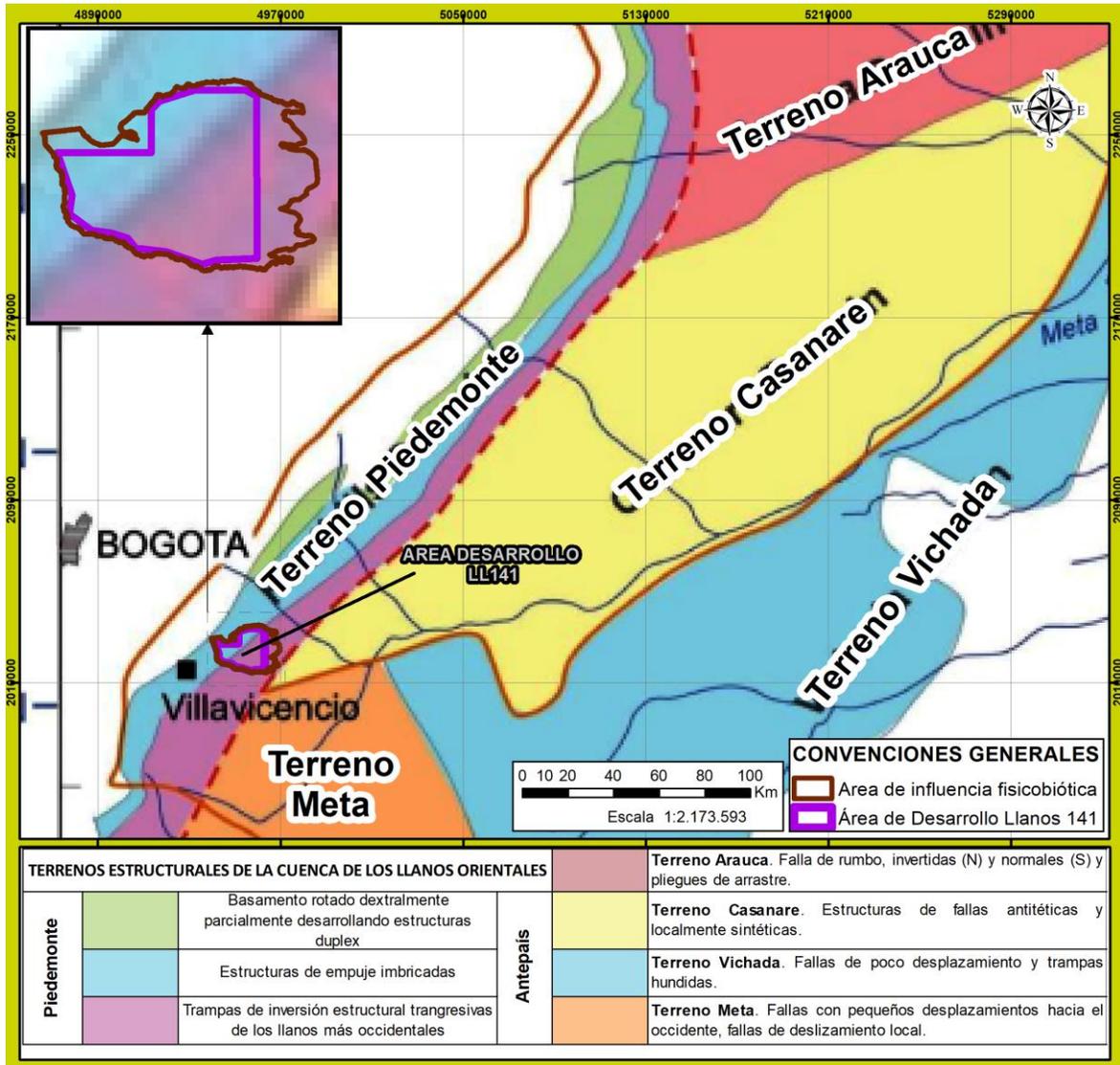
27 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

28 UT POMCA RIO GUATIQUEIA. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (CORMACARENA). Escala 1:25.000. 2014

29 LOZANO, EDINSON y ZAMORA, NADEZHDA. Anexo I – Compilación de la Cuenca de los Llanos Orientales, Servicio Geológico Colombiano, Bogotá D.C.; diciembre de 2014.

Un estilo de inversión tectónica: la deformación resulta de la reactivación de antiguas fallas normales o fallas inversas (fallas de Cumaral, Chaparral).

Figura 3.2.1-4 Terrenos Estructurales de la cuenca de los Llanos Orientales



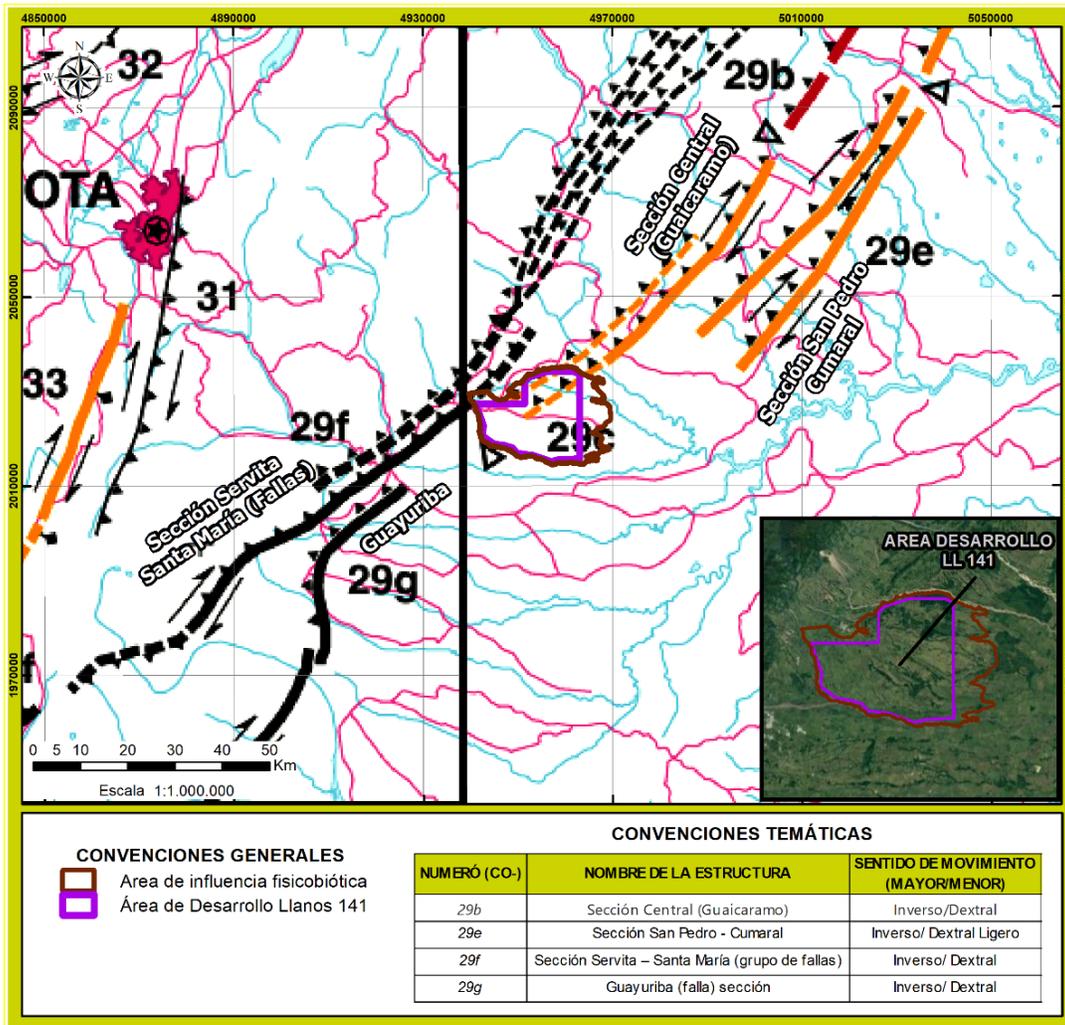
Fuente: Anexo I – Compilación de la Cuenca de los Llanos Orientales. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano. Diciembre de 201430, y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023

- Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions, U. S. Geological Survey USGS (May 2010).

30 LOZANO, EDINSON y ZAMORA, NADEZHDA. Anexo I – Compilación de la Cuenca de los Llanos Orientales, Servicio Geológico Colombiano, Bogotá D.C.; diciembre de 2014.

A partir del informe en mención el área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141”, esta se localizada en el Piedemonte Llanero (en particular para la zona del departamento del Meta). El U.S. identifica las fallas de edad Cuaternaria más importantes de Colombia, como se observa en la **Figura 3.2.1-5**, en donde se evidencia los trazos identificados del Sistema de Fallas de Guaicaramo, simbolizado con el número “29”, las letras en minúscula corresponden a fallas identificadas dentro de este sistema, de las cuales por estar inmersas en el área del proyecto son detalladas la “b”, “c”, “e”, “f” y “g” (**Figura 3.2.1-5** y **Tabla 3.2.1-2**).

Figura 3.2.1-5 Marco geológico estructural a nivel regional del área de influencia donde enmarca el proyecto



Fuente: Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Colombia y Regiones Oceánicas Adyacentes. U.S. Geological Survey (USGS) Año 2000 31 y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023.

Tabla 3.2.1-2 Sistemas de Fallas Frontal de la Codillera Oriental

| NUMERÓ (CO-) | NOMBRE DE LA ESTRUCTURA | SENTIDO DE MOVIMIENTO (MAYOR/MENOR) | EDAD DEL ÚLTIMO MOVIMIENTO | TASA DE MOVIMIENTO (MM/AÑO) |
|--------------|------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 29 c | Sección Central (Guaicaramo) | Inverso/Dextral | Holoceno/post glacial | 1-5 |

31 Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Colombia y Regiones Oceánicas de Geociencias; U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey USGS; Denver, Colorado, USA; 2000.

| NUMERÓ (CO-) | NOMBRE DE LA ESTRUCTURA | SENTIDO DE MOVIMIENTO (MAYOR/MENOR) | EDAD DEL ÚLTIMO MOVIMIENTO | TASA DE MOVIMIENTO (MM/AÑO) |
|--------------|---|--|------------------------------|-----------------------------|
| 29e | Sección San Pedro - Cumaral | Inverso/ Dextral Ligeró | <15 ka (Holoceno/posglacial) | 1-1,5 |
| 29f | Sección Servita – Santa María (Grupo de fallas) | Inverso/ Dextral | <1,6 Ma (Quaternary). | 0,2-1 |
| 29g | Sección Servita – Santa María (Grupo de fallas) | Inverso/ Dextral (?) (lateral derecho) | <1,6 Ma (Quaternary). | 1-5 |

Fuente: Tomado y modificado de Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Colombia y Regiones Oceánicas Adyacentes (USGS, 2000).

A continuación, se hará una breve descripción de los sistemas de fallas aferentes al área de influencia donde se enmarca el proyecto, específicamente los denominados 29c, 29f y 29g.

El **Sistema de Falla Frontal de Guaicaramo – Sección Central (denominada 29 b)** es un sistema de falla inversa/dextral, de rumbo promedio $25,9^\circ \pm 17^\circ$ (N25,9E), con una inclinación del plano hacia el Oeste 20- 30°, geomorfológicamente corresponde aún trazo de falla topográficamente sobresaliente marcado en los depósitos Cuaternarios por escarpes de falla, silletas de falla, prominente con el desarrollo de escarpes en las formaciones terciarias y escarpes más jóvenes en los depósitos Cuaternarios (abanicos aluviales), presenta una tasa de movimiento de 1-5 mm/año, edad del último movimiento en 1995.

En términos generales, el **Sistema de Falla Frontal DE Guaicaramo – Sección Central (denominada 29 c)** corresponde al sistema de falla inversa/dextral más activa localizada hacia el oriente, de rumbo promedio $45,6^\circ \pm 9^\circ$ (N45,6E), con una inclinación del plano hacia el Oeste 30-35°, geomorfológicamente se caracteriza por ser un trazo de falla bien definida, con escarpes, silletas y abanicos aluviales desplazados, presenta una tasa de movimiento de 1-5 mm/año, edad del último movimiento <15 ka (Holoceno/posglacial).

El **Sistema de Falla San Pedro – Cumaral (denominada 29 e)** es un sistema de falla inversa/dextral ligero, de rumbo promedio $37,5^\circ \pm 6^\circ$ (N37,5°E±6°), con una inclinación del plano hacia el Oeste 20-30°, geomorfológicamente corresponde aún escarpe de falla bien definida sobre el Terciario y rocas sedimentarias del Cuaternario formado paisajes montañosos, anticlinales tumbados y terrazas inclinadas, arroyos alineados y crestas de fallas. Presenta una baja tasa de movimiento de 1-1,5 mm/año, edad del último movimiento <15 ka (Holoceno - Posglacial).

El **Sistema de Falla Servita – Santa María (denominada 29 f)**, están agrupadas en un sistema de fallas para propósitos prácticos por corresponder a un sistema de fallas de morfología, características geométricas y actividad neotectónica similar. Es observado que las rocas del paleozoico cabalgan sobre formaciones de rocas más jóvenes, de rumbo promedio $42,3^\circ \pm 15^\circ$ (N42,3°E±15°), con una inclinación promedio del plano hacia el Oeste 30- 45°. Presenta una baja tasa de movimiento de 0,2-1 mm/año, edad del último movimiento <1,6 Ma (Quaternary).

En términos generales, el **Sistema de Falla Frontal de Yopal (denominada 29 g)** corresponde al sistema de falla inversa/dextral más activa localizada hacia el oriente, de rumbo promedio $42,3^\circ \pm 15^\circ$ (N42,3E), con una inclinación del plano hacia el Oeste 30 - 45°, presenta una tasa de movimiento de 1-5 mm/año, edad del último movimiento <1,6 Ma.

Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002³². Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010³³, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio.

32 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

33 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

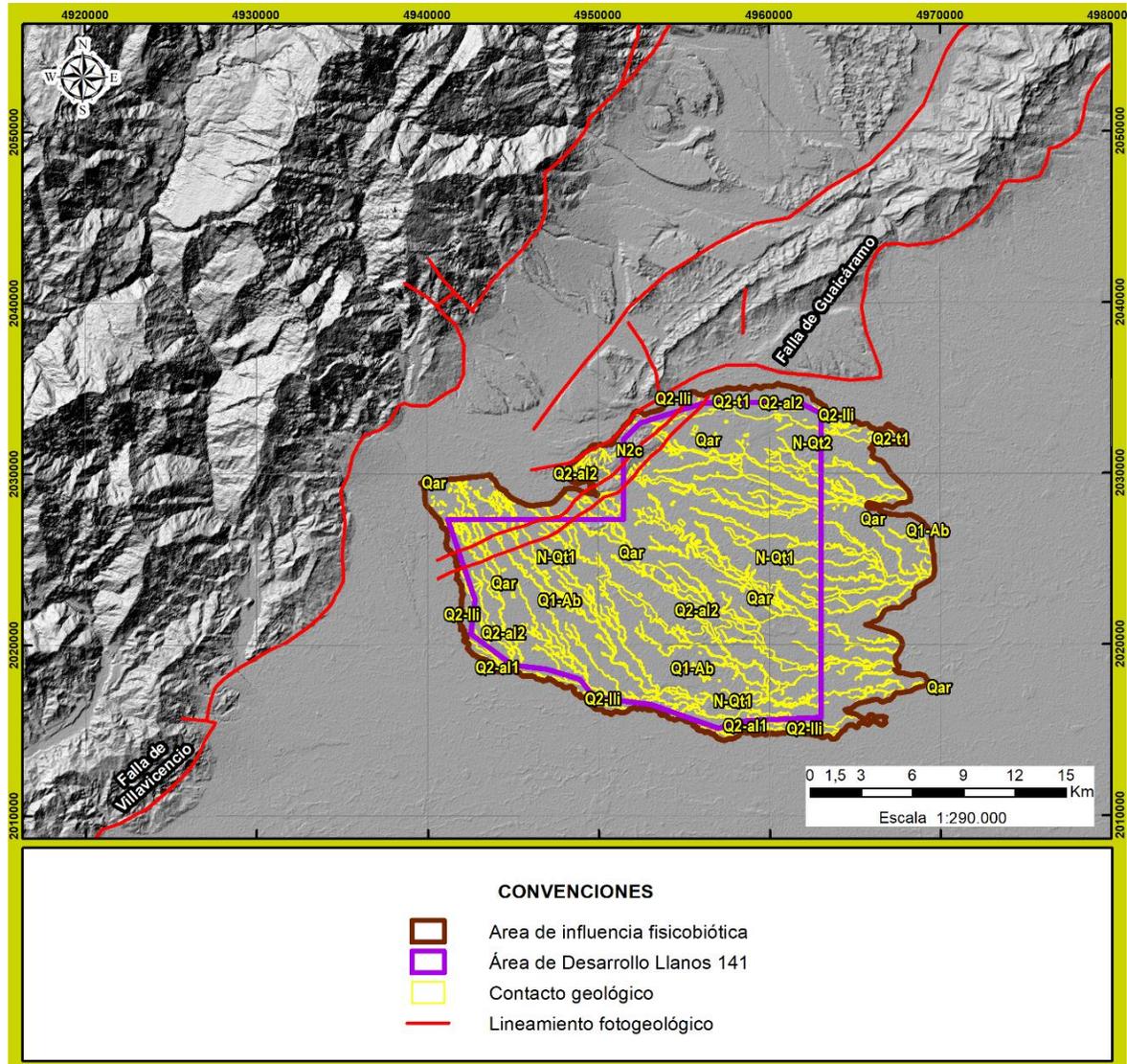
Escala 1:100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001³⁴ y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiara. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010 ³⁵.

De acuerdo con las memorias en mención, regionalmente en la zona oriental, y específicamente desde el costado noroccidental y hacia el costado suroriental, respectivamente; se reconocen dos (2) sistemas de fallas que hacen parte de un frente de cabalgamiento siendo las principales: la Falla de Villavicencio y el Sistema de Fallas de Guaicaramo (falla de tipo inversa, de alto ángulo y plano de falla que buza hacia el oeste, con una dirección preferencial). En la **Figura 3.2.1-6** se presenta el marco geológico estructural (en planta) a nivel regional del área donde se enmarca el proyecto.

34 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

35 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

Figura 3.2.1-6 Marco geológico estructural a nivel regional del área de influencia donde enmarca el proyecto



Fuente: ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023

✓ **Estructuras**

○ **Fallas**

❖ Sistema de Fallas de Guaicaramo

Esta falla es interpretada por varios autores de varias maneras, para Etayo et al. (1983), es el límite entre dos (2) terrenos, para Fabre (1985 y 1986), Cáceres et al. (2005), Cooper et al. (1995), correspondería a una paleo falla normal que controla la sedimentación, la cual fue invertida en la Orogenia Andina y formaría un sistema de fallas de cabalgamiento. Sin embargo, Mora et al., (2012), en la región del piedemonte llanero (Medina), la define como una falla de cabalgamiento producto de la inversión de la falla normal de Servita, la cual se formó en el Eoceno tardío-Oligoceno temprano (Parra et al., 2009 y Mora et al., 2012).

De acuerdo con lo definido en las memorias técnicas de la Plancha Geológica 248 –Cumaral y 267 – Pachaquiario a escala 1:100.000, la Falla del Sistema de Guaicaramo es una falla inversa, responsable de la orientación de un gran número de drenajes existentes hoy por hoy. Está se extiende a partir de la cercanía de Cumaral, 25 km al noroeste de Villavicencio. En el sur, la falla sigue el frente oriental de las colinas de piedemonte más conocida como la Serranía de las Palomas. Al norte del río Upía la falla se interna en el piedemonte. Presenta un rumbo aproximado de N40°E y una inclinación de 30° a 35° al oeste.

Geomorfológicamente separa dos (2) zonas, la montañosa de las zonas de las tierras de morfología baja o los denominados Llanos Orientales,

❖ **Falla Villavicencio – Colepato**

Corresponde a una estructura de poca longitud y que forma parte del Sistema de Falla Frontal de la Cordillera Oriental. Se caracteriza por ser una falla de cabalgamiento con una dirección predominante SW-NE y de longitud aproximada de 40 Km, con vergencia al este, buzando 30° al W (de bajo ángulo). En el área aferente al área del proyecto está cubierta parcialmente por sedimentos del Cuaternario y reconocida básicamente mediante la fofointerpretación mediante rasgos geomorfológicos, tales como: morfología abrupta - facetas triangulares, entre otros.

○ **Lineamientos**

Los lineamientos interpretados se observaron en una dirección, al oriente del río Guacavía tiene una dirección SW-NE.

➤ **Integración de la información geológica en el área de influencia del área de desarrollo Llanos 141**

El modelo tectónico de la cuenca de los Llanos Orientales, como ya se mencionó, inicia a partir de la generación de grabens en sedimentos paleozoicos sobre un basamento cristalino Precámbrico resultado de movimientos extensionales, cuya duración pudo llegar hasta el Jurásico; posteriormente se dio el depósito y sedimentación de las secuencias Cretácica y Cenozoica bajo los regímenes de eventos tectónicos mayores que originaron el levantamiento de la Cordillera Oriental y la consecuente generación de la cuenca de ante país que caracteriza la cuenca de los Llanos Orientales. Como resultado de la sedimentación sobre un basamento basculado se tiene un continuo acuñamiento de las unidades cretácicas y paleógenas hacia el E, de manera que las unidades más basales pierden progresivamente espesor en esta dirección, y conformándose así un monoclin con dirección de buzamiento hacia el NW y en profundidad con fallamiento del tipo normal con orientación dominante SW-NE y fallas de segundo orden que serían de relevamiento con orientación NW-SE.

A nivel general Ecopetrol S.A., define, que el estilo estructural en la cuenca de Llanos, ha sido caracterizado por la ocurrencia de fallas normales de rumbo preferencial NE-SW, paralelo al frente de deformación de la Cordillera Oriental. Las fallas normales presentan una geometría plana, con altos ángulos de buzamiento y vergencia tanto al occidente (hinterland) como el oriente (foreland). El fallamiento ha sido reportado en varias etapas: una etapa inicial durante el Cretáceo, previa a la formación de la actual cuenca de antepaís; una segunda etapa durante el Oligoceno a Mioceno Temprano; una tercera etapa en el Mioceno Medio; y una etapa final durante el Mioceno Tardío al Pleistoceno. Este fallamiento ha sido explicado como el resultado de la correlación entre al avance del frente de deformación de la Cordillera Oriental en el sector occidental y la consecuente flexura cortical hacia el oriente (Delgado et al, 2012 en Ecopetrol- WSP, 2021)³⁶

³⁶ Óp.-Cit. ECOPETROL S.A. – CONCOL By WSP. p66

Además del fallamiento normal, procesos de inversión tectónica también han sido reportados como resultado del avance temporal del frente de deformación. Esta inversión es evidente y bien documentada en el piedemonte de la Cordillera oriental (e.g. Mora et al., 2010b, 2013 en Ecopetrol-WSP, 2021)³⁷.

✓ Análisis estructural

Se interpreta que las trampas de hidrocarburos en el Área de Desarrollo Llanos 141, son de tipo estructural, constituida por el “footwall” de fallas normales de bajo ángulo y bajo desplazamiento (se estima por las líneas sísmicas que no deben superar los 100 pies d), con rumbo SW–NE, que presentan ligero grado de inversión en algunos sectores, que hacen parte de las fallas normales de rumbo preferencial NE-SW, paralelo al frente de deformación de la Cordillera Oriental típicas de la cuenca de Llanos Orientales y que más adelante se presentan en los mapas de las unidades objetivo especialmente del Cretácico (unidades operacionales K1 y K2) y del Paleógeno (unidad Operacional T2), estas fallas ponen dentro de las mismas unidades en contacto (compuestas por intercalaciones de capas permeables arenosas y lutíticas de baja permeabilidad), materiales de diferente litología, generando las trampas esperadas en los prospectos, que se irán detallando a medida que se avance en desarrollo del campo; difícilmente una de estas falla, por su bajo desplazamiento podrían en contacto dos unidades diferentes, a excepción de las unidades más profundas ubicadas a más de 13.000 pies de profundidad.

Las fallas mencionadas anteriormente se comportan como estructuras de baja permeabilidad, que conformarían las trampas de los yacimientos de hidrocarburos y donde el agua asociados a producción en mayor volumen, sería recirculada dentro de la trampa geológica de donde fueron extraídos para realizar el recobro de los hidrocarburos remanentes de las formaciones productoras en el sitio y con un modelo estructural similar en los niveles no productores de hidrocarburos, donde se propone confinar los fluidos asociados a producción con fines de disposición final. Para el área se tienen sellos muy efectivos, entre las fallas y los sellos de baja permeabilidad regionales e intraformacionales, sin riesgo de que se presente migración de fluidos desde las formaciones receptoras hacia formaciones superiores, especialmente las que conforman acuíferos aprovechables o con potencial para abastecimiento.

La **Figura 3.2.1-7**, correspondiente a la sección sísmica Transecta A – A’ (Perfil Sísmico LLA-141 E&P del programa sísmico Llanos 59), en sentido NE-SW- SE del Área de Desarrollo Llanos 141 amarrado con información de los pozos de hidrocarburos perforados dentro del AD, la secuencia sedimentaria muestra un perfil desde la superficie hasta el basamento Paleozoico y evidencia un ligero adelgazamiento al SE y engrosamiento al oeste; la mayoría de las unidades operacionales definidas por Ecopetrol S. A., se pueden seguirse a lo largo de la línea y otras con menores espesores solo pueden identificarse en los registros de los pozos de hidrocarburos.

En el perfil se muestra claramente como las fallas solo afectan los niveles más inferiores desde el Paleozoico, y las unidades del Cretáceo y en menor proporción algunos niveles de la Formación Carbonera hasta la Unidad Lutita E3 y al noroeste del pozo Guacavía-1 y unas pocas fallas afectan hasta máximo la unidad C1, si afectar el sello regional de las formaciones León y Guayabo Nivel Inferior- Medio, estas dos unidades de gran espesor y continuidad en el sitio y no se extienden hasta superficie ni cerca de ella es decir, solo a más de 5.000 pies de profundidad, se encontraría fallamiento; igualmente estas condiciones lo muestra la **Figura 3.2.1-8**, sección sísmica Transecta B-B’, (Perfil Sísmico LLA-141 E&P del programa sísmico Llanos 59), en sentido NW-SE- SW del Área de Desarrollo Llanos 141 también amarrado con información de los pozos de hidrocarburos Vanguardia-1 y Llanos-1, los saltos de esta fallas son menores de 100 pies de longitud. En la esquina inferior derecha de las **Figura 3.2.1-7** y **Figura 3.2.1-8**, se muestra la localización de los perfiles, sobre mapas estructurales al tope de las unidades más afectadas por la misma, evidenciado la

³⁷ Ibid. p66

dirección predominante de las mismas en sentido NE-SW al nivel de unidades tales como T2 y K1 y K2. La escala vertical de las líneas se expresa en pies.

Por lo tanto, guardando las condiciones técnicas de hermeticidad de los pozos inyectoras, no existe ninguna posibilidad de migración de fluidos desde las formaciones receptoras (Une, Chipaque o Guadalupe, San Fernando y Carbonera T1, Areniscas de Carbonera y Unidad C1), hacia las formaciones que conforman los niveles acuíferos que almacenan agua dulce y que son usados por la comunidad o que podrían ser usados a futuro.

Se determina que los sistemas de fallas en el Área de Desarrollo Llanos 141 no presentan una conexión hidráulica entre las formaciones receptoras y las formaciones someras que conforman los niveles acuíferos que almacenan agua dulce y son o pueden ser usados por la comunidad. Por lo anterior, la posibilidad que estas estructuras constituyan vías de escape de las aguas asociadas a producción reinyectadas en las unidades operativas receptoras es nula.

La producción de la cuenca proviene de areniscas del Cretáceo Superior (Formación Chipaque o Guadalupe) y del Paleógeno Inferior (Formaciones Barco, Mirador y Carbonera). Su cubierta sedimentaria involucra secuencias del Paleozoico, Cretácico Superior y Paleógeno. El cinturón de crudos pesados localizado al oriente del límite de gravedad API <20, hasta el límite geográfico aproximado del sistema petrolífero Gachetá-Mirador. Se extiende desde el campo Apiay, incluye el área de estudio (Área de Desarrollo Llanos 141) y el campo Rubiales en donde podría tener entre 80 y 100 Km. de ancho y continúa en dirección noreste hacia el campo El Miedo en donde convergen los límites de las gravedades API < 20° y la del sistema petrolífero Gachetá-Mirador.³⁸

En esta zona se han detectado acuíferos y situaciones estructurales favorables para la acumulación de hidrocarburos. Acuíferos de los miembros C7 al C3 de la Formación Carbonera contra el basamento cristalino o contra el Paleozoico en el sector oriental de la provincia. Los crudos pesados y las arenas bituminosas son petróleos líquidos o semisólidos que se encuentran en forma natural en el medio poroso sea éste, arenas o carbonatos. Estos crudos son caracterizados por su viscosidad y densidad.³⁹

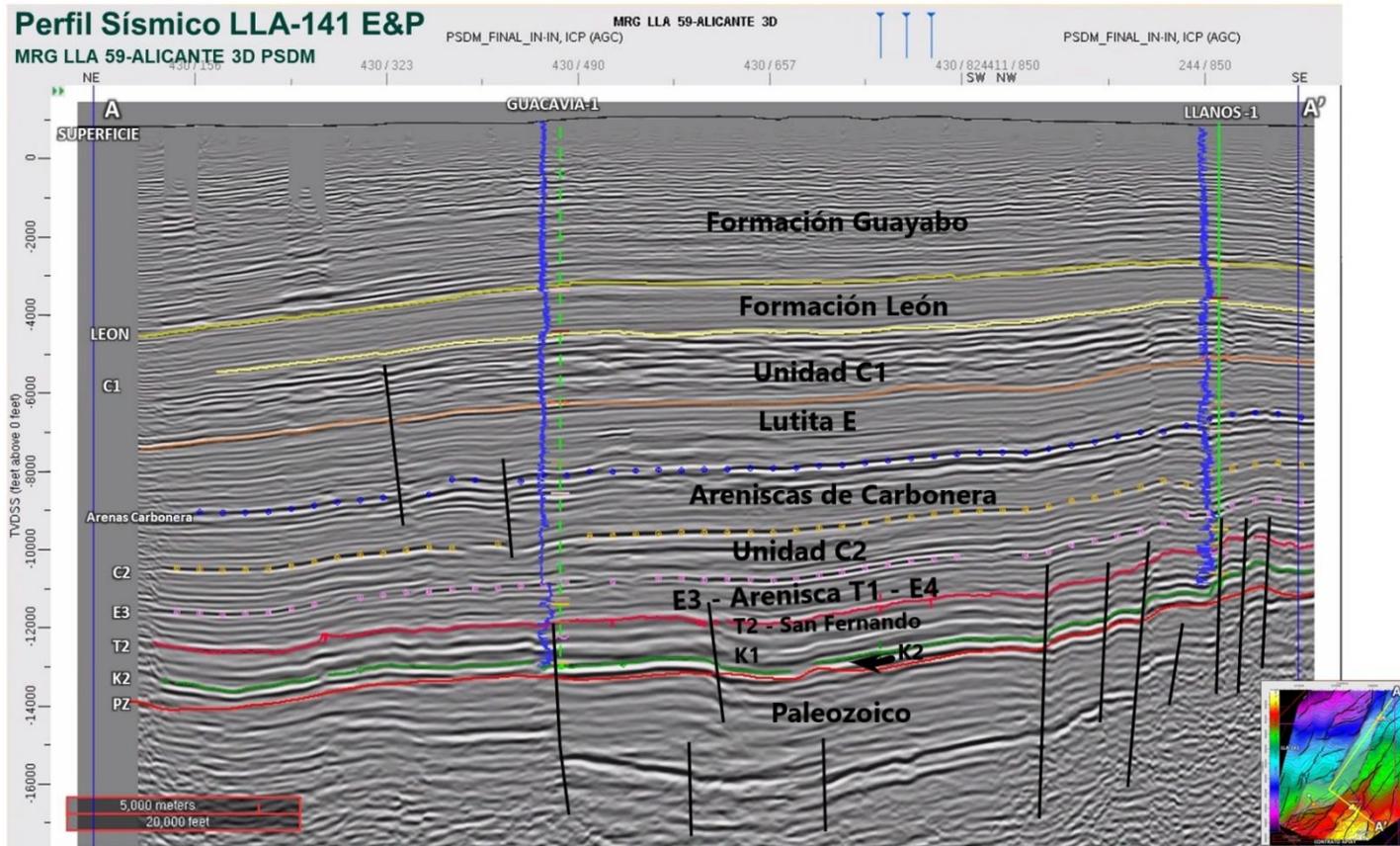
Las acumulaciones de hidrocarburos en esta región han sido generalmente atribuidas a la inversión tectónica de fallas normales preexistentes las cuales han controlado la depositación de reservorios de buena calidad.⁴⁰

³⁸ Ibid. p61

³⁹ Ibid. p61

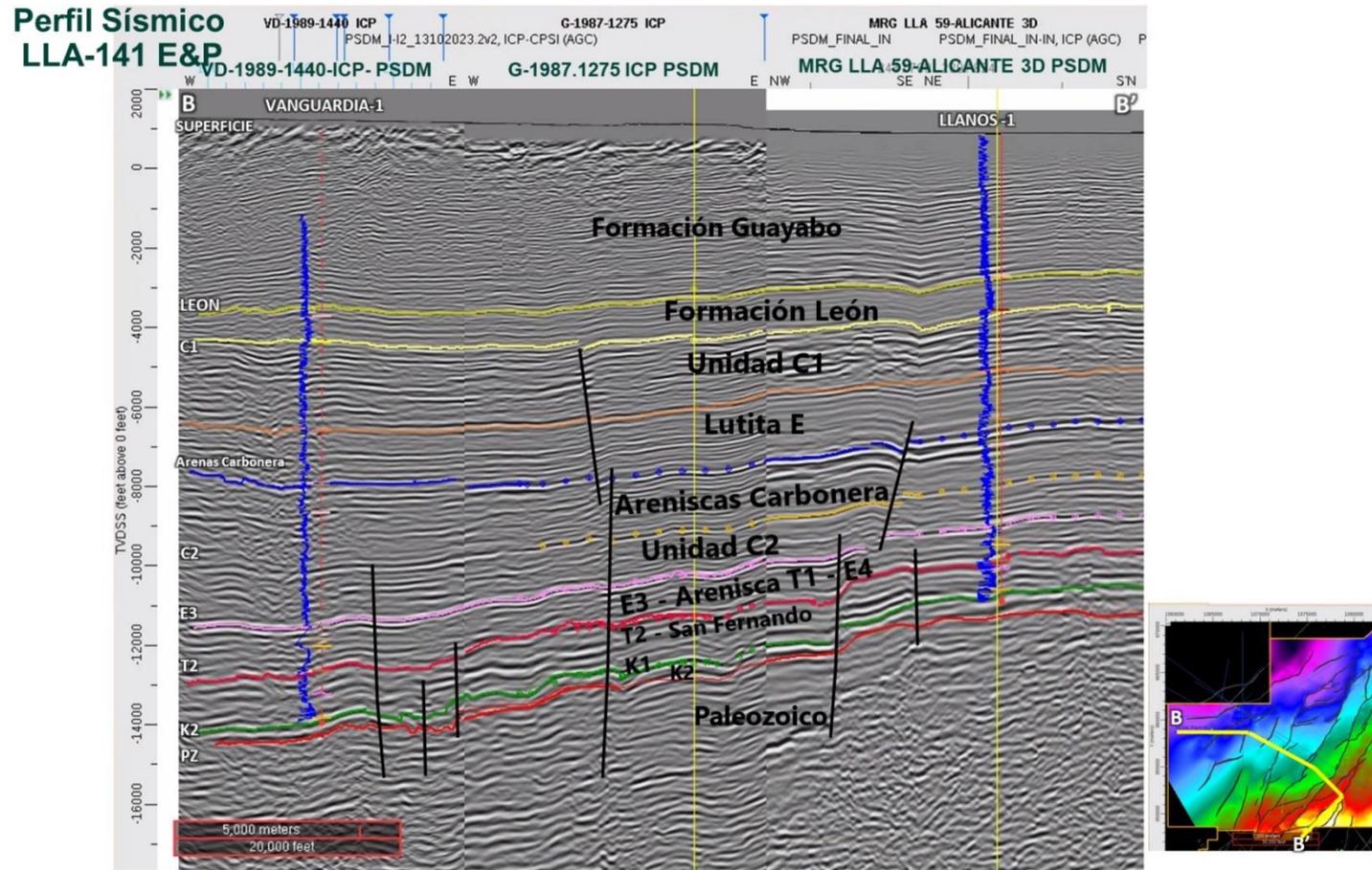
⁴⁰ Ibid. p71

Figura 3.2.1-7 Línea sísmica – Transecta A – A' del Área de Desarrollo Llanos 141



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023, con información de ECOPETROL S.A.)

Figura 3.2.1-8 Línea sísmica – Transecta B – B' del Área de Desarrollo Llanos 141



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023, con información de ECOPETROL S.A.)

3.2.1.2 Geología del Área de Influencia

3.2.1.2.1 Estratigrafía del área de influencia

Con base en la información secundaria consultada y evaluada, la fotointerpretación y el reconocimiento de campo realizado en el mes de enero y febrero de 2023, en el área de influencia donde se enmarca el proyecto se identificaron nueve (9) unidades geológicas, a saber. Depósito de Relleno Antrópico (Qar), Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Mayores (Q2-al1), Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores (Q2-al2), Depósitos de Llanura de Inundación (Q2-lli), Depósitos de Terraza Aluvial (Q2-t1), Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab), Abanico – Terraza Nivel 2 (N-Qt2), Abanico – Terraza Nivel 1 (N-Qt1) y Formación Guayabo (N2c).

La primera corresponde a los Depósitos de Relleno Antrópico (Qar) asociado con las áreas en donde actualmente están construidos los tejidos urbanos continuos (con la generación de cortes y rellenos). La segunda y tercera unidad, está correlacionada con los Depósitos Aluviales Recientes Asociados a Cauces Mayores (Q2-al1) y Menores (Q2-al2), los cuales reúnen los materiales dispuestos a lo largo de los vallecitos labrados por la red de drenaje mayor y menor a lo largo de su recorrido, en el cual disecta unidades de roca y depósitos del Cuaternario de aleatoria disposición (asociados con el río Guatiquía, Guacavía, Caney, entre otros. La cuarta unidad, corresponde a los Depósitos de Llanura de Inundación (Q2-lli), asociados principalmente con la dinámica de los ríos Guacavía y Guatiquía. La quinta unidad (Q1t), sexta (Q1Ab), séptima (N-Qt1) y octava unidad geológica (N-Qt2) están asociadas con los grandes depósitos acumulados producto de los desbordes de los ríos que drenan el piedemonte y que ocupan el área en su parte central principalmente. Finalmente, la novena unidad está correlacionada con la formación rocosa (duras y blandas) asociada con la Formación Guayabo (N2c).

En la **Tabla 3.2.1-3** y en la **Figura 3.2.1-9** y **Figura 3.2.1-10**, se muestra la descripción y la representación espacial de las unidades geológicas antes mencionadas. Adicionalmente, en el **Anexo 3.2.1__Estaciones Geológicas** se presenta en detalle cada unidad geológica antes identificada.

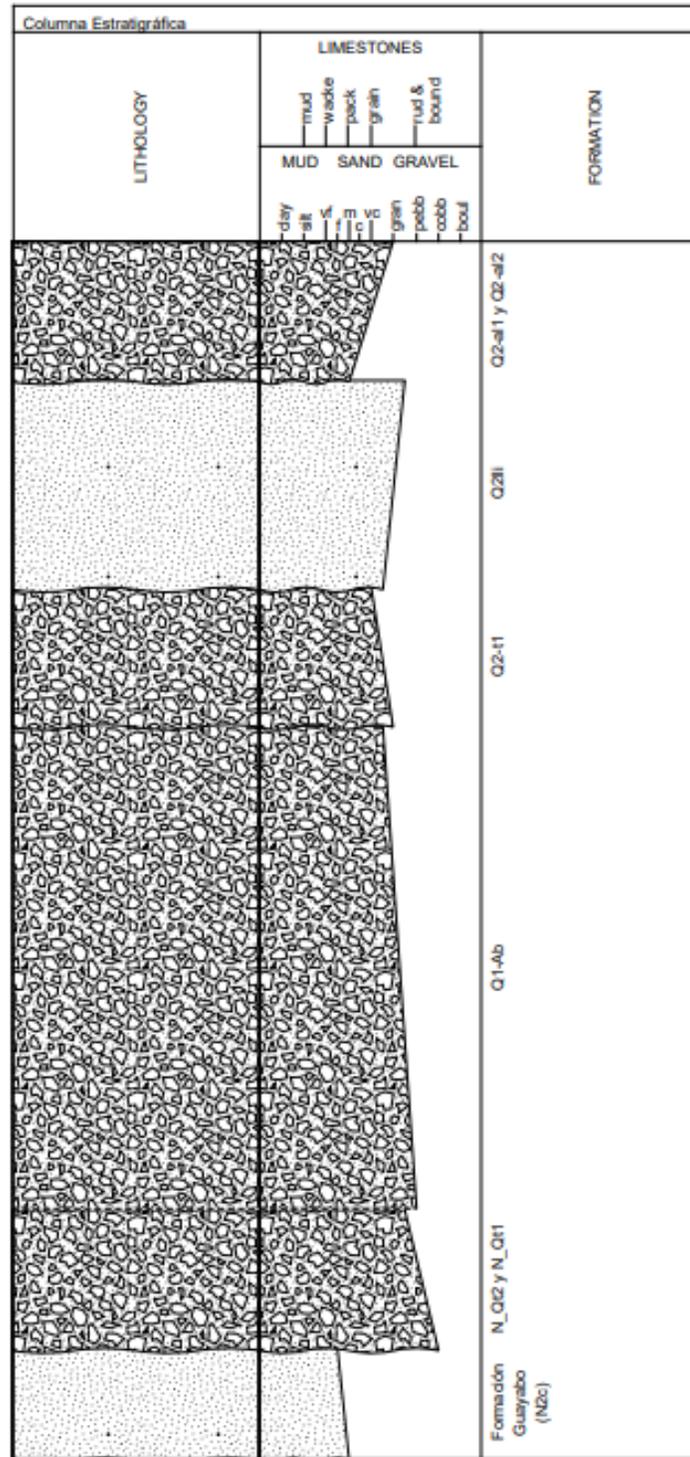
Tabla 3.2.1-3 Unidades geológicas aflorantes en el área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141

| ERA | SISTEMA / PERIODO | SERIE/ ÉPOCA | UNIDAD GEOLÓGICA | NOMENCLATURA | DESCRIPCIÓN | ÁREA DE INFLUENCIA | | ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141 | |
|-----------|-------------------|--------------|---|--------------|--|--------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | | | | | | (ha) | (%) | (ha) | (%) |
| Cenozoico | Cuaternario | Holoceno | Relleno Antrópico | Qar | Material principalmente granular (tamaño grava) de composición polimíctica | 391,54 | 0,91 | 263,60 | 0,91 |
| | | | Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores | Q2-al2 | Depósitos restringidos a las quebradas y caños principales, tales como: Depósitos constituidos principalmente por cantos, guijarros, gránulos, subredondeados a redondeados y arenas de grano medio a grueso subredondeados a subangular, litológicamente constituidos principalmente por líticos sedimentarios, y rocas metamórficas tales como: filitas, esquistos y cuarcitas, con una selección moderada. | 3504,97 | 8,18 | 2538,05 | 8,75 |
| | | | Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Mayores | Q2-al1 | Corresponde a los materiales transportados por los principales ríos de la zona (p.e. río Guacavía, Guatiquía, entre otros), de composición variada, desde bloques hasta gravas muy redondeadas, litológicamente constituidos por materiales cuarzosos y con gran cantidad de areniscas, lutitas negras, arcillolitas y rocas metamórficas, tales como: filitas, esquistos y cuarcitas. Se presentan pequeños bancos de arena de grano grueso a fino. | 539,18 | 1,26 | 9,60 | 0,03 |
| | | | Depósitos de Llanura de inundación | Q2-III | Compuestas por una acumulación inconsolidada de materiales arcillo limosos con colores que varían de rojo a gris, en ocasiones presentan niveles de cantos redondeados a subredondeados de composición cuarzosa, mal seleccionados. Se estima que alcanzan un espesor aproximado entre 10 a 15 metros. | 921,46 | 2,15 | 230,09 | 0,79 |
| | | | Depósitos de Terraza Aluvial | Q2-t1 | Desde el punto de vista litológico se constituye en un depósito clastosoportado, conformado por bloques, cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas limosas con alto contenido de materia orgánica. | 1801,20 | 4,20 | 661,43 | 2,28 |
| Cenozoico | Cuaternario | Pleistoceno | Depósito de Abanico Aluvial | Q1-Ab | Compuesta por una acumulación inconsolidada de materiales arcillo limosos de color rojizo a gris, en algunas ocasiones presentan niveles de cantos redondeados de composición cuarzosa, mal seleccionados. Con un espesor de aproximadamente 10 a 15 m. | 15587,44 | 36,38 | 11357,79 | 39,14 |
| | | | | N-Qt2 | Depósito clastosopórtado, constituidos por guijarros, guijos, gránulos y ocasionalmente bloques y gravas | 4145,68 | 9,68 | 2739,92 | 9,44 |

| ERA | SISTEMA / PERIODO | SERIE/ ÉPOCA | UNIDAD GEOLÓGICA | NOMENCLATURA | DESCRIPCIÓN | ÁREA DE INFLUENCIA | | ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141 | |
|-------------------|-------------------|--|-------------------------------------|--------------|---|--------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | | | | | | (ha) | (%) | (ha) | (%) |
| | | | Abanico – Terraza Nivel 1 y 2 | | redondeadas, litológicamente constituidos por areniscas cuarzosas de grano fino, de colores blanco y grises, areniscas con vetas de cuarzo de colores grises verdosas y en menor porcentaje, areniscas conglomeráticas de color café claro a blanco. | | | | |
| | | | | N-Qt1 | Depósito clastosopórtado, constituidos por guijarros, guijos, gránulos y ocasionalmente bloques y gravas redondeadas, litológicamente constituidos por areniscas cuarzosas de grano fino, de colores blanco y grises, areniscas con vetas de cuarzo de colores grises verdosas y en menor porcentaje, areniscas conglomeráticas de color café claro a blanco, mal seleccionados, matriz limo arcillosa. | 14574,03 | 34,01 | 10675,70 | 36,79 |
| | Neógeno | Plioceno - Mioceno Superior | Formación Guayabo | N2c | Compuesta por una arenisca conglomerática cuarzosa con presencia de arcillolitas y limolitas. Niveles de arcillolitas intercaladas con capas gruesas de areniscas. Intercalaciones de areniscas con arcillolitas y en menor proporción de conglomerados | 1381,63 | 3,22 | 541,77 | 1,87 |
| ÁREA TOTAL | | | | | | 42847,11 | 100,00 | 29017,96 | 100,00 |

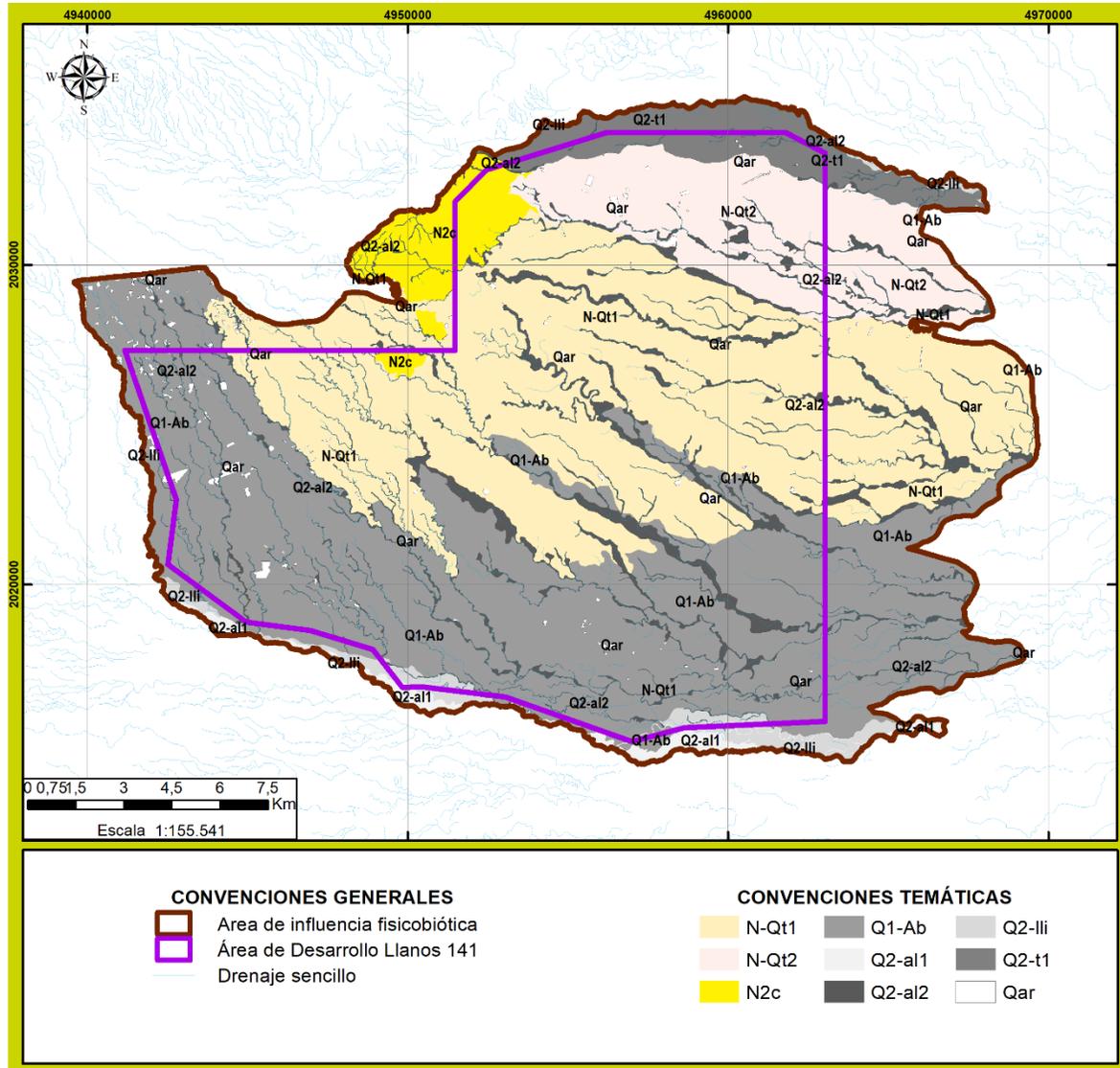
Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-9 Columna estratigráfica en el área de influencia donde se enmarca el Área de Desarrollo Llanos 141



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

Figura 3.2.1-10 Marco geológico del área de influencia donde se enmarca el Área de Desarrollo Llanos 141



Fuente: (ANTEA COLOMBIA SAS, 2023)

A continuación, se hace una descripción de las unidades geológicas aflorantes en el área de influencia, resaltando que las unidades mencionadas se encuentran muy cubiertas por la cobertura vegetal y presenta una muy pobre exposición, razón por la cual algunas de las descripciones de las formaciones se basan en datos de afloramientos aislados y sus espesores se han tomado de las columnas medidas en otros estudios elaborados por el Servicio Geológico Colombiano – SGC (antes INGEOMINAS).

- **Periodo: Neógeno**
- ✓ **Época: Mioceno - Oligoceno**
 - **Unidad geológica: Formación Guayabo (N2c)**

Para la caracterización de la unidad geológica denominada Formación Guayabo (N2c), se tomó como referencia la información contenida en la Memoria Explicativa del *mapa Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002*⁴¹, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁴², Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001⁴³ y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010 ⁴⁴. Adicionalmente, se contó con la información obtenida a partir de las observaciones de campo realizadas en las estaciones GEOL-9, GEOL-10 y GEOL-11, en el mes de enero y febrero de 2023 (Tabla 3.2.1-4).

Tabla 3.2.1-4 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de la Formación Guayabo (N2c)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-9 | 4950991,47 | 2031284,14 |
| GEOL-10 | 4952854,64 | 2032032,45 |
| GEOL-11 | 4952535,31 | 2032638,64 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

La Formación Guayabo (N2c), aflora hacia el costado noroccidental del área de influencia y ocupa el 3,22% de la misma. Con base en las fuentes de información antes señalada se puede mencionar que la Formación Guayabo (N2c), está constituida hacia la base por arcillolitas y limolitas de color rojizas con algunas intercalaciones de areniscas arcillosas rojizas, de grano fino a medio y conglomerados de hasta 1 m de espesor (los análisis petrográficos indican que las areniscas se pueden clasificar como subgrawacas). Hacia la parte media le suprayace una alternancia de arcillolitas y conglomerados de cantos de cuarzo, areniscas y chert hasta de 5 cm de diámetro, cementados en una matriz arenosa. Hacia el techo, se presentan conglomerados que se hacen más gruesos hasta llegar aproximadamente a unos 30 cm de diámetro. Los estratos de los conglomerados presentan frecuentes pinchamientos y los planos de estratificación son muy irregulares, se encuentran dispuestas subhorizontalmente con una inclinación que varía entre 5 a 10 grados y con una leve inclinación hacia el oriente.

Aunque es importante mencionar que debido a la poca representatividad de los afloramientos de la Formación Guayabo (N2c), fue posible identificar y describir a través de tres (3) estaciones de control geológico las características puntuales de la formación en mención dentro del área de influencia y corroborar la descripción dada por el análisis de la información secundaria. Las estaciones en mención fueron identificadas en el costado nororiental del área de influencia, respectivamente, cuya localización se presenta a continuación (**Figura 3.2.1-11**).

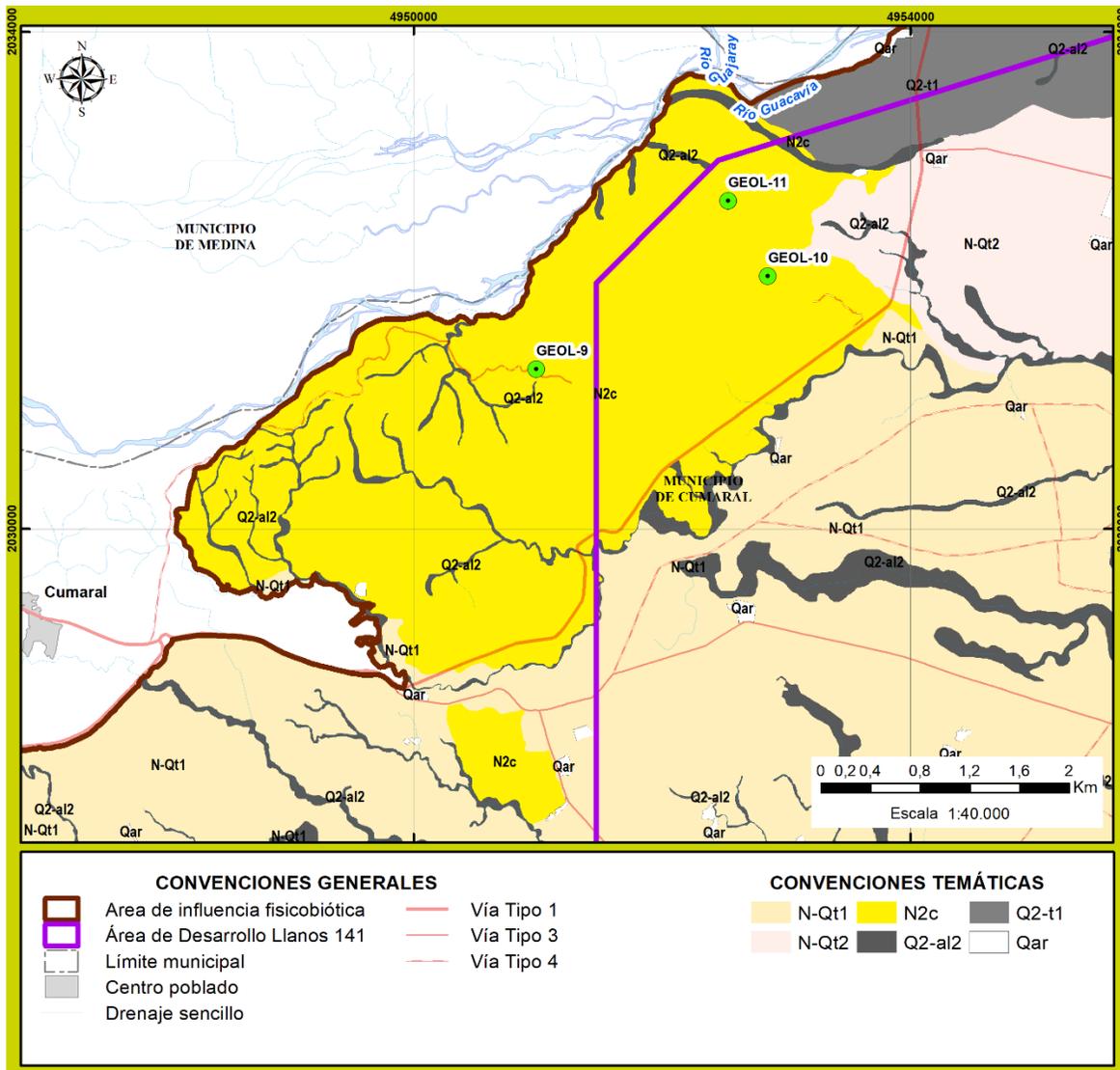
41 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

42 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

43 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

44 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

Figura 3.2.1-11 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de las rocas de la Formación Guayabo (N2c) - Área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141”



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

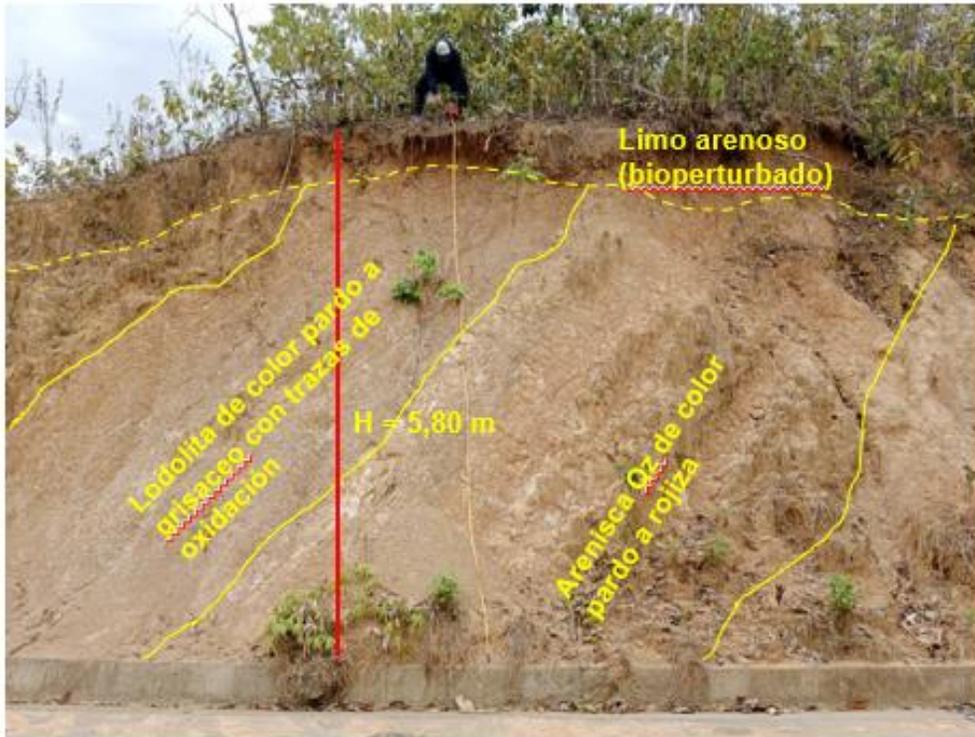
A continuación, se hace una descripción generalizada de las estaciones de control geológica GEOL-9, GEOL-10 y GEOL-11. La descripción detallada de las tres (3) estaciones geológicas se puede encontrar en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

○ **Descripción de las estaciones de control geológico denominada GEOL-9.**

En la estación geológica denominada GEOL-9, se observa un talud de altura entre 5,80 y 6,00 m, de longitud aproximada de 15 m y de pendiente cuasi vertical, identificado y asociado para la caracterización de las rocas de la Formación Guayabo (N2c) (**Fotografía 3.2.1-1**).

Litológicamente, el afloramiento presenta de tope a base, un nivel limo arenoso de aproximadamente 0,20 m de espesor constituido por un limo arenoso de color gris a marrón y con raíces (bioperturbado), posteriormente se presenta una intercalación de lodolitas de color pardo y areniscas algo cuarzosas de grano fino a medio ligeramente conglomerática en una matriz limo arcillosa, deleznales de color pardo a rojiza. Los estratos del afloramiento antes descritos presentan un rumbo de la estructura N55E y un buzamiento de 74NW.

Fotografía 3.2.1-1 Estación Geológica GEOL-9 - Caracterización de la Formación Guayabo (N2c)



Fecha: 13-02-2023

Descripción: Se presenta un talud de aproximadamente 5,80 m de altura y de pendiente casi vertical, constituido por una intercalación de lodolitas de color pardo y areniscas de color pardo a rojiza. Presenta un rumbo de los estratos N55E/74NE.

Coordenadas Origen Nacional E: 4950991,47 - N: 2031284,14

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

o **Descripción de las estaciones de control geológico denominada GEOL-10.**

En la estación geológica denominada GEOL-10, se observa una ladera cubierta por algunos bloques superficialmente y en cuya base se observa un afloramiento de 3 m de altura y 10 m de longitud aproximadamente, de pendiente empinada, asociado con las rocas de la Formación Guayabo (N2c) (Fotografía 3.2.1-2).

Litológicamente, el afloramiento en mención está constituido hacia el tope por un limo arcilloso con presencia de raíces, posteriormente y hacia la parte media se presenta una arenisca algo conglomerática de coloración pardo a rojiza (con un plano de estratificación N62E/74NW). Finalmente, hacia la base se presenta una lodolita arenosa intercalada con arcillolitas de color rojiza a moteada.

Fotografía 3.2.1-2 Estación Geológica GEOL-10 - Caracterización de la Formación Guayabo (N2c)



Fecha: 13-02-2023

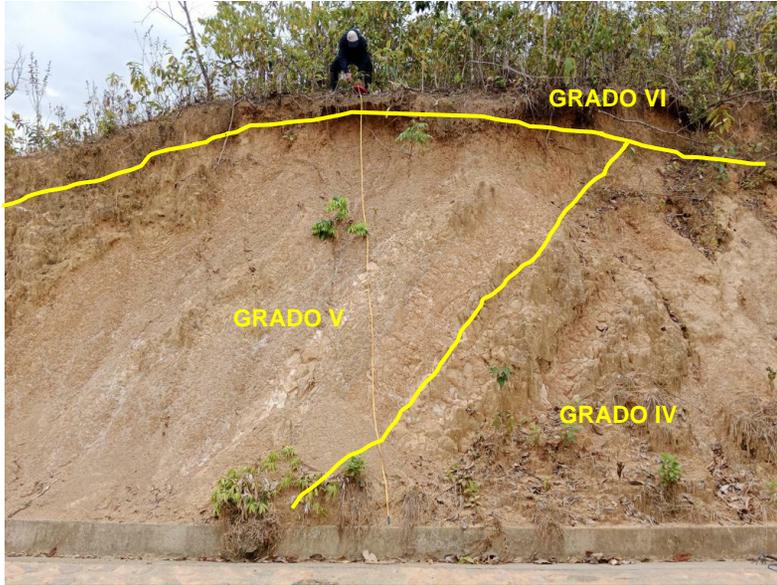
Descripción: Constituida hacia el tope por un limo arcilloso con presencia de raíces, seguido de una arenisca algo conglomerática de coloración pardo a rojiza, con un plano de estratificación 332/74. Hacia la base se presenta un limo arenoso intercalados con arcillolitas rojas moteadas. Coordenadas Origen Nacional E: 4952854,64 - N: 2032032,45
Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)



❖ Perfil de meteorización

Como consecuencia de las características de la roca asociada a la Formación Guayabo (N2C), en el afloramiento observado en la estación GEOL-9, se presenta de tope a base, un nivel limo arenoso de aproximadamente 0,20 m de espesor, de color gris a marrón y con raíces (bioperturbado) asociado con el grado VI de meteorización, posteriormente se presenta una intercalación de lodolitas de color pardo y areniscas algo cuarzosas de grano fino a medio ligeramente conglomerática en una matriz limo arcillosa, deleznales de color pardo a rojiza, asociado con el nivel V de meteorización. Finalmente, se presenta una intercalación de lodolitas y areniscas cuarzosas, en donde se observan las estructuras heredadas (planos de estratificación y diaclasas) (Tabla 3.2.1-5).

Tabla 3.2.1-5 Perfil de meteorización (según Dearman, 1974) de los estratos rocosos de la Formación Guayabo (N2c)

| ZONA | GRADO | UNIDAD | DESCRIPCIÓN | REGISTRO FOTOGRÁFICO |
|---|-------|------------------|--|--|
| Suelo residual (Sr) | VI | Suelo | La capa superior presenta materia orgánica (limo), contiene humus y restos de raíces de plantas bioperturbada), de color gris. |  |
| Roca completamente meteorizada (Rcm) | V | Saprolito fino | Corresponde a una roca decolorada, donde el macizo rocoso esta descompuesto Y7o desintegrado, pero aún conserva algo de la macro fábrica original. Se conservan estructuras heredadas (planos de estratificación, diaclasas). Se presentan fragmentos rocosos entre el 10 y 35%, desmenuzable. | |
| Roca altamente meteorizada (Ram) | IV | Saprolito grueso | Roca decolorada, Se presentan fragmentos rocosos desmenuzables sin ayuda del martillo, Se mantienen las estructuras heredadas (planos de estratificación, diaclasas), oxidadas, abiertas y sin relleno, Se presentan fragmentos e roca sin meteorizar en una proporción del 50%. | |

Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

- **Periodo: Cuaternario**
- ✓ **Época: Plioceno**
 - **Unidad geológica: Abanico – Terraza Nivel 1 (N-Qt1) y Nivel 2 (N-Qt2)**

Para la caracterización de la unidad geológica denominada Formación Guayabo (N2c), se tomó como referencia la información contenida en la Memoria Explicativa del *mapa Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002*⁴⁵, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁴⁶, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001⁴⁷ y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010 ⁴⁸. Adicionalmente, se contó con la información obtenida a partir de las observaciones de campo realizadas en el mes de enero y febrero de 2023, las estaciones GEOL-1 y GEOL-2 caracterizan la unidad denominada N-Qt1 (**Tabla 3.2.1-6 y Figura 3.2.1-12**) y la estación GEOL-15 describe la unidad llamada N-Qt2 (**Tabla 3.2.1-7 y Figura 3.2.1-12**).

La descripción detallada de las estaciones geológicas antes mencionadas se presenta en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

Tabla 3.2.1-6 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización del Depósito de Abanico -Terraza Nivel 1 (N-Qt1)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-1 | 4951121,14 | 2028869,48 |
| GEOL-2 | 4945235,88 | 2026182,11 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Tabla 3.2.1-7 Localización de la estación de control geológico para la caracterización del Depósito de Abanico Terraza Nivel 2 (N-Qt2)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-15 | 4961715,48 | 2032964,25 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

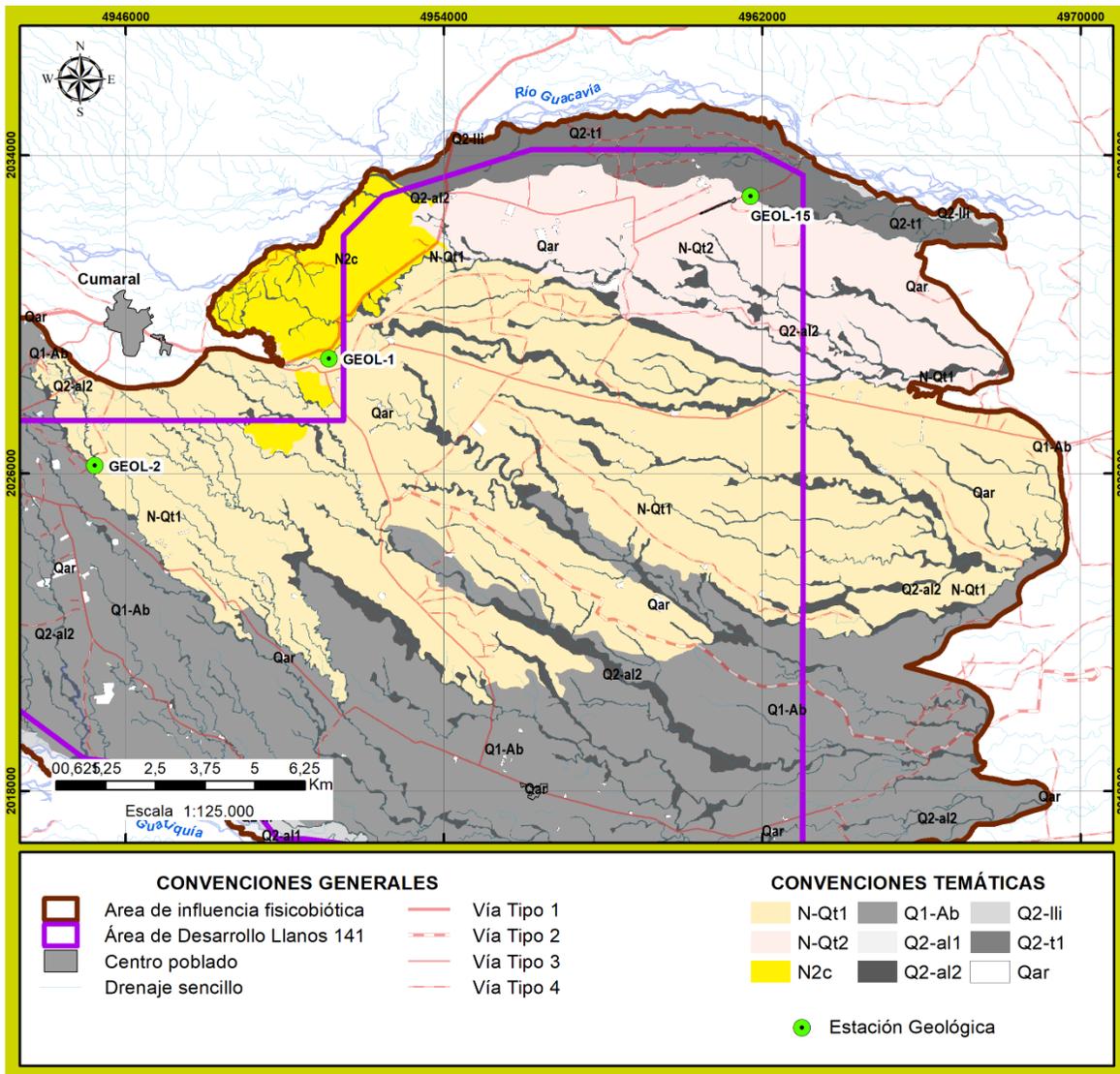
45 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

46 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

47 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

48 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

Figura 3.2.1-12 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización das Abanico – Terraza Nivel 1 (N-Qt1) y Nivel 2 (N-Qt2) - Área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141”



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

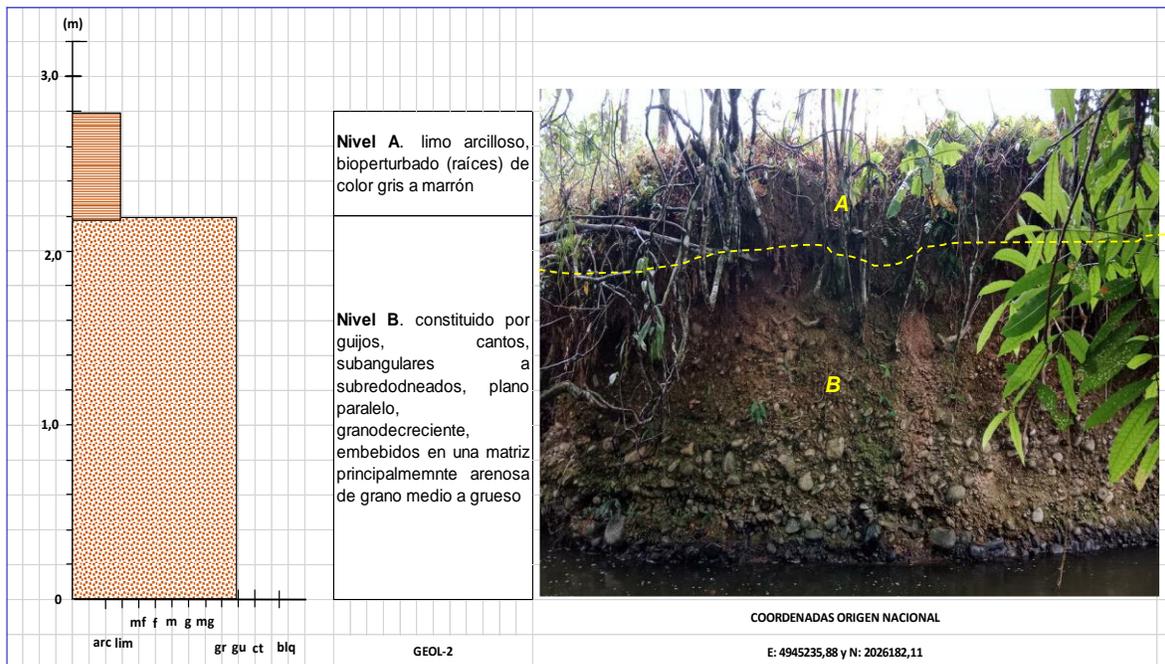
El depósito denominado N-Qt1 aflora hacia la parte central y oriental del área de influencia donde se enmarca el proyecto, con una extensión que alcanza el **34,01%** del área de influencia citada. Asimismo, la unidad N-Qt2 aflora hacia el costado nororiental del área de influencia y ocupa el **9,68%** de está. Se encuentra constituido por guijarros, guijos, gránulos y ocasionalmente por bloques, redondeados, litológicamente constituidos por areniscas cuarzosas de grano fino, de colores blancos y grises, areniscas de colores grises verdosas con vetas de cuarzo y en menor porcentajes areniscas conglomeráticas de color café claro a blanco. El depósito es clasto soportado con un porcentaje de matriz de composición limo arenosa de color marrón menor al 5%, con un espesor que alcanza aproximadamente los 10 m.

A continuación, se hace una descripción generalizada de las estaciones de control geológica GEOL-2 y GEOL-15. La descripción detallada de las dos (2) estaciones geológicas se puede encontrar en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

○ **Descripción de la estación de control geológico denominadas GEOL-2**

La estación geológica denominada GEOL-2, se localiza hacia el costado occidental del área de influencia, corresponde a un afloramiento asociado al Abanico – Terraza Nivel 1 (N-Qt1), de aproximadamente 2,80 m de altura, 10 m de longitud y una pendiente cuasi vertical. El afloramiento en mención está constituido en la parte alta por un nivel limo arcilloso bioperturbado de aproximadamente 30 cm de espesor; posteriormente y hacia la parte media y baja del afloramiento se presenta un nivel de aproximadamente 2,10 m de espesor constituido por guijos, cantos, subangulares, grano decreciente, embebidos en una matriz arenosa de grano medio a grueso (**Tabla 3.2.1-8**).

Tabla 3.2.1-8 Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-2- Caracterización del Depósito de Abanico -Terraza Nivel 1 (N-Qt1)



Fecha: 16-02-2023

Descripción: Margen de aproximadamente 2,80 de altura, constituido por guijos, cantos, subangulares a subredondeados, plano paralelo, grano decreciente, embebidos en una matriz principalmente arenosa de grano medio a grueso, los primeros 60 cm están constituidos por un limo arcilloso, bioperturbado (raíces) de color gris a marrón.

Coordenadas Origen Nacional E: 4945235,88125 - N: 2026182,11291

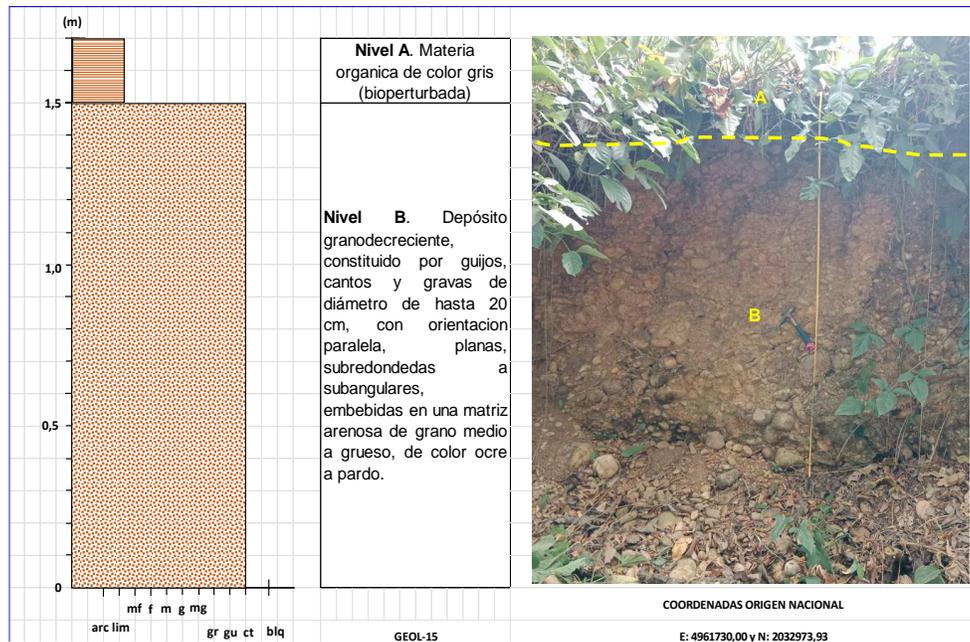
Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

○ **Descripción de las estaciones de control geológico denominadas GEOL-15**

La estación geológica denomina GEOL-15, se localiza hacia el costado nororiental del área de influencia, corresponde a un afloramiento asociado al Abanico – Terraza Nivel 2 (N-Qt2), de aproximadamente 1,7 m de altura, 10 m de longitud y una pendiente cuasi vertical. El afloramiento en mención está constituido en la parte alta por un nivel de materia orgánica de aproximadamente 20 cm de espesor y hacia la parte media del afloramiento se presenta un nivel de aproximadamente 1,3 m de espesor constituido por un depósito granodecreciente, constituido por guijos, cantos y

gravas de diámetro de hasta 20 cm, con orientación paralela, planas, subredondeadas a subangulares, embebidas en una matriz arenosa de grano medio a grueso, de color ocre a pardo (Tabla 3.2.1-9).

Tabla 3.2.1-9 Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-15 - Caracterización del Depósito de Abanico -Terraza Nivel 2 (N-Qt2)



Fecha: 16-02-2023

Descripción: Talud de corte de aproximadamente 1,70 m de altura, 10 m de longitud y de pendiente cuasi vertical, constituido de tope a base por materia orgánica de color gris y hacia la parte media y baja de la ladera por un depósito grano decreciente constituido por guijos, cantos y gravas, subredondeadas a subangulares embebidos en una matriz arenosa de grano medio a grueso.

Coordenadas Origen Nacional E: 4961715,48 - N: 2032964,25

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

○ **Unidad geológica: Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab)**

Para la caracterización de la unidad geológica denominada Depósito de Abanico Aluvial, se tomó como referencia la información contenida en la Memoria Explicativa del mapa *Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002*⁴⁹, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁵⁰, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001⁵¹ y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010 ⁵². Adicionalmente, se contó con la información obtenida a partir de las observaciones de campo realizadas en las estaciones geológicas GEOL-5, GEOL-14, GEOL-18, GEOL-19 y GEOL-20, en el mes de enero y febrero de 2023 (Tabla 3.2.1-10 y Figura 3.2.1-13).

49 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

50 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

51 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

52 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

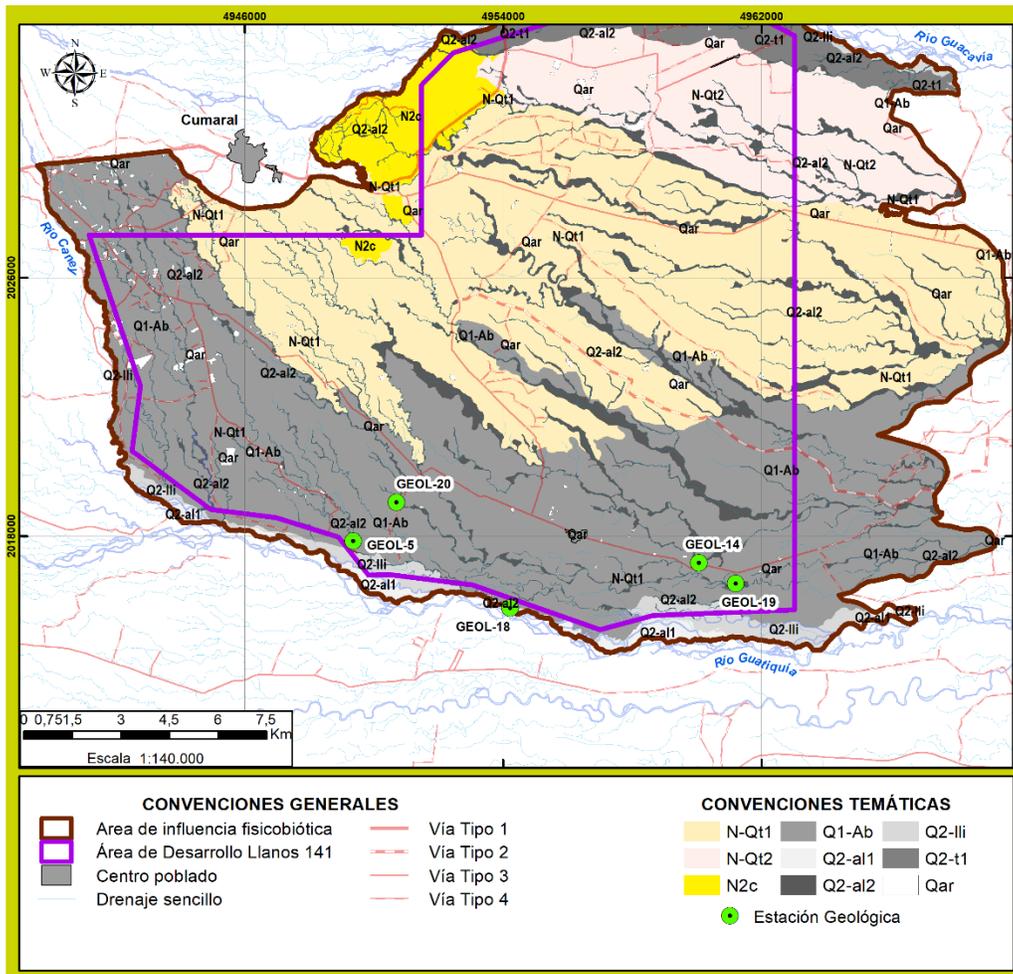
La descripción detallada de las estaciones geológicas mencionadas se presenta en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

Tabla 3.2.1-10 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-5 | 4949368,2 | 2017849,46 |
| GEOL-14 | 4960076,14 | 2017177,85 |
| GEOL-18 | 4954229,76 | 2015778,08 |
| GEOL-19 | 4961206,51 | 2016531,65 |
| GEOL-20 | 4950702,56 | 2019052,61 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-13 Afloramiento del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab) dentro del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141”



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

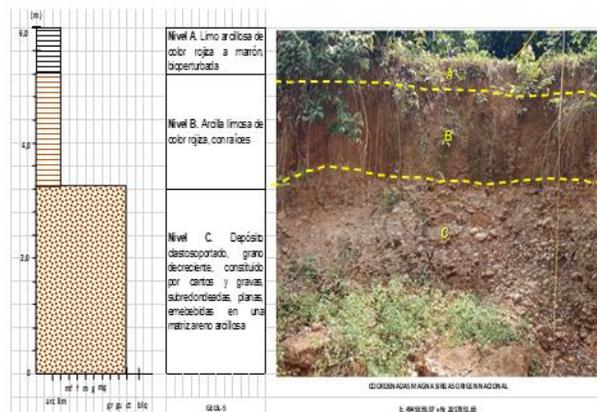
El Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab) aflora hacia el costado noroccidental y suoriental del área de influencia y ocupa el **36,38%** de la misma. Con base en las fuentes de información antes señalada

se puede mencionar que este depósito está constituido por una acumulación de baja consolidación de materiales arcillosos y limosos de color rojizo a gris y cantos redondeados de composición cuarzosa, mal seleccionados. Se estima que el espesor de este depósito alcanza entre los 10 a 15 m. A continuación, se hace una descripción generalizada de las estaciones de control geológica GEOL-5 y GEOL-14. La descripción detallada de las dos (2) estaciones geológicas se puede encontrar en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

- **Descripción de la estación de control geológico denominada GEOL-5**

En la estación geológica denominada GEOL-5 localizada en la parte sur del área de influencia y en cercanías el río Guatiquía, se observa un talud de altura 6,00 m aproximadamente, de longitud aproximada de 20 m y de pendiente cuasi vertical. Litológicamente, el afloramiento presenta de tope a base, un nivel limo arcilloso de aproximadamente 0,20 m de espesor de color rojizo a marrón y con raíces (bioperturbado), posteriormente se presenta una arcilla limosa de color rojiza de aproximadamente 2,0 m de espesor y finalmente, desde la parte media del talud hacia la base se observa un depósito clasto soportado, grano decreciente, constituido por cantos y gravas, subredondeadas, planas, embebidas en una matriz areno arcillosa (**Fotografía 3.2.1-3**).

Fotografía 3.2.1-3 Estación Geológica GEOL-5 - Caracterización del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab)



Fecha: 18-02-2023

Descripción: Talud de corte de aproximadamente 6,0 m de altura, 20 m de longitud y de pendiente cuasi vertical, constituido de tope a base por una arcilla limosa de color rojizo y hacia la parte media y baja del talud por depósito de cantos, guijos y gravas, subredondeadas embebidos en una matriz areno arcillosa, clasto soportado.

Coordenadas Origen Nacional E: 4949368,20 - N: 2017849,46

Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

- **Descripción de la estación de control geológico denominada GEOL-14**

La estación geológica denominada GEOL-14, se localiza sobre el costado suroccidental del área de influencia corresponde a un afloramiento asociado a un talud de corte realizado por la comunidad para acceder al sector, el cual se caracteriza por presentar una altura promedio de 2,80 m, 10 a 15 m de longitud y una pendiente cuasi vertical. El afloramiento en mención está constituido de tope a base por un depósito de cantos, guijos y gravas de hasta 0,15 m de diámetro en promedio, subredondeados, planos y alargados, de composición polimictica, embebidos en una matriz areno limosa, de grano medio a grueso, de color marrón, seco y de compacidad moderada (Tabla 3.2.1-11).

Tabla 3.2.1-11 Estación Geológica GEOL-14 - Caracterización del Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab)



Fecha: 11-02-2023

Descripción: Talud de corte de aproximadamente 2890 m de altura, constituido por un depósito de cantos, guijos y gravas, subredondeadas embebidos en una matriz areno limosa.

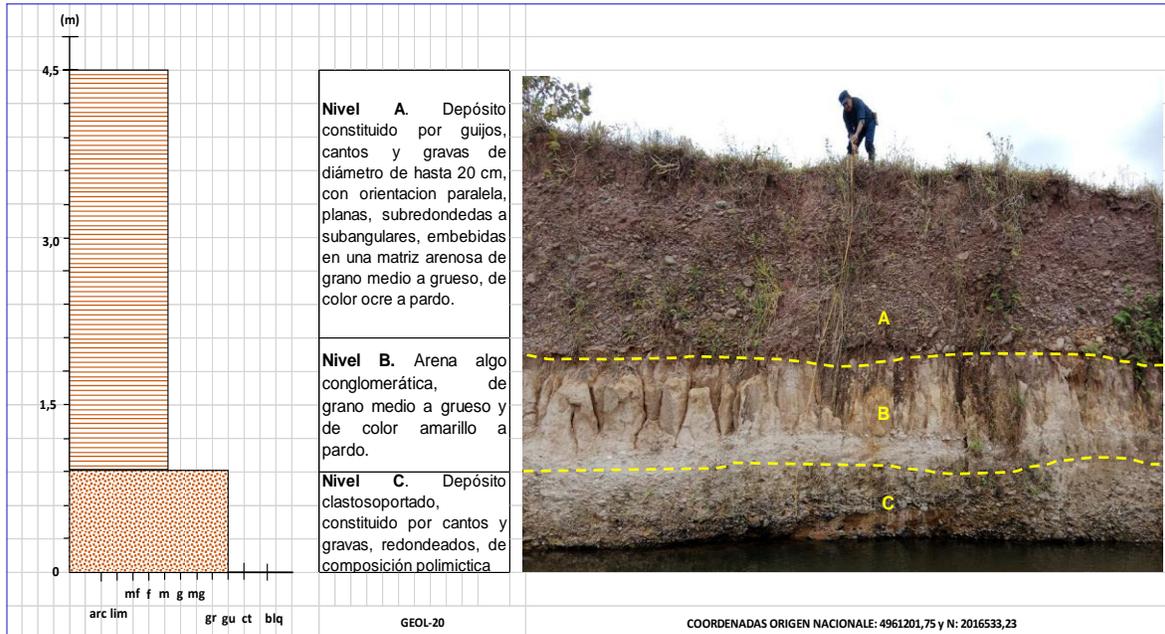
Coordenadas Origen Nacional E: 4960076,14 - N: 2017177,85

Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

○ **Descripción de la estación de control geológico denominadas GEOL-20**

La estación geológica denominada GEOL-20, se localiza hacia el costado suroriental del área de influencia, corresponde a un afloramiento asociado al Abanico Aluvial (Q1Ab), de aproximadamente 4,5 m de altura, 20 m de longitud y una pendiente cuasi vertical. El afloramiento en mención está constituido en la parte alta por un nivel de guijos, cantos y gravas de diámetro de hasta 20 cm, con orientación paralela, planas, subredondeadas a subangulares, embebidas en una matriz arenosa de grano medio a grueso, de color ocre a pardo y de aproximadamente 1,7 m de espesor; posteriormente y hacia la parte media del afloramiento se presenta un nivel de aproximadamente 1,0 m de espesor constituido por un arena algo conglomerática, de grano medio a grueso y de color amarillo a pardo; finalmente, hacia la parte media y baja del afloramiento se presenta un depósito clasto soportado, constituido por cantos y gravas, redondeados, de composición polimictica (Tabla 3.2.1-12).

Tabla 3.2.1-12 Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-20 - Caracterización del Abanico Aluvial (Q1Ab)



Fecha: 18-02-2023

Descripción: Talud de corte de aproximadamente 6,0 m de altura, 20 m de longitud y de pendiente cuasi vertical, constituido de tope a base por una arcilla limosa de color rojiza y hacia la parte media y baja del talud por pósito de cantos, guijos y gravas, subredondeadas embebidos en una matriz areno arcillosa, clasto soportado.

Coordenadas Origen Nacional E: 4950702,56 - N: 2019052,61

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

○ Depósitos de Terraza Aluvial (Q2-t1)

Para la caracterización de la unidad geológica denominada Depósito de Abanico Aluvial, se tomó como referencia la información contenida en la Memoria Explicativa del mapa *Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002*⁵³, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁵⁴, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001⁵⁵ y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010 ⁵⁶. Adicionalmente, se contó con la información obtenida a partir de las observaciones de campo realizadas en la estación geológica GEOL-16, en el mes de enero y febrero de 2023 (**Tabla 3.2.1-13 y Figura 3.2.1-14**).

La descripción detallada de la estación geológica mencionada se presenta en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

Tabla 3.2.1-13 Localización de la estación de control geológico para la caracterización del Depósito de Terraza (Q2-t1)

53 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

54 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 248 – Pachaquiario. Memoria Explicativa. Año 2010.

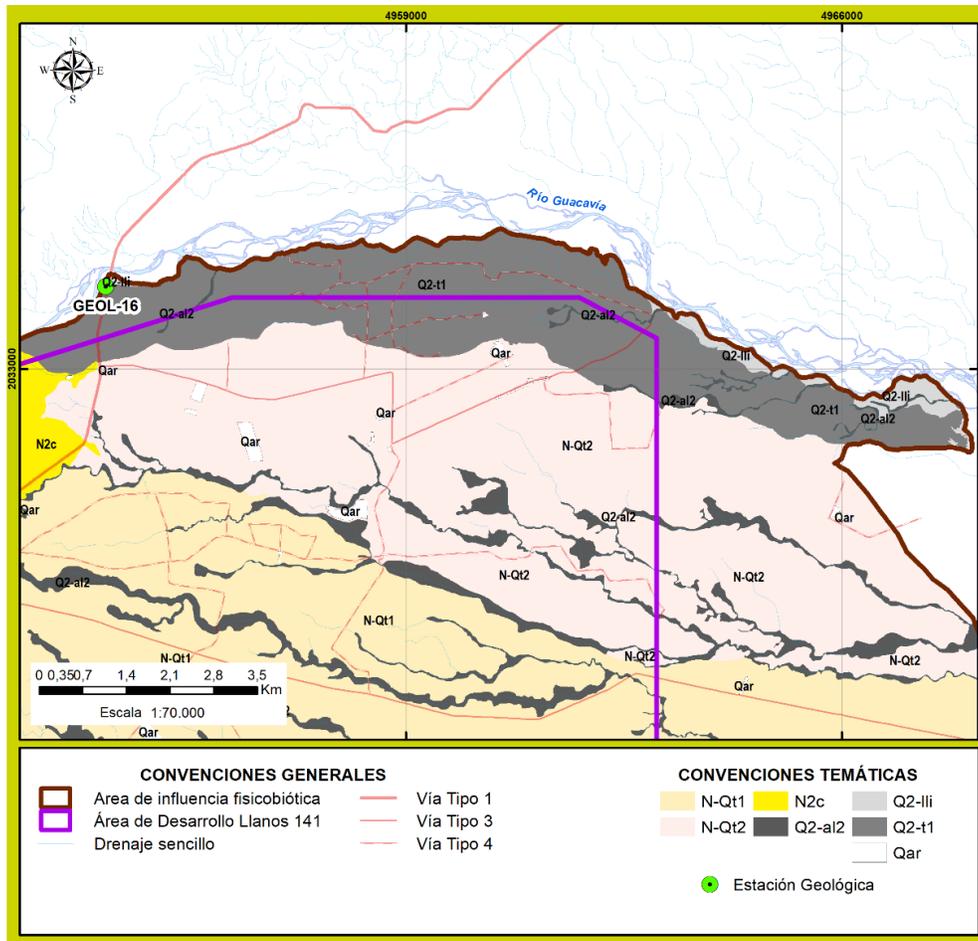
55 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

56 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-16 | 4954182,23 | 2034323,54 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-14 Afloramiento del Depósito de Terraza (Q2-t1) dentro del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141”



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

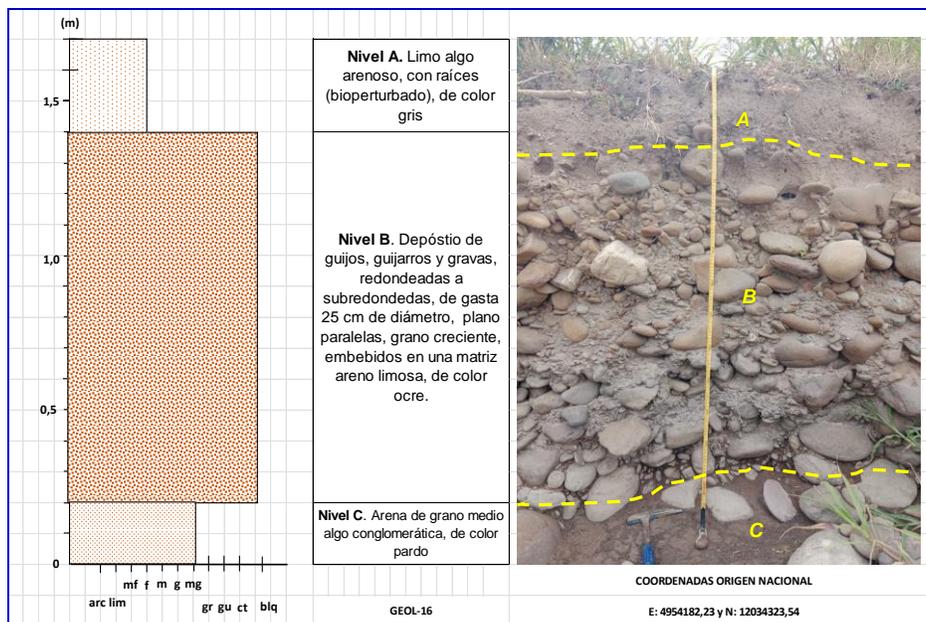
El Depósito de Terraza Aluvial en mención aflora hacia el costado noroccidental del área de influencia y ocupa 4,20% de la misma. Con base en las fuentes de información antes señalada se puede mencionar que este material corresponde a un depósito topográficamente más bajo con respecto a las terrazas más antiguas (N-Qt1 t N-Qt2) y mucho más próximas a las márgenes de los ríos, su superficie aparece mucho más plana y menos disectada y con menor influencia meteórica y tectónica. Se localizan en algunos sectores cercanos al casco urbano de Cumaral (en la cuenca del río Guacavía). Litológicamente están compuestos por conglomerados clasto soportados (en proporción 60/40 entre clastos y matriz), los clastos corresponden a areniscas de grano medio a fino, medianamente seleccionados, subredondeados a subangulares con diámetros que varían entre 20 cm y 2 cm, la matriz es areno arcillosa.

A continuación, se hace una descripción generalizada de las estaciones de control geológica GEOL-16. La descripción detallada de la estación geológica se puede encontrar en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

○ **Descripción de la estación de control geológico denominada GEOL-16**

La estación geológica denominada GEOL-16, se localiza sobre el costado norte - noreste del área de influencia corresponde a un afloramiento asociado a la margen derecha del río Guacavía, el cual se caracteriza por presentar una altura promedio de 1,70 m, 15 m de longitud y una pendiente cuasi vertical. El afloramiento en mención está constituido de tope a base por un limo algo arenoso de color gris; seguido por un depósito de guijos, guijarros y gravas, redondeadas a subredondeadas, de hasta 25 cm de diámetro, grano creciente, embebidos en una matriz areno limosa, de color ocre (Tabla 3.2.1-14).

Tabla 3.2.1-14 Perfil litológico a partir de la estación de control geológico GEOL-16 - Caracterización del Depósitos de Terraza Aluvial (Q2t1)



Fecha: 14-02-2023

Descripción: Margen derecha del río Guacavía de aproximadamente 1,70 m de altura, constituido de tope a base por un limo algo arenoso, seguido de guijos, y gravas, subredondeadas.

Coordenadas Origen Nacional E: 4954182,23 - N: 2034323,54.

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

○ **Depósitos de Llanura de inundación (Q2Ili)**

Para la caracterización de la unidad geológica denominada Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Mayores, se tomó como referencia la información contenida en la Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002⁵⁷, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁵⁸, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio

57 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

58 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

Geológico Colombiano. 2001⁵⁹ y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010⁶⁰. (Tabla 3.2.1-15 y Figura 3.2.1-15).

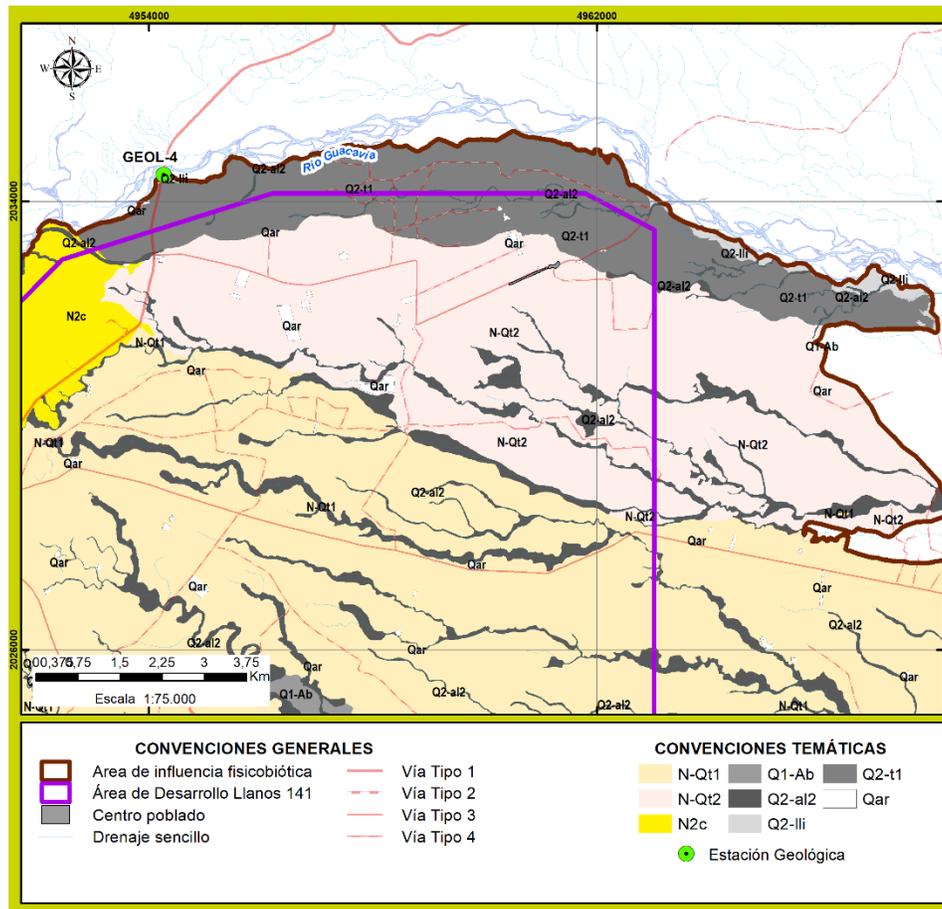
La descripción detallada de la estación geológica mencionada se presenta en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

Tabla 3.2.1-15 Localización de la estación de control geológico para la caracterización del Depósito de Llanura de Inundación (Q2Ili)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-4 | 4954268,48 | 2034477,19 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-15 Localización espacial de las estaciones de control geológico del Depósito de Llanura de Inundación (Q2Ili)



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

El Depósito de Llanura de Inundación en mención aflora hacia el costado noroccidental y suroriental del área de influencia y ocupa el 2,15% de la misma. Con base en las fuentes de información antes

59 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

60 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

señalada se puede mencionar que este depósito está constituido por una acumulación inconsolidada de materiales arcillo limosos con colores que varían de rojo a gris, en ocasiones presentan niveles de cantos redondeados a subredondeados de composición cuarzosa, mal seleccionados. Se estima que alcanzan un espesor aproximado entre 10 a 15 metros (**Fotografía 3.2.1-4**).

Fotografía 3.2.1-4 Estación Geológica GEOL-4 - Caracterización Geológica de del Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Mayores (Q2al-1) – Río Guacavía



Fecha: 14-02-2023

Descripción: Panorámica del valle aluvial del río Guacavía, constituido por material granular de composición polimictica y de tamaño variable.

Coordenadas Origen Nacional E: 4954258,95 - N: 2034531, 17

Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

○ **Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Mayores (Q2- al1)**

Para la caracterización de la unidad geológica denominada Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Mayores, se tomó como referencia la información contenida en la Memoria Explicativa del *Mapa Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002*⁶¹, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁶², Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001 y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010⁶³. Adicionalmente, se contó con la información obtenida a partir de las observaciones de campo realizada en la estación geológica GEOL-7, en el mes de enero y febrero de 2023 (**Tabla 3.2.1-16 y Figura 3.2.1-16**).

La descripción detallada de las estaciones geológicas GEOL-4 y GEOL-7 se presenta en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

61 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

62 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

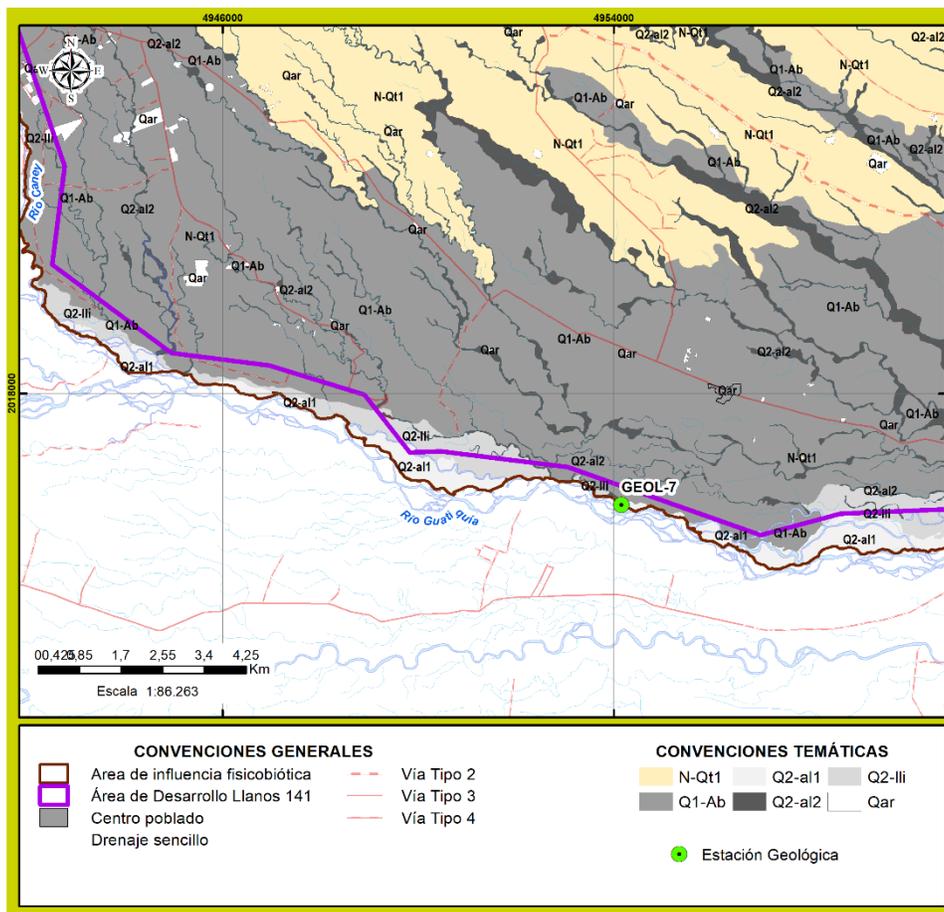
63 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

Tabla 3.2.1-16 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-1)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-7 | 4954163,3 | 2015717,05 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

Figura 3.2.1-16 Localización espacial de las estaciones de control geológico del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-1)



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S, 2023)

En el área de influencia donde se enmarca el proyecto estos depósitos se encuentran asociados a la red del drenaje mayor o principal y que a lo largo de su recorrido labra diferentes tipos de litologías (ya sea rocas duras, blandas y/o depósitos Cuaternarios), formando valles extensos y de cauces amplios. Está unidad ocupa el 1,26% del área de influencia.

Los depósitos en mención se encuentran restringidos a los ríos principales de la región, tales como: río Guatiquía, Guacavía y Caney, entre otros. De composición variada, constituidos principalmente por bloques, gránulos, guijos, guijarros, muy redondeadas, los materiales transportados son principalmente cuarzo lechoso y con cantidades importantes de areniscas, lutitas, arcillolitas, materiales metamórficos (filitas, esquistos y cuarcitas, entre otros). Adicionalmente, se presentan bancos de arena de grano medio a grueso (**Fotografía 3.2.1-5**).

Fotografía 3.2.1-5 Estación Geológica GEOL – 7 - Caracterización Geológica de del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-1) – Río Guatiquía



Fecha: 11-02-2023

Descripción: Panorámica del valle aluvial del río Guatiquía, cuyo cauce está conformado por material granular de composición polimictica y de tamaño variable.

Coordenadas Origen Nacional E: 4954163,30 - N: 2015717,05

Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

○ **Unidad geológica: Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores (Q2-al2)**

Para la caracterización de la unidad geológica denominada Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores, se tomó como referencia la información contenida en la Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Departamento del Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS. Año 2002⁶⁴., Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁶⁵, Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001⁶⁶ y la Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010⁶⁷.. Adicionalmente, se contó con la información obtenida a partir de las observaciones de campo realizada en las estaciones geológicas GEOL-3, GEOL-8, GEOL-12, GEOL-13 y GEOL-17, en el mes de enero y febrero de 2023 (Tabla 3.2.1-17 y Figura 3.2.1-17).

La descripción detallada de las estaciones geológicas mencionadas se presenta en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

Tabla 3.2.1-17 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización de los Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores (Q2-al2)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-3 | 4951448,48 | 2018831,81 |
| GEOL-8 | 4949352,4 | 2017854,3 |
| GEOL-12 | 4950669,24 | 2027210,53 |
| GEOL-13 | 4961180,24 | 2016527,82 |

64 RODRÍGUEZ, José Antonio, Compilador. Geología del Departamento de Meta. Escala 1:500.000. INGEOMINAS, Bogotá, 2012.

65 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

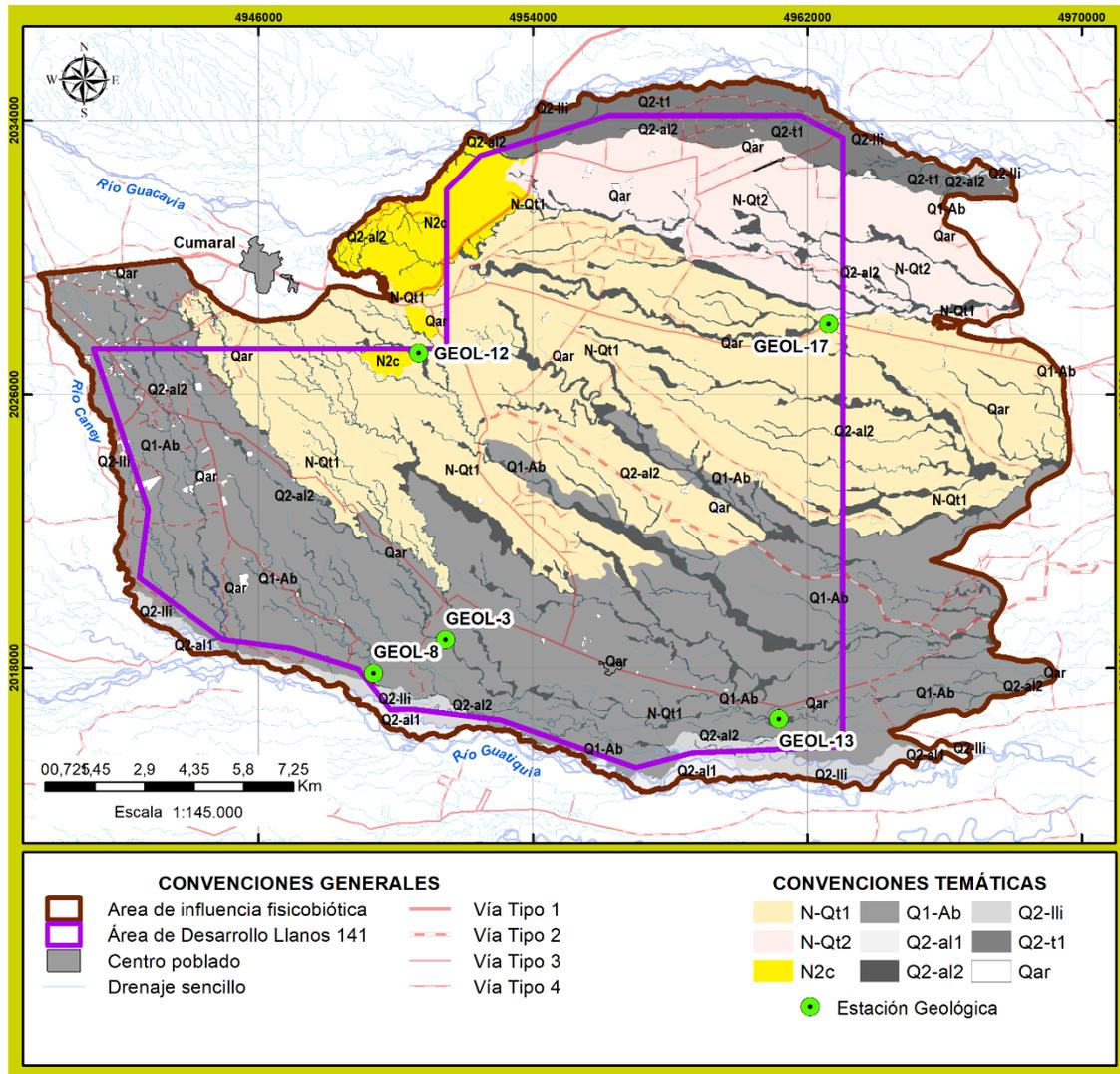
66 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

67 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-17 | 4962622,73 | 2028050,66 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-17 Localización espacial de las estaciones de control geológico del Depósito Aluvial Reciente de Cauces Mayores (Q2al-2)



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

En el área de influencia donde se enmarca el proyecto estos depósitos se encuentran asociados a la red del drenaje menor que a lo largo de su recorrido con un sentido preferencial NW-.SE, labra y/o disecta lateral y verticalmente diferentes tipos de unidades geológicas y por ende litologías (ya sea rocas duras, blandas y/o depósitos de origen aluvial) formando pequeños valles con fondo plano y de promedio entre 10 a 5 m de ancho y de márgenes cuasi verticales, que transportan materiales de composición y tamaño heterométrico, con un espesor menor a los 5 m. Está unidad ocupa el 8,18% del área de influencia.

❖ Descripción de la estación de control geológico denominada GEOL-3

La estación geológica denominada GEOL-3, se localiza sobre el costado sur del área de influencia y está asociada al lecho del cauce activo del caño El Caibe Caney. A partir de la estación en mención fue posible identificar que el afloramiento está constituido granulométricamente por cantos, guijos, guijarros (principalmente areniscas cuarzosas), de moderada selección, subredondeados a subangulares, planos y alargados, de composición polimictica, embebidos en una matriz principalmente arenosa de grano medio a grueso, de color marrón.

El material que hace parte del lecho es producto del proceso de socavación lateral y de fondo, cuya acción continua y constante a lo largo de su recorrido va labrando y arrastrando diferentes tipos de materiales, cuyo origen dependerá de la fuente de material que está erosionando (**Fotografía 3.2.1-6**). Entre los principales drenajes asociados con esta litología se encuentra el caño El Caibe y el caño El Caney, entre otros.

Fotografía 3.2.1-6 Estación geológica GEOL-3 Detalle del Depósito Aluvial Asociado a Cauces Menores (Q2-al2)



Fecha: 16-03-2022

Descripción: Detalle de la granulometría del lecho aluvial asociado al caño Caney, constituido por material granular (cantos, guijarros, gránulos y arenas principalmente (Sección de 1m x 1m)⁶⁸.

Coordenadas Origen Nacional E: 4951448,48 - N: 2018831,81

Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

❖ Descripción de la estación de control geológico denominada GEOL-13

La estación geológica denominada GEOL-13, se localiza en el costado sureste del área de influencia (asociada al lecho del cauce activo del caño El Caibe). A partir de la estación en mención fue posible identificar que el afloramiento está constituido granulométricamente por cantos, guijos, guijarros (principalmente areniscas cuarzosas y cuarzos), de mala a moderada selección, redondeados a subredondeados, planos y alargados, de composición polimictica, embebidos en una matriz principalmente arenosa de grano medio a grueso, de color marrón.

El material que hace parte del lecho es producto del proceso de socavación lateral y de fondo, cuya acción continua y constante a lo largo de su recorrido va labrando y arrastrando diferentes tipos de materiales, cuyo origen dependerá de la fuente de material que está erosionando (**Fotografía 3.2.1-7**). Entre los principales drenajes asociados con esta litología se encuentra el caño El Caibe y el caño El Caney, entre otros.

Fotografía 3.2.1-7 Estación geológica GEOL-13. Detalle del Depósito Aluvial Reciente Asociado a Cauces Menores (Q2-al2)

⁶⁸ Clasificación granulométrica de los sedimentos de Wentworth (1922) y Krumbein (1934). Modificado de Ulmen_Scolle (2014).



Pag



Fecha: 11-02-2023

Descripción: Panorámica y detalle del lecho aluvial del caño El Caibe, constituido por material granular (cantos, guijarros, gránulos, arenas y limos) (Sección de 1 m x 1m)

Coordenadas Origen Nacional E: 4961180,24 - N: 2016527,82

Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

- **Unidad geológica: Relleno Antrópico (Qar)**

Para la caracterización del material denominado Relleno Antrópico (Qar), se tomó como fuente de información la estación geológica denominada GEOL-6 (Tabla 3.2.1-18). La descripción detallada de la estación geológica GEOL-6 se presenta en el **Anexo 3.2.1_Geología**.

Tabla 3.2.1-18 Localización de las estaciones de control geológico para la caracterización del Relleno Antrópico (Qar)

| ESTACIÓN GEOLÓGICA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | |
|--------------------|-----------------------------|------------|
| | ESTE | NORTE |
| GEOL-6 | 4955648,62 | 2032794,11 |

Fuente: ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023

A partir de la información antes mencionada, se puede concluir que los materiales bajo esta denominación (Qar) están constituidos por material granular, principalmente tamaño grava de composición polimíctica y de alta compacidad, utilizados para la conformación de rellenos de

diferente altura que no supera los 3 m aproximadamente (**Fotografía 3.2.1-8**). Está unidad ocupa el 0,91% del área de influencia.

Fotografía 3.2.1-8 Estación geológica GEOL-6. Detalle del Relleno Antrópico (Qar)



Fecha: 14-02-2023

Descripción: Panorámica de un área acondicionada a partir de la conformación de rellenos antrópico, de material granular principalmente y de diferente espesor

Coordenadas Origen Nacional E: 4955648,62 - N: 2032794,11

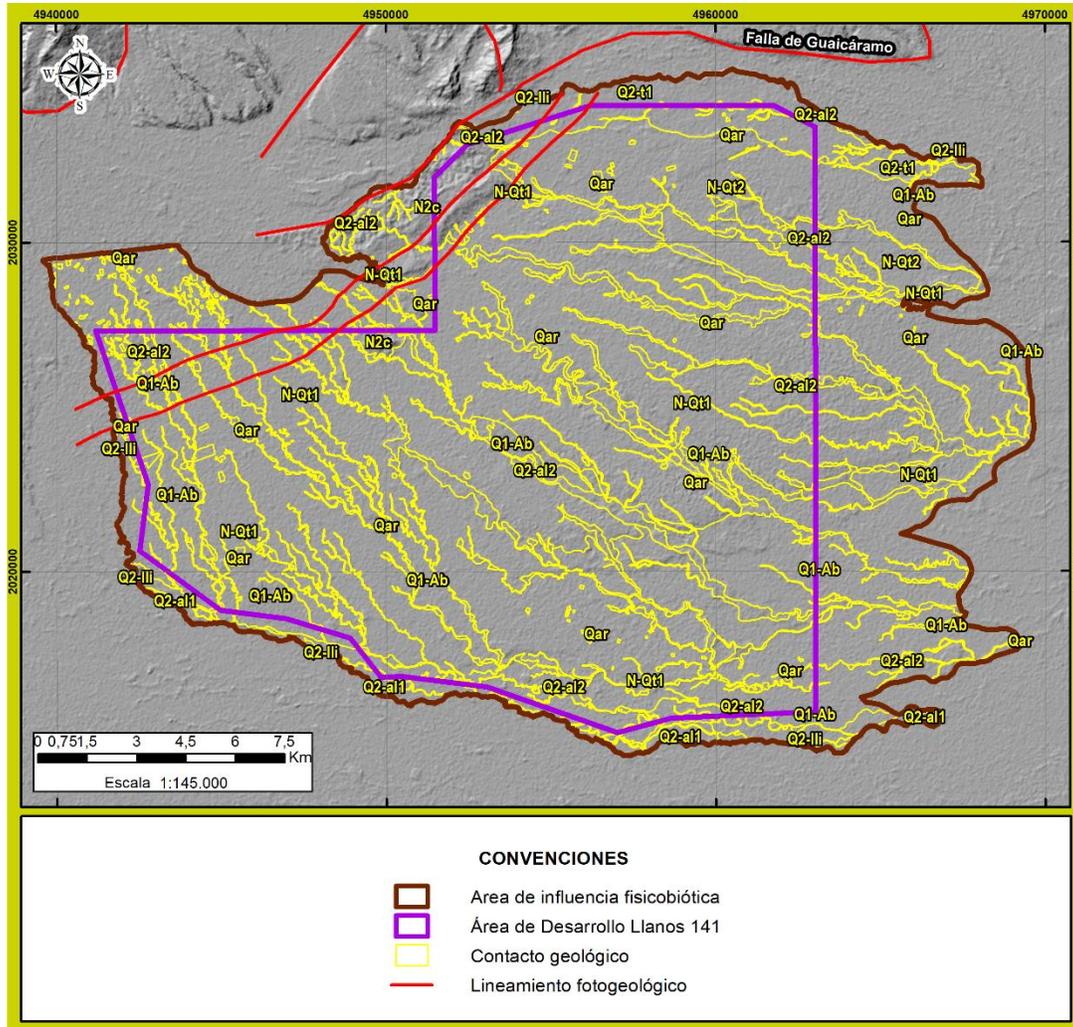
Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

3.2.1.2.2 Marco estructural del área de influencia

La caracterización del marco geológico estructural del área de influencia del “Área de Desarrollo Llanos 141” se realizó tomando como referencia la información secundaria recolectada en el Servicio Geológico Colombiano (antes INGEOMINAS), tal y como se mostró en el numeral 2.3_Metodología del Capítulo 2.0. Dicha información fue en primera instancia complementada con la elaboración una fotointerpretación geológica del área de influencia utilizando para ello una imagen Multiespectral SPOT 6, tomada en julio 29 del año 2022, con una resolución espacial de 1.5 metros y una resolución espectral de 4 bandas.

A partir de la información base mencionada, es importante indicar que el área de influencia presenta aproximadamente en el 97% del área un relieve de morfología baja asociada con una cobertura de depósitos del Cuaternario y que solo el 3% de la misma, presenta un relieve fuertemente inclinado (12-25%), asociado geológicamente con las rocas de la Formación Guayabo (N2c). A partir de dicha aclaración, en el área de influencia fue posible distinguir el trazo de dos (2) lineamientos de falla, localizados hacia el costado noroccidental, los cuales presentan un sentido preferencial SW- NE (línea en color rojo), tal y como se muestra en la **Figura 3.2.1-18**.

Figura 3.2.1-18 Marco geológico estructural del área de influencia donde se enmarca el proyecto



Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Posteriormente, se realizó una etapa de campo en el mes de enero y febrero de 2023, con el fin de corroborar la cartografía geológica definida en la etapa de precampo y en segunda instancia determinar a partir de estaciones de control, la litología de las formaciones identificadas y si era posible el levantamiento estructural (rumbos, buzamientos y planos de diaclasa), tal y como se muestra en la **Tabla 3.2.1-19** y en la **Figura 3.2.1-19**.

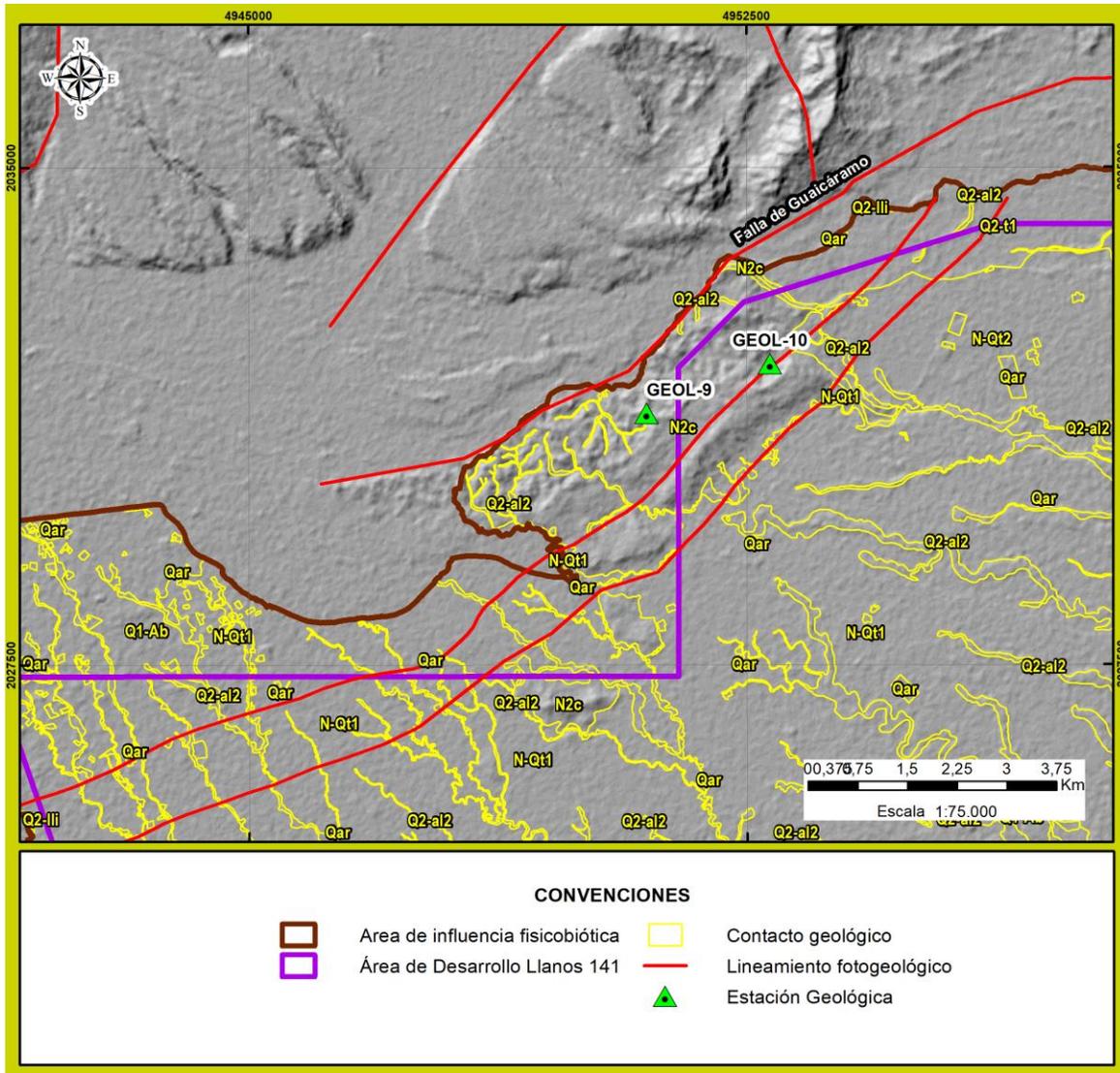
Tabla 3.2.1-19 Datos estructurales capturados a partir de la fotointerpretación y durante la etapa de campo en el área de influencia

| ESTACIÓN | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | TIPO DE DISCONTINUIDAD | | RUMBO | BUZAMIENTO | DIRECCIÓN DE AZIMUT DE BUZAMIENTO |
|----------|-----------------------------|------------|------------------------|----------|-------|------------|-----------------------------------|
| | ESTE | NORTE | ESTRATIFICACIÓN | DIACLASA | | | |
| GEOL-9 | 4950991,47 | 2031284,14 | X | | N55E | 74NW | 325 |
| GEOL-9 | 4950991,47 | 2031284,14 | | X | N48E | 88 NW | 88 |
| GEOL-10 | 4952854,64 | 2032032,45 | X | | N62E | 74NW | 332 |

| ESTACIÓN | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | TIPO DE DISCONTINUIDAD | | RUMBO | BUZAMIENTO | DIRECCIÓN DE AZIMUT DE BUZAMIENTO |
|----------|-----------------------------|------------|------------------------|----------|-------|------------|-----------------------------------|
| | ESTE | NORTE | ESTRATIFICACIÓN | DIACLASA | | | |
| GEOL-10 | 4952854,64 | 2032032,45 | | X | N22W | 85SE | 85 |

Fuente: (ANTEA Colombia S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-19 Marco geológico estructural del área de influencia donde se enmarca el proyecto



Fuente. (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

A partir de la información en mención, se puede indicar que en el área de influencia se identifican dos rasgos (2) estructuras principales con una orientación en sentido suroeste – noreste y que hacen parte del trazo del Sistema de Fallas de Guaicaramo (cuyo trazo principal está limitando el área de influencia por el costado norte).

✓ **Sistema de Fallas de Guaicaramo**

La Falla del Sistema de Guaicaramo, es de cabalgamiento, con diferentes direcciones a lo largo de su trazado, sin embargo, en el área de influencia presenta una dirección preferencial y/o trazo N50E, con vergencia hacia el oeste y pone en contacto las rocas de la Formación Une (Kiu) con rocas de la Formación Diablo (N1d), se comporta como una falla con ángulo bajo y es responsable en algunos sectores de inversiones de los estratos de la Formación Une (Kiu) y de la Formación Diablo (N1d).

✓ **Lineamientos fotogeológicos**

En la fotointerpretación se observa el trazo del Sistema de Fallas de Guaicaramo y paralelo a esta, se observa una serie de lineamientos en sentido NE-SW, cuyo indicador en superficie es el patrón del drenaje (de tipo angular a subangular) y a nivel del paisaje, es la direccionalidad de los cerros, el truncamiento de los lomos.

Asimismo, en la etapa de reconocimiento de campo se lo identificar que los estratos de la Formación Guayabo (N2c), presentan un rumbo preferencial N55E y N62E y un buzamiento 85 NW, con planos de diaclasa N48E y N22W y una alta inclinación mayor de 88 grados.

3.2.1.3 Amenazas naturales

De acuerdo con lo establecido por EIRD/ONU (2004), se definen como amenazas geológicas, aquellos eventos naturales que pueden causar la pérdida de vidas o daños materiales, la interrupción de las actividades sociales y económicas o la degradación ambiental; entre estos eventos se incluyen, tanto procesos terrestres internos (endógenos) como externos (exógenos); los primeros están ligados a la actividad tectónica, representada a manera de sismos, tsunamis, actividad de fallas geológicas, así como la actividad y emisiones volcánicas; los segundos, corresponden a procesos tales como movimientos en masa: deslizamientos, caídas de rocas, avalanchas, colapsos superficiales, licuefacción, suelos expansivos y subsidencias⁶⁹.

A escala regional, el desarrollo y transformación geológica-geomorfológica se encuentra relacionado con la Orogenia Andina aunada con los cambios climáticos, los que en conjunto han mantenido una amplia influencia sobre el modelado de las formas de origen estructural y denudativo. Así las cosas, y con el fin de identificar las diferentes amenazas naturales presentes en el contexto regional, se realiza un análisis de la amenaza asociada a la sismicidad, movimientos en masa y susceptibilidad a la inundación, los cuales se describen a continuación y desarrollados a partir de la recopilación y consulta de información secundaria.

3.2.1.3.1 Amenaza por actividad sísmica

Bajo esta denominación se considera la condición latente derivada de la posible ocurrencia de un sismo de cierta magnitud, distancia y profundidad, con capacidad de causar daño a la población y sus bienes, la infraestructura, el ambiente y la economía pública y privada. Para conocer la posible intensidad de la amenaza es necesario estudiar a nivel regional las fuentes sísmicas para determinar el potencial de generar sismos fuertes y la respuesta sísmica (amplificación o reamplificación) de los suelos y rocas ante las ondas sísmicas, máxime al considera que la actividad sísmica en el territorio colombiano es un aspecto de gran relevancia.

⁶⁹EIRD/ONU., (2004): Vivir con el riesgo: énfasis en la reducción del riesgo de desastres. Informe mundial sobre iniciativas para la reducción de desastres. Secretaría Interinstitucional de la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres, Naciones Unidas. 457 p New Cork.

El alcance previsto para la caracterización del área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141 donde se enmarcan las actividades del proyecto en función de la actividad sísmica se enfoca en tres (3) fuentes de información a saber:

- La primera, se enfoca inicialmente, en la identificación de la información histórica de los sismos reportados en la Red Sismológica Nacional (RSNC) dentro del área de influencia donde se enmarca el proyecto y las zonas aferentes (municipio de Restrepo y Cumaral), en un intervalo de tiempo desde el año 2010 hasta el año 2022 y en un radio de 25 Km alrededor del área de influencia.

A partir del análisis de los datos obtenidos se tiene el reporte de 323 eventos sísmicos, discriminados de la siguiente manera: para el municipio de Acacias la ocurrencia de seis (6) eventos, Cumaral la ocurrencia de ocho (8) eventos, El Calvario la ocurrencia de 91 eventos, Guayabetal la ocurrencia de seis (6) eventos, Medina la ocurrencia de 48 eventos, Paratebueno la ocurrencia de cinco (5) eventos, Puerto López la ocurrencia de dos (2) eventos, Restrepo la ocurrencia de 29 eventos, San Juanito la ocurrencia de 73 eventos, San Carlos Guaroa la ocurrencia de un (1) evento, Villavicencio la ocurrencia de 54 eventos, los cuales se listan en la **Tabla 3.2.1-20 y Figura 3.2.1-20**. A partir de la información referida, se aprecia que los sismos de mayor y menor magnitud reportados para el área de influencia donde se enmarca el proyecto son de 0.9 Mw y 4.6 Mw, respectivamente.

Tabla 3.2.1-20 Sismos reportados en un radio de 25 Km alrededor del área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141 (Años 2010 – Actual)

| ID | FECHA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | PROF (Km) | MAGNITUD | REGIÓN | DEPARTAMEN |
|----|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| | | ESTE | NORTE | | | | |
| 1 | 6/03/2010 | 4919690,85 | 2031749,02 | 5,3 | 2,7 | EL_CALVARIO | META |
| 2 | 26/03/2010 | 4916701,17 | 2037276,98 | 5,3 | 2,1 | EL_CALVARIO | META |
| 3 | 12/06/2010 | 4922790,02 | 2024121,64 | 2,4 | 3,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 4 | 18/06/2010 | 4920231,23 | 2016278,43 | 13,6 | 2,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 5 | 6/07/2010 | 4927110,44 | 2016714,46 | 23,2 | 1,9 | VILLAVICENCIO | META |
| 6 | 19/08/2010 | 4923249,17 | 2041138,26 | 8,6 | 2,3 | EL_CALVARIO | META |
| 7 | 19/09/2010 | 4918478,31 | 2039706,27 | 2 | 1,7 | EL_CALVARIO | META |
| 8 | 7/01/2011 | 4922585,41 | 2043017,38 | 2,8 | 1,8 | EL_CALVARIO | META |
| 9 | 7/01/2011 | 4920788,27 | 2018819,44 | 4 | 1,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 10 | 16/01/2011 | 4922141,03 | 2042244,29 | 4 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 11 | 27/01/2011 | 4925247,26 | 2042904,44 | 3 | 2,2 | EL_CALVARIO | META |
| 12 | 27/01/2011 | 4925579,11 | 2041909,64 | 3,9 | 1,9 | EL_CALVARIO | META |
| 13 | 27/01/2011 | 4925023,74 | 2041026,14 | 4 | 4 | EL_CALVARIO | META |
| 14 | 27/01/2011 | 4924803,90 | 2043236,34 | 0 | 2,2 | EL_CALVARIO | META |
| 15 | 27/01/2011 | 4922695,40 | 2042022,77 | 0,3 | 1,7 | EL_CALVARIO | META |
| 16 | 27/01/2011 | 4925690,52 | 2042462,04 | 4 | 1,6 | EL_CALVARIO | META |
| 17 | 27/01/2011 | 4925137,74 | 2044451,54 | 3,1 | 1,8 | SAN_JUANITO | META |
| 18 | 28/01/2011 | 4927023,34 | 2044560,36 | 4,1 | 1,6 | SAN_JUANITO | META |
| 19 | 28/01/2011 | 4929907,60 | 2045220,86 | 4 | 2 | SAN_JUANITO | META |
| 20 | 29/01/2011 | 4928905,71 | 2040912,24 | 4 | 1,5 | EL_CALVARIO | META |
| 21 | 30/01/2011 | 4928240,98 | 2041796,81 | 4,7 | 2,2 | EL_CALVARIO | META |
| 22 | 30/01/2011 | 4938987,24 | 2024550,68 | 8 | 1,8 | RESTREPO | META |
| 23 | 30/01/2011 | 4921231,86 | 2018598,04 | 4 | 1,6 | VILLAVICENCIO | META |
| 24 | 2/02/2011 | 4948542,17 | 2048301,05 | 23,2 | 1,3 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 25 | 12/02/2011 | 4928243,08 | 2044227,79 | 4 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 26 | 13/02/2011 | 4936556,78 | 2038143,63 | 35,5 | 3,1 | RESTREPO | META |
| 27 | 20/02/2011 | 4925242,51 | 2037600,45 | 1 | 2 | EL_CALVARIO | META |
| 28 | 9/03/2011 | 4932901,98 | 2044997,38 | 18 | 1,7 | SAN_JUANITO | META |
| 29 | 9/03/2011 | 4924580,47 | 2041468,54 | 2,2 | 1,7 | EL_CALVARIO | META |

| ID | FECHA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | PROF (Km) | MAGNITUD | REGIÓN | DEPARTAMEN |
|----|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------|--------------------------|--------------|
| | | ESTE | NORTE | | | | |
| 30 | 14/03/2011 | 4933452,11 | 2039472,01 | 6,2 | 1,3 | RESTREPO | META |
| 31 | 17/03/2011 | 4936452,71 | 2047094,03 | 0 | 3,5 | SAN_JUANITO | META |
| 32 | 9/04/2011 | 4955721,73 | 1990950,26 | 0 | 2,2 | SAN_CARLOS_DE _GUAROA | META |
| 33 | 19/04/2011 | 4940442,94 | 2043776,13 | 18,2 | 2 | CUMARAL | META |
| 34 | 19/04/2011 | 4928769,93 | 2010856,67 | 20 | 1,9 | VILLAVICENCIO | META |
| 35 | 19/04/2011 | 4926132,90 | 2041025,15 | 4 | 3,5 | EL_CALVARIO | META |
| 36 | 21/04/2011 | 4931662,04 | 2020246,73 | 2,9 | 1,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 37 | 15/06/2011 | 4933113,84 | 2032510,89 | 31,5 | 1,8 | RESTREPO | META |
| 38 | 9/07/2011 | 4925251,45 | 2047545,44 | 0 | 1,8 | SAN_JUANITO | META |
| 39 | 13/07/2011 | 4922557,00 | 2011524,86 | 0 | 1,6 | VILLAVICENCIO | META |
| 40 | 20/07/2011 | 4932013,80 | 2043893,12 | 11,9 | 1,2 | SAN_JUANITO | META |
| 41 | 22/07/2011 | 4921476,68 | 2043460,43 | 0 | 2 | EL_CALVARIO | META |
| 42 | 29/07/2011 | 4943328,34 | 2046315,54 | 8 | 2 | CUMARAL | META |
| 43 | 30/07/2011 | 4919256,35 | 2041363,03 | 2,2 | 2,1 | EL_CALVARIO | META |
| 44 | 30/07/2011 | 4939224,39 | 2045765,97 | 14 | 1,2 | SAN_JUANITO | META |
| 45 | 31/07/2011 | 4920696,18 | 2039151,63 | 4,2 | 3,1 | EL_CALVARIO | META |
| 46 | 13/08/2011 | 4936562,68 | 2045878,47 | 4,4 | 1,2 | SAN_JUANITO | META |
| 47 | 15/08/2011 | 4920589,37 | 2043461,27 | 4 | 1,2 | EL_CALVARIO | META |
| 48 | 22/08/2011 | 4932240,07 | 2049307,37 | 8 | 1,2 | SAN_JUANITO | META |
| 49 | 24/08/2011 | 4923912,35 | 2038596,15 | 2,7 | 2,4 | EL_CALVARIO | META |
| 50 | 4/09/2011 | 4918701,23 | 2040811,07 | 6 | 1,9 | EL_CALVARIO | META |
| 51 | 2/10/2011 | 4935314,79 | 2008862,72 | 34 | 1,4 | VILLAVICENCIO | META |
| 52 | 9/11/2011 | 4960744,75 | 2055255,47 | 4 | 2,5 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 53 | 11/12/2011 | 4945071,75 | 1997143,67 | 39,1 | 1,8 | VILLAVICENCIO | META |
| 54 | 23/12/2011 | 4919448,84 | 2009980,62 | 39,6 | 1,6 | VILLAVICENCIO | META |
| 55 | 7/01/2012 | 4951320,09 | 2057249,52 | 0 | 2,3 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 56 | 8/01/2012 | 4933676,32 | 2042455,29 | 6 | 2,1 | SAN_JUANITO | META |
| 57 | 23/01/2012 | 4933016,13 | 2048975,23 | 8,2 | 1,2 | SAN_JUANITO | META |
| 58 | 14/02/2012 | 4948102,84 | 2055041,60 | 15,2 | 3,1 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 59 | 14/02/2012 | 4945996,15 | 2055484,96 | 14,9 | 1,4 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 60 | 28/02/2012 | 4924808,63 | 2048429,85 | 0 | 1,2 | SAN_JUANITO | META |
| 61 | 15/03/2012 | 4928910,83 | 2046879,20 | 9,3 | 2,8 | SAN_JUANITO | META |
| 62 | 18/04/2012 | 4917920,58 | 2036502,27 | 10 | 1,9 | EL_CALVARIO | META |
| 63 | 3/05/2012 | 4971706,71 | 2006191,97 | 0 | 1,3 | PUERTO_LOPEZ | META |
| 64 | 17/05/2012 | 4918813,55 | 2042247,47 | 12 | 1,3 | EL_CALVARIO | META |
| 65 | 18/05/2012 | 4926578,62 | 2043345,25 | 18,1 | 1,9 | EL_CALVARIO | META |
| 66 | 18/05/2012 | 4924691,48 | 2041578,94 | 4,2 | 2 | EL_CALVARIO | META |
| 67 | 13/06/2012 | 4934435,77 | 2020465,60 | 4 | 1,8 | VILLAVICENCIO | META |
| 68 | 17/07/2012 | 4958746,51 | 2050947,16 | 0 | 1,4 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 69 | 19/07/2012 | 4939113,89 | 2046318,54 | 7,5 | 1,7 | SAN_JUANITO | META |
| 70 | 10/08/2012 | 4986132,83 | 2019337,11 | 1,9 | 1,3 | PUERTO_LOPEZ | META |
| 71 | 5/09/2012 | 4953424,46 | 2052828,45 | 15,4 | 1,6 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 72 | 23/09/2012 | 4934455,69 | 2046211,61 | 9,9 | 2 | SAN_JUANITO | META |
| 73 | 15/12/2012 | 4928797,83 | 2044448,31 | 18,8 | 2 | SAN_JUANITO | META |
| 74 | 20/12/2012 | 4940668,18 | 2048527,35 | 4,1 | 1,9 | SAN_JUANITO | META |
| 75 | 29/12/2012 | 4916258,25 | 2038050,94 | 9 | 1,9 | EL_CALVARIO | META |
| 76 | 19/02/2013 | 4938664,63 | 2038694,55 | 35,2 | 2,1 | RESTREPO | META |
| 77 | 8/05/2013 | 4924363,58 | 2046883,25 | 0 | 1,9 | SAN_JUANITO | META |
| 78 | 16/05/2013 | 4918701,66 | 2041253,07 | 0 | 1,5 | EL_CALVARIO | META |
| 79 | 13/06/2013 | 4929668,30 | 2024226,27 | 0 | 2,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 80 | 9/07/2013 | 4923557,51 | 2013733,99 | 4,1 | 2 | VILLAVICENCIO | META |

| ID | FECHA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | PROF (Km) | MAGNITUD | REGIÓN | DEPARTAMEN |
|-----|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| | | ESTE | NORTE | | | | |
| 81 | 7/08/2013 | 4918924,57 | 2042357,87 | 4 | 1,3 | EL_CALVARIO | META |
| 82 | 20/08/2013 | 4923694,56 | 2043016,35 | 2,4 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 83 | 20/08/2013 | 4920367,43 | 2043350,98 | 4,3 | 1,3 | EL_CALVARIO | META |
| 84 | 11/09/2013 | 4931684,54 | 2048092,34 | 18,4 | 1,6 | SAN_JUANITO | META |
| 85 | 22/10/2013 | 4920257,58 | 2044456,10 | 6 | 1,8 | EL_CALVARIO | META |
| 86 | 1/11/2013 | 4918698,86 | 2038380,04 | 11,8 | 1,2 | EL_CALVARIO | META |
| 87 | 9/11/2013 | 4922559,90 | 2014839,85 | 3,1 | 1,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 88 | 17/12/2013 | 4916242,74 | 2022249,22 | 0 | 2 | GUAYABETAL | CUNDINAMARCA |
| 89 | 26/01/2014 | 4919244,31 | 2028765,92 | 8,6 | 1,6 | EL_CALVARIO | META |
| 90 | 7/02/2014 | 4934453,32 | 2043228,16 | 4,3 | 1,6 | SAN_JUANITO | META |
| 91 | 25/03/2014 | 4967056,83 | 2033264,38 | 0 | 2,2 | PARATEBUENO | CUNDINAMARCA |
| 92 | 7/04/2014 | 4918480,58 | 2042026,80 | 2,4 | 1,8 | EL_CALVARIO | META |
| 93 | 13/04/2014 | 4941322,41 | 2032615,32 | 3,2 | 2,6 | CUMARAL | META |
| 94 | 13/05/2014 | 4973275,14 | 2054255,93 | 25,4 | 1,5 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 95 | 21/05/2014 | 4932452,17 | 2037373,34 | 14,7 | 1,3 | RESTREPO | META |
| 96 | 12/06/2014 | 4921788,67 | 2020918,04 | 0,1 | 4,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 97 | 12/06/2014 | 4916909,03 | 2022911,58 | 4,4 | 2,9 | GUAYABETAL | CUNDINAMARCA |
| 98 | 19/06/2014 | 4917240,91 | 2021916,76 | 4,4 | 2,4 | GUAYABETAL | CUNDINAMARCA |
| 99 | 1/07/2014 | 4922141,34 | 2042575,79 | 11,4 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 100 | 15/08/2014 | 4925119,64 | 2024009,09 | 12,8 | 1,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 101 | 3/09/2014 | 4946216,40 | 2053164,38 | 0 | 1,1 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 102 | 4/09/2014 | 4921806,62 | 2040476,59 | 4,1 | 1,8 | EL_CALVARIO | META |
| 103 | 19/09/2014 | 4935789,08 | 2049415,01 | 0 | 1,5 | SAN_JUANITO | META |
| 104 | 11/11/2014 | 4926578,81 | 2043566,25 | 15,8 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 105 | 11/11/2014 | 4960964,20 | 2050393,60 | 1,4 | 1,3 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 106 | 23/12/2014 | 4924677,24 | 2025556,47 | 0 | 2 | VILLAVICENCIO | META |
| 107 | 19/01/2015 | 4921584,68 | 2040366,30 | 4,2 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 108 | 19/01/2015 | 4920697,12 | 2040146,14 | 0 | 1,5 | EL_CALVARIO | META |
| 109 | 20/01/2015 | 4920253,45 | 2040146,56 | 0 | 2,3 | EL_CALVARIO | META |
| 110 | 20/01/2015 | 4920365,95 | 2041803,97 | 1,3 | 2,3 | EL_CALVARIO | META |
| 111 | 20/02/2015 | 4919702,48 | 2043904,13 | 0 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 112 | 2/03/2015 | 4947657,06 | 2051616,49 | 0 | 2,3 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 113 | 14/07/2015 | 4937011,15 | 2052176,51 | 3,4 | 1 | SAN_JUANITO | META |
| 114 | 20/08/2015 | 4938754,04 | 2008307,81 | 1,1 | 1,5 | VILLAVICENCIO | META |
| 115 | 22/08/2015 | 4918679,67 | 2018158,37 | 9,8 | 1 | GUAYABETAL | CUNDINAMARCA |
| 116 | 21/09/2015 | 4936004,56 | 2041237,99 | 12,5 | 1,3 | RESTREPO | META |
| 117 | 29/09/2015 | 4942555,94 | 2051951,42 | 0 | 2,1 | SAN_JUANITO | META |
| 118 | 4/11/2015 | 4934900,89 | 2048200,23 | 8,2 | 1,5 | SAN_JUANITO | META |
| 119 | 26/12/2015 | 4917479,81 | 2039486,25 | 4,1 | 3,1 | EL_CALVARIO | META |
| 120 | 26/12/2015 | 4920255,88 | 2042688,08 | 0 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 121 | 6/01/2016 | 4920791,99 | 2022907,95 | 0 | 1,5 | VILLAVICENCIO | META |
| 122 | 4/02/2016 | 4922121,30 | 2020696,74 | 0 | 2,8 | VILLAVICENCIO | META |
| 123 | 8/06/2016 | 4969172,97 | 2056467,26 | 131,6 | 1,6 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 124 | 25/07/2016 | 4952981,58 | 2054044,16 | 9,5 | 1,6 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 125 | 1/10/2016 | 4917474,50 | 2034071,68 | 3,9 | 2,3 | EL_CALVARIO | META |
| 126 | 14/11/2016 | 4924585,40 | 2046883,05 | 10,2 | 1,3 | SAN_JUANITO | META |
| 127 | 29/11/2016 | 4920035,33 | 2044014,31 | 6 | 1,5 | EL_CALVARIO | META |
| 128 | 2/12/2016 | 4930350,68 | 2044557,49 | 0 | 1,7 | SAN_JUANITO | META |
| 129 | 20/12/2016 | 4919257,64 | 2042689,05 | 0 | 1 | EL_CALVARIO | META |
| 130 | 20/12/2016 | 4921142,26 | 2041692,73 | 4 | 2,2 | EL_CALVARIO | META |
| 131 | 23/12/2016 | 4977710,98 | 2054807,05 | 3,9 | 1,4 | PARATEBUENO | CUNDINAMARCA |
| 132 | 1/01/2017 | 4952527,85 | 2036365,14 | 7,4 | 1,9 | CUMARAL | META |

| ID | FECHA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | PROF (Km) | MAGNITUD | REGIÓN | DEPARTAMEN |
|-----|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| | | ESTE | NORTE | | | | |
| 133 | 28/01/2017 | 4933350,73 | 2051295,43 | 2 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 134 | 19/02/2017 | 4918476,27 | 2037606,75 | 4,1 | 2,1 | EL_CALVARIO | META |
| 135 | 4/03/2017 | 4921808,49 | 2042465,61 | 13,9 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 136 | 21/03/2017 | 4920234,14 | 2019482,94 | 0 | 2,8 | VILLAVICENCIO | META |
| 137 | 22/03/2017 | 4918701,12 | 2040700,56 | 5,4 | 1,8 | EL_CALVARIO | META |
| 138 | 24/04/2017 | 4936112,86 | 2037812,47 | 13,1 | 2,4 | RESTREPO | META |
| 139 | 13/05/2017 | 4937677,05 | 2052838,99 | 1 | 2,3 | SAN_JUANITO | META |
| 140 | 19/05/2017 | 4920585,79 | 2039704,24 | 0 | 1,6 | EL_CALVARIO | META |
| 141 | 5/06/2017 | 4935670,96 | 2040133,26 | 6 | 1,9 | RESTREPO | META |
| 142 | 19/06/2017 | 4932907,13 | 2051295,80 | 0 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 143 | 18/07/2017 | 4931460,61 | 2045551,05 | 0,2 | 2,4 | SAN_JUANITO | META |
| 144 | 16/08/2017 | 4924912,32 | 2040473,74 | 4,4 | 2,1 | EL_CALVARIO | META |
| 145 | 31/08/2017 | 4948211,83 | 2052058,13 | 0 | 2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 146 | 4/09/2017 | 4948767,30 | 2053604,72 | 0 | 1,3 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 147 | 7/09/2017 | 4965954,44 | 2049949,40 | 0 | 1 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 148 | 18/09/2017 | 4940781,56 | 2051952,69 | 14,4 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 149 | 23/09/2017 | 4920257,16 | 2044014,09 | 0 | 1,4 | EL_CALVARIO | META |
| 150 | 2/11/2017 | 4940001,54 | 2046870,38 | 16,9 | 1,3 | SAN_JUANITO | META |
| 151 | 13/12/2017 | 4944212,76 | 2042116,06 | 0 | 1,7 | CUMARAL | META |
| 152 | 10/01/2018 | 4935790,04 | 2050630,49 | 0 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 153 | 14/01/2018 | 4927456,47 | 2032405,04 | 0 | 1,3 | EL_CALVARIO | META |
| 154 | 19/03/2018 | 4926556,53 | 2017709,41 | /0,18 | 1,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 155 | 24/03/2018 | 4927877,75 | 2005221,96 | 0,19 | 2,5 | VILLAVICENCIO | META |
| 156 | 15/04/2018 | 4940533,93 | 2015157,39 | /0,03 | 1,4 | VILLAVICENCIO | META |
| 157 | 22/05/2018 | 4943440,46 | 2048083,41 | 5,22 | 1,5 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 158 | 24/07/2018 | 4921900,21 | 2021580,94 | 13,71 | 1,2 | VILLAVICENCIO | META |
| 159 | 24/07/2018 | 4922890,83 | 2012629,57 | 11,44 | 1 | VILLAVICENCIO | META |
| 160 | 24/07/2018 | 4917683,11 | 2020258,82 | 9,5 | 1,2 | ACACIAS | META |
| 161 | 26/07/2018 | 4920569,30 | 2022024,15 | 10,89 | 1,2 | VILLAVICENCIO | META |
| 162 | 28/07/2018 | 4924998,95 | 2012627,76 | 10 | 1,6 | VILLAVICENCIO | META |
| 163 | 18/09/2018 | 4931111,20 | 2025109,09 | 1,39 | 1,2 | RESTREPO | META |
| 164 | 19/09/2018 | 4920697,33 | 2040367,14 | 4,04 | 1,7 | EL CALVARIO | META |
| 165 | 29/09/2018 | 4942668,64 | 2054492,77 | 0,01 | 2,1 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 166 | 19/11/2018 | 4929218,44 | 2016712,73 | /0,21 | 1,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 167 | 23/11/2018 | 4939560,12 | 2049854,13 | 6,06 | 1,1 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 168 | 27/11/2018 | 4924469,85 | 2041800,14 | 4,55 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 169 | 7/12/2018 | 4932458,44 | 2045108,24 | /1,93 | 1,3 | RESTREPO | META |
| 170 | 7/12/2018 | 4915257,05 | 2035178,89 | 6,06 | 1,6 | EL CALVARIO | META |
| 171 | 7/12/2018 | 4918918,15 | 2035727,80 | 9,38 | 1,4 | EL CALVARIO | META |
| 172 | 7/12/2018 | 4922135,48 | 2036277,27 | 3,14 | 1 | EL CALVARIO | META |
| 173 | 11/12/2018 | 4925245,47 | 2040915,44 | 4,24 | 1,4 | SAN_JUANITO | META |
| 174 | 12/12/2018 | 4923131,78 | 2034066,35 | 2 | 1,4 | EL CALVARIO | META |
| 175 | 13/12/2018 | 4935226,02 | 2038476,14 | 5,04 | 1,4 | RESTREPO | META |
| 176 | 28/12/2018 | 4929796,97 | 2045552,45 | /0,03 | 1,6 | SAN_JUANITO | META |
| 177 | 28/12/2018 | 4925803,11 | 2044340,44 | 0 | 1,6 | SAN_JUANITO | META |
| 178 | 5/01/2019 | 4918900,34 | 2016832,16 | 7,23 | 1,3 | ACACIAS | META |
| 179 | 23/01/2019 | 4939783,71 | 2052284,91 | /1,55 | 1,4 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 180 | 28/01/2019 | 4939112,50 | 2044440,08 | 13,23 | 1,1 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 181 | 10/02/2019 | 4921030,72 | 2041029,83 | /0,02 | 1,4 | EL CALVARIO | META |
| 182 | 17/02/2019 | 4921697,37 | 2042244,71 | /0,14 | 1,1 | EL CALVARIO | META |
| 183 | 18/02/2019 | 4931240,08 | 2047098,22 | 15,62 | 1 | RESTREPO | META |
| 184 | 15/03/2019 | 4928456,96 | 2034945,67 | /0,02 | 1,4 | EL CALVARIO | META |

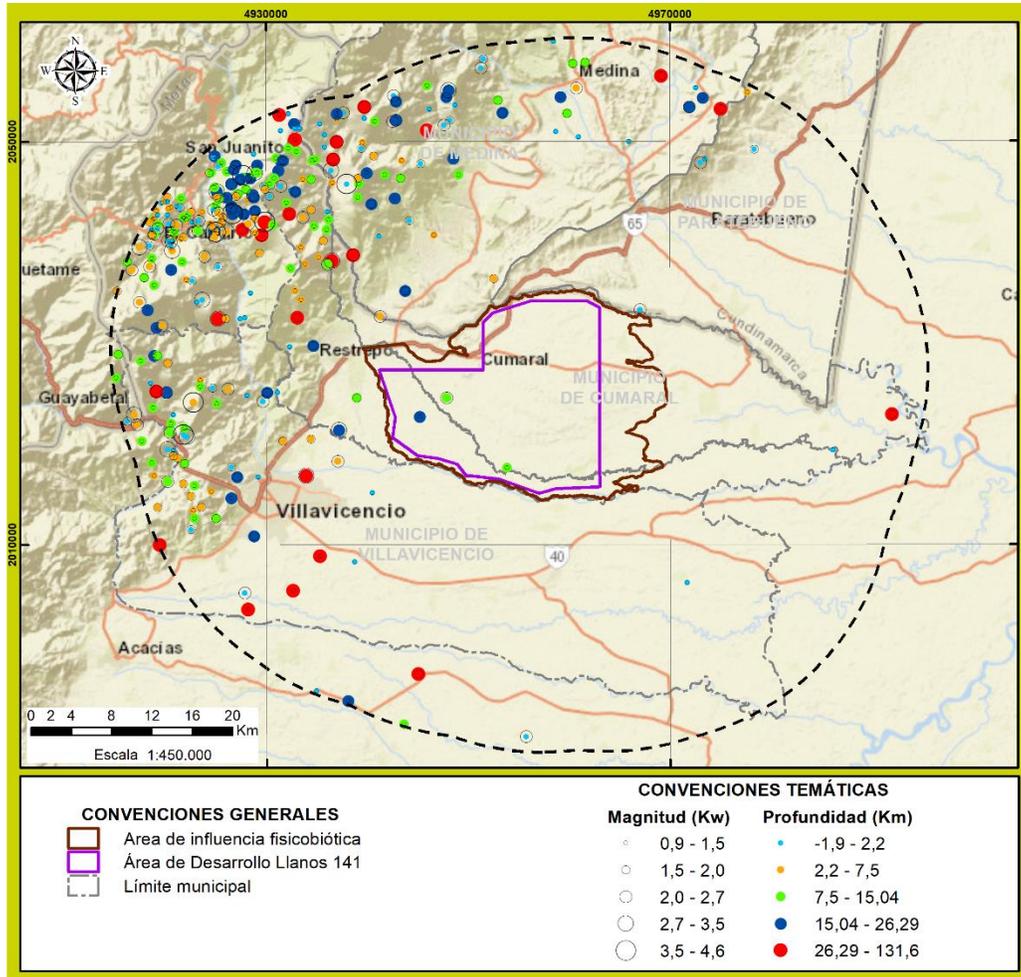
| ID | FECHA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | PROF (Km) | MAGNITUD | REGIÓN | DEPARTAMEN |
|-----|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| | | ESTE | NORTE | | | | |
| 185 | 29/04/2019 | 4920241,99 | 2027991,48 | 4,84 | 1,9 | VILLAVICENCIO | META |
| 186 | 25/06/2019 | 4922695,40 | 2042022,77 | /0,05 | 1,5 | EL CALVARIO | META |
| 187 | 25/06/2019 | 4934784,76 | 2041570,43 | 7,99 | 1,4 | RESTREPO | META |
| 188 | 27/06/2019 | 4932906,22 | 2050190,81 | 29,28 | 1,5 | RESTREPO | META |
| 189 | 3/07/2019 | 4953848,77 | 2017580,29 | 9,59 | 1,3 | CUMARAL | META |
| 190 | 5/07/2019 | 4973051,24 | 2047847,37 | 0 | 2,6 | PARATEBUENO | CUNDINAMARCA |
| 191 | 7/07/2019 | 4927900,27 | 2032515,16 | /1,74 | 1,4 | EL CALVARIO | META |
| 192 | 9/07/2019 | 4945198,42 | 2022668,08 | 21,85 | 1,4 | RESTREPO | META |
| 193 | 11/07/2019 | 4920586,31 | 2040256,74 | 6,11 | 2 | EL CALVARIO | META |
| 194 | 23/07/2019 | 4973494,96 | 2048178,71 | 0 | 1,5 | PARATEBUENO | CUNDINAMARCA |
| 195 | 27/07/2019 | 4922689,99 | 2036166,26 | /1,17 | 1,9 | EL CALVARIO | META |
| 196 | 4/08/2019 | 4928801,55 | 2048757,79 | 0,04 | 1,3 | SAN JUANITO | META |
| 197 | 31/08/2019 | 4937096,77 | 2018253,69 | 6,11 | 2,2 | VILLAVICENCIO | META |
| 198 | 7/11/2019 | 4939448,80 | 2049301,73 | 0,03 | 2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 199 | 22/11/2019 | 4928209,32 | 2003564,22 | 47,25 | 1,2 | VILLAVICENCIO | META |
| 200 | 22/11/2019 | 4945325,61 | 2047750,64 | 0,01 | 1,6 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 201 | 24/11/2019 | 4933894,47 | 2037814,19 | 3,16 | 1,1 | RESTREPO | META |
| 202 | 8/12/2019 | 4915361,71 | 2028880,18 | 11,87 | 1,8 | GUAYABETAL | CUNDINAMARCA |
| 203 | 12/12/2019 | 4931465,22 | 2051076,00 | 0 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 204 | 24/12/2019 | 4921784,32 | 2016056,04 | 3,79 | 1,8 | VILLAVICENCIO | META |
| 205 | 8/01/2020 | 4932649,27 | 2005439,26 | 30,65 | 1,4 | VILLAVICENCIO | META |
| 206 | 12/01/2020 | 4928115,63 | 2024780,04 | 0,6 | 1,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 207 | 28/01/2020 | 4941775,88 | 2046648,11 | 11,33 | 1,4 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 208 | 11/02/2020 | 4946651,90 | 2040678,01 | 4,47 | 1,5 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 209 | 20/02/2020 | 4932242,91 | 2052732,83 | 0,11 | 1,4 | SAN JUANITO | META |
| 210 | 1/04/2020 | 4936227,15 | 2042232,30 | 7,94 | 1,3 | RESTREPO | META |
| 211 | 24/04/2020 | 4934972,34 | 1995492,82 | 0 | 1,2 | ACACIAS | META |
| 212 | 29/04/2020 | 4931684,72 | 2048313,34 | 0,03 | 0,9 | RESTREPO | META |
| 213 | 8/05/2020 | 4947862,04 | 2024544,86 | 7,97 | 2,1 | CUMARAL | META |
| 214 | 11/05/2020 | 4919135,99 | 2031528,55 | 20 | 1 | EL CALVARIO | META |
| 215 | 25/05/2020 | 4922893,63 | 2015834,06 | 10,09 | 1,1 | VILLAVICENCIO | META |
| 216 | 27/05/2020 | 4929347,70 | 2038922,88 | 4,68 | 1,7 | EL CALVARIO | META |
| 217 | 28/05/2020 | 4926138,22 | 2046992,14 | 13,83 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 218 | 30/05/2020 | 4936116,83 | 2043005,87 | /1,47 | 1,4 | RESTREPO | META |
| 219 | 1/06/2020 | 4923457,61 | 2026331,05 | 3,82 | 1,5 | VILLAVICENCIO | META |
| 220 | 20/07/2020 | 4951542,40 | 2058133,35 | /0,05 | 1,6 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 221 | 27/07/2020 | 4992012,84 | 2022872,11 | 42,27 | 1,9 | CUMARAL | META |
| 222 | 14/08/2020 | 4926230,26 | 2025444,63 | 3,87 | 2,1 | VILLAVICENCIO | META |
| 223 | 20/08/2020 | 4920586,10 | 2040035,74 | 4,07 | 2,1 | EL CALVARIO | META |
| 224 | 30/08/2020 | 4920788,77 | 2019371,94 | /0,86 | 1,4 | ACACIAS | META |
| 225 | 20/09/2020 | 4915137,54 | 2026559,86 | 11,39 | 1,3 | GUAYABETAL | CUNDINAMARCA |
| 226 | 24/09/2020 | 4932796,59 | 2051737,88 | 20,54 | 1,4 | SAN JUANITO | META |
| 227 | 28/09/2020 | 4919230,35 | 2013737,83 | 2,92 | 1,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 228 | 5/10/2020 | 4938078,89 | 1994496,21 | 25,54 | 1,5 | ACACIAS | META |
| 229 | 10/10/2020 | 4923686,61 | 2034286,84 | 0,45 | 2,8 | EL CALVARIO | META |
| 230 | 12/10/2020 | 4958529,30 | 2059897,37 | /1,45 | 1,4 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 231 | 13/10/2020 | 4975049,08 | 2053150,43 | 28,63 | 1,8 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 232 | 11/11/2020 | 4960413,27 | 2057686,52 | 13,87 | 1,7 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 233 | 12/11/2020 | 4978374,83 | 2049171,72 | 0 | 1,6 | PARATEBUENO | CUNDINAMARCA |
| 234 | 29/11/2020 | 4918911,50 | 2028766,24 | 21,92 | 1,1 | VILLAVICENCIO | META |
| 235 | 2/12/2020 | 4949095,65 | 2046643,26 | 9,9 | 1,2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 236 | 1/01/2021 | 4943626,12 | 1992172,25 | 7,96 | 1,3 | ACACIAS | META |

| ID | FECHA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | PROF (Km) | MAGNITUD | REGIÓN | DEPARTAMEN |
|-----|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| | | ESTE | NORTE | | | | |
| 237 | 19/01/2021 | 4937011,58 | 2052729,00 | 15,27 | 1,5 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 238 | 1/02/2021 | 4942888,72 | 2052061,68 | 26,05 | 2,2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 239 | 18/02/2021 | 4961633,09 | 2057796,43 | 13,98 | 1,9 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 240 | 3/03/2021 | 4937209,94 | 2021347,53 | 20,61 | 3,2 | RESTREPO | META |
| 241 | 3/03/2021 | 4930112,77 | 2025109,90 | 16,45 | 1,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 242 | 12/03/2021 | 4922780,55 | 2013403,16 | 4,05 | 1,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 243 | 25/03/2021 | 4919256,78 | 2041805,04 | 9,65 | 1,1 | EL CALVARIO | META |
| 244 | 28/03/2021 | 4939784,53 | 2053389,89 | 33,26 | 2,2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 245 | 29/03/2021 | 4942890,04 | 2053940,13 | 19,02 | 1,7 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 246 | 5/04/2021 | 4938004,40 | 2045766,88 | 0,01 | 4,4 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 247 | 5/05/2021 | 4920128,39 | 2025118,57 | 26,29 | 2,2 | VILLAVICENCIO | META |
| 248 | 26/05/2021 | 4918923,06 | 2040810,85 | 11,93 | 2,2 | EL CALVARIO | META |
| 249 | 23/06/2021 | 4921897,04 | 2018044,94 | 12,11 | 1,7 | VILLAVICENCIO | META |
| 250 | 25/07/2021 | 4925237,91 | 2032406,96 | 38,65 | 3,5 | EL CALVARIO | META |
| 251 | 9/09/2021 | 4923361,00 | 2042132,66 | /0,01 | 2,1 | EL CALVARIO | META |
| 252 | 14/09/2021 | 4931462,73 | 2048092,53 | 23,71 | 2 | RESTREPO | META |
| 253 | 1/10/2021 | 4932335,07 | 2029638,55 | 1,66 | 1,5 | RESTREPO | META |
| 254 | 26/10/2021 | 4972610,13 | 2055250,59 | 0,12 | 1,4 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 255 | 17/11/2021 | 4959191,82 | 2054372,28 | 16,21 | 1,5 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 256 | 30/11/2021 | 4918250,25 | 2033297,41 | 15,27 | 1,4 | EL CALVARIO | META |
| 257 | 8/12/2021 | 4926689,04 | 2042792,66 | 18,96 | 3,6 | SAN JUANITO | META |
| 258 | 8/12/2021 | 4929133,31 | 2047652,50 | 15,51 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 259 | 8/12/2021 | 4930795,80 | 2046325,10 | 14,63 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 260 | 9/12/2021 | 4927690,65 | 2046659,26 | /0,03 | 4,6 | SAN JUANITO | META |
| 261 | 9/12/2021 | 4925138,24 | 2045004,04 | 19,73 | 3 | SAN JUANITO | META |
| 262 | 9/12/2021 | 4927022,08 | 2043123,86 | 15,98 | 2,7 | SAN JUANITO | META |
| 263 | 9/12/2021 | 4926580,77 | 2045776,25 | 18,85 | 2,3 | SAN JUANITO | META |
| 264 | 9/12/2021 | 4928023,18 | 2046437,97 | 13,16 | 1,8 | SAN JUANITO | META |
| 265 | 9/12/2021 | 4927245,36 | 2044781,16 | 14,1 | 1,6 | SAN JUANITO | META |
| 266 | 9/12/2021 | 4928907,60 | 2043122,23 | 21,37 | 1,8 | SAN JUANITO | META |
| 267 | 9/12/2021 | 4921588,43 | 2044344,33 | 10,82 | 0,9 | EL CALVARIO | META |
| 268 | 9/12/2021 | 4930351,70 | 2045772,98 | 12,93 | 1,4 | SAN JUANITO | META |
| 269 | 9/12/2021 | 4926135,95 | 2044450,64 | 15,92 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 270 | 9/12/2021 | 4928687,11 | 2044669,41 | 17,56 | 2,2 | SAN JUANITO | META |
| 271 | 9/12/2021 | 4929132,65 | 2046879,01 | 11,05 | 1,3 | SAN JUANITO | META |
| 272 | 9/12/2021 | 4924919,64 | 2048540,25 | 17,62 | 1,2 | SAN JUANITO | META |
| 273 | 10/12/2021 | 4926578,62 | 2043345,25 | 17,85 | 2,4 | SAN JUANITO | META |
| 274 | 10/12/2021 | 4928466,72 | 2046327,09 | 16,04 | 1,7 | SAN JUANITO | META |
| 275 | 10/12/2021 | 4926803,87 | 2047212,55 | 16,97 | 1,6 | SAN JUANITO | META |
| 276 | 10/12/2021 | 4928022,12 | 2045222,48 | 15,04 | 1,8 | SAN JUANITO | META |
| 277 | 11/12/2021 | 4923457,02 | 2025668,05 | 10,12 | 1 | VILLAVICENCIO | META |
| 278 | 11/12/2021 | 4925584,48 | 2047876,64 | 13,4 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 279 | 11/12/2021 | 4931019,29 | 2048313,90 | 13,16 | 1,3 | SAN JUANITO | META |
| 280 | 21/12/2021 | 4934568,09 | 2048089,99 | 12,93 | 1,5 | RESTREPO | META |
| 281 | 22/12/2021 | 4932894,09 | 2035163,02 | 6,6 | 1,2 | RESTREPO | META |
| 282 | 29/12/2021 | 4926014,41 | 2032406,28 | 4,99 | 1,7 | EL CALVARIO | META |
| 283 | 4/01/2022 | 4937009,44 | 2049966,55 | 34,02 | 2,3 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 284 | 6/01/2022 | 4919130,04 | 2025230,00 | 29,04 | 2,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 285 | 7/01/2022 | 4927026,08 | 2047654,35 | 17,62 | 2 | SAN JUANITO | META |
| 286 | 8/01/2022 | 4917579,76 | 2028215,00 | 13,93 | 1,5 | VILLAVICENCIO | META |
| 287 | 8/01/2022 | 4933448,00 | 2034278,60 | 3,79 | 1,3 | RESTREPO | META |
| 288 | 21/01/2022 | 4947880,63 | 2054378,76 | 23,95 | 1,6 | MEDINA | CUNDINAMARCA |

| ID | FECHA | COORDENADAS ORIGEN NACIONAL | | PROF (Km) | MAGNITUD | REGIÓN | DEPARTAMEN |
|-------|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------|---------------|--------------|
| | | ESTE | NORTE | | | | |
| 289 | 9/02/2022 | 4935347,30 | 2051735,82 | 0,07 | 1,2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 290 | 10/02/2022 | 4927798,18 | 2042791,69 | 15,33 | 1,9 | EL CALVARIO | META |
| 291 | 21/02/2022 | 4927468,44 | 2046217,46 | 15,51 | 1,9 | SAN JUANITO | META |
| 292 | 25/02/2022 | 4920583,48 | 2037273,22 | 24,88 | 1,4 | EL CALVARIO | META |
| 293 | 22/03/2022 | 4943764,44 | 2035155,08 | 19,26 | 1,6 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 294 | 27/03/2022 | 4924916,82 | 2045446,24 | 12,7 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 295 | 3/04/2022 | 4926553,95 | 2014615,44 | 24,65 | 1,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 296 | 28/04/2022 | 4933989,25 | 2016819,51 | 35,72 | 2,9 | VILLAVICENCIO | META |
| 297 | 14/05/2022 | 4931355,62 | 2052623,07 | 52,42 | 1,5 | SAN JUANITO | META |
| 298 | 12/06/2022 | 4929904,89 | 2042016,39 | 39,65 | 4,1 | EL CALVARIO | META |
| 299 | 13/06/2022 | 4929571,02 | 2040690,68 | 36,54 | 2,4 | EL CALVARIO | META |
| 300 | 13/07/2022 | 4934664,68 | 2029747,24 | 19,14 | 1,9 | RESTREPO | META |
| 301 | 20/07/2022 | 4936675,37 | 2048198,84 | 31,86 | 2,2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 302 | 13/08/2022 | 4921693,43 | 2038045,69 | 10,29 | 1,5 | EL CALVARIO | META |
| 303 | 16/08/2022 | 4930681,01 | 2041684,24 | 12,34 | 1 | EL CALVARIO | META |
| 304 | 2/10/2022 | 4925359,46 | 2044340,84 | 14,34 | 1,7 | SAN JUANITO | META |
| 305 | 4/11/2022 | 4921919,40 | 2042465,50 | 0 | 1,2 | EL CALVARIO | META |
| 306 | 5/11/2022 | 4925026,03 | 2043567,64 | 10,47 | 1,3 | SAN JUANITO | META |
| 307 | 28/11/2022 | 4918795,67 | 2023572,80 | 10,41 | 1,4 | VILLAVICENCIO | META |
| 308 | 11/12/2022 | 4920457,55 | 2021140,25 | 11,11 | 2,1 | VILLAVICENCIO | META |
| 309 | 20/12/2022 | 4933679,33 | 2046212,23 | 3,69 | 1,1 | RESTREPO | META |
| 310 | 22/12/2022 | 4918576,08 | 2026004,03 | 0,3 | 1 | VILLAVICENCIO | META |
| 311 | 5/01/2023 | 4924557,40 | 2015280,12 | 6,78 | 1,3 | VILLAVICENCIO | META |
| 312 | 8/01/2023 | 4959856,36 | 2052714,53 | 14,57 | 1,7 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 313 | 21/01/2023 | 4941217,05 | 2040571,17 | 2,11 | 1,1 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 314 | 24/01/2023 | 4932345,63 | 2042787,86 | 29,45 | 1,8 | RESTREPO | META |
| 315 | 30/01/2023 | 4919147,16 | 2043131,16 | 3 | 1,1 | EL CALVARIO | META |
| 316 | 5/02/2023 | 4971944,13 | 2053372,43 | 19,96 | 2,2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 317 | 10/02/2023 | 4927685,92 | 2041244,79 | 28,87 | 1,6 | EL CALVARIO | META |
| 318 | 18/02/2023 | 4942772,43 | 2044326,98 | 18,17 | 1,2 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 319 | 2/03/2023 | 4945993,22 | 2051065,10 | 30,98 | 1,5 | MEDINA | CUNDINAMARCA |
| 320 | 7/03/2023 | 4921144,05 | 2043571,24 | 0 | 1,1 | EL CALVARIO | META |
| 321 | 20/03/2023 | 4924912,92 | 2041136,74 | 20,37 | 1,1 | SAN JUANITO | META |
| 322 | 17/04/2023 | 4920919,80 | 2041029,93 | 10,76 | 1 | EL CALVARIO | META |
| 323 | 26/04/2023 | 4928906,94 | 2042348,73 | 6,43 | 1,6 | EL CALVARIO | META |
| MAYOR | | | | | 4,6 | SAN JUANITO | META |
| MENOR | | | | | 0,9 | RESTREPO | META |

Fuente: (Red Sismológica Nacional de Colombia, <https://www2.sgc.gov.co/sismos/sismos/ultimos-sismos.html> adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-20 Magnitud y Profundidad de los sismos cercanos al área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141 (Información secundaria)



Fuente: (Red Sismológica Nacional de Colombia, <https://www2.sgc.gov.co/sismos/sismos/ultimos-sismos.html> adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

A partir de la información contenida en la **Tabla 3.2.1-20** y **Figura 3.2.1-20**, se puede identificar los sismos en un área a 25 Km alrededor del área de influencia, agrupados por magnitud, en la cual es posible observar que la mayor cantidad de sismos corresponden a magnitudes entre 1 - 1.9 con un 71,83%, seguido por los sismos de magnitudes entre 3 y 3,9 con un 3,720%, posteriormente se presentan los sismos con magnitudes entre 4-4.6 con un 1,24% y finalmente, se presentan los sismos con magnitudes menores a 1 con un 0,62% (**Tabla 3.2.1-21**).

Tabla 3.2.1-21 Sismos en un radio de 25 Km alrededor del área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141

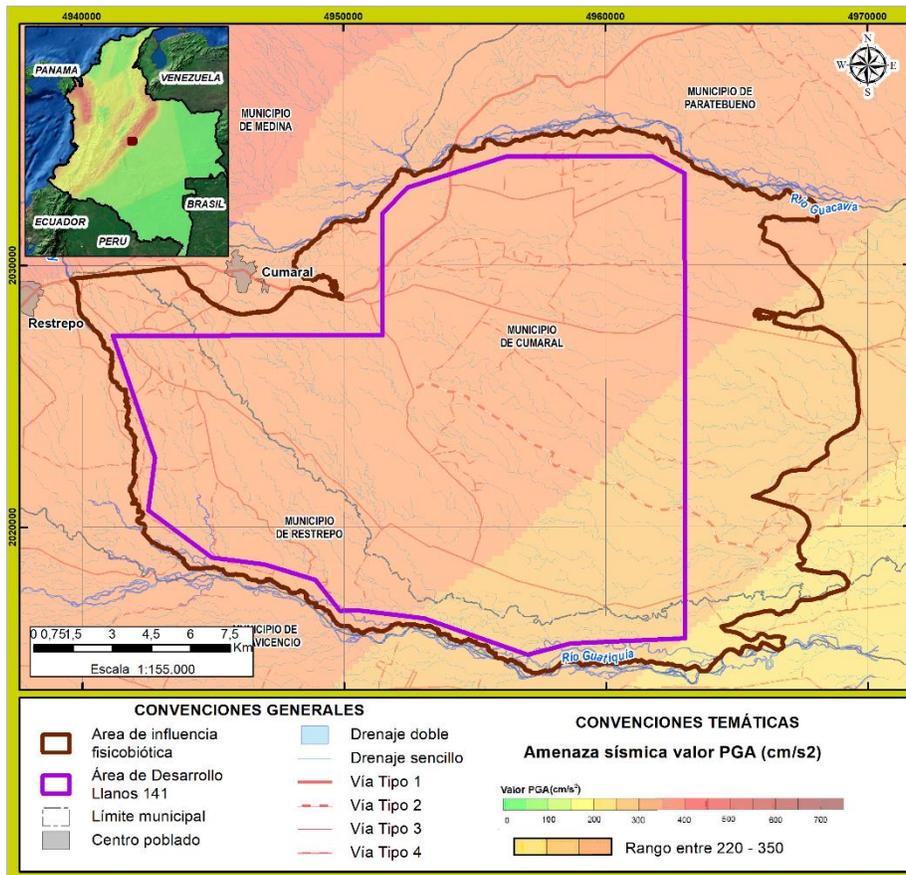
| MAGNITUD | CANTIDAD DE SISMOS | |
|----------|--------------------|----------------|
| | No. DE SISMOS | PORCENTAJE (%) |
| <1 | 2 | 0,62 |
| 1 - 1,9 | 232 | 71,83 |
| 2 – 2,9 | 73 | 22,60 |
| 3 – 3,9 | 12 | 3,72 |

| MAGNITUD | CANTIDAD DE SISMOS | |
|--------------|--------------------|----------------|
| | No. DE SISMOS | PORCENTAJE (%) |
| 4 – 4.6 | 4 | 1,24 |
| TOTAL | 323 | 100,00 |

Fuente: Red Sismológica Nacional de Colombia, <https://www2.sgc.gov.co/sismos/sismos/ultimos-sismos.html> y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023

- Adicionalmente, al superponer el área de influencia en el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica Periodo de Retorno de 475 años (**Figura 3.2.1-21**) se tiene que la misma se emplaza en una franja de una aceleración horizontal máxima (PGA) estimada entre 250 y 400 (cm/s²) la cual se asocia a una AMENAZA ALTA ; este mapa es de tipo probabilístico e integra la tectónica regional, la actividad de las estructuras sismogénicas del país y los efectos de atenuación en la transmisión de las ondas sísmicas a lo largo de las diferentes unidades litoestratigráficas.

Figura 3.2.1-21 Localización del área de influencia del Área de Desarrollo Llanos 141, según el Mapa Nacional de Amenaza Sísmica PEI de Retorno 475 Años (Información secundaria)



Fuente: Mapa Nacional de Amenaza Sísmica Periodo de Retorno de 475 años, Escala 1:1'500.000, adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2022

- Finalmente, a partir de la información consignada en la NSR-2010 se aprecia que el área de influencia se ubica dentro de una franja definida como de AMENAZA ALTA con una aceleración $A_a = 0,30$ (aceleración pico efectiva) y una velocidad pico efectiva de $A_v =$ entre 0,20 y 0,25 (**Tabla 3.2.1-22 y Figura 3.2.1-22**).

A partir de la información consignada en la NSR-2010 se aprecia que el área de influencia se ubica dentro de una franja definida como de AMENAZA ALTA con una aceleración máxima de $A_a = 0,30$ (aceleración horizontal pico efectiva) y una velocidad máxima de $A_v = 0,30$ (velocidad horizontal pico efectiva).

Tabla 3.2.1-22 Valores de aceleración pico (A_a) y velocidad pico (A_v) - Definición de la zona de amenaza sísmica área aferente al municipio de Cumaral y Restrepo (Departamento del Meta)

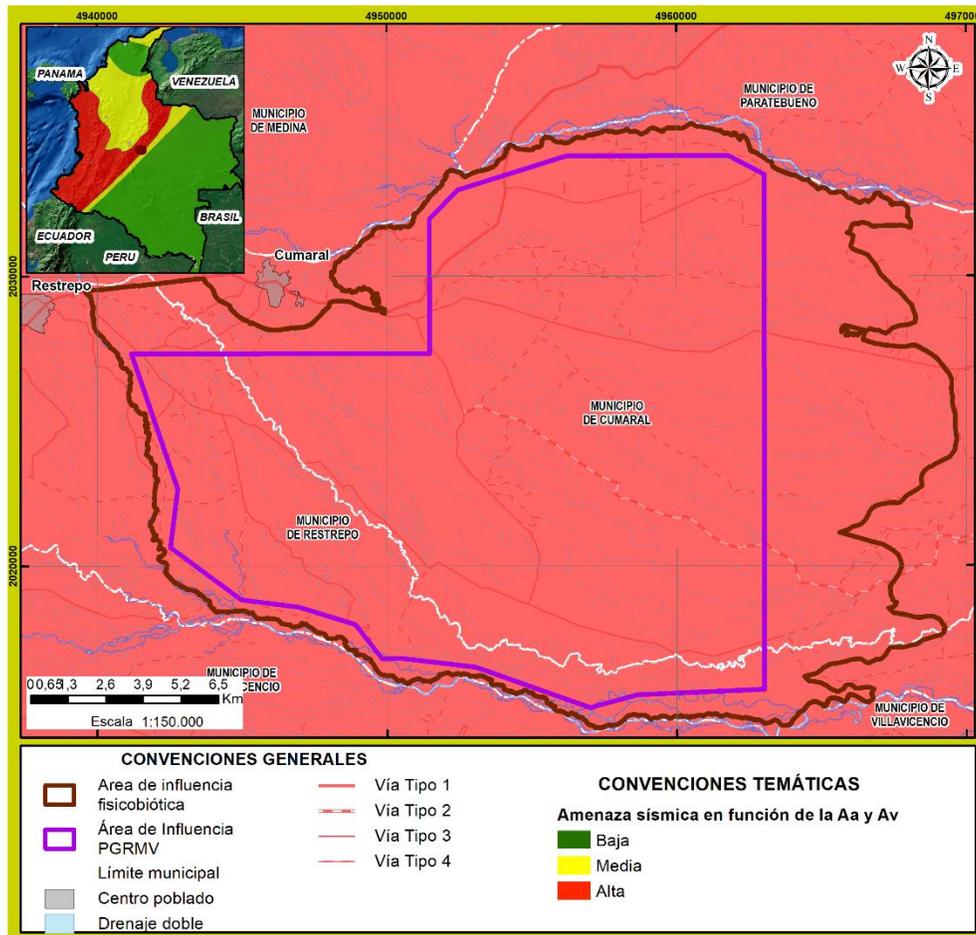
| DEPARTAMENTO | MUNICIPIO | CÓDIGO MUNICIPIO | A_a | A_v | ZONA DE AMENAZA SÍSMICA |
|--------------|-----------|------------------|-------|-------|-------------------------|
| META | Cumaral | 50226 | 0,25 | 0,25 | ALTA |
| | Restrepo | 50606 | 0,30 | 0,30 | ALTA |

A_a : Coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva.

A_v : Coeficiente que representa la velocidad horizontal pico efectiva.

Fuente: (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A⁷⁰ y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-22 Zonas de Amenaza Sísmica en Función de A_a y A_v



Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023

70 Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes; Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Título A; Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica; Bogotá D.C.; 2010

Así las cosas, el análisis y superposición de la información presentada señala que el área de influencia donde se emplaza el proyecto está localizada en una zona demarcada como de AMENAZA ALTA para un periodo de retorno de 475 años, apreciación que es ajustada a partir de las estimaciones de sismicidad presentada en la NSR-2010 en la que se indica que el área de influencia mencionada presenta valores de aceleración que se catalogan como de AMENAZA ALTA y cuya variación obedece a la escala de análisis de los estudios en mención, condición que debe ser considerada al momento de la ejecución del proyecto.

3.2.1.3.2 Relación de eventos sísmicos históricos con las fallas geológicas cartografiadas y el desarrollo de fenómenos de remoción en masa

La caracterización a nivel regional del marco geológico estructural del área de influencia donde se enmarca el proyecto tomó como punto de partida la relacionada con la cartografía y/o estudios existentes en el Servicio Geológico Colombiano – SGC (antes INGEOMINAS) representado por el Anexo I – Compilación de la Cuenca de los Llanos Orientales. Bogotá. Servicio Geológico Colombiano. Diciembre de 2014, Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions, U. S. Geological Survey USGS (May 2010), Memoria Explicativa de la Cartografía Geológica de la plancha 247 - Cáqueza. Escala 1:100.000⁷¹, Geología de la Plancha 248 – Cumaral. Escala 1.100.000. INGEOMINAS. 2010⁷², Memoria Explicativa. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Escala 1.100.000. Servicio Geológico Colombiano. 2001⁷³. Geología de la Plancha 267 - Pachaquiario. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Septiembre, 2010 ⁷⁴ y el Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Guatiquía. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (CORMACARENA). Escala 1:25.000. Resolución No. 003 del 7 de diciembre de 2010⁷⁵, información que fue debidamente identificada, evaluada y analizada en el numeral 1.63_Medio abiótico del Capítulo 1.0_Generalidades.

De acuerdo con la compilación de la información de referencia antes mencionada y específicamente con el informe del U.S. Geological Survey (USGS), en su Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Colombia y Regiones Oceánicas Adyacentes (USGS, 2000), el área de influencia está localizada en el Piedemonte Llanero y específicamente en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, enmarcado dentro de una franja elongada con dirección SW - NE y limitada hacia el costado noroccidental por los trazos del Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental.

En términos generales es un sistema de fallas de rumbo promedio $42.1^\circ \pm 19^\circ$ NE con una inclinación del plano hacia el Oeste 30- 40°. La inmersión de la falla es mucho más plana en su extremo norte, y se inclina gradualmente hacia el sur, donde puede alcanzar inmersiones casi verticales con un desplazamiento puro de deslizamiento. Presenta un sentido de movimiento Inverso/dextral (lateral derecho), lado oeste hacia arriba (USGS, 2000) y que tiene una rata de movimiento al año de 1-5 mm por año (**Figura 3.2.1-23 y Tabla 3.2.1-23**).

71 INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA (INGEOMINAS). Cartografía Geológica de la plancha 247 Cáqueza. Escala 1:100.000. Bogotá, mayo de 2011

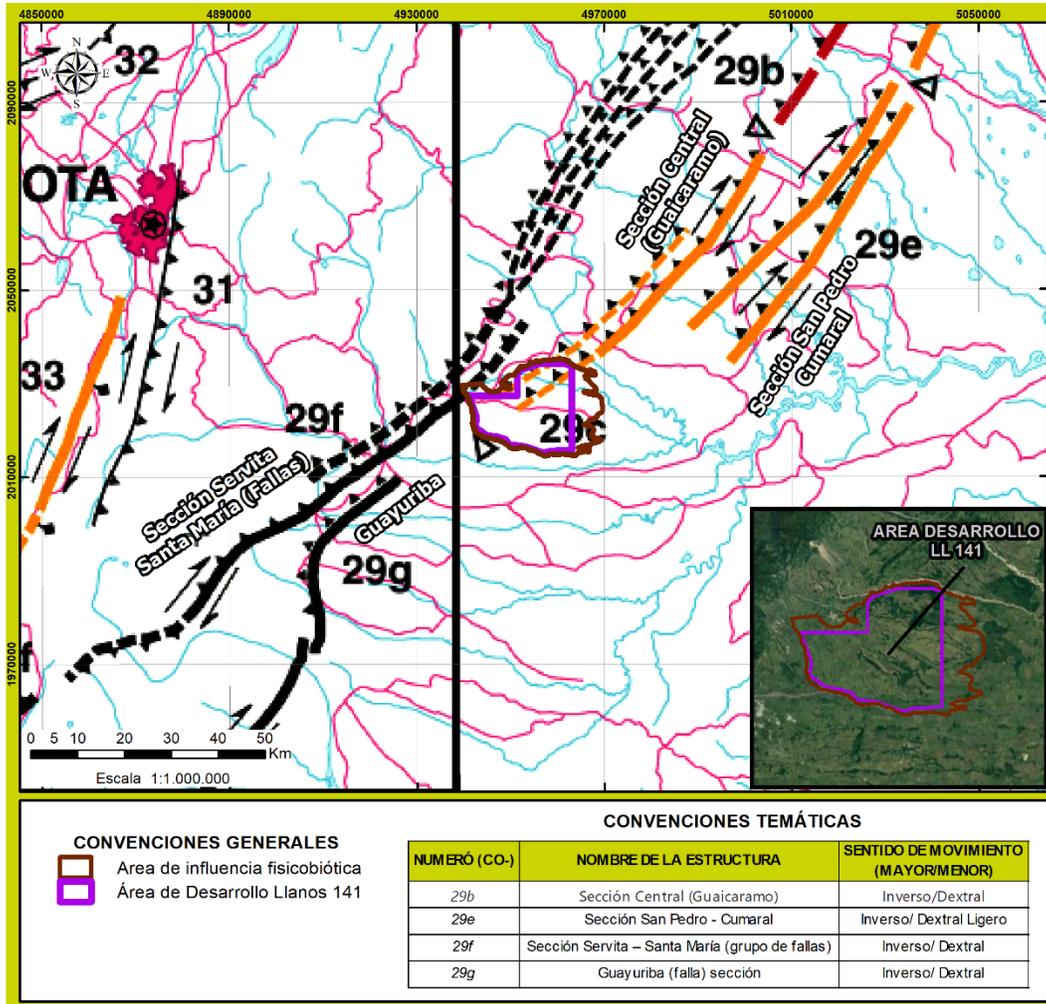
72 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

73 GONZALES, PULIDO, Orlando & GÓMEZ, VILLALBA, Luz Stella. Geología de la Plancha 266 – Villavicencio. Memoria Explicativa. Año 2001.

74 SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Memoria Explicativa – Plancha Geológica 285 – San Martín. Escala 1:100.000. Bogotá, Septiembre de 2015.

75 UT POMCA RIO GUATIQUEIA. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Guatiquía. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena (CORMACARENA). Escala 1:25.000. 2014

Figura 3.2.1-23 Marco geológico estructural a nivel regional en el área de influencia y las zonas aledañas (Información secundaria)



Fuente: (Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Colombia y Regiones Oceánicas Adyacentes. U.S. Geological Survey (USGS) (2000) 76 y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Tabla 3.2.1-23 Fallas del Sistema de Falla frontal Oriental (Información secundaria)

| NUMERÓ (CO-) | NOMBRE DE LA ESTRUCTURA | SENTIDO DE MOVIMIENTO (MAYOR/MENOR) | EDAD DEL ÚLTIMO MOVIMIENTO | TASA DE MOVIMIENTO (MM/AÑO) |
|--------------|---|--|------------------------------|-----------------------------|
| 29c | Sección Central (Guaicaramo) | Inverso/Dextral | Holoceno/post glacial | 1-5 |
| 29e | Sección San Pedro - Cumaral | Inverso/ Dextral Ligero | <15 ka (Holoceno/posglacial) | 1-1,5 |
| 29f | Sección Servita – Santa María (Grupo de fallas) | Inverso/ Dextral | <1,6 Ma (Quaternary). | 0,2-1 |
| 29g | Sección Servita – Santa María (Grupo de fallas) | Inverso/ Dextral (?) (lateral derecho) | <1,6 Ma (Quaternary). | 1-5 |

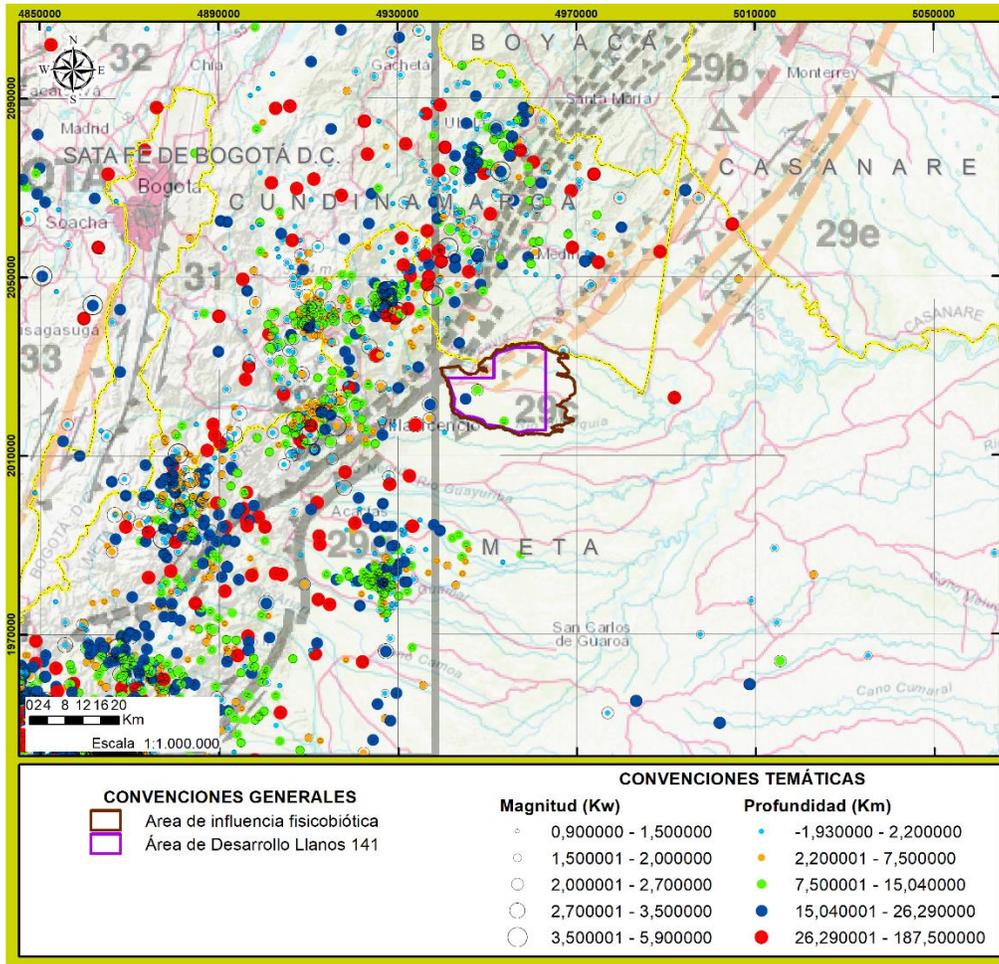
Fuente: Tomado y modificado de Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Colombia y Regiones Oceánicas Adyacentes (USGS, 2000).

➤ **Análisis de resultados de la información secundaria**

76 Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarios de Colombia y Regiones Oceánicas de Geociencias; U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey USGS; Denver, Colorado, USA; 2000.

Al comparar la relación espacial del sistema de fallas activo (sistema de fallas frontal de la cordillera oriental) vs eventos sísmicos históricos identificados en el área de influencia por parte del Servicio Geológico Colombiano, se observa la relación directa que existe entre el frente de falla activo donde se enmarca el proyecto y los eventos sísmicos históricos (**Figura 3.2.1-24**).

Figura 3.2.1-24 Marco geológico estructural a nivel regional en el área de influencia y las zonas aledañas Vs eventos sísmicos históricos (Información secundaria)



Fuente: (Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Colombia y Regiones Oceánicas Adyacentes. U.S. Geological Survey (USGS) (2000) 77 y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Finalmente, al consultar la información secundaria obtenida del **Servicio Geológico Colombiano – SGC /SIMMA/Sistema de Información de Movimientos en Masa**, se encontró el reporte de dos (2) eventos de inestabilidad (hasta el año 2005 e inventariados en el año 2018), localizados en la cuenca alta del río Guatiquía y por fuera del área de influencia (cuya descripción y análisis detallado se presenta en el numeral 3.2.2.3_Morfodinámica). En la información en mención levantada por el Servicio Geológico Colombiano no se identificó dentro del reporte oficial los factores de disparo que dieron origen a la generación de los movimientos en masa. Así mismo, durante la etapa de reconocimiento de campo realizada en el mes de febrero de 2023, se identificó la presencia de dos

77 Mapa de Fallas y Pliegues Cuaternarias de Colombia y Regiones Oceánicas de Geociencias; U. S. Department of the Interior and U. S. Geological Survey USGS; Denver, Colorado, USA; 2000.

(2) movimientos en masa asociados con las rocas de la Formación Guayabo (N2c) y sin la información secundaria disponible para relacionarlos con la actividad sísmica (como factor detonante) que se presenta en el área.

3.2.1.3.3 Amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa

Los fenómenos de remoción en masa incluyen los movimientos de suelo o roca inducidos por la acción de la gravedad y en algunos casos de la presencia de agua. Su evolución está ligada a las características litológicas, el grado de meteorización, la disposición estructural de los materiales, las características topográficas del terreno y el clima imperante que puede incidir en el contenido de humedad de los materiales (esto es común en épocas de lluvias). Como fenómenos de remoción en masa se agrupan la reptación de suelos, los deslizamientos (Rotacionales y traslacionales), la expansión de terrenos, y las combinaciones que se puedan dar de estos fenómenos (CRUDEN AND VARNES, 1996).

Es así, como para la determinación de la amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa se identificó la susceptibilidad del terreno a presentar movimientos en masa (ST) y los factores desencadenantes o detonantes (FS) que intervienen en la generación de los procesos de erosivos y/o de remoción en masa y procesos erosivos.

Entre los factores intrínsecos considerados para determinar la susceptibilidad del terreno se identificó la litología, geomorfología, hidrogeología, cobertura de la tierra, densidad del drenaje, densidad de fallas, intervalo de pendiente e intensidad de erosión. Asimismo, entre los factores detonantes se consideró la precipitación y la sismicidad. En la siguiente ecuación (AR) se muestra cómo se determinó la amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa.

$$AFRM = ST * (FP + FS)$$

Donde:

AFRM = Amenaza relativa del terreno por procesos erosivos y/o de remoción en masa.

ST = Susceptibilidad total del terreno a los procesos erosivos y/o de remoción en masa.

FP = Factor detonante por precipitación.

FS = Factor detonante por sismicidad.

En el presente numeral se muestran los resultados obtenidos una vez se determinó la amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa (**Tabla 3.2.1-24 y Figura 3.2.1-25**). Asimismo, el desarrollo completo de la amenaza por fenómenos de remoción en masa se presenta en el numeral 3.2.8_Geotecnia.

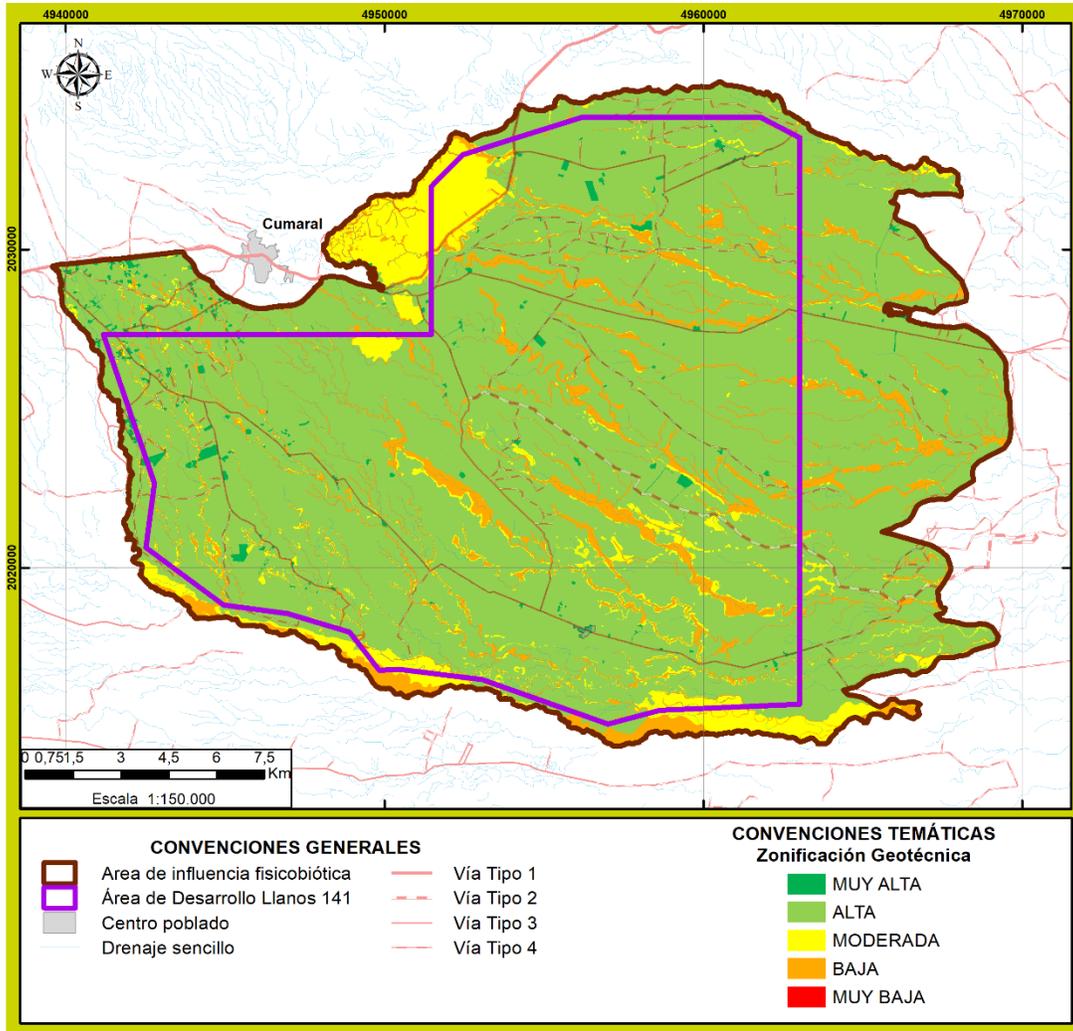
Tabla 3.2.1-24 Determinación de la amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa en el área de influencia

| AMENAZA RELATIVA por FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA | NOMENCLATURA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE MATERIAL | ÁREA DE INFLUENCIA | | ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141 | |
|--|--------------|---|--|--------------------|-------|-------------------------------|-------|
| | | | | ha | % | ha | % |
| Muy Alta | ARMA | Se correlaciona con aquellas áreas donde la disminución de la cobertura del bosque ha favorecido la acción denudativa del agua lluvia (factor detonante), fomentando no solamente los procesos erosivos hídricos de tipo laminar, sino también los movimientos en masa tipo deslizamientos rotacionales y caída de detritos y/o material (suelo). | Roca Meteorizado de la Formación Guayabo (N2c) | 7,47 | 0,02 | 6,29 | 0,02 |
| Alta | ARA | La zona definida de alta amenaza ocupa el 8,37% del área de influencia. Geológicamente está relacionada con los Depósitos Aluviales Asociados a Cauces Mayores (Q2-al-1) correlacionados con la dinámica activa del río Guacavía, Guatiquía y Caney y con los Depósitos Aluviales Asociados a Cauces Menores (Q2-al2). A nivel del componente geomorfológico se correlaciona con las geoformas denominadas Valle (PVv, FVv y VVv).. Asimismo, hacia el costado occidental del área de influencia está asociada a la geoforma denominada los Orillares e Islotes (VPo) y Cauce (CA). La principal cobertura de la tierra que se observa en esta área es bosque de galería y ripario (Bgr). | Suelo depositado | 4027,46 | 9,40 | 2546,71 | 8,78 |
| Media | ARM | La zona definida como de media amenaza ocupa el 7,51% del área de influencia. Geológicamente está relacionada con las rocas de la Formación Guayabo Miembro Inferior (N2c) constituida principalmente por una intercalación de rocas duras y blandas. Geomorfológicamente, se asocia con las formas del terreno denominadas Cimas y laderas (DLI) y Cimas (DLc), caracterizadas por presentar un intervalo de pendiente ligeramente escarpada (25 - 50%) a fuertemente inclinada (12-25%). Asimismo, hacia el costado occidental del área de influencia está asociada la Napa de Desbordamiento (VPn). El área en mención localizada hacia el costado norte y nororiental presenta una susceptibilidad moderada a la generación de movimientos en masa y erosión de grado moderada a ligera, especialmente en aquellas áreas donde la disminución de la cobertura del bosque ha favorecido la acción denudativa del agua lluvia (factor detonante), fomentando no solamente los procesos erosivos hídricos de tipo laminar laminares. | Roca meteorizada y Suelo depositado | 3217,19 | 7,51 | 1484,35 | 5,12 |
| Baja | ARB | La zona definida como de baja amenaza ante la generación de fenómenos de remoción en masa ocupa el 81,74% del área de influencia. A nivel del componente geológico se asocia con Depósitos de Llanura de Inundación (Q2-llj), Depósito de Abanico Aluvial (Q1-Ab) y Abanico – Terraza (N-Qt). Geomorfológicamente, se asocia con las formas del terreno denominadas Plano de Abanico (PAa), Cuerpo – Bajo (PAcb), Plano de Terraza de Acumulación (PTa), Plano de Terraza de Acumulación Subreciente (PTas), Plano de Terraza (FTa), Plano de Llanura Inundable (FPI), caracterizadas por presentar una morfología baja y procesos erosivos de tipo laminar y en surcos, de grado moderado a ligero. La principal cobertura de la tierra que se observa en esta área es pastos limpios (PI) y, pasos arbolados (Pa). | Suelo depositado | 35024,38 | 81,74 | 24592,80 | 84,75 |

| AMENAZA RELATIVA por FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA | NOMENCLATURA | DESCRIPCIÓN | TIPO DE MATERIAL | ÁREA DE INFLUENCIA | | ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141 | |
|--|--------------|---|------------------|--------------------|--------|-------------------------------|--------|
| | | | | ha | % | ha | % |
| Muy Baja | ARMB | La zona definida como de muy baja amenaza ante la generación de fenómenos de remoción en masa denominada muy baja a la generación de fenómenos de remoción en masa ocupa el 1,33% del área de influencia. Geológicamente está asociada con el Relleno Antrópico (Qar) constituido por material principalmente granular (tamaño grava) y de composición polimíctica, de moderada a bien compactado. Geomorfológicamente, se correlaciona con la forma del terreno denominada Modelado Antrópico (construcciones de tipo puntual y lineal), caracteriza por presenta un intervalo de pendiente baja. | Suelo depositado | 507,62 | 1,33 | 387,82 | 1,34 |
| ÁREA TOTAL | | | | 42847,11 | 100,00 | 29017,96 | 100,00 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-25 Amenaza Relativa por Fenómenos de Remoción en Masa (AFRM) en el área de influencia



Fuente: Cruz, C. 2015 y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023

3.2.1.3.4 Amenaza por Inundación

Para la estimación de amenaza por inundación se consideraron las siguientes variables: pendientes, precipitaciones y el resultado obtenido de la susceptibilidad a inundaciones (IDEAM, 2017). A continuación, se presenta el procedimiento y los resultados obtenidos para cada variable (Tabla 3.2.1-25 y Figura 3.2.1-26).

- Se asigna una ponderación a cada variable analizada por amenaza. Cabe precisar que, al no tener una metodología específica que establezca valores para cada ítem a evaluar, se adoptó un valor superior de la susceptibilidad debido a los parámetros analizados de 0,8, mientras que para las pendientes y precipitaciones un valor de 0,1 respectivamente.
- Se cruza la capa en un software SIG con las variables analizadas.
- Finalmente se suman los resultados por variable y siguiendo los criterios relacionados en la **Tabla 3.2.1-25** se obtiene como resultado el valor del nivel de amenaza.

$$\text{Amenaza Inundación} = (0,8 * \text{Susceptibilidad Inundación}) + (0,10 * \text{Pendientes}) + (0,10 * \text{Precipitaciones})$$

Tabla 3.2.1-25 Calificación por amenazas de inundación en el área de influencia

| RANGOS | CALIFICACIÓN | VALOR NIVEL DE AMENAZA |
|----------|--------------|------------------------|
| 0 - 1 | Muy baja | 1 |
| 1,01.- 2 | Baja | 2 |
| 2,01 – 3 | Media | 3 |
| 3,01- 4 | Alta | 4 |
| 4,01 – 5 | Muy alta | 5 |

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible - MADS, 2014). Adaptado por (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-26 Variables utilizadas para la amenaza por inundaciones



Fuente: (CORCUENCAS, 2014) y adaptado por (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

A continuación, se presentan los resultados de la metodología antes mencionada y la descripción en detalle se presenta en el numeral 3.2.4.9.1 del Capítulo 3.2.4 Hidrología.

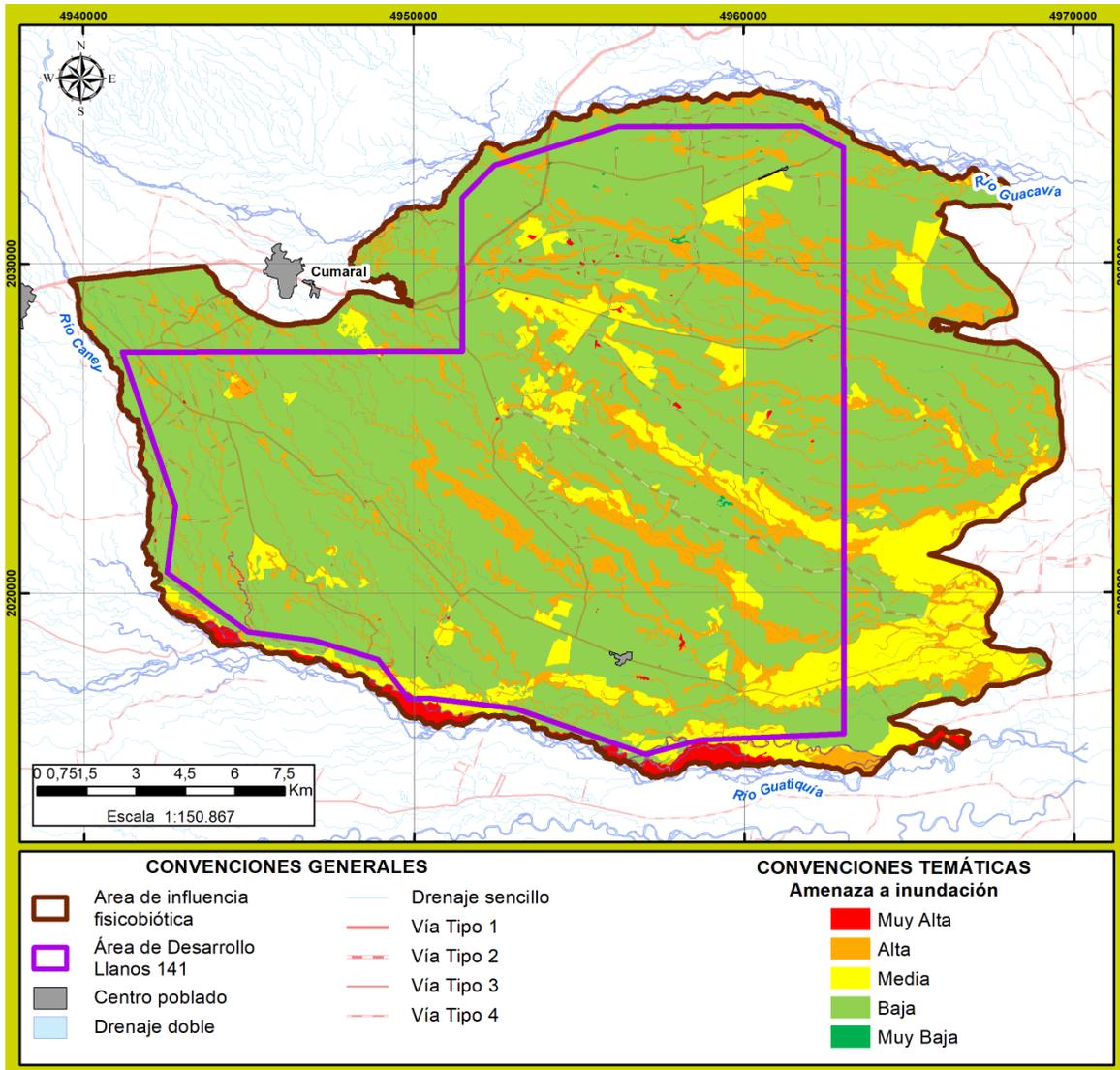
Una vez obtenidas las valoraciones expuestas anteriormente (pendientes y análisis de susceptibilidad de inundaciones) y siguiendo los criterios presentados en la **Tabla 3.2.1-25**, se presentan las calificaciones en la **Tabla 3.2.1-26** y la representación espacial en la **Figura 3.2.1-27**.

Tabla 3.2.1-26 Resultado amenaza por inundación en el área de influencia

| CALIFICACIÓN | ÁREA DE INFLUENCIA | | ÁREA DE DESARROLLA LLANOS 141 | |
|--------------|--------------------|--------|-------------------------------|--------|
| | ha | % | ha | % |
| Muy Baja | 23,82 | 0,06 | 22,47 | 0,08 |
| Baja | 30813,25 | 71,91 | 22104,14 | 76,17 |
| Media | 5000,86 | 11,67 | 2585,42 | 8,91 |
| Alta | 6427,81 | 15,00 | 4259,18 | 14,68 |
| Muy Alta | 581,37 | 1,36 | 48,74 | 0,17 |
| ÁREA TOTAL | 42847,11 | 100,00 | 29017,96 | 100,00 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-27 Amenaza por inundación en el área de influencia



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

De acuerdo con lo anterior, se observa que, el área de influencia del proyecto presenta el mayor porcentaje de amenaza de inundación, en "Baja" (71,91%), seguido de "Media" (11,67%), estos resultados están asociados a las bajas profundidades del tirante de agua, a las pendientes, las cuales son ligeramente inclinadas y, por consiguiente, sus velocidades son menores, favoreciendo la regulación en los caudales y por ende evitando la generación de crecientes. Adicionalmente, se pueden asociar a nivel de susceptibilidad "Baja" a "Media".

Por otra parte, la amenaza "Muy Alta" y "Alta" están relacionados a niveles de susceptibilidad de igual forma, altos, localizándose principalmente en la parte sur, en zonas de ronda hídrica del río Guatiquía. Adicionalmente, se puede establecer que los cuerpos de agua tienen una dinámica relativamente estable, pues no presentan grandes variaciones en sus cauces, indicando que estos tramos son controlados por sus rasgos morfométricos.

La compacidad y factor de forma indican que se presentan cuencas con tendencia a ser alargadas y planas; aunado a lo anterior, la densidad de drenajes y de corrientes es baja, lo cual conlleva a que las cuencas objeto de análisis respondan con inundaciones lentas y continuadas ante eventos extremos de lluvia, pero de menor magnitud en comparación a las cuencas redondas o menos alargadas. Cabe precisar que, las actividades pecuarias o de agricultura que se desarrollan en la zona pueden llegar a obstruir los drenajes existentes y por ende propiciar inundaciones continuadas.

De forma general y a modo de conclusión se puede afirmar que la probabilidad de eventos de inundación es de media a baja, así mismo las características de las inundaciones periódicas tiende a ser de menor magnitud, pero de duración prolongada; por lo que con adecuadas prácticas de drenaje y mantenimiento de las rondas de los cauces garantizaría que la probabilidad de eventos de inundación sea baja.

3.2.1.3.5 Amenaza por avenidas torrenciales

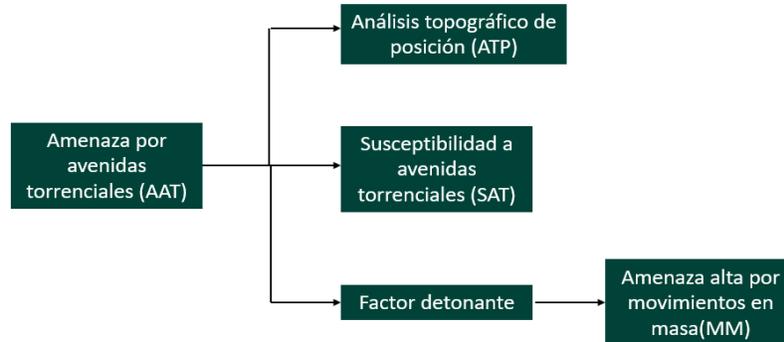
Según la Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por movimientos en masa: escala 1:25.000 (Servicio Geológico Colombiano, 2017) avenida torrencial corresponde a lo siguiente: *las avenidas torrenciales son procesos tipo flujo que incluyen eventos generados sobre ríos y quebradas de alta montaña y en cuencas con características geomorfológicas que favorecen una alta acumulación de sedimentos sobre el cauce, cambios drásticos en el gradiente del afluente, alta densidad de drenaje y eventos de precipitación. Sus daños a la población y a la infraestructura son de magnitud mayor, al igual que el tiempo necesario para recuperación de las cuencas después de un desastre ocasionado por este fenómeno.*

Adicionalmente, la Guía Metodológica para la Zonificación de Amenaza por avenidas torrenciales (Servicio Geológico Colombiano, 2021) se define la avenida torrencial como: *Flujo rápido que transita por cauces permanentes o intermitentes con pendientes longitudinales altas, que puede ser generado por efecto de lluvias intensas. Involucra el transporte de una mezcla de agua y un contenido significativo de sólidos en diferentes proporciones. El aporte de sólidos al flujo puede provenir de las laderas adyacentes o del lecho de los cauces. Finalmente, cuando el flujo alcanza zonas de baja pendiente se genera el depósito del material a lo largo de su trayectoria.*

Es así, con la intención de obtener la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el área de influencia del área de desarrollo Llanos 141, se ejecutó un modelo conceptual cartográfico que usó como insumo la susceptibilidad a las avenidas torrenciales, las áreas de amenaza alta por movimientos en masa, y finalmente el análisis topográfico de posición ejecutado a partir del software ArcMap, metodología desarrollada en detalle numeral 3.2.4.9.2 del Capítulo 3.2.4 Hidrología.

El modelo heurístico para determinar la amenaza por avenida torrencial es calculado a partir de un factor detonante, en este caso fue utilizada la amenaza alta por movimientos en masa (MM) que es desarrollada en el capítulo 3.2.8 Geotecnia, el resultado de la susceptibilidad a avenidas torrenciales (SAT) y el índice topográfico de posición (ATP) mencionado con anterioridad (**Figura 3.2.1-28**) Lo anterior con la intención de realizar el análisis multicriterio a partir de cálculo ponderado cartográfico y por último espacializar el resultado.

Figura 3.2.1-28 Modelo conceptual para determinar la amenaza por avenidas torrenciales



Fuente: POMCA Rio Cusiana, 2019 y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023

Al espacializar el resultado categorizado de la amenaza por avenidas torrenciales sobre el área de Influencia, en donde se enmarca el proyecto Área de Desarrollo Llanos 141 es posible identificar la distribución porcentual de la calificación (**Tabla 3.2.1-27**).

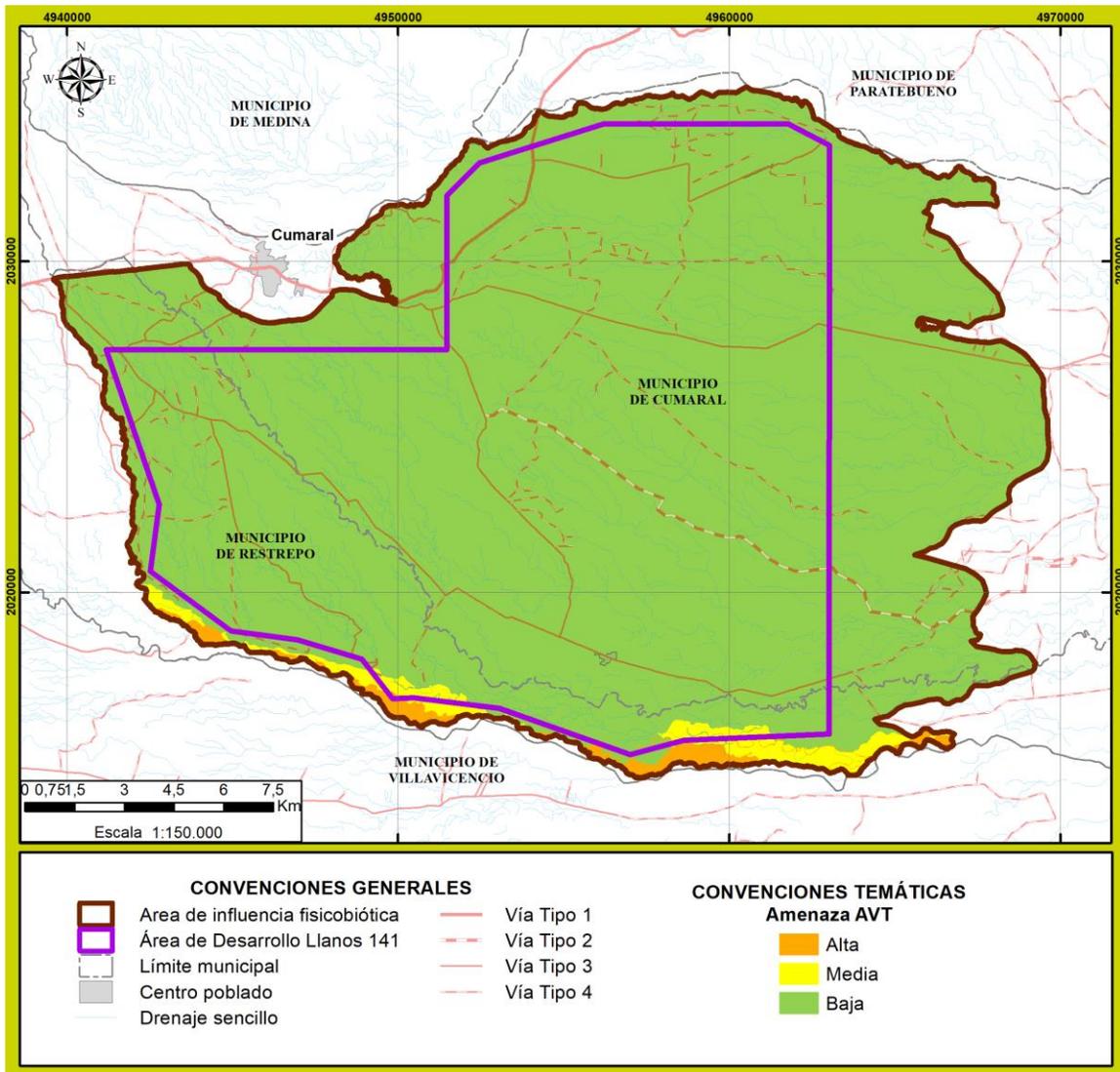
Tabla 3.2.1-27 Amenaza por avenidas torrenciales en el área de influencia

| DESCRIPCIÓN | AMENAZA A AVENIDAS TORRENCIALES | ÁREA INFLUENCIA | | ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141 | |
|--|---------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------|---------------|
| | | ha | % | ha | % |
| Corresponde a las áreas de tránsito o transporte que se enmarcan en los cauces actuales que por sus condiciones de topografía y morfometría son capaces de transportar el material y generar el flujo torrencial. Se encuentra asociada con las geoformas típicas de la dinámica de las corrientes mayores (p.e. Cauce (Río Guatiquía) y específicamente con los orillares e islotes | ALTA | 538,76 | 1,26 | 9,60 | 0,03 |
| Las geoformas con amenaza de presentar avenidas torrenciales son: las napas de inundación y los planos de llanura asociadas al Río Guatiquía por sus condiciones de relieve bajo con capacidad de depósito de material. | MEDIA | 831,39 | 1,94 | 230,09 | 0,79 |
| Corresponde a áreas cuyas geoformas presentan una morfología relativamente alta o zonas donde no se genera depósito de material torrencial debido a la baja amenaza aguas arriba de estos cauces menores y zonas planas, como son: Abanicos, terrazas y las colinas, entre otras. | BAJA | 41476,97 | 96,80 | 28778,27 | 99,17 |
| ÁREA TOTAL | | 42847,11 | 100,00 | 29017,96 | 100,00 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Una vez realizado el cálculo ponderado y especializado se mantuvo la clasificación cualitativa descrita en el POMCA Rio Cusiana 2019, con el objetivo de mantener su categorización y se realizó post procesamiento de la capa del índice topográfico de posición a partir de las formas del terreno, la estabilidad y la geomorfología, con la intención de limpiar el archivo Ráster que tiene mayor peso en la suma ponderada. A continuación, en la **Figura 3.2.1-29** se muestra el resultado de la amenaza por avenidas torrenciales tras el cálculo ponderado y cruce de la información, en donde se puede identificar que la amenaza alta se ubica espacialmente en el cuerpos de agua principal de la zona sur Río Guatiquía, bosque de galería, orillares e islotes y representando la gran mayoría del área (96,80%), las zonas con calificación de baja amenaza se vinculan a zonas colinas, terrazas, áreas geomorfológicamente no inundables y estables.

Figura 3.2.1-29 Amenaza por avenidas torrenciales en el área de influencia



Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

3.2.1.3.6 Amenaza Cerámica (tormentas eléctricas)

Las descargas eléctricas atmosféricas o rayos son un fenómeno natural que varían con el espacio y con el tiempo y no existen actualmente dispositivos tecnológicos ni métodos capaces de evitarlos, pero sí de prevenirlos⁷⁸.

En condiciones meteorológicas excelentes, la atmósfera transporta una carga neta positiva, lo cual implica una correspondiente carga negativa sobre el suelo. Se acostumbra a asignar al suelo un potencial eléctrico cero. Las mediciones del potencial eléctrico de la atmósfera indican que éste aumenta con la altura, lo cual se denomina gradiente de potencial; igualmente, este gradiente se incrementa con fenómenos de bruma, niebla o nubes y puede producir rupturas eléctricas atmosféricas, una chispa eléctrica o relampagueo. Como consecuencia, en regiones que presentan

⁷⁸ NTC 4552-1, 2008

buen tiempo la diferencia de potencial entre la Tierra y las capas atmosféricas ionizadas de gran conductividad, ubicadas de 50 km y a mayor altura, es de cientos de miles de voltios⁷⁹.

El mecanismo de sustentación del campo eléctrico atmosférico está basado en la actividad de tormentas y, por tanto, este campo es un proceso y no una condición de la atmósfera. Las nubes convectivas de tormenta (cumulonimbus), son los generadores eléctricos que producen cargas eléctricas de ambas polaridades, como una distribución típica. A fin de conocer y caracterizar el comportamiento de la actividad eléctrica atmosférica de una región, fue aceptado y utilizado un parámetro universal que se denomina Nivel Cerámico.

La ocurrencia de la actividad eléctrica atmosférica durante el año varía considerablemente tanto de una región a otra, como también de un mes a otro, esto debido a la influencia de varios factores como: el relieve, elevación, latitud, distribución de tierras y mares, radiación solar, pero principalmente por los efectos originados debido a la circulación y sistemas sinópticos de la atmósfera.

Para el análisis de la amenaza exógena por tormentas eléctricas en el área de influencia donde se enmarca el proyecto, se tomó como base el documento de evaluación del riesgo por rayos incluyendo un sistema de alarma de tormentas en Colombia (SAT)⁸⁰ y la Norma Técnica Colombiana NTC 4552-1 Protección contra descargas eléctricas atmosféricas (Rayos) (versión 2008-11-26)⁸¹ en donde se referencia el nivel cerámico y la densidad de rayos a la tierra de acuerdo con el mapa de ISO-niveles cerámicos y el mapa de densidad típica de Colombia en una escala de 1:500.000.

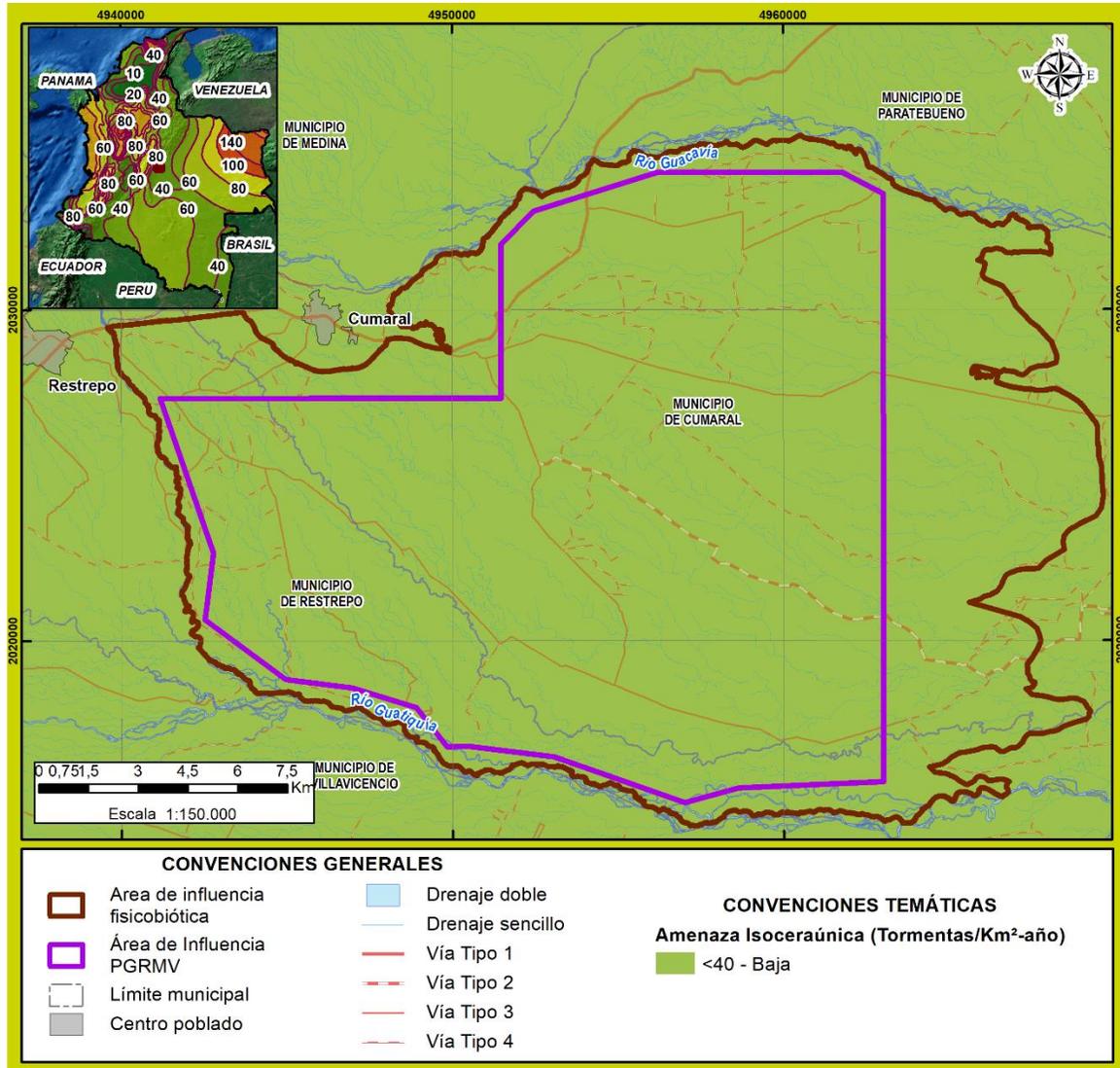
La variación espacial del nivel cerámico, fue evaluada por primera vez para Colombia en áreas de 30 km² x 30 km² a nivel nacional a partir de observaciones humana realizadas entre los años 1974 y 1988, encontrándose zonas con valores entre 11 días y 289 días tormentosos año. Posteriormente, se generó un mapa de isoniveles cerámicos con información más reciente, encontrándose que el área del se encuentra bajo la Isolíneas <40 días, tal y como se presenta en la **Figura 3.2.1-30**; este valor es el resultado de la aparición de días de tormentas por kilómetro cuadrado y por año.

79 Consultoría Colombiana S.A. 2016

80 . Tomado de Evaluación del riesgo por rayos incluyendo un sistema de alarma de tormentas (SAT) en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C, año 2015.

81. Norma Técnica NTC-4552-1, Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, Bogotá D.C, año 2008.

Figura 3.2.1-30 Mapa de isoniveles ceráunicos para Colombia (Área de 30 km x 30 km) -1999 (Información secundaria)

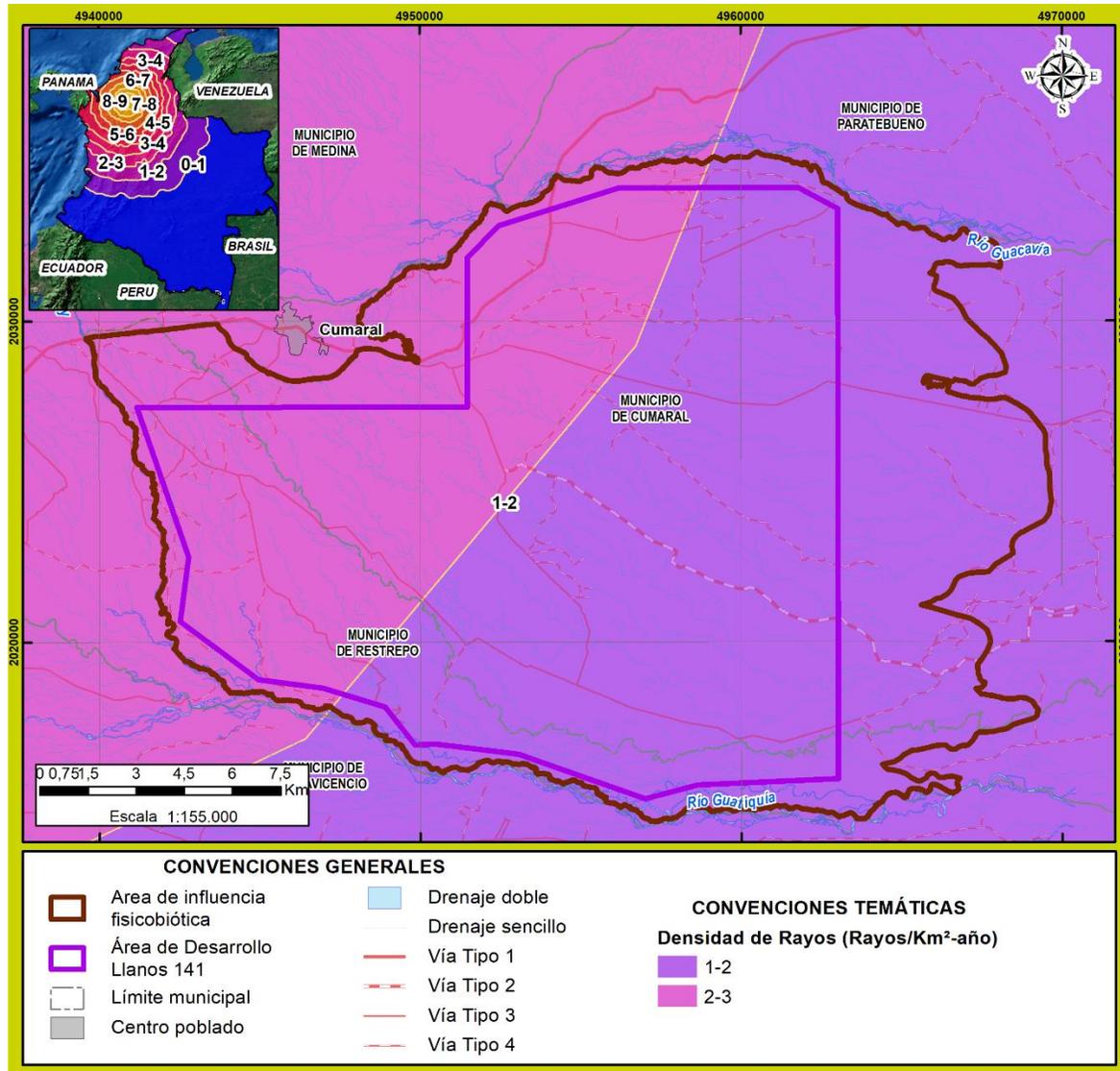


Fuente: Norma Técnica Colombiana 4552-1, 2008 y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2022

Debido a que el mapa de isoniveles ceraúnico, no tiene en cuenta otra serie de parámetros que permiten caracterizar la actividad de rayos con mayor precisión, se analizó también la variable Densidad de Rayos (DDT), la cual se define como el número de rayos que impactan en un área de un kilómetro cuadrado al año. Esta medición muestra más información, no solo sobre la actividad de rayos en un lugar determinado sino también de su intensidad. El mapa de DDT más actualizado para Colombia se muestra en la **Figura 3.2.1-31**, este mapa está basado en la información suministrada por la red de detección y localización total de rayos LINET que opera en Colombia desde septiembre de 2011⁸² y muestra que, para el área de estudio físico biótica donde se ubica el proyecto, la densidad de rayos es entre 1 y 2 rayos por kilómetro por año.

82 Cruz, C. 2015. Evaluación del Riesgo por rayos incluyendo un Sistema de Alarma de Tormentas (SAT) en Colombia

Figura 3.2.1-31 Mapa de densidad de rayos para Colombia-2012 (Información secundaria)



Fuente: Cruz, C. 2015 y adaptado por ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2022

Según los consolidados anuales de emergencias publicado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – UNGRD entre 2009 y 2019, se tiene un registro de emergencia asociada a un evento de tormenta eléctrica ocurrido el 27 de abril del 2016.

✓ **Conclusiones**

De acuerdo con los resultados obtenidos para la amenaza Cerámica, para el área de influencia donde se emplaza el proyecto, la densidad de rayos es menor a 10 rayos por kilómetro por año, dado que, para el país, el valor máximo de densidad de descargas a tierra corresponde a 90 rayos/km² * año. Por ende, el valor tomado para el área de influencia, para la variable densidad de descargas a tierra correspondiente a 10 (rayos/km² x año), se obtiene una calificación "MUY BAJA".

3.2.1.3.7 Amenaza por incendios

El incendio de la cobertura vegetal se define como el fuego que se propaga, sin control sobre la cobertura vegetal, cuya quema no estaba prevista. Para la determinación de la amenaza por incendios forestales en el área estudio del Proyecto, se empleó la metodología desarrollada por el IDEAM y plasmada en el Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal (2011). A partir del mapa de coberturas obtenido se genera una reclasificación de las coberturas mediante la interpretación de los tipos de cobertura presentados en el protocolo del IDEAM, según los tipos de combustibles dominantes. Asimismo, indica que una vez identificado y calificado el tipo de combustible, se realiza la calificación y clasificación por duración de combustible. Posterior a esto, se realiza la clasificación por carga total de combustible. Tomando como base los resultados de la recategorización de las unidades de coberturas de la tierra, se aplica la ecuación empleada para valorar la susceptibilidad de la vegetación a incendios es la siguiente:

$$SUSC=CAL(TC)+CAL(DC)+CAL(CT)$$

Finalmente, una vez calificados a totalidad los distintos factores de relevancia que caracterizan la condición pirogénica, se realiza el cálculo de la susceptibilidad a incendios forestales y se aplica la normalización de categorías.

Una vez obtenida la susceptibilidad a incendios forestales, se realiza el análisis de amenaza por factores climáticos, factor del relieve, factor histórico y factor de accesibilidad, tal y como se presenta en la siguiente ecuación.

$$\text{Amenaza} = \text{susceptibilidad de la vegetación} \times (0,17) + \text{precipitación} \times (0,25) + \text{temperatura} \times (0,25) + \text{pendientes} \times (0,03) + \text{frecuencia} \times (0,05) + \text{accesibilidad} \times (0,03)$$

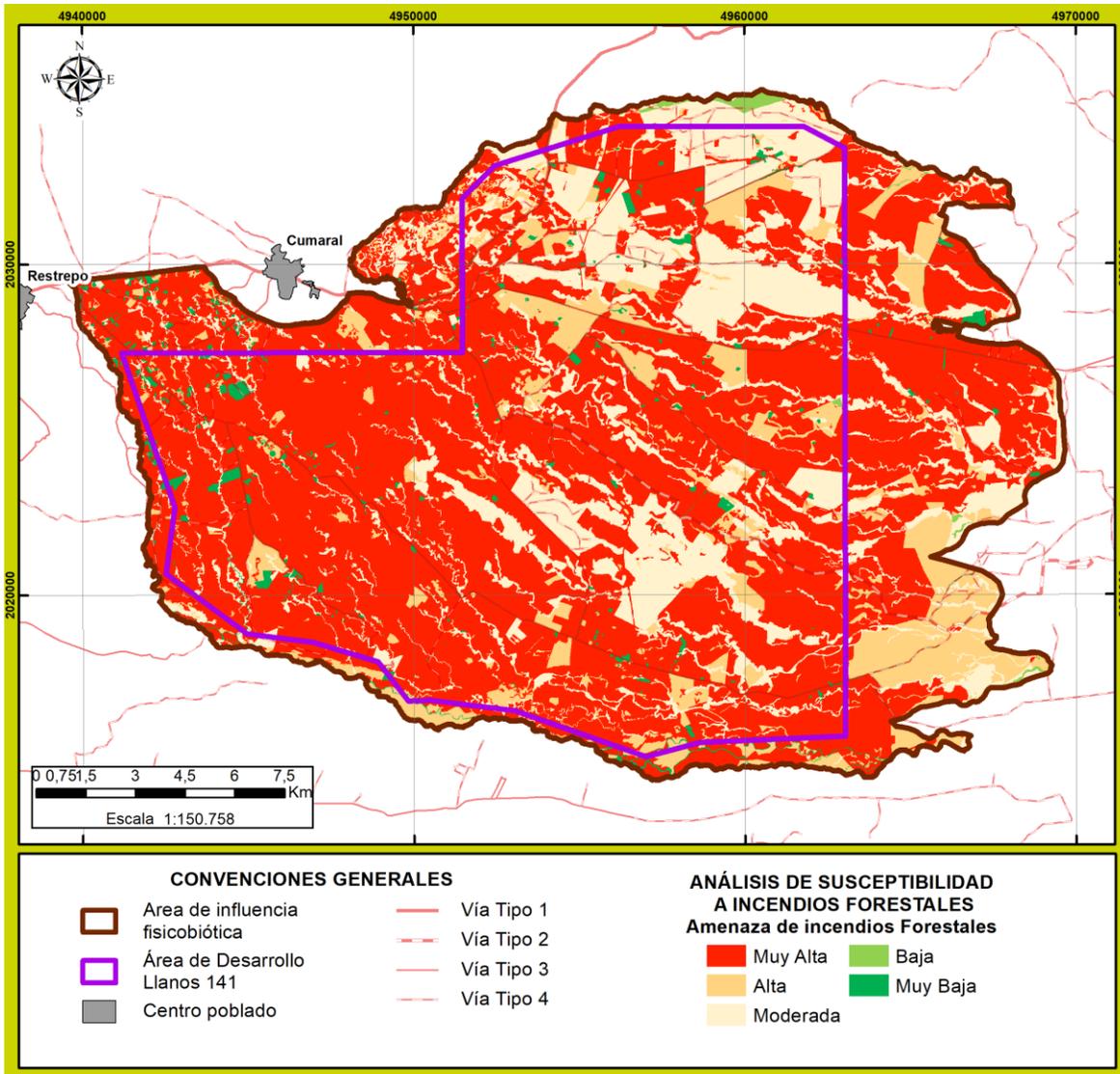
De acuerdo con el numeral 4.2.2.1 y luego de aplicar esta fórmula mediante algebra de mapas empleando las capas de información requerida para el área de influencia, realizar la normalización de los resultados obtenidos y reclasificarlos en rangos de amenaza en Alto, Medio y Bajo de acuerdo con el diccionario de Datos del ANLA, se obtuvo que el 64,67% es decir que 27710,13 ha del proyecto se encuentra en amenaza de incendio “Muy Alta”, el 11,47% es decir 4912,89 ha del proyecto se encuentran en amenaza de incendio “Alta”, el 21,56% es decir 9236,28 ha del proyecto se encuentran en amenaza de incendio “Media” y el restante 2,30% se encuentra en amenaza de incendio “Baja y Muy Baja”, tal y como se puede observar en la **Tabla 3.2.1-28** y **Figura 3.2.1-32**, lo cual se asocia con una alta probabilidad de ocurrencia de un evento de este tipo.

Tabla 3.2.1-28 Resultado amenaza por incendios en el área de influencia

| CALIFICACIÓN | ÁREA DE INFLUENCIA | | ÁREA DE DESARROLLO LLANOS 141 | |
|--------------|--------------------|--------|-------------------------------|--------|
| | ha | % | ha | % |
| Muy Baja | 845,27 | 1,97 | 544,63 | 1,88 |
| Baja | 142,54 | 0,33 | 8,12 | 0,03 |
| Media | 9236,28 | 21,56 | 6686,76 | 23,04 |
| Alta | 4912,89 | 11,47 | 2360,56 | 8,13 |
| Muy Alta | 27710,13 | 64,67 | 19417,89 | 66,92 |
| ÁREA TOTAL | 42847,11 | 100,00 | 29017,96 | 100,00 |

Fuente: (ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023)

Figura 3.2.1-32 Amenaza total por incendios forestales en el área de influencia



FUENTE: ANTEA COLOMBIA S.A.S., 2023

3.2.1.3.8 Amenaza por sequia

El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) define la sequía como un fenómeno climático caracterizado por un período prolongado de deficiencia de precipitación en una región específica, que resulta en un déficit significativo de agua en comparación con las condiciones normales. La sequía puede manifestarse de diferentes formas, incluyendo la reducción de los niveles de agua en embalses, ríos y cuerpos de agua, la disminución de la humedad del suelo, la escasez de agua para el abastecimiento humano, agrícola e industrial, y otros efectos adversos en los ecosistemas y la sociedad.

La sequía puede tener impactos considerables en diversos sectores, como la agricultura, la ganadería, la generación de energía, el abastecimiento de agua potable, la biodiversidad y la salud

pública. Es un fenómeno que puede variar en intensidad y duración, y su impacto puede depender de factores climáticos, geográficos y socioeconómicos.

En el capítulo **3.2.4. Hidrología** numeral **3.2.4.8. Índices hidrológicos** se presentan índices que son implementados por IDEAM donde utilizan para evaluar y monitorear las condiciones de sequía en Colombia.

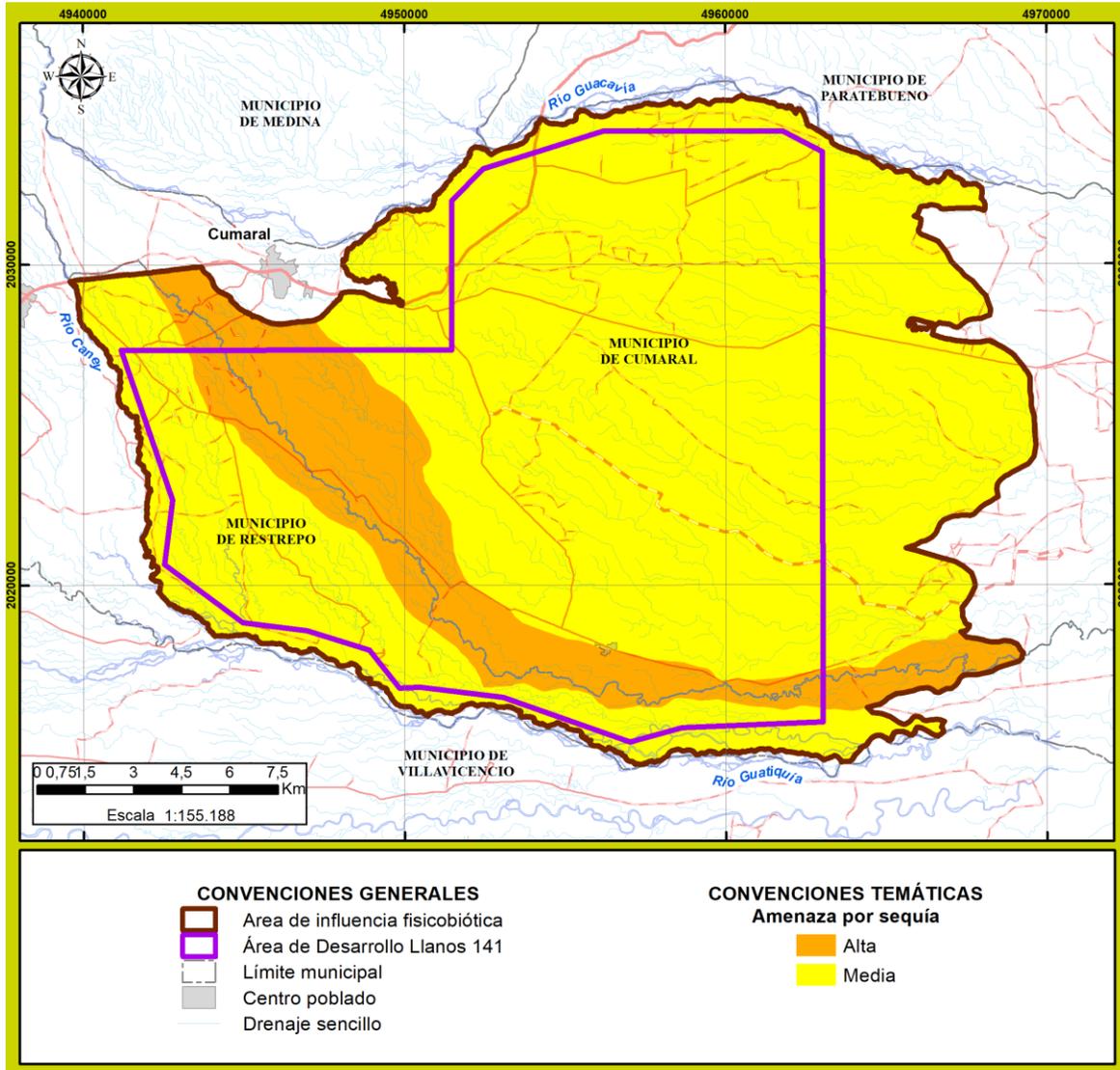
El índice de aridez (IA), representa la disponibilidad de agua para las coberturas del área de influencia. De acuerdo con los resultados obtenidos, se establece categoría moderada con un valor de 0,3, por ende, al ser un valor cercano a 0, se requiere una cantidad menor de agua para satisfacer las necesidades hídricas de la cobertura vegetal (IDEAM, 2018). Asimismo, se puede establecer una susceptibilidad o tolerancia al estrés hídrico moderada con base en la relación de oferta y demanda hídrica.

El Índice de escasez o de uso del agua (en adelante IUA) corresponde a la cantidad de agua utilizada por los diferentes sectores y/o usuarios, en un periodo determinado (anual, mensual) y en una unidad espacial de referencia (área, zona, subzona, etc.) en relación con la oferta hídrica superficial disponible para las mismas unidades temporales y espaciales, De acuerdo con los resultados obtenidos para el Índice del Uso de Agua (IUA), se puede evidenciar que el Caño El Caibe presenta una categoría “Alta”, indicando que el sistema hídrico presenta una presión considerable, lo que puede llegar afectar en un futuro el caudal ambiental, la sostenibilidad de los ecosistemas y potencialmente puede generar conflictos de uso de agua.

El índice de vulnerabilidad al desabastecimiento hídrico (IVH), permite identificar la vulnerabilidad por el desabastecimiento hídrico señalando las zonas que, por el uso (relación oferta y demanda) y la regulación de agua, tienen una mayor o menor fragilidad ante diversas condiciones, como variabilidad climática, intensificación de amenazas, aumento en la demanda de agua o degradación de la cuenca (IDEAM, 2020). De tal forma, se establece que entre más alto sea el uso del agua y menor la regulación hídrica, aumenta la vulnerabilidad por desabastecimiento, tal como sucede en el Caño El Caibe, mientras que, en los demás cuerpos de agua se presenta una categoría “Media”, indicando que pueden ser objeto de aprovechamiento siempre y cuando se tengan medidas de manejo orientada a la sostenibilidad del recurso hídrico. El resultado de la amenaza por sequía del área del proyecto se valora teniendo en cuenta el resultado del índice de vulnerabilidad hídrica. , la cual.

A continuación, en la **Figura 3.2.1-33**, se puede observar que la amenaza por sequía que predomina en el área de influencia es la “Media” con el **84,15% (que equivale a 36057,27 has)**, seguida de la amenaza “Alta” con el **15,85% (que equivale a 6789,84 has)**.

Figura 3.2.1-33 Amenaza por sequía en el área de influencia



Fuente: Antea Colombia S.A.S., 2023.