

ESTUDIO DE AMENAZA POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA DERIVADOS DE LA SOCAVACIÓN LATERAL DEL RÍO NEGRO Y LA QUEBRADA PERDICES EN EL MUNICIPIO GUAYABETAL, CUNDINAMARCA.

STUDY OF THREAT DUE TO MASS REMOVAL PHENOMENA DERIVED FROM THE SIDE SHOCK OF THE RÍO NEGRO AND THE PARTRIDGE GREEK IN THE MUNICIPALITY OF GUAYABETAL, CUNDINAMARCA.

Lisbed Karina Ruiz Rey

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio, lisbedruiz@usantotomas.edu.co

Germán Ernesto Chicangana Montón

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomás, Sede Villavicencio, germanchicangana@usantotomas.edu.co

Resumen: El río Negro se origina en el Páramo de Chingaza al norte del municipio de La Calera. Este río fluye hasta el río Guayuriba en el municipio de Villavicencio y su cauce es paralelo a la vía Bogotá-Villavicencio desde el municipio de Quetame, Cundinamarca. Este río pasa por el Municipio de Guayabetal, donde confluye con el arroyo Perdices. Este Proyecto realizó un análisis de riesgo de deslizamientos de tierra en las laderas y canales del Río Negro y el Arroyo Perdices que atraviesa el área urbana. Para ello, se construyeron varios mapas de amenazas y peligros con los que se espera reducir los riesgos en la población. El proyecto de investigación comienza con una verificación de antecedentes, seguida de la identificación de áreas vulnerables a partir de un estudio de uso del suelo, pendientes, ocupación del margen de seguridad e inspección visual, además de una revisión del planeamiento territorial con los mapas de peligros y amenazas de los barrios del área urbana que se ubican a orillas del río Negro y el barrio central que se ubica en la margen derecha del Arroyo Perdices, para que de esta manera se trabaje la posible mitigación para enfrentar este fenómeno y como resultado final de se realiza la investigación, el informe, el mapeo y las recomendaciones.

Palabras clave: Amenazas, Hidrometeorológica, Remoción en masa, Flujo de escombros, Planificación Territorial.

Abstract: The Negro River originates in the Paramo de Chingaza to the north of the municipality of La Calera. This river flow until the Guayuriba River in the municipality of Villavicencio and its channel is parallel with the Bogotá-Villavicencio Road from the municipality of Quetame, Cundinamarca. This river passes through the Municipality of Guayabetal, where converges with the Perdices creek. This Project realized a landslide hazard analysis in the slopes and channels of Negro River and the Perdices Creek which crosses the urban area. This Project realized a landslide hazard analysis in the slopes and channels of Negro River and the Perdices Creek which crosses the urban area. For it, was build several threat and hazard maps with which it is hoped to reduce the risks in the population. The research project begins with a background check, followed by the identification of vulnerable areas from a study of land use, slopes, occupation of the safety margin and visual inspection, in addition to a review of the land planning with the hazard and threats maps of the urban area neighborhoods that are located on the banks of the Negro river and the central neighborhood that is located on the right bank of the Perdices Creek, so that in this way the possible mitigation works to deal with this phenomenon and as a final result of the investigation, the report, mapping and recommendations are made.

Keywords: Hazards, Hydrology, Landslide, Debris flow, Land Planning.

1. INTRODUCCION

Las crecientes de ríos se vuelven desastres naturales especialmente en lugares con precipitaciones altas, lo cual generalmente causa perjuicios a las comunidades y a la infraestructura económica. Una de las características de la crecida es su caudal máximo o pico, que es un parámetro esencial para el dimensionamiento de los trabajos de protección lineales o protecciones ribereñas. Durante el aumento de precipitación, el caudal de un recorrido de agua crece en tales proporciones que el lecho del afluente puede resultar escaso para contenerlo [1] y junto con los deslizamientos se produce un flujo de escombros al represarse el agua lo cual origina las avalanchas y por ende la desestabilidad del talud. La subcuenca del río Negro es un cuerpo hídrico que nace en el páramo de Chingaza al norte del municipio de La Calera, desemboca en el río Guayuriba en el municipio de Villavicencio y viene en paralelo con la vía Bogotá - Villavicencio desde el municipio de Quetame, además, pasa por el Municipio de Guayabetal, donde, llega a desembocar la quebrada Perdices la cual se encuentra en el barrio perdices de dicho municipio. La socavación lateral de estos afluentes de agua representa una gran amenaza para la población y la infraestructura económica que se encuentra en el margen izquierdo del río Negro y en el margen derecho de la quebrada Perdices del casco urbano, ya que este fenómeno puede conseguir desestabilizar el terreno y, además, provocar el colapso de las estructuras que están conformadas en dicha zona de estudio. Tal como se ha venido presentando desde el año 2018 cuando el IDEAM declara alerta roja en la región, donde la ola invernal represento una gran amenaza para los municipios de Guayabetal, Villeta, Quetame y también para la vía Bogotá – Villavicencio donde se evidenciaron comportamientos erosivos [2]. Por otra parte, se ha comparado la última actualización del Esquema de Ordenamiento Territorial de Guayabetal del año 2012 con las visitas en campo a la zona de estudio y según lo observado es un sector que se ha ido urbanizando con el paso de los años a orillas del río Negro, en algunos casos por el desalojo de las viviendas que intervenían con el proyecto de la doble calzada Bogotá/Villavicencio. Inicialmente el proyecto contempla una revisión de antecedentes que tengan un aporte significativo para el proyecto, seguido de la identificación de zonas vulnerables a partir de un estudio de usos de suelo, pendiente, ocupación de margen de seguridad e inspección visual, además, de una revisión del esquema de ordenamiento territorial para así elaborar los mapas de amenazas y de riesgo de las zonas más vulnerables del casco urbano, para que de esta manera se puedan identificar las posibles obras de mitigación que hagan frente a este fenómeno y como resultado final de la investigación se realiza el informe, la cartografía y se dan las recomendaciones. Cabe resaltar que este estudio puede ser de utilidad para los entes territoriales, los organismos de control, y de ordenamiento territorial, para poder hacer una distribución adecuada del punto crítico ya sea con una reubicación de las familias afectadas, o si bien es el caso buscar una solución creativa por medio de los métodos de la ingeniería.



Figura 1. Fotografía aérea del casco urbano del municipio de Guayabetal, Cundinamarca. [3]

Esta investigación tendrá como propósito realizar el estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa derivados de la socavación lateral del río Negro y la quebrada Perdices en el municipio Guayabetal, Cundinamarca, frente a las amenazas naturales y los riesgos, determinando las posibles amenazas en el casco urbano del municipio que ocasionen riesgos a la comunidad, teniendo en cuenta los fuertes eventos de lluvia que se presentan en el sector.

2. METODOLOGÍA

Para realizar el estudio de amenaza por fenómenos de remoción en masa derivados de la socavación lateral del río Negro y la quebrada Perdices en el municipio Guayabetal, Cundinamarca, se tienen en cuenta todas las variables necesarias consideradas pertinentes para determinar las amenazas por remoción de masa y sus posibles riesgos en el casco urbano, de manera que para realizar el proyecto y cumplir con los objetivos se muestran a continuación las siguientes etapas del proyecto:

2.1. ETAPA 1: CARACTERIZACION

En esta etapa se realiza todo lo relacionado a la búsqueda de información necesaria y que sea relevante para el proyecto, se recolectará información geológica, geotécnica, sísmica, hidrometeorológica, cartográfica solicitada al IGAC, bibliográfica, se solicita información a la veeduría de la vía Bogotá -Villavicencio y a la administración municipal de Guayabetal, además de la información recolectada en campo la cual contribuye a la determinación de los puntos críticos de la zona de estudio. Se revisan los antecedentes que tengan un aporte más significativo para el proyecto y luego se identifican las zonas vulnerables a partir de usos de suelo, pendiente, ocupación, margen de seguridad e inspección visual, seguido de la revisión al Esquema de Ordenamiento Territorial EOT.

2.2. ETAPA 2: ELABORACION DE MAPAS

Con la información de la etapa anterior, se elaborarán los mapas de amenazas y de riesgo de las zonas más vulnerables del casco urbano, en especial en los escenarios donde ya se ha presentado fenómenos de remoción de masa y ocurrencia por socavación lateral, con la ayuda del software ArcGIS, para que de esta manera se puedan plantear las diferentes medidas de mitigación y obras civiles que logren hacer frente a la socavación y eviten daños con el tiempo.

2.3. ETAPA 3: ENTREGABLES

Finalmente, se llevará a cabo la elaboración del informe final del proyecto de investigación, incluyendo las conclusiones necesarias según los resultados obtenidos de la fase anterior y del software ArcGIS donde se ejecutará la cartografía pertinente de la zona de estudio y las recomendaciones de las obras civiles que se pueden implementar para poder mitigar los impactos que se generan por medio de las crecidas de estos cauces.

3. RESULTADOS

3.1. GEOLOGIA

La geología de la región de Guayabetal en el Departamento de Cundinamarca (Figura 7), se compone de:

3.1.1. ESTRATIGRAFIA

3.1.1.1. Filitas y cuarcitas de Guayabetal (PCFCGU)

Esta unidad aflora cerca al casco urbano de Guayabetal en la izquierda del río Negro y conforma el macizo rocoso principal que define el paisaje de Guayabetal desde su casco urbano hacia el norte, y representa las rocas que constituyen la ladera montañosa sobre la cual se asienta este. Los afloramientos de esa unidad de roca se exponen en la margen izquierda del río Negro, y la Quebrada Perdices este macizo rocoso en dirección NO – SE. Este macizo rocoso en Guayabetal se compone principalmente de Filitas y esquistos de color gris verdoso con un grado de meteorización alto, y está bastante cizallado, con al menos tres familias de fracturas. Eventualmente presenta la roca cataclasis. En este sector esta unidad que forma parte del Grupo Quetame con edad Neoproterozoico indeterminado [4] [5], aflora cerca al casco urbano de Guayabetal en ambos márgenes del río

Negro y conforma el macizo rocoso principal que define el paisaje de Guayabetal desde su casco urbano hacia el norte, y representa las rocas que constituyen la ladera montañosa sobre la cual se asienta este casco urbano. Los mejores afloramientos de esa unidad de roca se exponen en la margen izquierda del río Negro, y la Quebrada Perdices. Este macizo rocoso en Guayabetal se compone principalmente de cuarcitas muy fragmentadas, filitas y esquistos de color gris verdoso con un grado de meteorización alto, y está bastante cizallado. Muestra aparentemente dos familias de foliaciones con al menos tres familias de fracturas. Eventualmente presenta la roca cataclasis. Esta litología es la que gobierna los fenómenos de remoción de masa en el casco urbano de Guayabetal.

3.1.1.2. Formaciones areniscas de Gutiérrez (PDG).

Esta unidad que pertenece al Grupo Farallones y es de edad Devónico Superior [4] aflora en la margen derecha del río Blanco al sur de la cabecera de Guayabetal, y continua hacia el oriente de Guayabetal aflorando en la margen derecha del río Negro. Su litología tipo es descrita por Pulido y Gómez (2001) como un paquete estratificado de areniscas cuarzosas y conglomerados compuestos de gravillas cuarzosas. En la región esta litología se destaca por presentar deslizamientos traslacionales y con predominio de caída de roca, los cuales se presentan en la margen derecha del Río Negro hacia el oriente de Guayabetal.

3.1.1.3. Cuaternario (Q)

Se limita a una combinación de materiales entremezclados de procedencia coluvial (fenómenos de remoción de masa) y aluvial (sedimentos de los ríos y quebradas). Se indica aquí entremezclados, ya que obedecen a esa dinámica fluvio - torrencial debido al clima con alta tasa pluviosidad imperante en esta región. Esos depósitos compuestos de gravas, arenas y en baja proporción lodos, han crecido debido a la combinación de este factor con la actividad tectónica de esta región durante el crecimiento orogénico de la cordillera en los últimos tres millones de años [6] [7]. De acuerdo con los estudios geofísicos y de geología hechos a nivel local por empresas consultoras de ingeniería (tanto en el sector de la Quebrada Quebradablanca y Mesa Grande), se destacan grandes coluviones que definen un horizonte meteorizado de la Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal [8] [9] [10]. En las laderas altas de la montaña, la alta permeabilidad y la baja consolidación de estos sedimentos, hacen que cuando se incremente la alta saturación de estos macizos se generen flujos de escombros, detonando fenómenos de remoción de masa.

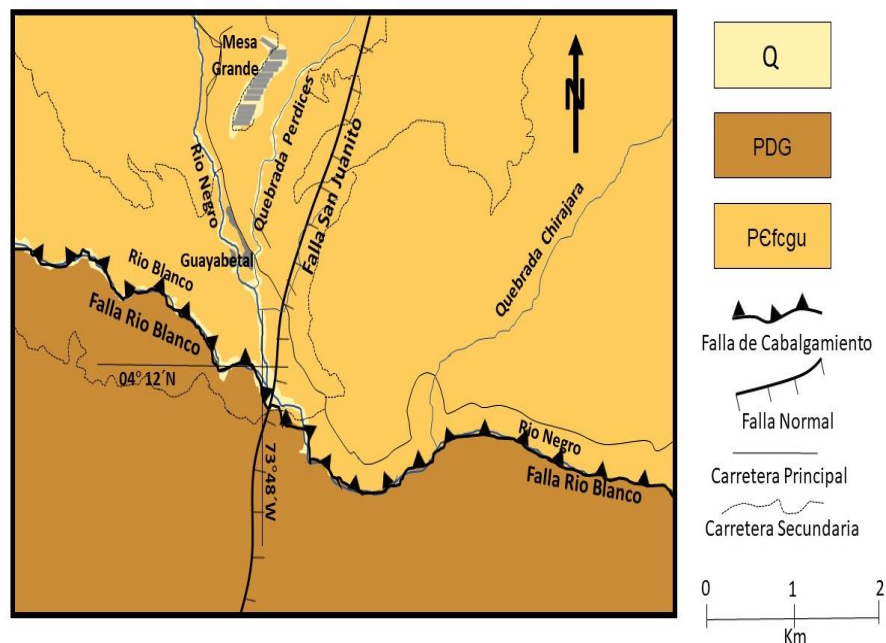


Figura 2. Mapa geológico preliminar de la región de Guayabetal, Cundinamarca.
Tomado de Chicangana (En Prep.) [7].

3.1.2. Geología estructural

3.1.2.1. Pliegues

No fue posible en campo determinar en los alrededores del casco urbano de Guayabetal, pliegues asociados a la deformación de la Formación Cuarcitas y filitas de Guayabetal. Los datos recogidos por Pulido y Gómez (2001) [4], indican que la dirección de las foliaciones son variables y no hay un patrón definido que indique alguna herencia de un plegamiento o plegamientos previos al metamorfismo que afectó al protolito, el cual al parecer fue un paquete sedimentario interestratificado con gran espesor (¿varios centenares de m.?).

3.1.2.2. Falla San Juanito

La única estructura que se reconoce en la región circundante al casco urbano de Guayabetal, por verificación con imagen radar tipo ALOS PALSAR es una gran falla con rumbo N 35° E. Esta falla la cual, siguiendo en sentido sur - norte, cruza desde el municipio de Acacías en el sur, hasta el municipio de San Juanito al norte, se relaciona con la Falla San Juanito [11]. De acuerdo con Pulido y Gómez (2001) [4], este trazo hacia el sur corresponde a la Falla Trueno, la cual la ponen como una falla fotogeológica. El trazo de falla descrito aquí cruza casi la cabecera de Guayabetal siguiendo el curso de la Quebrada Perdices hacia el NE, y luego cruza la montaña y se conecta con el cauce alto de la Quebrada Quebradablanca. Con el seguimiento combinado por fotogeología de imágenes ALOS PALSAR y LANDSAT 8 se observa que entre estas dos cuencas se ve una alineación estructural que da continuación a la falla. Esta falla de acuerdo con Mora et al. (2006) [11] es normal. En el subcapítulo de geotecnia se menciona de nuevo la influencia de esta falla, la cual al parecer es la responsable de la alta fracturación de la Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal a nivel local, lo cual es confirmado con sondeos con método magnetotélurico, y tomografías eléctricas de resistividad realizadas en el sector de Mesa Grande en la margen derecha de la Quebrada Perdices y hacia el sector de la Quebrada Quebradablanca [9] [10]. Es de anotar que Gabriel París en 2007 [8] indicó elementos estructurales asociados a una falla en el sector de Quebradablanca cerca a la confluencia de la Quebrada del mismo nombre con el río Negro. Este autor denominó esta estructura como la Falla Quebradablanca con un rumbo N21°E y buzamiento al oeste. Para Mora et al. (2006) [11] la Falla San Juanito buza al este. En resumen, esta es la estructura más importante desde el punto regional en este sector en donde confluye el río Blanco con el río Negro. Ni en campo, ni con observación de imágenes de satélite, se encontraron aquí evidencias de la Falla Jabonera indicada por Ulloa et al. (1988), en Pulido y Gómez (2001) [4]. En la plancha 247 - Cáqueza, los geólogos del INGEOMINAS indican a la Falla Quebrada Grande [5], que se cartografía unos 10 km al NE de esta zona, y cuyo trazo coincide como la falla que aquí identificamos mediante chequeo satelital.

3.1.2.3. Falla río Blanco

Es una falla de cabalgamiento según Pulido y Gómez (2001) [4], sigue el curso del río Blanco y continua el curso del río Negro hacia el oriente de Guayabetal con un rumbo E - O. El bloque cabalgante está al norte en donde aflora la Formación Filitas y Cuarcitas de Guayabetal, que cabalga sobre rocas de la Formación Areniscas de Gutiérrez.

De destacar de su actividad tectónica es la erosión tectónica de la actividad de la falla y que ha ayudado a desarrollar estas cuencas, la cual se manifiesta en los procesos de remoción de masa que afectan principalmente la margen izquierda de los ríos Blanco y Negro, y directamente la carretera Bogotá - Villavicencio.

3.2. GEOTECNIA

3.2.1. Antecedentes

Con base en informes previos de perforaciones realizados por contratistas de La Concesionaria Vial de los Andes (COVIANDES) en el año 2008 [12] [13] [8], se ha determinado un índice de Calidad de la Roca de Deere (RQD) < 25% en las rocas aflorantes en la quebrada Quebradablanca por lo que su calidad es muy mala es decir que en general el macizo rocoso representado por las Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal es muy malo debido a que está fuertemente fracturado y meteorizado. Tales informes contienen información

geológica, estudios de suelos para fundaciones y estudios de estabilidad de taludes para los Diseños detallados (fase III) para el mejoramiento de los sectores: El Tablón - Puente Téllez, Puente Quetame, Quebrada Naranjal - Quebradablanca y Guayabetal, de la carretera Bogotá – Villavicencio, donde se puede evidenciar que los valores del estudio de dicho índice de calidad fueron realizados en el 2008, antes de que construyeran los túneles bajo Mesa Grande.

3.2.1.1. Sector quebrada Perdices

Desde el puente que atraviesa la quebrada Perdices por la vía Bogotá- Villavicencio, aproximadamente a 100 metros aguas arriba de la quebrada se tomaron mediciones de afloramiento de roca en la formación filitas y cuarcitas de Guayabetal (PCfcgu). Aquí se encuentran dos tipos de fracturas verticales, las primeras fracturas verticales con dirección NO-SE tienen una separación promedio de aproximadamente 3,8 cm, el segundo tipo de fracturas verticales se encuentra con dirección N-S con separaciones de aproximadamente 10 cm y como un tercer tipo de falla se encuentran las horizontales con dirección NE-SO con separaciones de aproximadamente 19,3 cm y con un estado de meteorización de la roca alto, tal como se puede analizar en la figura 3.

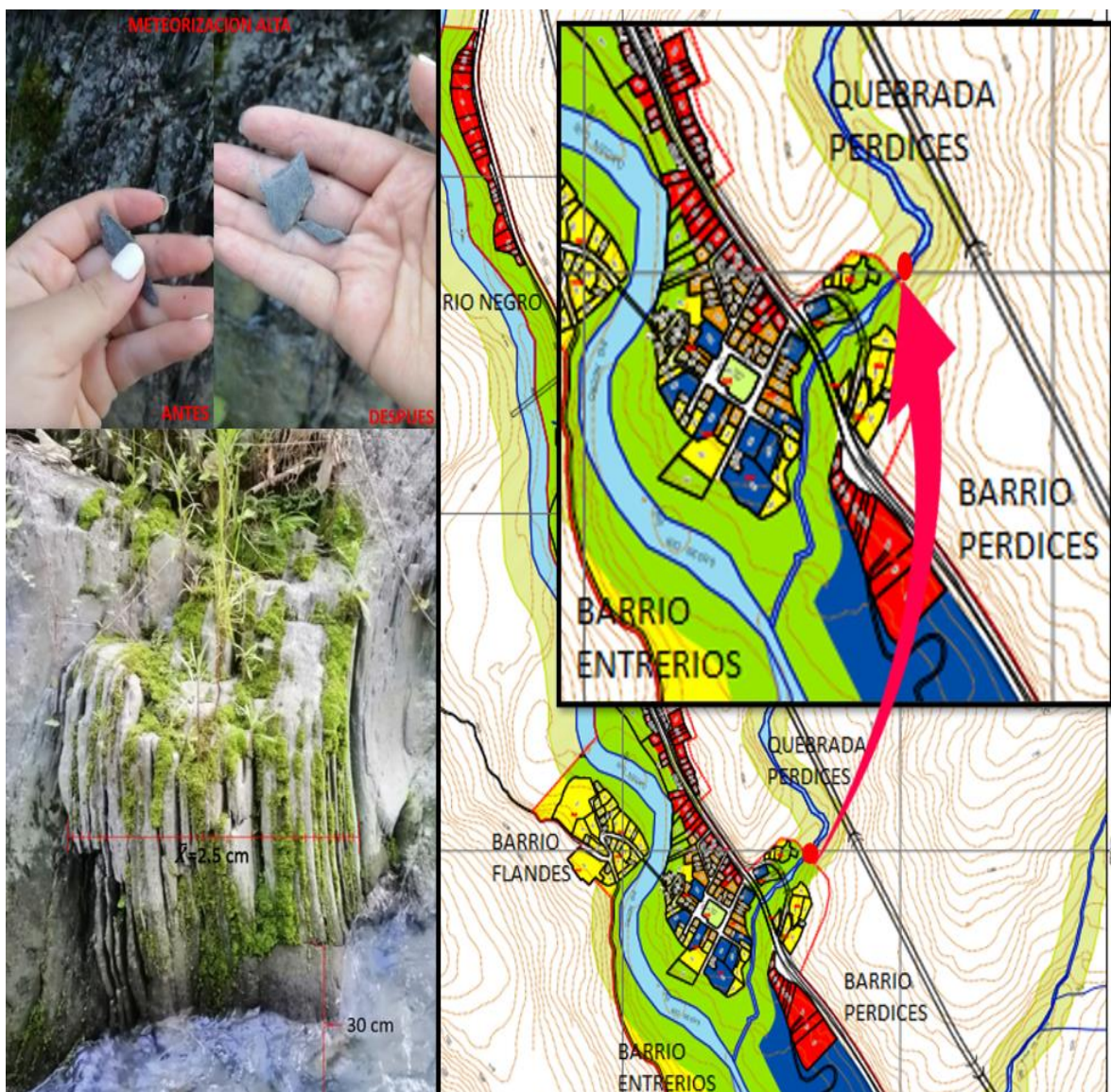


Figura 3. Geotecnia en el sector de la quebrada Perdices.

Fuente: Autor

3.2.1.2. Sector río Negro

Desde el puente que atraviesa el río Negro para comunicar Barrio Nuevo con la Vereda Sanroque, ubicado en el Kilómetro 58 (K58+000), aproximadamente 200 metros aguas abajo del río se tomaron mediciones de afloramiento de roca en la formación filitas y cuarcitas de Guayabetal (PÉfegu). Aquí se encuentran cuatro familias o tipos de fracturas dos verticales que son cerradas y se interceptan entre ellas en forma de X y dos horizontales que son cerradas. La separación de las fracturas verticales con dirección NE-SO es de aproximadamente 7,4 cm, el otro tipo de fractura vertical con dirección E-O tiene una separación entre fracturas de 15 cm y las fracturas horizontales, una con dirección N-S tienen separaciones de aproximadamente 2 cm y la otra fractura horizontal con dirección NO-S tiene una separación de aproximadamente 6,3 cm. Además, el macizo rocoso cuenta con un estado de meteorización de la roca alto. Cabe resaltar que las fracturas verticales con dirección E-O son las que siguen el tiempo geológico y se pueden caracterizar por que la fractura es oscura es decir la zona meteorizada con vegetación es de color oscuro, este tipo de fracturas son más recientes y activas. Por otro lado, en estas fracturas es por donde se está infiltrando el agua de manera que está generando la meteorización del macizo rocoso, tal como se puede observar en la figura 4.

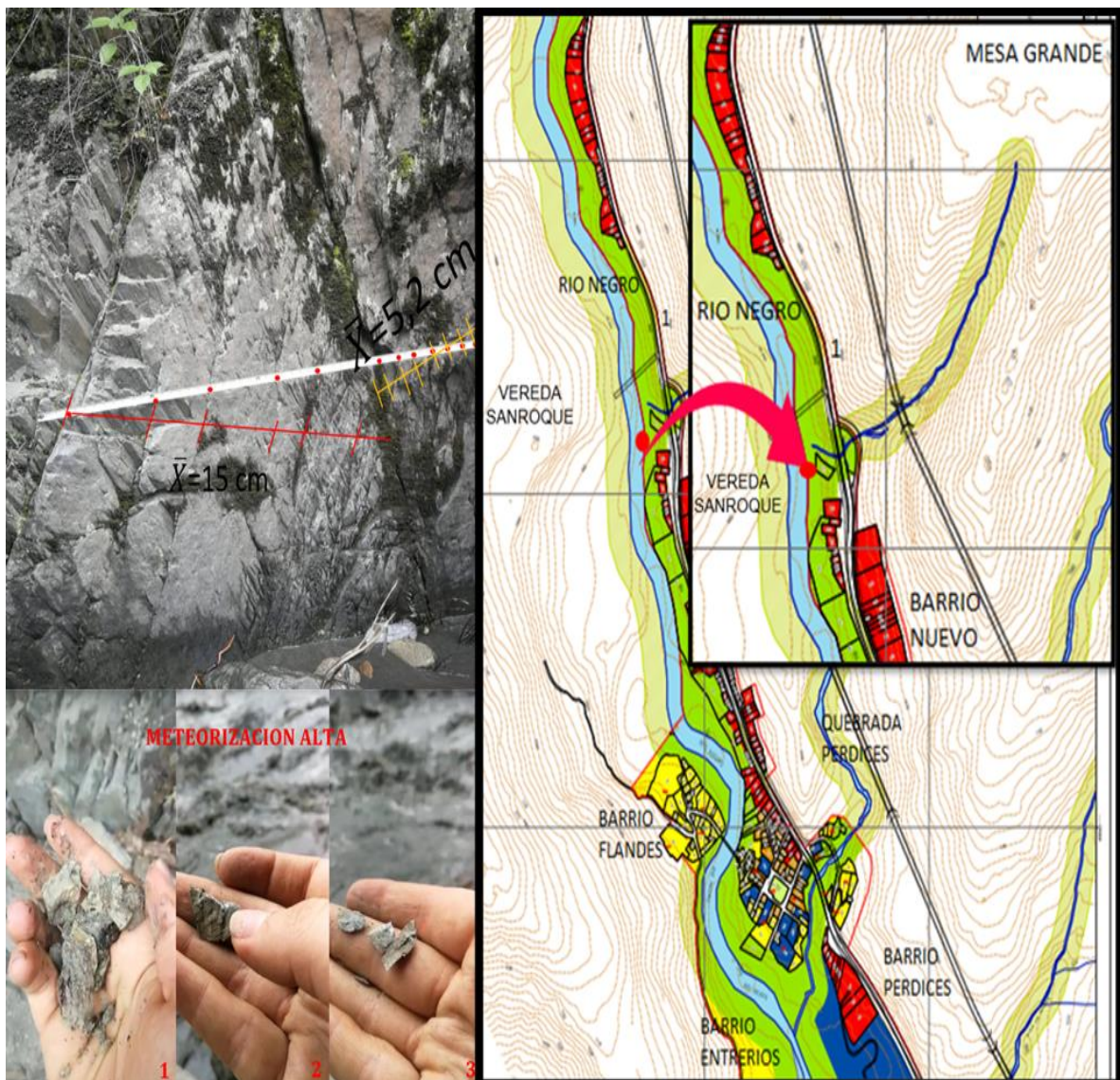


Figura 4. Geotecnia del sector río Negro.

Fuente: Autor.

3.3. ASPECTOS HIDROMETEOLÓGICOS

En cuanto a la hidrometeorológica se encontraron estudios que permiten analizar que los fenómenos de remoción de masa en el casco urbano son inducidos por la variación climática. Dentro de dichos análisis se encuentra un informe realizado por el docente de la facultad de ingeniería civil de la universidad Santo Tomas de Villavicencio, Iván Darío Acosta Sabogal. IC. Esp. Mg(c) quien realizó un análisis geológico y geotécnico del macizo de Quetame, departamentos de Cundinamarca y Meta, sector trayecto vial Villavicencio - Quetame: procesos de remoción de masa inducidos por clima y tectónica, realizado en el 2020. Aquie se encuentran los valores precipitación de la zona de estudio según la precipitación total mensual y la precipitación máxima en 24 horas para lo que fue necesario los datos de las estaciones pluviométricas Las casas, Monterredondo, Susumuco y Servita, asi como se observa en la figura 5. Con dichos datos organizados se encontraron faltantes que fueron hallados por medio de metodologías estadísticas utilizadas para estos casos.

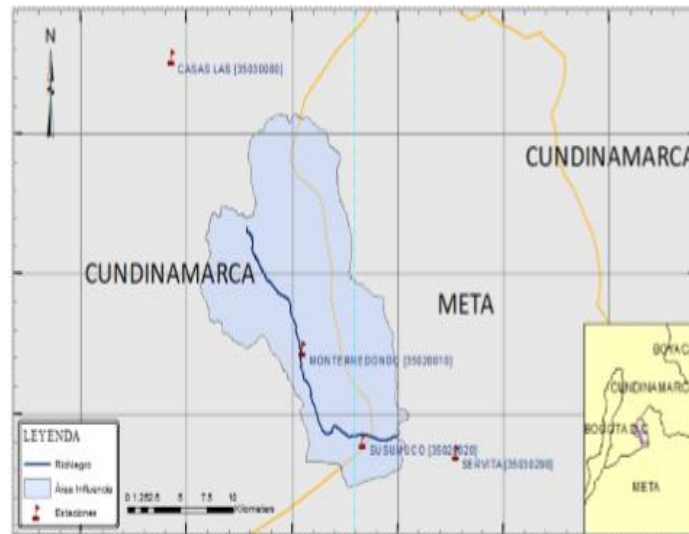


Figura 5. Ubicación de las estaciones pluviométricas que garantizan la cobertura del área de estudio [43].

3.3.1. Precipitación total

Se identifican los datos promedio mensuales multianuales de cada estación, según las condiciones geomorfológicas del área de estudio. Esto en función de la ubicación de cada estación (figura 6 y tabla 1).

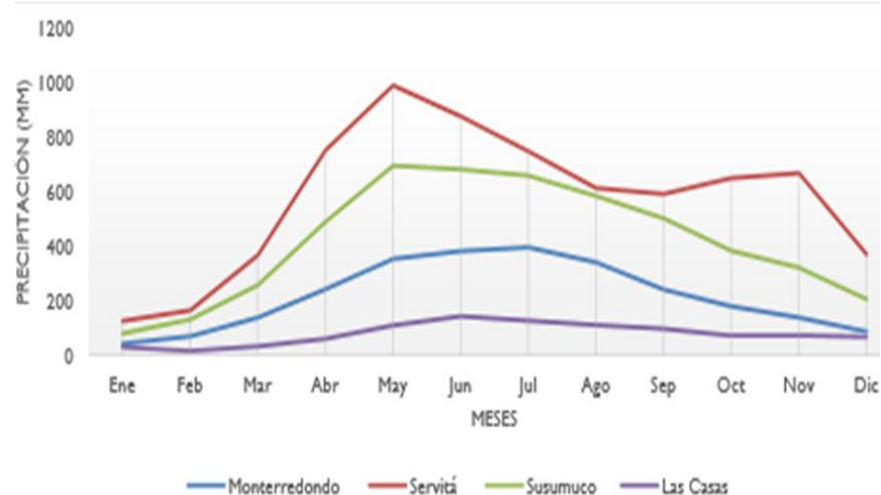


Figura 6. Organización eventual de la precipitación total mensual multianual de la zona de estudio [32].

Tabla 1. Valores de precipitación total mensual multianual del lugar de estudio (mm) [43].

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	PromAnual
Monterredondo	42	70	138	242	353	383	397	342	241	180	138	87	217.8
Servitá	126	165	368	752	992	878	749	614	593	650	669	372	577.4
Susumuco	80.5	131	258	490	697	683	660	585	503	383	322	207	416.6
Las Casas	29.7	15.8	33.2	60	109	143	127	111	97.3	71.7	73.5	67.3	78.3

De la figura 38 y de la tabla 3 se observa, que la estación servita presenta la precipitación total mensual multianual más alta en el mes de mayo con un valor de 992mm, y para las estaciones Susumuco y Monterredondo la precipitación es de 697mm dado en el mes de mayo y 397 dado en el mes de julio, respectivamente. Además, la precipitación promedio anual más alta es de 577.4mm en la estación Servita, seguido de la estación Susumuco con una precipitación de 416.6mm y en la estación Monterredondo es de 217.8mm.

3.3.2. Precipitación máxima 24 horas

Generalmente la principal afectación de los sistemas hidrológicos son los extremos eventos de lluvia, sequías y crecientes. Donde está relacionado la frecuencia de ocurrencia y la magnitud de un evento severo. Ya que por lo general los eventos moderados ocurren con más frecuencia que los eventos extremos. En la siguiente figura (figura 7) se evidencia la magnitud de dichos eventos dada la precipitación máxima en 24 horas.

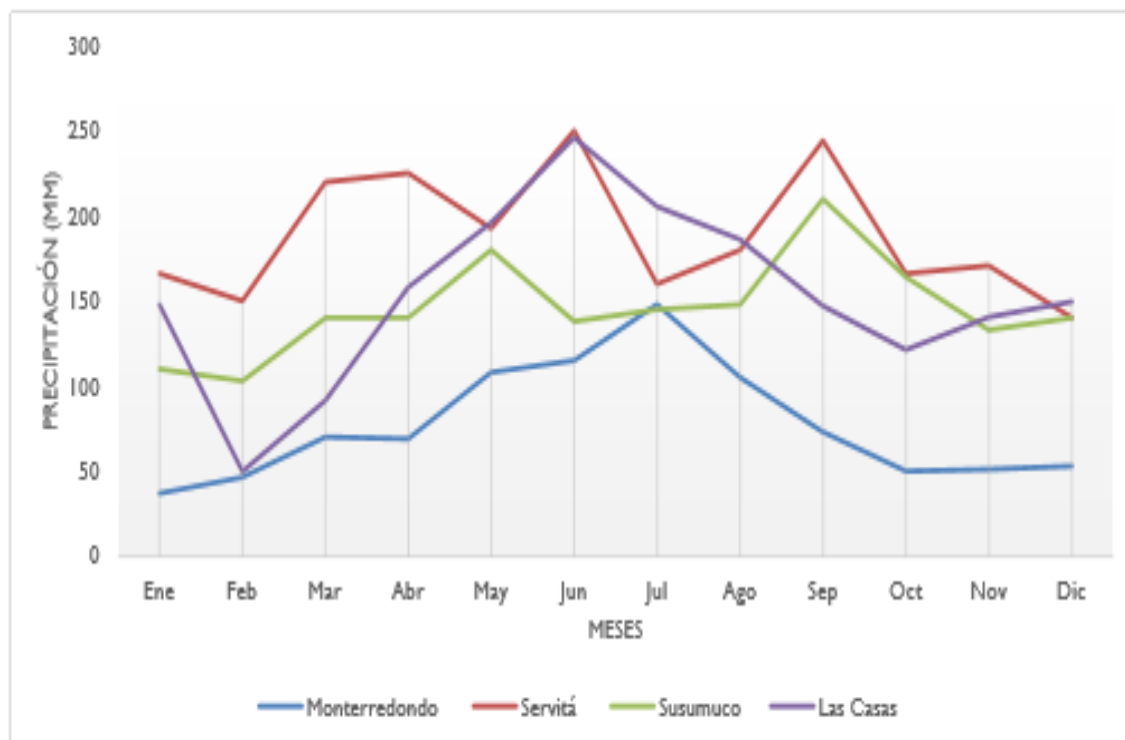


Figura 7. Organización eventual de la precipitación máxima en 24hr mensual multianual de la zona de estudio [32]

Tabla 2. Valores de precipitación máxima en 24hr mensual multianual del área de estudio (mm) [43].

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	MáxAnual
Monterredondo	37	46	70	69	108	115	148	105	73	50	51	53	148
Servitá	166	150	220	225	193	250	160	180	244	166	171	140	250
Susumuco	110	103	140	140	180	138	145	148	210	164	133	140	210
Las Casas	148	50	92	158	196	246	205	186	147	121	141	150	246

En la tabla 2 y la figura 7 se evidencia que el valor de precipitación máxima en 24 horas mensual multianual para la estación Servita fue de 250mm, siendo uno de los mas altos ya que para la estación Susumuco la precipitación fue de 210mm dada en el mes de septiembre y en la estación Monterredondo 148mm según el mes de julio.

3.3.3. Isoyetas

En la siguiente figura (figura 8), se muestran las isoyetas que regionalizan la precipitación en la zona de estudio, establecidas una vez dados los promedios mensuales multianuales interpolando con la metodología de la Distancia Inversa Ponderada (IDW) en el software ArcGIS.

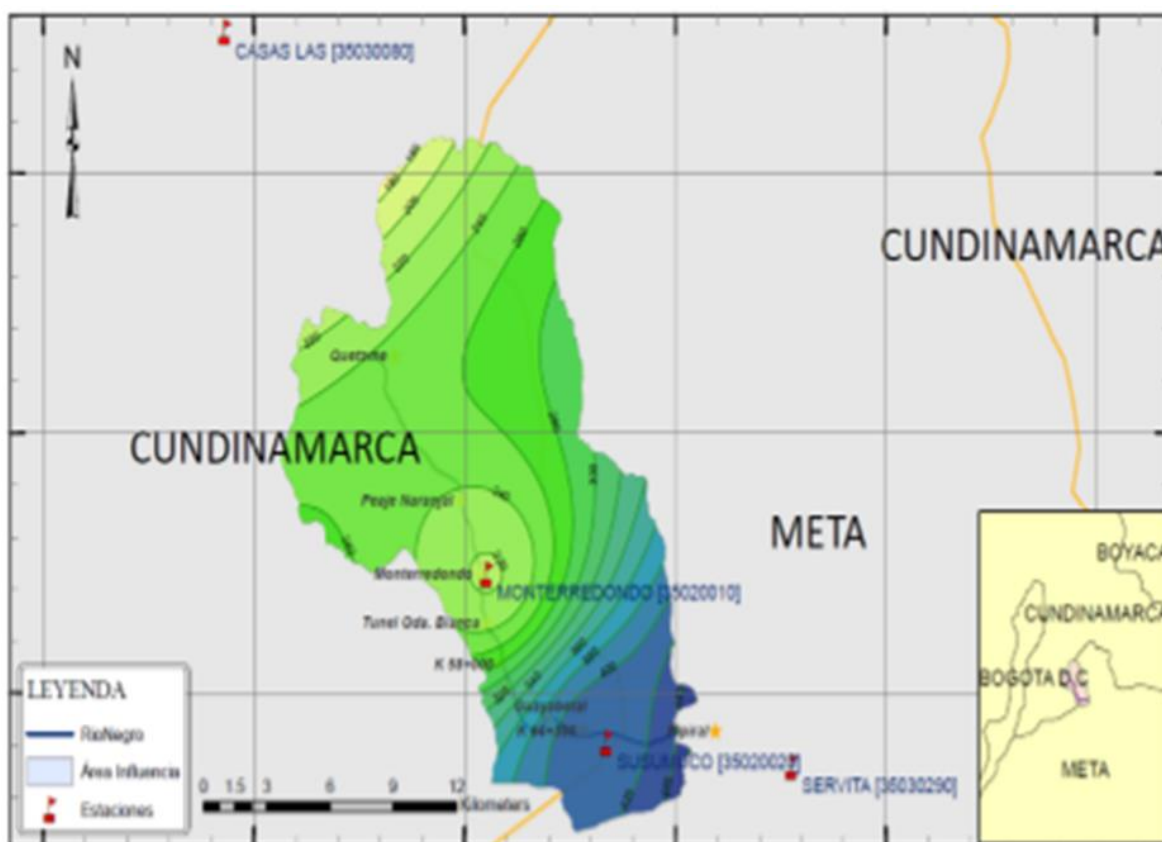


Figura 8. Isoyetas de la zona de estudio [43].

De la figura 8 se puede notar que la precipitación es más alta en las estaciones Susumuco y Servita y va descendiendo hacia las estaciones Monterredondo y Las Casas.

3.3.4. Isotermas

Con los registros pertinentes de las estaciones climatológicas, ubicadas dentro de la zona de estudio que cuentan con valores de temperatura para realizar las isotermas. En la tabla 3 se muestran las estaciones seleccionadas para su debido desarrollo.

Tabla 3. Estaciones que cubren el área de estudio para las Isotermas [43].

NOMBRE	ID	TIPO	MAGNA SIRGAS BOGOTÁ		
			Norte	Este	Origen
Llano Largo	35025050	AM	987463.89	1005241.66	Central
Vanguardia	35035020	AM	951991.76	1051065.62	Central
La Bolsa	35025060	AM	997702.42	1010662.97	Central

También se establece un periodo temporal con la información de los datos completos, por ende, se completaron los datos faltantes con los métodos de estadística correspondientes, tal como se realizó con las isoyetas. El análisis de las 4 estaciones será utilizado especialmente en la regionalización de la precipitación, la cual es representada por medio de un plano de isoyetas.

Tabla 4. valores de temperatura mensual promedio multianual (°C) [30].

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom Anual
Vanguardia	26.7	27.4	26.9	26.0	25.6	24.9	24.7	25.2	25.8	26.0	26.1	26.2	25.96
La Bolsa	8.1	8.4	8.3	8.3	8.4	8.1	7.8	7.9	8.1	8.3	8.6	8.3	8.22
Llano Largo	10.6	10.9	11.0	11.0	10.8	10.1	9.6	9.7	10.3	10.7	11.0	10.7	10.51

Finalmente se obtiene las isotermas de temperatura uniforme en la zona de estudio, según los promedios mensuales anuales, de la misma manera que con las isoyetas, por medio de métodos de interpolación.

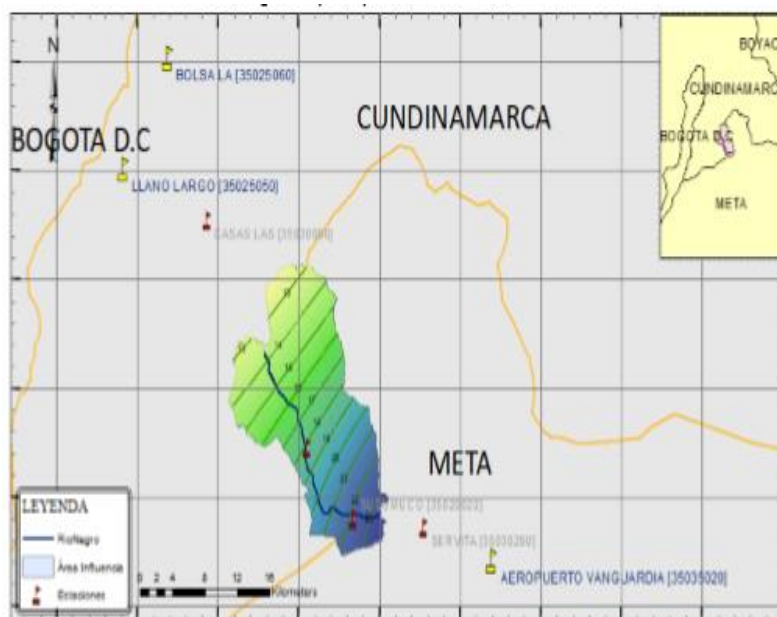


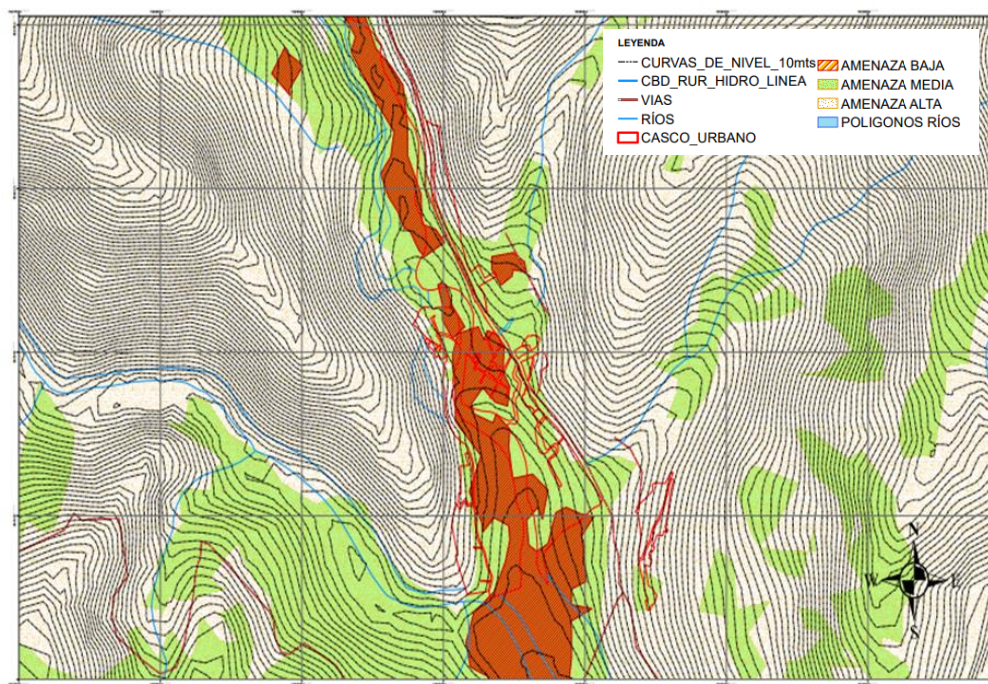
Figura 9. Isotermas del el área de estudio [30].

3.4. SISMOLOGÍA

La posibilidad de que la aceleración del terreno provocado por el sismo iguale o supere un porcentaje de aceleración de la gravedad terrestre o un nivel de referencia, representa una amenaza sísmica y según el Estudio de Amenaza Sísmica de Colombia [40] estos movimientos fuertes incrementan las posibilidades de inestabilizar las laderas y generar procesos de remoción de masa. En algunos casos, cerca o en el área epicentral se generan procesos de remoción de masa simultáneos a la ocurrencia del sismo. A estos se los denomina deslizamientos cosísmicos. En esta región de Cundinamarca, este fenómeno quedó constatado luego del sismo del 24 de mayo de 2008 [41]. La cual se caracteriza por tener una historia destacada de sismos en la historia de Colombia [42] [43] [44] [45], donde han señalado a esta región del oriente del Departamento de Cundinamarca como el origen de estos. También resalta en esta región el sismo del 18 de octubre de 1743 que afectó principalmente a Bogotá [42], como epicentro a la región que hoy corresponde al municipio de Fomeque. Hay estudios donde a partir de análisis macrosísmico que estima intensidades basándose en los efectos de sitio y afectación en construcciones por efectos del sismo los cuales fueron descritos en las crónicas que reposan en los archivos históricos, constatan que el sismo tuvo origen en esta región [45]. De acuerdo con estos efectos [43] [44], estimaron que su magnitud posiblemente fue superior a 6.5. El otro sismo destacado ocurrió el 24 de mayo de 2008 con una magnitud de 5.9 [29]. A este sismo recientemente [46], le realizaron un ajuste de su epicentro aplicando además de los datos instrumentales, los parámetros macrosísmico empíricos con el fin de ajustar el origen del sismo. En este trabajo se constató que, para el municipio de Guayabetal, la Red Sismológica Nacional de Colombia ha registrado desde el 18 de julio de 1994 hasta el 20 de septiembre de 2020 un total de 54 sismos con magnitudes locales ML que variaron entre 1.0 hasta 3.9, destacándose el sismo del 24 de julio de 2015 con Mw 4.1 [47].

3.5. AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

El mapa de amenazas por remoción de masa nos indica la posibilidad de que se presente una contingencia por dicho fenómeno a lo largo del tiempo en el casco urbano del municipio de Guayabetal. El tipo de amenaza varía según la susceptibilidad del terreno, es decir principalmente de su pendiente y composición del material del suelo, ya que el desplazamiento del terreno es dado por la dirección de la fuerza de gravedad que se ejerce en él, así mismo de su geología, clasificación de suelo y cobertura vegetal que son fundamentales para determinar la estabilidad del terreno.



Figura

Mapa de amenazas por remoción de masa.

10.

Fuente: Autor

Según la figura 10, la quebrada Perdices se encuentra susceptible a presentarse flujos de escombros debido a que se encuentra en una zona de amenaza alta y media por remoción de masa. Por otra parte, el casco urbano se ve afectado por una posible socavación lateral del río Negro ya que su margen izquierda en el sector de Barrio Nuevo se encuentra en una zona de amenaza media y aguas abajo del cauce a las orillas de los barrios Centro y Perdices se encuentra en una zona de amenaza alta. Pero cabe resaltar que en esta área a orillas del río, se encuentran afloramientos rocosos fracturados, lo cual ha evitado que se presente este fenómeno. Por último, se analizan las laderas que se encuentran encima del casco urbano por el margen izquierdo de la vía Bogotá – Villavicencio, donde, en su mayoría están ubicadas en una zona de amenaza alta. Por ende, antes de ser intervenida la ladera por las estabilizaciones realizadas durante la ejecución de la doble calzada en el 2017, se presentaban deslizamientos y caídas de roca dada su escorrentía, lo cual causó gran impacto en el sismo del 24 de mayo de 2008, siendo esta la época con más actividad de remoción de masa en este lugar.

3.6. MAPA DE RIESGOS

Figura 8. Mapa de RIESGOS por deslizamiento

Fuente: Autores

4. CONCLUSIONES

- Se ha encontrado que la mayor amenaza natural que afecta el casco urbano de Guayabetal son los fenómenos de remoción de masa, siendo los más importantes el flujo de escombros en la quebrada Perdices, y los desprendimientos y caídas de roca acompañados de flujos de roca y de escombros en las laderas del cauce del río Negro.
- Se encontró que el EOT ha considerado o no este tipo de amenaza.
- Los sismos es una amenaza potencial porque detona procesos de remoción de masa dada la topografía por la cual se asienta el casco urbano.
- Es indispensable hacer análisis detallados de geotecnia, con el fin de evaluar a profundidad del aspecto geomecánico de los distintos límites del suelo, de tal manera que sean convenientes en la determinación de variables de construcción y de restricciones en el uso del suelo, igualmente hacer el estudio de estabilidad de taludes y de dinámica fluvial de las quebradas y ríos, determinando las áreas vulnerables a amenazas por deslizamientos y por socavación, que en cierto instante pueden originar problemas de inestabilidad. Desde la perspectiva sismológica y geodinámica se requiere asimismo un análisis más profundo para entender el proceso sucedido de tal forma que avancemos en el cálculo de la amenaza sísmica de la región. Se ha planteado un registro de actividades a legítimo y amplio período en este sentido, también de las acciones inmediatas de posibilidad de la urgencia que están desarrolladas.
- Con respecto a las consecuencias del deslizamiento del kilómetro 58 se indaga que en los informes de la Concesionaria Vial de los Andes (COVIANDES) en el año 2008 [18] [20] [19], se ha determinado un índice de Calidad de la Roca de Deere (RQD) < 25% en las rocas aflorantes en la quebrada Quebradablanca por lo que su calidad es muy mala es decir que en general el macizo rocoso

representado por las Formación Cuarcitas y Filitas de Guayabetal es muy malo debido a que está fuertemente fracturado y meteorizado. Tales informes contienen información geológica, estudios de suelos para fundaciones y estudios de estabilidad de taludes para los Diseños detallados (fase III) para el mejoramiento de los sectores: El Tablón - Puente Téllez, Puente Quetame, Quebrada Naranjal - Quebradablanca y Guayabetal, de la carretera Bogotá – Villavicencio, donde se puede evidenciar que los valores del estudio de dicho índice de calidad fueron realizados en el 2008, antes de que construyeran los túneles bajo Mesa Grande. Por ende, se podría decir que tanto la construcción de los túneles de Mesagrande como la construcción de los galpones de los pollos Olímpico no tendrían que ver con los deslizamientos del Kilómetro 58, sobre la vía Bogotá-Villavicencio en 2019. Sin embargo, es posible que la vibración producida por las voladuras cuando realizaron las excavaciones de los túneles de Mesagrande pudo haber producido movimientos y/o desplazamientos locales de aguas subterráneas en el macizo que produjeron con el tiempo la activación y expansión de bloques fracturados y así mismo la inestabilidad en todo el macizo rocoso que constituye la meseta de Mesagrande en el Kilómetro 58. De tal manera que las aguas salieron por sus caras libres es decir por los taludes que sufrieron los deslizamientos. A pesar de tener una calidad de roca tan pobre esto no fue impedimento para la construcción los túneles de Quebradablanca ya que en los informes de geofísica sobre Interpretación geológica de 14 sondeos de magnetotelúrica-mt y 2 tomografías eléctricas para definir espesores en la terraza del túnel 13 del tercio medio (sector 3a), en el corredor vial Bogotá – Villavicencio [48] se ha encontrado la respuesta a la gran desestabilización de los taludes. Este informe muestra que debajo de la construcción de los galpones de los pollos olímpico en la meseta Mesagrande y por encima de los túneles (túnel 13) hay sectores con bolsas de agua, donde hubo recarga de agua por alta permeabilidad del macizo rocoso. Entonces, se podría decir que posiblemente cuando se realizaron las excavaciones de los túneles, las vibraciones de las voladuras con dinamita hayan producido mayor apertura de las fracturas en sectores claves del macizo rocoso bajo la construcción de los galpones de los pollos Olímpico (a más de 100 metros por debajo), haciendo que aumentara el volumen del agua en su interior y que se expandiera parte de él en los taludes al pasar del tiempo. Lo cual pudo haber estado pasando hace varios años, mucho antes de las voladuras de las excavaciones del túnel y los graves deslizamientos del talud. De manera que era algo impredecible para los constructores del túnel 13 ya que era imposible visualizar que un escenario de estos fuera a ocurrir y la clave de los fenómenos de remoción de masa es la alta pluviosidad. Es decir, las lluvias intensas en un momento dado, así como paso antes del deslizamiento del talud de la meseta de Mesagrande que se presentaron lluvias intensas en el 2018 lo cual genero emergencias en varios lugares de Guayabetal como en barrio centro y barrio perdices donde hubo remoción de masa.

5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que tanto el diseño del puente que atraviesa el río Negro, ubicado en Barrio Nuevo, cerca al kilómetro 58, que comunica la vereda Sanroque con la vía Bogotá -Villavicencio; como el diseño del puente que atraviesa la quebrada Perdices, cerca de la plaza de mercado del Municipio y hace parte de la vía Bogotá – Villavicencio, considere que los estribos estén por fuera de los cauces, debido a que la quebrada es susceptible en épocas de alta pluviosidad de generarse en su cuenca el fenómeno de remoción de masa denominado flujos de escombros y este proceso de remoción de masa producirá en el futuro muy probablemente el derrumbamiento del estribo.
- Las obras de mitigación de los cauces deben tener un debido mantenimiento ya que al estar en constante contacto con el agua se van deteriorando y estas no pueden cumplir su vida útil y así mismo su función.
- En cuanto a las viviendas ubicadas en el margen izquierdo del río Negro que están desviando las aguas residuales hacia el cauce, se recomienda dar una solución técnica para buscar la manera de canalizar o conducir con tuberías estas aguas para que no afecten más el macizo rocoso y no sigan incrementando su erosión.
- Ajustar el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) con el fin de que el desarrollo y la expansión urbana no ocupe terrenos susceptibles de ser afectados por procesos de remoción de masa.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Fotografía aérea del casco urbano del municipio de Guayabetal, Cundinamarca.*, 2021.
- [2] Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS, ""Zonificación Sismogeotécnica Indicativa de la Ciudad de Villavicencio", " Bogota D.C, 2003.
- [3] EM - DAT, "The International Disaster Database," 2011. [Online]. Available: <https://www.emdat.be/publications>. [Accessed 14 Septiembre 2019].
- [4] G. O. y. G. V. L. S. Pulido, "Geología de la Plancha 266 – Villavicencio, Escala 1:100.000. Bogotá: INGEOMINAS. Mapa y Memoria," 2001.
- [5] I. C. d. G. y. M. (INGEOMINAS)., "Geología de la Plancha 247 – Cáqueza. Escala 1: 100.000. Bogotá: INGEOMINAS. Mapa y Memoria," 2011.