

Amenaza por inundación en zonas del municipio de Campoalegre, Huila y su relación con la geomorfología.

Quiroga Melo Cristian Camilo

Trabajo de Grado

Para Optar Por el Título de Ingeniero Civil

Dirigido Por:

María Victoria Mejía

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá D.C.

2021

RESUMEN

El presente trabajo de grado tiene como fin relacionar la geomorfología con el fenómeno de inundación que puedan ocurrir en el municipio de Campoalegre, Huila, donde se cuenta con muchos antecedentes de dichos fenómenos, los cuales afectaron a la población. A partir de estos antecedentes, se generó un estudio que parte de la recopilación de información secundaria de fuentes oficiales, para establecer las zonas de amenaza de inundaciones en todo el municipio y su relación con la geomorfología de las zonas afectadas, todo esto desarrollado con los sistemas de información geográfica, para obtener mapas con las zonas más propensas a presentar inundaciones, así como dar explicación de las distintas formaciones geológicas que potencian el fenómeno. De tal manera, se determina la cuenca del río Neiva, como la zona más afectada por inundaciones debido a que su formación geomorfológica es valle aluvial la cual intensifica el fenómeno en donde se ve afectado el principal casco urbano del municipio y se considera pertinente el implementar acciones enfocadas a minimizar las afectaciones acordes a las características geomorfológicas propias de la zona.

Palabras clave: ArcGIS, Geomorfología, Inundaciones, Amenaza.

ABSTRACT

The present research project aims to relate the geomorphology with the phenomenon of flooding that may occur in the municipality of Campoalegre, Huila, where there is much history of such phenomena, which affected the population. Based on this background, a study was generated based on the collection of secondary information from official sources, to establish the areas under flooding threat throughout the municipality and their relationship with the geomorphology of the affected areas, all this has been developed with geographic information systems to obtain maps of the areas most prone to flooding, as well as to explain the different geological formations that enhance the phenomenon. In this way, the Neiva River basin is determined as the area most affected by floods because its geomorphological formation is an alluvial valley which intensifies the phenomenon in which the main urban area of the municipality is affected and is considered relevant implement actions aimed at minimizing the effects in accordance with the area's own geomorphological characteristics.

Keywords: ArcGIS, Geomorphology, Floods, Threat.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	2
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABLAS	7
GLOSARIO	8
INTRODUCCIÓN	10
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	12
OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)	13
GENERAL.....	13
ESPECÍFICOS.....	13
JUSTIFICACIÓN	14
ESTADO DEL ARTE.....	15
Amenazas	16
Inundaciones	18
Geomorfología y Geología	22
METODOLOGÍA.....	25
DESARROLLO.....	29

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	31
CLIMA	32
HIDROGRAFÍA	35
GEOLOGÍA	37
IDENTIFICACIÓN DE GEOFORMAS	38
GEOMORFOLOGÍA DE LOS VALLES ALUVIALES	41
GEOMORFOLOGÍA DE PIEDEMONTES	42
GEOMORFOLOGÍA DE LOMERÍO	42
GEOMORFOLOGÍA DE MONTAÑA	43
AMENAZA DE INUNDACIONES	44
RESULTADOS.....	46
PENDIENTES	48
MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	50
ZONAS AMENAZADAS	60
RECOMENDACIONES	62
CONCLUSIONES.....	64
REFERENCIAS	67

LISTA DE FIGURAS

Figura. 1 Localización del Municipio de Campoalegre.	31
Figura. 2 Precipitación Mensual de las 3 Estaciones para el año 2020.	32
Figura. 3 Precipitación Multianual, para la zona donde su ubica Campoalegre.	33
Figura. 4 Zonificación Hidrográfica de Campoalegre.	35
Figura. 5 Vista Aérea del Área de Influencia del Rio Neiva.	36
Figura. 6 Curvas IDF – Municipio de Campoalegre – Estación Hacienda Potosí.	34
Figura. 7 unidades Geomorfologías identificadas en el Municipio.	39
Figura. 8 Zonas susceptibles a inundaciones en el municipio.	45
Figura. 9 Mapa de Elevación y Cuencas Principales de Campoalegre.	46
Figura. 10 Mapa de Pendientes de Campoalegre.	49
Figura. 11 Zona de registro inundación 1999 en el municipio.	50
Figura. 12 Zona de registro inundación 2011 en el municipio.	51
Figura. 13 Zona de registro inundación 2017 en el municipio.	52
Figura. 14 Mapa de Amenaza Relativa del Municipio de Campoalegre.	57
Figura. 15 Mapa de Amenaza Combinada del Municipio de Campoalegre.....	59
Figura. 16 Imagen satelital del centro Poblado de Rio Neiva.	60
Figura. 17 Imagen Satelital del centro Poblado Otás.	61

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Valores mensuales de precipitaciones promedio de las 3 estaciones	32
Tabla 2 Curvas IDF Campoalegre (mm/hora) – Estación Hacienda Potosí.	34
Tabla 3 Unidades Geológicas presentes en el Municipio de Campoalegre.	37
Tabla 4 Unidades Geomorfológicas presentes en el Municipio de Campoalegre.	40
Tabla 5 Parámetros del Rio Neiva en el Municipio de Campoalegre.	47
Tabla 6 Rangos de Pendientes.	48
Tabla 7 Clasificación de prioridades para el método AHP.	53
Tabla 8 Índice de consistencia aleatorio.	54
Tabla 9 Clasificación de las variables para el método AHP.	55

GLOSARIO

Amenaza: Probabilidad de ocurrencia del fenómeno dentro de un periodo de tiempo determinado en un área específica (Lario et al., 2016).

Detonante: Aquellos factores externos que inducen a un comportamiento dinámico activo, y que a partir de las condiciones iniciales generarán mayor o menor intensidad del fenómeno (Navarro, 2012).

Precipitación: es la caída de partículas de agua líquida o sólida que se originan en una nube incluyendo lluvia, nieve, granizo, también rocío y escarcha (Sánchez, F. J., 2016).

Cuenca: Unidad natural, cuyos límites físicos son definidos por la divisoria superficial de las aguas, espacio físico donde se configura la red de drenaje superficial que canaliza las aguas hacia otro río, al mar, o a otros cuerpos de agua (Cervantes, 2008).

Inundación: se define como el flujo o invasión de agua, por exceso (desbordamiento) de escurrimientos superficiales o por su acumulación en terrenos planos, ocasionada por la falta o insuficiencia de drenaje tanto natural como artificial (ERN-CAPRA, 2012)

Topografía: Refleja las características morfológicas de la superficie terrestre incluyendo parámetros como la pendiente, altura, amplitud de ladera, entre otros (Mora et al., 1994).

Geología: Es la ciencia que estudia el tipo de material que se encuentra en la ladera, sus propiedades físicas y químicas, resistencia al esfuerzo (Mora et al., 1994).

Geomorfología: Disciplina que estudia los fenómenos que han configurado la superficie terrestre debido a la variación en el balance dinámico, los procesos son constructivos y destructivos (Alcaldía Municipal Campoalegre, 2017).

Erosión: Es el proceso por el cual el suelo se desprende, arrastra y deposita por la intervención del agua y el viento (Suárez, 1998).

Sismo: Definido como un evento que se presenta por los movimientos friccionantes de las placas tectónicas de la tierra donde se libera energía (Suárez, 2010).

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones en Colombia son un fenómeno hidrológico destructivo y recurrente que forma parte de la dinámica de la cuenca. Son producidos por lluvias continuas y generalizadas, que elevan gradualmente el nivel del agua en el cauce del río, superando la altura de las riberas naturales o artificiales, provocando desbordes y dispersión de agua en la llanura aluvial y áreas circundantes del cauce del río o camino acuático.

En la clasificación más simple, se pueden identificar dos tipos: Inundaciones lentas, que ocurren en áreas fluviales planas y valles aluviales extensos. El aumento diario del nivel del agua es casi del orden de centímetros. Se reporta el impacto en áreas extensas, pero hay por lo general poca gente. La pérdida de vidas y el tiempo de la inundación pueden llegar fácilmente al orden de varios meses. El ejemplo más evidente en Colombia es la región de La Mohana. Otro tipo de inundación, llamada inundación repentina, es pequeña en las áreas afectadas, es altamente susceptible a la destrucción, es la que más tiene afectaciones cuando ocurre y reacciona rápidamente cuando caen fuertes lluvias en el área de tierras altas de las cuencas hidrográficas, las escalas aumentan en el orden de metros a lo largo de las horas, y los tiempos de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas también son horas o días, que se dan principalmente en todas las cuencas hidrográficas de las zonas de alta pendiente de la región andina. (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017).

Acorde a los reportes de sucesos que se tienen en el consolidado nacional que cuenta la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres – Colombia UNGRD, en el cual se reconocen datos desde el año 1998 al 2016, se tienen los registros de los últimos acontecimientos de inundaciones con el efecto del fenómeno de la niña, correspondiente a los años 1988, 2000, 2011 y 2012, en el cual se expresa la afectación total y la cobertura de cuerpos de agua, así como las zonas que habitualmente se inundan. Se destaca que, de acuerdo con el tipo de evento, las inundaciones comparten un tercer lugar junto con las avenidas torrenciales en el tema de pérdida de vidas por debajo de los Tsunami y los Sismos; adicionalmente las inundaciones tienen un primer lugar en el tema de viviendas destruidas. De esta manera el estudio de las inundaciones, así como

de los inventarios que se tienen de estos permiten a la gestión del riesgo al llevar una mejor estadística, conocer los municipios y lugares en donde los eventos tienen lugar. (SIAC, 2018).

Teniendo en cuenta que la amenaza por inundación sigue vigente debido a los afluentes que se encuentran en la zona y a los factores antrópicos que hay a su alrededor, el fenómeno puede permitir futuros eventos comprometiendo al municipio y a sus habitantes. Por esto se hace necesario identificar ¿Cómo la geomorfología del municipio puede intensificar la amenaza por inundación en la zona de estudio?

Para la generación de los mapas de amenaza se hará uso de la comprensión del fenómeno de inundación, la metodología del estudio comprende un análisis regional de la cuenca del río Magdalena y Neiva y uno local de Campoalegre. En el análisis regional se utilizaron las variables de geología, cobertura vegetal y uso del suelo, precipitación y pendiente y en el local la integración de la geomorfología y la hidrología. Otro de los productos del presente trabajo será el mapa de amenaza con base a la precipitación y geomorfología, que será generado a partir de los resultados del análisis hidro climático y de las geoformas en el software ArcMap. El proyecto se desarrolló con el fin de implementar metodologías de diferentes autores que en conjunto permitan la identificación de zonas en amenaza frente a fenómenos de inundación para el área de estudio y que a su medida permita realizar una actualización de los mapas del PBOT del municipio.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El departamento del Huila presenta altos valores de precipitación frente a los demás departamentos de la región andina y un importante número de cauces o drenajes naturales, que atraviesan la región, en especial el río Magdalena, lo cual hace que se presenten eventos de orden natural como las inundaciones. Estos eventos se encuentran asociados a los fuertes contrastes topográficos del departamento.

De manera preliminar se identifica Campoalegre, como uno de los municipios más afectados por las inundaciones, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2017), se han presentado seis eventos por inundaciones en este municipio en los últimos tres años, los cuales se movilizaron al casco urbano causando daños a viviendas, locales comerciales, infraestructura del municipio y demás sitios de interés. Dichos daños representan grandes sumas de dinero y pérdidas a cuenta de las inundaciones. Además, fue necesario realizar la evacuación de aproximadamente 2.000 personas a lo largo de los 6 eventos que se han presentado para garantizar y mantener su seguridad. Teniendo en cuenta que la amenaza por inundación sigue vigente debido a los afluentes que se encuentran en la zona y a los factores antrópicos que hay a su alrededor, el fenómeno puede permitir futuros eventos comprometiendo al municipio y a sus habitantes.

Por esto se hace necesario identificar ¿Cómo se relaciona la geomorfología con el fenómeno de inundaciones en el municipio de Campoalegre, Huila?

OBJETIVOS (GENERAL Y ESPECÍFICOS)

GENERAL

Elaborar el análisis y zonificación de amenaza por inundación en el municipio de Campoalegre, Huila y su relación con la geomorfología.

ESPECÍFICOS

1. Investigar la problemática actual sobre las inundaciones en el municipio de Campoalegre, Huila y su relación con la geomorfología.
2. Analizar los factores geológicos e Indagar sobre las principales características que pueden causar, en un determinado territorio del municipio de Campoalegre, Huila, una amenaza a la población por inundación.
3. Diseñar un modelo de zonificación con la información recolectada sobre inundaciones, amenaza y geomorfología en el municipio de Campoalegre.

JUSTIFICACIÓN

Debido a la alta amenaza por fenómenos de inundación que presenta la zona de estudio y la concentración de personas en el municipio de Campoalegre, hace que sea necesario el análisis mediante un estudio más detallado de las amenazas que se podrían dar en la zona, con el fin de prever posibles pérdidas humanas, bienes materiales y culturales.

Los fenómenos hidrometeorológicos y las condiciones geológicas deben ser materia principal de estudio en la ingeniería civil, ya que generan condiciones de amenaza y como consecuencia de ello, gran cantidad de damnificados, daños en la infraestructura e impacto ambiental ecosistémico. Las pérdidas pueden ser de diversa escala en una comunidad, lo cual genera la evidencia asociada al impacto de grandes y esporádicos desastres como aquellos considerados medianos e invisibles pero que tienen una alta frecuencia que resultan en la generación de pérdidas significativas acumuladas en el tiempo.

Para dar cumplimiento al objetivo, es necesario identificar las condiciones geológicas y geomorfológicas, debido a que es un condicionante de la amenaza importante para tener en cuenta en un proyecto de ingeniería civil, razón por la cual los resultados podrían ser usados como apoyo a investigaciones futuras o toma de decisiones en primera instancia. Los mapas de amenaza y geomorfológicos, a proponer, aportarían a los planes de ordenamiento del municipio y/o cualquier persona que quiera obtener más información de las zonas con amenaza por inundación.

Durante la realización e investigación del trabajo de grado se tendrá la oportunidad de acercarse a un problema real de un área de la ingeniería civil en cuanto a fenómenos hidrometeorológicos cuyos estudios podrían impactar a la comunidad y al medio ambiente de una forma positiva.

ESTADO DEL ARTE

La revisión del tema de este proyecto de grado se desarrolla mediante la recopilación bibliográfica referente a estudios que se han desarrollado en la zona de análisis. Para ello se realizó una búsqueda de fuentes secundarias a través de la utilización de bases de datos como Google académico, Redalyc, Scielo, E-libro, revistas especializadas, repositorios de universidades, entre otros. Otro tipo de base de datos consultadas como Em-Dat, SNPAD y DesInventar, permiten caracterizar las inundaciones dentro de las estadísticas globales y nacionales. Este tipo de información puede utilizarse para apoyar la toma de decisiones, comparar, resumir lecciones aprendidas y proveer información de fácil comprensión a distintos usuarios. Szlafsztein et al. (2007), Aldunce et al. (2008) y Debels et al. (2009) definen varios tipos de sistematización y caracterización para levantar y difundir información.

Se enfatiza que el principal interés que se tiene en este trabajo de grado, relacionado con el desarrollo de una propuesta de zonificación basada en parámetros geomorfológicos e hidrológicos de la amenaza por inundación en zonas del municipio de Campoalegre, Huila y su relación con la geomorfología.

De la bibliografía, se puede deducir que hoy se cuenta con estudios e investigaciones, que pueden ser empleadas para dar cuenta de lo que se ha escrito hasta el momento en torno a la geomorfología y su relación con las inundaciones en el municipio de Campoalegre, Huila. Inicialmente se presentarán los aportes desde los autores sobre “amenaza”, sobre “inundaciones” entendiendo esta como una amenaza y sobre “geomorfología” para dar cuenta lo que se conoce desde este campo de la geología sobre el municipio.

Amenazas.

Con respecto al tema de amenaza: la secretaria general de la Comunidad Andina (2018), define amenaza en su “glosario de términos y conceptos de la gestión del riesgo de desastres para los países miembros de la comunidad andina”, como el proceso, fenómeno o actividad humana que puede ocasionar muertes, lesiones u otros efectos en la salud, daños a los bienes, interrupciones sociales y económicas o daños ambientales. También se refiere a los tipos de amenazas que pueden ser: Naturales, antropógenos o de origen humano, socio naturales, o múltiples y se diferencian de la siguiente manera:

“(i) Naturales: asociadas predominantemente a procesos y fenómenos naturales. (ii) Antropógenos o de origen humano: inducidas de forma total o predominante por las actividades y las decisiones humanas. Este término no abarca la existencia o el riesgo de conflictos armados y otras situaciones de inestabilidad o tensión social que están sujetas al derecho internacional humanitario y la legislación nacional. (iii) Amenazas socio naturales: se asocian a la combinación de factores naturales y antropógenos, como la degradación ambiental y el cambio climático. (iv) Amenazas múltiples: selección de amenazas importantes que afronta la región, subregión o país, y que, en los contextos particulares, pueden producirse simultáneamente, en cascada o de forma acumulativa a lo largo del tiempo, los efectos pueden ser relacionados entre sí.” Entendiendo que las amenazas pueden ser de diferentes tipos, se sabe que sus orígenes también pueden ser múltiples. (Secretaría general de la Comunidad Andina, 2018)

Por otro lado, la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible - ASOCARS (2011), afirma que: “Dado que la amenaza se define como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en estudio, el criterio hidrológico de cálculo de avenidas, mediante la determinación del periodo de recurrencia de caudales y niveles más altos en estaciones hidrométricas, proporciona una base teórica aceptable. El éxito de los resultados depende únicamente de la calidad de la información histórica de registros de precipitación, caudales o niveles que se tenga para la cuenca hidrográfica que se esté analizando” (ASOCARS 2011).

Las avalanchas, los deslizamientos, los desprendimientos de rocas y los hundimientos de suelo son amenazas, detonadas generalmente por condiciones hidro-climatológicas. En Colombia durante el período comprendido entre los años 1970 y 2017, se han registrado cerca de 17480 eventos de este tipo, los cuales tienen origen en factores geológicos, hidrogeológicos e hidrológicos; los cuales representan cerca del 62% del total de eventos o fenómenos naturales peligrosos. Estas amenazas naturales pueden generar restricción al uso del territorio y generalmente producen pérdidas de vidas humanas y daños a las obras civiles que soportan las actividades del hombre. Los eventos o amenazas peligrosas naturales (Poveda, G., Gil, M. y Quiceno, N., 2008)

También La delimitación de las unidades morfológicas en un valle aluvial permite visualizar las diferentes zonas de ocupación del cauce a lo largo de la historia geológica de la cuenca, así mismo permite observar qué zonas han sido ocupadas, trabajadas, depositadas y abandonadas "recientemente" por el río. Si bien el criterio de delimitación geomorfológica no es un criterio de probabilidad, sino un criterio físico, que involucro el área, saber los cambios topográficos, litológicos y las características de los suelos, ofrece una localización cierta de todas las áreas que han sido sujetas a inundación en el pasado reciente, lo mismo que de aquellas que no lo han sido y que por la dinámica del río están fuera del alcance de las aguas de inundación. (PBOT, 2014)

Dentro del grupo de amenazas geomorfológicas como lo indica INGEOMINAS, 2002 en la Memoria explicativa del mapa geológico a escala 1:300.000 del Departamento del Huila. Se cobijan todas las amenazas que tiene que ver con probabilidad de ocurrencia de fenómenos naturales que tiene relación con el deterioro de la cobertura superficial de la tierra por efectos naturales o antrópicos como son los procesos de meteorización, erosión del suelo y las rocas, y fenómenos de remoción en masa como los derrumbes y escurrimiento del suelo. Estos procesos son, entre los fenómenos geológicos, los que más daños materiales y pérdidas personales ocasionan anualmente en el Huila.

El trabajo realizado por la Universidad Nacional de Medellín, la CAM, así como también los trabajos de campo realizados por el INGEOMINAS, la Universidad Sur colombiana y la Gobernación del Huila presentan una zonificación de este tipo de amenaza que están asociadas a las áreas donde afloran formaciones geológicas litológicamente incompetentes compuestas por

rocas blandas de tipo arcillas y limos, rocas cristalinas meteorizadas y los escarpes de las terrazas del río Magdalena y los cauces de las cuencas de los principales ríos del Huila. Fenómenos de inundación son comunes en las vertientes de la cuenca del Río Las ceibas y en la carretera Neiva - Balsillas - Guayabal. El fenómeno más reciente se presenta En la vereda Buenavista, Municipio de Campoalegre, se reporta un deslizamiento complejo debido a las inundaciones aledañas que al reactivarse podría represar la Quebrada Las Tapias. (CAM, 1999).

Otro tipo de amenaza alta que se presenta en Campoalegre es por la erosión fluvial debido a la dinámica de los ríos y quebradas presentes en el Huila generan un socavamiento lateral de los cauces y la profundización de estos desestabilizando los taludes aledaños y afectando las construcciones ribereñas, los de mayor importancia están relacionados con el río Magdalena, Páez, La Plata, Suaza, Bache, entre otros. La Gobernación del Departamento y las Alcaldías afectadas han realizado obras de control en algunos sectores críticos como los son la construcción de gaviones, diques, espolones. (INGEOMINAS, 1997; 2002; CAMIDEAUN,1999)

La amenaza por comportamiento torrencial de las corrientes puede ser provocadas por avenidas de los drenajes que deyectan de la Cordillera Oriental y central y que han dejado geoformas de abanicos a través del cuaternario, manifestando su intermitencia. Caso especial se considera los abanicos de Rivera, Neiva Colombia, Páez. Etc. En general todo el Huila es susceptible a esta amenaza por su cercanía a los piedemontes de las cordilleras. (POT, 2014).

Inundaciones.

Con respecto a las inundaciones, Colombia está caracterizada por sus tres cordilleras y áreas de planicie inundable. Tiene un ciclo hidrológico dinámico al estar ubicada en el trópico ya que el predominio de la Zona de Confluencia Intertropical y los procesos que ocurren en los océanos Pacífico, Atlántico y mar Caribe, ocasionan variaciones en la distribución espaciotemporal de la precipitación, de la temperatura y de otras variables climatológicas. El volumen de agua disponible anualmente en Colombia es de 2.100 km³ y representa el 4,5% del agua mundial, situando al país entre los primeros 10 productores del líquido (IDEAM, 2004). Teniendo en cuenta que la superficie periódicamente inundable es de 11 millones de ha (es decir el 39,2% del territorio), es de prever

que los desastres más frecuentes y de mayor impacto económico sean las inundaciones. Además de lo anterior, el fenómeno de La Niña puede generar aumentos en los caudales mensuales de los ríos de hasta un 60% en los trimestres más lluviosos (IDEAM, 2010). Por efecto se incrementará la frecuencia de ocurrencia de eventos extremos del fenómeno de inundación, que afectarían considerablemente la región (Collins et al., 2005; Magrin et al., 2007).

El río Magdalena es el eje del sistema hidrográfico del Huila en el que confluyen los diferentes afluentes que nacen en las divisorias de las cordilleras. El Huila cuenta con una población de 1'011.418 habitantes, de los cuales el 59,5% está localizado en la cabecera y el restante 40,5% en la zona rural. Para el análisis y determinación de la susceptibilidad a los fenómenos de inundación se evalúan inicialmente los factores geomorfológicos relacionados y la dinámica fluvial del río Magdalena y los cuerpos de agua, a través de un proceso foto interpretativo que permita establecer las posiciones geomorfológicas “altas” tales como diques o niveles de terraza libres de inundación para TR de 100 años (Cardona, 2008).

En este mismo sentido la integración de la información geomorfológica con la hidrológica es fundamental para establecer la incidencia de las variables hidrometeorológicas con los eventos registrados por sensores remotos. Los registros asociados con inundaciones y lluvias pueden ser tratados de manera unificada, teniendo en cuenta que en un alto porcentaje de las inundaciones tienen como causa las lluvias y éstas se traducen por lo general en inundaciones. Los registros asociados con deslizamientos para el periodo de referencia alcanzan un total de 5615. Siendo el Huila uno de los departamentos más afectados por eventos hidroclimatológicos y deslizamientos. La mayor ocurrencia de deslizamientos se presenta siguiendo el patrón bimodal de las precipitaciones presentes entre los meses de abril-mayo y octubre-noviembre, épocas en las cuales los suelos se saturan ocasionando los deslizamientos e inundaciones. Los sitios más afectados corresponden a asentamientos urbanos en laderas con déficit de servicios públicos, inadecuada urbanización y geografía muy baja. (Cardona, 2008)

Según la Carta De Riesgos Naturales de (FERRANDO, F., CUETO S. 1998) las inundaciones corresponden a una consecuencia derivada de otros procesos de recurrencia interanual, como son las crecidas de los cursos de agua, sumado ello a condiciones de insuficiencia de los sistemas de

evacuación, sean estos cauces naturales, sistemas de drenaje artificializados, colectores urbanos, etc. Se trata del resultado del desequilibrio que se manifiesta en un momento, lugar y situación dada, entre el volumen hídrico a evacuar en una determinada parcela de tiempo, y la capacidad de evacuación de los cauces o sistemas de drenaje o, en otras palabras, la oferta de cauce se ve superada por la demanda de cauce. Debe tenerse en cuenta, además, que dicha demanda no está compuesta sólo por agua, sino también por los sedimentos que esta transporta y arrastra, y cuya proporción respecto del volumen hídrico, sumado a las variaciones en la capacidad de carga del curso de agua, va a influir directamente en la ocurrencia de los desbordes.

Ávila, A. (2012) dice en su análisis de Simulación hidrológica Utilizando HEC-HMS, que un hecho relevante es la recurrencia de las crecidas que presenta una cuenca fluvial dada respecto de otra. Ello está asociado, por una parte, a las características del régimen pluviométrico y térmico que registre el clima imperante y, por otra, a las características morfométricas que está presente (alturas, forma, pendiente media, superficie, etc.), al desarrollo del sistema de drenaje (densidad, frecuencia y jerarquía de la red hídrica), y a la capacidad de retención hídrica de la cuenca, aspectos todos ellos que influyen en la torrencialidad, la velocidad de respuesta, el tiempo de concentración, y el volumen de los caudales.

En otros casos, cuando se trata de inundaciones o "salidas de madre" en condiciones de caudales "normales" (altas aguas medias), la causa suele encontrarse en la reducción de la sección de los colectores en forma artificial (angostamiento por urbanización, relleno por desechos, etc.), natural (sedimentación progresiva), o accidental (eventos que provocan obstrucción parcial o total) como son los deslizamientos de tierra, los derrumbes, la caída de árboles, el derrumbe de puentes, etc. (Ávila, 2012).

Las amenazas por inundaciones en el Departamento del Huila presentan dos tipos que son de acuerdo con su origen, una de estas son las amenazas de origen natural y amenazas generadas por efectos antrópicos. Las amenazas de tipo hidrometeorológico por inundaciones son muy comunes en todos los municipios del Huila, en la investigación realizada por la Universidad Surcolombiana en el trabajo "RECOPIACIÓN HISTÓRICA DE LOS DESASTRES NATURALES DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA" se muestra la gran cantidad de inundaciones que han afectado

al Huila a través de los últimos años. Las más significativas se presentan en ocho municipios localizados a la ribera al río Magdalena, como respuesta a la operación del embalse aguas abajo de la Represa de Betania y en la ciudad de Neiva en los barrios aledaños al río las Ceibas. Se tiene registrada la ocurrencia de 188 eventos de inundaciones durante las décadas 1980 y 1990. Por último, está la amenaza de origen antrópico que en el Huila son generadas por la insuficiencia del sistema de alcantarillado en los municipios y su falta de mantenimiento, que en épocas de lluvias fuertes provocan el rebosamiento afectando a la población en general. (Universidad Sur Colombia, 1990).

Las inundaciones súbitas o rápidas se caracterizan como el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. Estas pueden generar que pequeñas corrientes se transformen, en violentos torrentes capaces de ocasionar grandes daños, en cuestión de minutos; usualmente las zonas urbanas son sitios donde se presenta este tipo de avenidas, producto de la cubierta impermeable formada artificialmente por los edificios y calles, así como por la deforestación. Debido a esto, el agua no se infiltra y prácticamente todo el volumen precipitado se convierte en escurrimiento. Así, donde antes una tormenta humedecía la tierra y regaba la hierba y los árboles, ahora con tan solo poco solo unos minutos es suficiente para generar una avenida que arrastra todo lo que encuentra a su paso (Espinoza, Salas, & Jiménez, 2014)

En el campo de la geomorfología y regionalmente en el departamento del Huila, se presentan unidades geológicas, con una compleja historia y evolución, que se inicia desde finales del Paleozoico, hasta el presente. Sin embargo, específicamente las unidades que afloran en los sitios a estudiar, tienen una historia geológica desde mediados de la era Mesozoica y durante la era Cenozoica, con unidades marinas de edad Cretácica, unidades transicionales y continental, pertenecientes al Paleógeno (Terciario), y unidades Cuaternarias formadas por la acumulación de sedimentos producto de la intensa erosión de las rocas preexistentes, y a los efectos del volcanismo local y regional (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Geomorfología y Geología.

Según Francisco Velandia P., Alberto Núñez T. y Germán Marquínez en el texto Memoria Explicativa Mapa Geológico del Departamento del Huila (2015), dice que “comprende básicamente cuatro regiones fisiográficas de la región andina de Colombia: la Cordillera Central, el Valle del río Magdalena, la Cordillera Oriental y el Macizo Colombiano”, donde cada uno de estos presenta diferentes condiciones en primera instancia la geología de la cordillera central se encuentra que está constituida por rocas ígneas, intrusivas y volcánicas de la era del Mesozoico en su gran mayoría, seguidamente el valle del río Magdalena está conformado por rocas sedimentarias marinas de la era Mesozoica, rocas ígneas intrusivas, depósitos cuaternarios de origen aluvial, fluvio-glacial, volcánico y volcanoclástico; en la zona de la cordillera oriental se encuentra conformada por rocas metamórficas precámbricas, ígneas intrusivas y volcánicas del Jurásico, sedimentitas mesozoicas y cenozoicas, y finalmente en el macizo Colombiano o también conocido como Nudo de Almaguer en esta zona se encuentran depósitos piroclásticos de edad cenozoica, rocas metamórficas precámbricas y rocas ígneas de edad jurásica (Memoria Explicativa Mapa Geológico del Departamento del Huila, 2015).

De acuerdo con los estudios realizados por el Servicio Geológico Colombiano, como los de VELANDIA, et al, 2001. Desde el Eoceno comienza el levantamiento cíclico de la Cordillera Central, cuyos pulsos se registran con los depósitos molásicos de la Formación Gualanday, constituida por espesos depósitos conglomeráticos, actualmente consolidados y tectonizados, representan los pulsos del mayor levantamiento de la Cordillera Central y acumulación sintectónica, y su intercalación con unidades más finas, son el reflejo de períodos de relativa calma tectónica.

El contexto regional del área de estudio se encuentra relacionada a la geomorfoestructura denominada, sistema Orogénico Andino, y las provincias: Cordillera Oriental y el Valle Interandino del Magdalena, comprendiendo un área extensa en el Norte de la subcuenca de Neiva al Sur de Colombia. Los ambientes de tipo estructural se encuentran asociados con los sistemas de fallas de Potrerillos y Algeciras, estas unidades estructurales han sido afectadas por procesos denudativos

como la meteorización y erosión. Por otra parte, el relieve está compuesto por geoformas de origen fluvial y denudacional ambas asociadas a la dinámica erosiva de las corrientes de los principales afluentes de la zona. Además, existen algunas geoformas de origen volcánico (SGC Plancha 345-Campoalegre, 2014).

El paisaje de origen denudacional se relaciona con las geoformas cuya expresión morfológica se define por diferentes procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas preexistentes y además crean nuevas por acumulación de sedimentos. Las geoformas de este origen se localizan en el Centro y Oriente de Campoalegre compuestas por Colinas residuales, Cerros remanentes al norte, Conos de deslizamiento, Escarpes de erosión, Lomeríos disectados, Lomas denudadas, Laderas erosivas y Sierras denudadas (SGC Plancha 323-Neiva, 2014).

Las geoformas de origen fluvial que conforman el relieve del lugar son originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos Magdalena, que transcurre hacia el centro de la zona de estudio de sur a norte; Ceibas ubicado hacia la parte central y el Baché que se desplaza casi paralelamente al río Magdalena hacia la parte oeste de la plancha. Además, producto de la acumulación de materiales de las zonas aledañas a dichas corrientes. Las geoformas de este ambiente que se encuentran en el municipio corresponden principalmente a abanicos aluviales, abanicos fluviotorrenciales, barras longitudinales, planicies aluviales, llanuras de inundación, terrazas de acumulación y terrazas de erosión; en general estas formaciones se localizan hacia el Occidente y a lo largo de los cauces. (SGC Plancha 323-Neiva, 2014).

El ambiente de origen volcánico es el que presenta menor ocurrencia en el área de interés. Las geoformas presentes son producto de la actividad volcánica, la cual incluye erupciones explosivas y/o efusivas, además de aquellas geoformas generadas por acumulación de la remoción de productos volcánicos. La actividad volcánica se debe a la acción de procesos endógenos, los cuales ocurren en el interior de la corteza terrestre y dependen de las fuerzas internas de La Tierra (SGC Plancha 345-Campoalegre, 2014).

Los procesos de origen volcánico que se encuentran en la zona corresponden principalmente a flujos laháricos; estos se encuentran hacia el Occidente del área de estudio. El paisaje de origen morfoestructural se origina por diferentes procesos dinámicos de la tierra, también define la forma del relieve, que determina geoformas; principalmente las que están asociadas a fallamiento y plegamiento, cuya expresión morfológica está definida por la litología y disposición estructural de las rocas superiores de la corteza terrestre. Las geoformas de origen estructural en la zona corresponden principalmente a barras homoclinales, facetas triangulares, espolones, ganchos de flexión, lomos y sierras; estas se localizan hacia el Oriente de Campoalegre y se distribuyen de Sur a Norte (SGC Plancha 345-Campoalegre, 2014).

METODOLOGÍA

Para evaluar las principales causas de la amenaza de las inundaciones y su relación con la geomorfología y otros aspectos como los asentamientos humanos del municipio, se deben buscar y definir las características y propiedades de la zona para determinar los factores importantes para el análisis geomorfológico como las pendientes, los tipos de suelos, geología de las zonas bajas e hidrogeología, entre otros para evaluar quienes serían los principales afectados en caso de inundación.

Dicho lo anterior el primer paso es recoger la información necesaria para establecer los parámetros geomorfológicos y de riesgo. Lo anterior se hará en su totalidad con información secundaria que se recolectará de los diferentes estudios que se han hecho en el municipio. Así mismo, se tendrá como texto base el Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Campoalegre PBOT. Posteriormente con toda la información recogida se evaluarán los puntos del municipio que se encuentran mayor en amenaza

En segundo lugar, se evaluaron los factores que amplifican el fenómeno, como en el caso de las precipitaciones, se hará un análisis con el fin de determinar las curvas IDF para periodos de retorno de 100 años, esto con apoyo de los datos de las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona en estudio. Seguido de recoger la información, se generará una capa para relacionarla con los demás parámetros. También se evaluaron los factores antrópicos que puedan incidir en el fenómeno, realizando un reconocimiento visual por medio de Street View y formatos tipo Shape con información catastral del municipio y de las construcciones aledañas a las riveras de los afluentes.

El producto final de este estudio serán mapas geomorfológicos, geológicos y de inundación que se desarrollarán con el programa ArcGIS. Para ello se enlazan las coordenadas del municipio con los principales sitios que presentan un riesgo alto y medio de inundación. Estos mapas ayudarán a comprender mejor la incidencia de la geología y geomorfología del municipio, con las inundaciones y de acuerdo con las zonas más susceptibles que muestren los mapas generados anteriormente, se procede a analizar e interrelacionar la información y modelación de los factores detonantes con el

fin de pronosticar el comportamiento del fenómeno y establecer las zonas que serían las de mayor amenaza.

El tipo de investigación a desarrollar es mixto puesto que contiene tanto investigación cualitativa como cuantitativa. Cualitativa porque especifican propiedades y características importantes del fenómeno de inundación que utiliza métodos comparativos multicriterio mediante la consulta de expertos para evaluar la amenaza y cuantitativa por el estudio y modelamiento de los mapas geomorfológicos, geológicos y de inundación.

Objetivo	Actividad	Descripción	Actores
Conocer la problemática actual sobre las inundaciones en el municipio de Campoalegre, Huila y su relación con la geomorfología.	Análisis Documental	En esta etapa se buscarán los antecedentes de inundaciones que se han presentado en el municipio de Campoalegre en los últimos 10 años.	Autores
	Revisión de información	Búsqueda y revisión de información de precedentes sobre inundaciones que hayan sido relacionadas con la geomorfología.	Autores
Analizar los factores geológicos e Indagar sobre las principales características que puede causar que, en un determinado territorio del municipio de Campoalegre, Huila exista una amenaza a la población por inundación	Recopilación de información	Obtención de la información en fuentes oficiales como: mapas de geomorfología, geología, hidrogeología y tipo de suelo del PBOT del municipio de Campoalegre, Huila.	Autores
	Recopilación de información	Recopilación de datos meteorológicos del IDEAM. Registros de fenómenos de inundación del IDEAM. División política del municipio, capacidad y uso del suelo del IGAC. Modelo digital de elevación por fuente propia y Cobertura vegetal del terreno del SIGOT.	Autores

	Recopilación de información sobre amenaza	Las Amenazas Naturales hacen referencia específicamente, a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, de erosión o fenómenos de inundación y	Autores
		a los incendios que, por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades, esto hace que sea necesario con la información anterior identificar las zonas que estén en riesgo alto y medio por inundación.	
Diseñar un modelo de simulación con la información recolectada sobre inundaciones, amenaza y geomorfología en el municipio de Campoalegre.	Generación de los modelos y mapas	Para modelar los factores de geología, geomorfología, hidrología, drenajes y cercanía de construcciones a cuencas, se cargarán los mapas e información recolectados en el software ArcGIS, seguido se georreferenciarán a un sistema de coordenadas planas y se realizarán mapas de inundaciones, amenaza y geomorfología en la zona de estudio.	Autores

	Generación de los modelos y mapas	La modelación de los factores que amenazan al municipio los cuales influyen en la activación del fenómeno de inundación, se realizará con base en información relacionada a las condiciones recolectadas para los mapas y demás información, con ella se hará un modelo en 2D para tener un análisis más profundo de como incide la geomorfología en las inundaciones.	Autores
	Evaluación de las principales zonas con riesgo medio y alto.	El mapa de amenaza es la representación gráfica de los resultados de los análisis de la amenaza y la incidencia de la geomorfología, en esta	Autores
		se plasma las diferentes zonas que presentan un riesgo alto y medio de inundación la cual podrá ayudar a comprender mejor el comportamiento de este fenómeno. También se tomará en cuenta los registros históricos de inundaciones en el municipio para hacer el mapa de amenazas.	

DESARROLLO

Para el desarrollo del proyecto se utilizó la siguiente información secundaria:

- Mapas geológicos y geotécnicos en formato PDF del PBOT (Municipio Campoalegre, 2017).
- División política del municipio, capacidad y uso del suelo formato “Shape” del Instituto Agustín Codazzi (IGAC, 2020).
- Inventario y registros de fenómenos de inundación durante los últimos 20 años en formato “Shape” del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM, 2020).
- Datos meteorológicos en formato "Shape" del Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM, 2020).
- Imágenes satelitales del satélite Landsat 8 en formato “.TIFF” del servicio geológico de estados unidos (USGS, 2020).
- Modelo digital de elevación (MDE) del satélite ALOS PALSAR 7 © JAXA / METI 2020

Esta información derivada de las anteriores fuentes se puede tomar como instrumento de ordenación territorial, proyección urbana, elección de infraestructuras públicas y gestión de emergencias. Dependiendo de las características particulares de los casos, la evaluación de la amenaza de inundación requiere de la realización de los siguientes estudios (Silva, 2003):

- Demarcación de la zona de estudio: Se hace, recopilando cartografía, fotografías aéreas, MDTs, LIDAR, topografía de campo, inventario de eventos anteriores.

- Inventario de causas de inundación: Ubicar puntos conocidos de desbordamiento, encharcamiento, con deficiencias de drenaje, avalanchas, obstrucción o sedimentación.
- Estudios geológicos, geotécnicos y ambientales: Se delimitan cuencas, vertientes, uso del suelo, cobertura vegetal y las corrientes naturales que afectan la zona. También se cuantifica el clima, lluvias, caudales, aspectos demográficos, vulnerabilidad.
- Estudio geomorfológico: Se coloca sobre la extensión potencial de la inundación y la existencia de vías de flujo desbordado principales.
- Estudio de eventos de inundaciones: Para apoyar y confirmar resultados de estudio geomorfológico y elemento de calibración de estudios posteriores.
- Estudios de pérdidas económicas, ambientales y sociales: Cuantificar los perjuicios que han causado inundaciones anteriores y estimar los perjuicios a cada cierto tiempo. Establecer niveles de amenaza.
- Cartografía de detalle del riesgo de inundación: Dejar indicadas las zonas de amenaza, de los cauces, conos de inundación, zonas de acumulación de agua, vías de intenso desagüe.

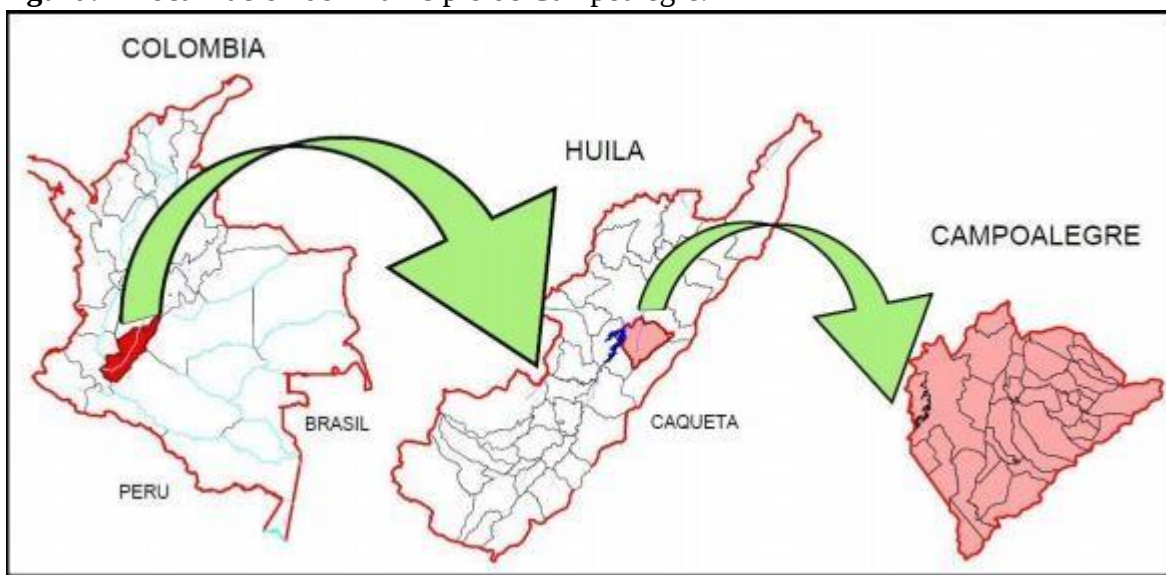
Con esta información, se realizó la modelación e integración de los diferentes elementos para hacer la evaluación del fenómeno de inundación. Los factores por evaluar en este estudio son: la geología y tipo de material, drenajes, pendientes y la geomorfología. Para realizar los mapas, se debe cargar el modelo digital de elevación (MDE), con ayuda de la guía metodológica propuesta por (Betancourt, 2019,) para determinar el área de estudio que sería todo el municipio de Campoalegre y las dos principales cuencas, la del río Magdalena y el río Neiva con sus respectivos drenajes. consecutivamente se hace una corrección al modelo (MDE) para trabajar con las cuencas de los ríos anteriormente mencionados.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La competencia territorial del Municipio de Campoalegre es de 462.99 km², su topografía está caracterizada por áreas montañosas sobre la cordillera oriental y zonas planas en los valles de los Ríos Magdalena y Neiva. Este territorio se distribuyen los pisos térmicos frío, medio y cálido, que van desde el punto más bajo del Municipio que se encuentra en la unión del Río Neiva con el río Magdalena y su altura es de 456 msnm, hasta la cota más alta corresponde al Cerro Cresta de Gallo ubicado en el ecosistema estratégico de la Siberia, a 3250 msnm, que comparte con Rivera y Algeciras En la actualidad, en el centro de este tramo se encuentra la represa de Betania, que constituye una modificación importante en el régimen fluvial y divide el tramo en dos secciones; la primera, antes de la desembocadura del río Páez, con un caudal promedio de 223 m³ /s y la segunda tiene un caudal de 482 m³ /s cerca de Neiva (CAM e INPRO-HIDROTEC, 1996).

La serranía de Seboruco presenta una altura máxima de 680 msnm, de los cuales en su flanco occidental funcionan como muro de contención natural al embalse de la represa de Betania, presentando pendientes muy fuertes de rocas sedimentarias Tiene a su disposición un área de 8.200 hectáreas de ellas 7.400 en espejo de agua, distribuidas entre el embalse, la central y su entorno, el que abarca un espacio de 2 km² e incluye los corredores ambientales del río Yaguará. La cota de operación del embalse es de 561,2 msnm.

Figura. 1 Localización del Municipio de Campoalegre.



Nota: Adaptado del PBOT Municipio Campoalegre (2017).

CLIMA.

En el municipio se localizan 3 estaciones meteorológicas, las cuales registran los parámetros climáticos y de precipitación del sitio de la zona donde se encuentran, de las cuales ellas son: Hacienda Potosí, Los Rosales, Hidrobetania. Para la realización del proyecto se tomarán de referencia las precipitaciones de las 3 estaciones, calculando así la intensidad y frecuencia de las precipitaciones y como afecta este parámetro a la amenaza por inundación en todo el municipio.

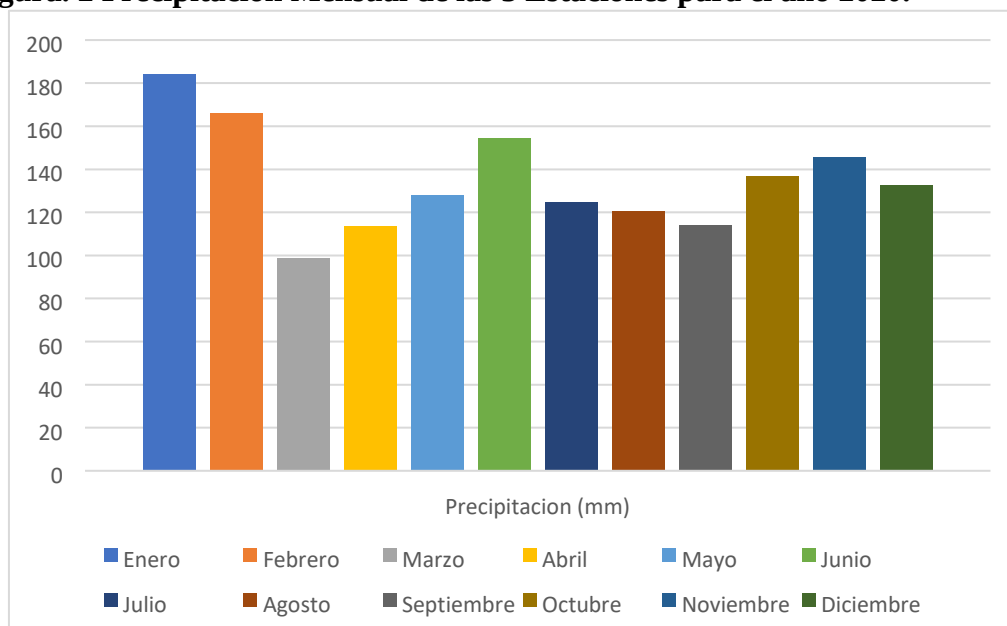
Para el año 2020, como se observa en la tabla 1 y figura 2 que la precipitación en las 3 estaciones en todo el año muestra valores que van desde los 98,5 mm/mes a los 174 mm/mes, con un valor acumulado de precipitaciones de 1618,2 mm/año y uno mensual de 134,85 mm/año. Para el año 2020 se presentan 3 periodos que superan los 145 mm/mes (enero-febrero, junio, noviembre), revelando una distribución de lluvias a lo largo de todo el año, lo cual nos da un primer indicio de porque son tan frecuentes las inundaciones.

Tabla 1 Valores mensuales de precipitaciones promedio de las 3 estaciones

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precipitacion (mm)	174	166,2	98,5	113	128	154	115	120,3	114	137	145,6	132,5

Nota: Apropiado y modificado del IDEAM.

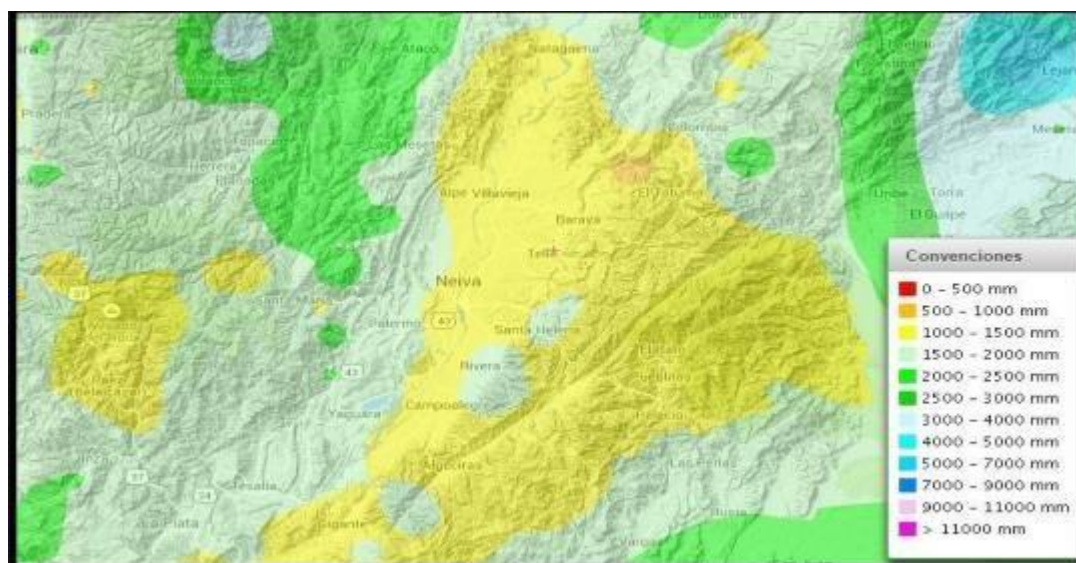
Figura. 2 Precipitación Mensual de las 3 Estaciones para el año 2020.



Nota: Apropiado y modificado del IDEAM.

Para el municipio, el IDEAM en su página web, en base a los análisis espaciales y multitemporales, obtiene que gran parte del territorio rural presenta un rango de precipitación que varía entre 1000 y 1500 mm/año, encontrándose una zona con un rango de precipitación que oscila entre 1500 y 2000 mm/años localizándose en los alrededores de la cordillera oriental y las partes altas de Campoalegre como lo muestran la figura 3 a continuación.

Figura. 3 Precipitación promedio Multianual, para la zona donde se ubica el municipio de Campoalegre.



Nota: Fuente <http://geoapps.ideam.gov.co:8080/geovisor/index.jsf#>

Las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia son una descripción de las tormentas que definen su comportamiento, asociando la intensidad de estas, usualmente expresada en milímetros por hora, con la duración de estas, expresada en minutos u horas y con la probabilidad ocurrencia de estas expresada mediante el concepto de periodo de retorno. El total de la lluvia ocurrido en un evento específico es el resultado de multiplicar la intensidad por la duración de la tormenta.

Para obtener la curva en el municipio de Campoalegre se recolectó la información disponible en el IDEAM sobre máximos en 24 horas, la cual se muestra en el análisis hidro climático realizado por el municipio en su (PBOT, 2017) donde detalla paso a paso la realización de esta y la cual no se tomará en cuenta para el análisis de amenaza porque en el PBOT ya se encuentra una zonificación final con este parámetro y se quiere hacer un modelo de amenaza diferente ya que se

realizará asumiendo la geomorfología como factor principal para el modelamiento en ArcMap, pero si hay que tener presente los valores de esta para conocer la dinámica de las precipitaciones ya que son un eslabón esencial para el diseño y la construcción de obras hidráulicas, como drenajes pluviales, presas, embalses, que buscan controlar inundaciones.

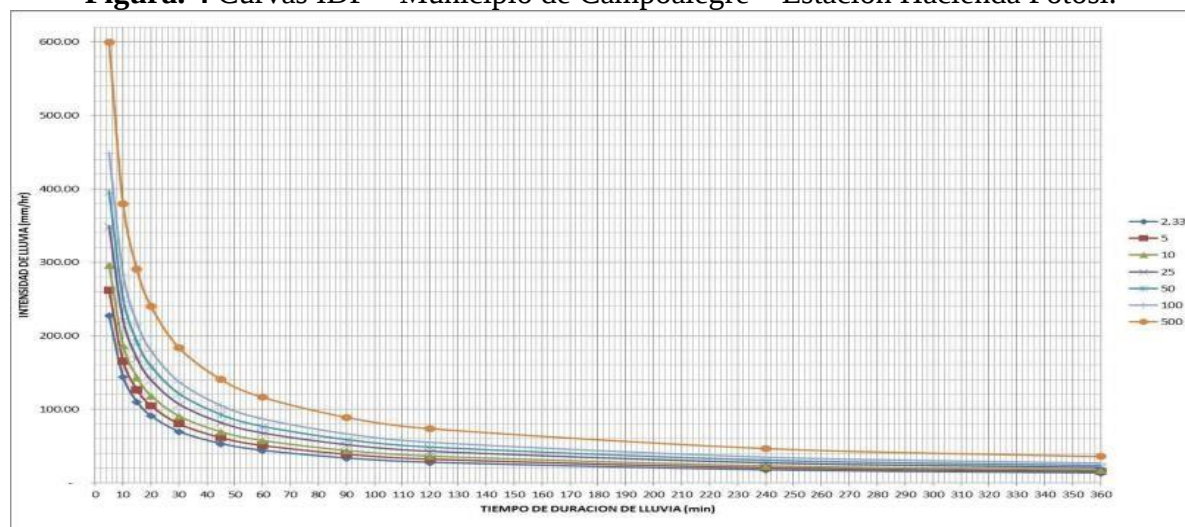
Tabla 2 Curvas IDF Campoalegre (mm/hora) – Estación Hacienda Potosí.

T	Periodo de retorno (años)						
	2.33	5	10	25	50	100	500
5	228.11	261.72	296.50	349.67	396.13	448.77	599.57
10	144.37	165.64	187.65	221.30	250.70	284.02	379.46
15	110.47	126.75	143.59	169.34	191.84	217.33	290.36
20	91.37	104.83	118.76	140.05	158.66	179.75	240.15
30	69.91	80.22	90.88	107.17	121.41	137.55	183.76
45	53.50	61.38	69.54	82.01	92.91	105.25	140.62
60	44.25	50.77	57.51	67.83	76.84	87.05	116.30
90	33.86	38.85	44.01	51.90	58.80	66.61	88.99
120	28.00	32.13	36.40	42.93	48.63	55.09	73.60
240	17.72	20.33	23.04	27.17	30.78	34.87	46.58
360	13.56	15.56	17.63	20.79	23.55	26.68	35.65

Nota: Tomado de PBOT Municipio Campoalegre (2017).

Se tomo la estación de Potosí como principal porque está en el punto central del municipio, además de recolectar datos cercanos a la cuenca del rio Neiva que es la que tiene mayor injerencia en la zona de estudio de amenaza. Las otras estaciones no se tuvieron en cuenta porque una está ubicada en la represa de Betania, la cual está en la zona occidental del municipio y la otra en la serranía en la parte oriental del municipio.

Figura. 4 Curvas IDF – Municipio de Campoalegre – Estación Hacienda Potosí.



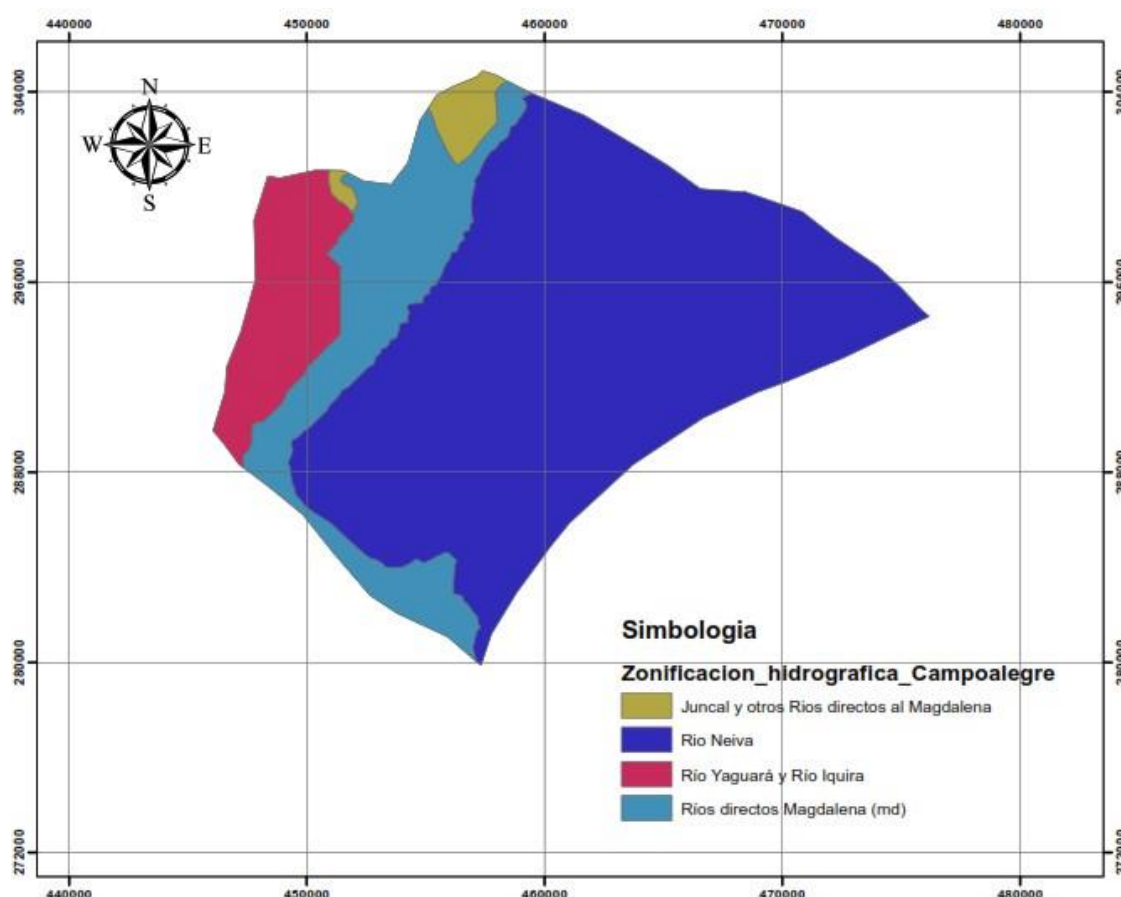
Nota: Tomado de PBOT Municipio Campoalegre (2017).

HIDROGRAFÍA

El municipio de Campoalegre también hace parte de la Mega cuenca Hidrográfica del Río Magdalena, la cual está conformada entre otras cuencas por la Subcuenca Hidrográfica del Río Neiva y Río Yaguará. Para hacer el proceso de zonificación con ArcMap se utilizó la función “Hydrology” para hacer las características morfométricas de las cuencas principales dando como resultado los principales afluentes y sus ramificaciones secundarias.

Según la zonificación de la figura 4, el principal afluente es el Río Magdalena, pero el que tiene mayor injerencia en el municipio y el cual está más próximo a las zonas urbanas del municipio es el Río Neiva. Como se observa en la figura 4 este afecta a más del 75% de Campoalegre.

Figura. 5 Zonificación Hidrográfica de Campoalegre.



Nota: Fuente Propia (DEM, 2020).

El río Neiva es alimentada por las quebradas El Mosca, Quebradón Norte y Las Coloradas, del Municipio de Algeciras, Legías, Los Negros, La Perdiz, Las Palomas y las quebradas Río Frío, La Caraguaja, La Sardinata, Otás, La Ciénaga, Chontaduro y Rivera, de Campoalegre. En la zona de los valles aluviales que es la más baja, la dinámica fluvial del río se manifiesta en la variedad de abanicos. En esta zona se detectan condiciones de truncamiento de los ríos, demostrando la carga de sedimentos arrastrados. Este escenario determina las situaciones de riesgo por la posibilidad de eventos de reactivación de abanicos, lo cual puede apresurar y maximizarse por la acción antrópica practicada en las zonas cordilleranas, causando posibles avalanchas, inundaciones y degradación de los suelos.

Figura. 6 Vista Aérea del Área de Influencia del Río Neiva.



Nota: Tomado de Google Earth.

GEOLOGÍA

Para evaluar este componente, es necesario cargar el mapa de geología y características de los suelos proporcionados por el PBOT del municipio, continuo de esto se georreferencia en coordenadas adecuadas como MAGNA-SIRGAS, aunque según la legislación estas fueron cambiadas, pero todo el proceso del trabajo se hizo con las mismas. Una vez georreferenciados los mapas, se digitaliza las unidades geológicas y los materiales presentes en el municipio. En el área se localiza en el Valle Superior del Magdalena en la parte norte de la Subcuenca de Neiva y el borde occidental de la Cordillera Oriental. Afloran principalmente sedimentitas del Terciario y Cuaternario; El registro cuaternario en la zona de estudio está representado por depósitos aluviales asociados al río Magdalena y sus principales afluentes. Además, existen una serie de depósitos torrenciales y aluviotorrenciales que rellenan los principales valles de la zona de estudio. La zona también se caracteriza por la presencia de abanicos que cubren las zonas de piedemonte y algunas cuencas, además, se presentan depósitos Fluviolacustres, aluviones y coluviones relacionados con la morfodinámica del lugar (Ferreira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M., 2002).

Para asignar el nombre a las unidades se tuvo en cuenta la nomenclatura existente recopilada de información secundaria de trabajos en la zona y se presentan a continuación en la tabla 3.

Tabla 3 Unidades Geológicas presentes en el Municipio de Campoalegre.

UNIDAD	DESCRIPCION	AREA (Has)	%
Jal	Monzogranito de Algeciras	18.403,04	39,75
Js	Formación Saldaña	105,43	0,23
Ngh	Grupo Honda	1.849,64	3,99
NgQgi	Formación Gigante	1.958,03	4,23
PgNgd	Formación Doima	21,47	0,05
Qaa1	Abanicos antiguos muy Disectados	2.048,63	4,42
Qaa2	Abanicos Antiguos Moderadamente Disectados	1.370,11	2,96
Qaa3	Abanicos Antiguos Poco Disectados	7.651,01	16,53
Qal	Depósitos Aluviales	3.695,62	7,98
Qar	Abanicos Recientes	7.748,38	16,74
Qt	Terrazas Pumfíticas	214,28	0,46
	Represa de Betania	1.234,07	2,67
TOTAL		46.299,49	100,00

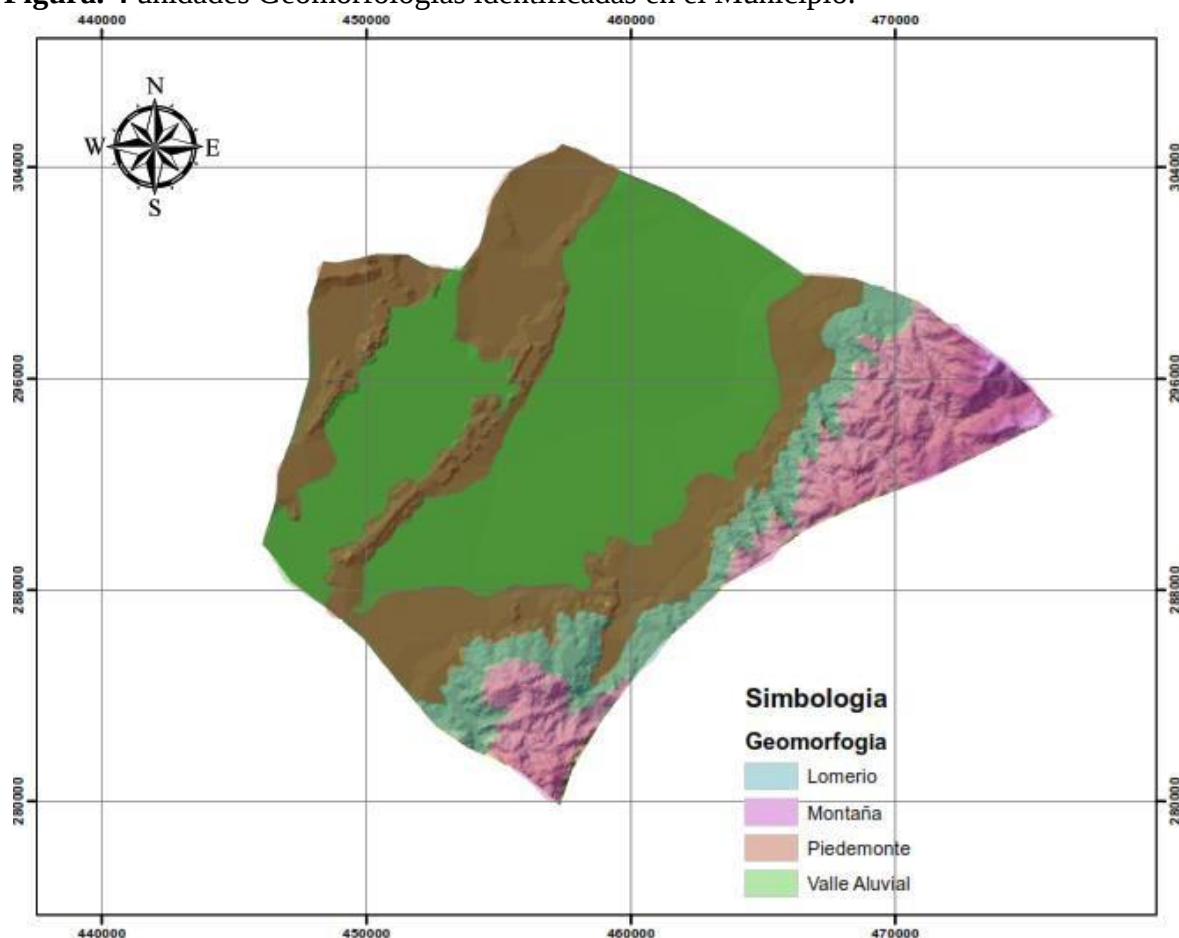
Nota: Tomado y Modificado de PBOT Municipio Campoalegre (2017).

IDENTIFICACIÓN DE GEOFORMAS

La geomorfología explica y describe la evolución del paisaje terrestre a partir de los factores y procesos modeladores de la superficie y en este proyecto, que consistió en la elaboración del mapa geomorfológico del municipio de Campoalegre y áreas circundantes, mediante la identificación de geoformas de origen estructural, denudativo y fluvial. La identificación de geoformas a escala local se realizó mediante la recolección de información secundaria y la validación se realizó con ayuda del PBOT del municipio. La geomorfología tiene en cuenta los materiales, el relieve, la geometría y demás; ésta influye de manera significativa en las inundaciones ya que es un conjunto de características particulares de la zona, los cuales tienen como procesos de formación, alteración, pendientes, planos de discontinuidades y demás características de las geoformas del terreno.

Conocer la geomorfología es importante porque permite conocer las condiciones y escenarios por las que el terreno ha sido afectado y modificado a lo largo del tiempo, así como sus zonas que potencien la inundación. Para el caso de este trabajo, se evaluará la geomorfología mediante la generación del mapa de pendientes del terreno para todo el municipio, de acuerdo con el modelo digital con la ayuda de la herramienta “TIN” de ArcMap, seguido a esto se utilizó las curvas de nivel (intervalos de 10 y 5 metros) para medir el nivel de amenaza por inundación tomando en cuenta la geomorfología según el criterio de Asocars (2016).

Figura. 4 unidades Geomorfologías identificadas en el Municipio.



Nota: Fuente Propia (DEM, 2020).

Una geoforma es una descripción de un cuerpo tridimensional el cual tiene forma, tamaño, volumen y topografía, estos elementos generan un relieve. Lo primero para reconocerlas es identificar las geoformas con vegetación natural, uso del suelo, su topografía, drenaje, textura y tono. Esta geoforma está compuesta por materiales que le son característicos como lo son la grava, arena, limo, arcilla o cuerpos de rocas, estos tienen una génesis y por lo tanto una dinámica que explica los materiales que la forman.

Tabla 4 Unidades Geomorfológicas presentes en el Municipio de Campoalegre.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN	ÁREA	%
Piedemonte	Prominencias topográficas de morfología alomada y colinada, con pendientes moderadas	9.934,57	18,50
Lomerío	Tiene un patrón de drenaje subdendrítico, presenta colinas agudas, cuchillas rectas y vertientes largas y valles en V sin fondo aluvional, evolucionados por la baja consolidación y permeabilidad de las arenas y por la incisión vertical de los cursos de agua, favorecida por la debilidad generada por el trazo de fallas y fracturas.	15.403,04	29,75
Montaña	Superficie ondulada localizada en los frentes Montañosos y su origen del abanico se da por medio de la gravedad, por caídas de los elementos al valle aluvial	4.032,51	10,7
Valle Aluvial	Franja de terreno plana, de morfología baja y ondulada eventualmente inundable que se distribuye a ambos lados de las principales corrientes	19.929,37	41,11
TOTAL		46.299,49	100,00

Nota: Fuente Propia.

La delimitación de las unidades morfológicas en el valle aluvial consiste en mostrar las diferentes zonas de ocupación del cauce a lo largo de su historia geológica de la cuenca, así mismo permite mostrar qué zonas han sido ocupadas, depositadas y abandonadas recientemente por el río, lo cual más adelante nos ayudara a explicar su relación con las inundaciones.

El contexto regional del área de estudio se encuentra relacionada a la geomorfoestructura denominada, sistema Orogénico Andino, y las provincias: Cordillera Oriental y el Valle Interandino del Magdalena, comprendiendo un área extensa en el Norte de la subcuenca de Neiva al Sur de Colombia. Los ambientes de tipo estructural se encuentran asociados con los sistemas de fallas de Potrerillos y Algeciras, estas unidades estructurales han sido afectadas por procesos denudativos como la meteorización y erosión. Por otra parte, el relieve está compuesto por geoformas de origen fluvial y denudacional ambas asociadas a la dinámica erosiva de las corrientes de los principales afluentes de la zona. Además, existen algunas geoformas de origen volcánico (SGC Plancha 345-

Campoalegre, 2014). A continuación, se hará una descripción más detallada de cada una de las geoformas presentes con contexto de las amenazas por inundación donde se identifican sus pendientes y demás factores que puedan potenciarlas.

GEOMORFOLOGÍA DE LOS VALLES ALUVIALES

Las geoformas de origen fluvial que conforman el relieve del lugar son originadas por procesos de erosión de las corrientes de los ríos Magdalena, que transcurre hacia el centro de la zona de estudio de sur a norte; Ceibas ubicado hacia la parte central y el Baché que se desplaza casi paralelamente al río Magdalena hacia la parte oeste de la plancha. Además, producto de la acumulación de materiales de las zonas aledañas a dichas corrientes. Las geoformas de este ambiente que se encuentran en la zona de estudio corresponden principalmente a abanicos aluviales, abanicos fluviotorrenciales, barras longitudinales, planicies aluviales, llanuras de inundación, terrazas de acumulación y terrazas de erosión; en general estas formaciones se localizan hacia el Occidente y a lo largo de los cauces del área de estudio (SGC Plancha 323- Neiva, 2014).

En esta unidad los suelos se sitúan en alturas menores a 1000 msnm que corresponden a las formaciones vegetales de bosque seco tropical. Las unidades se localizan principalmente en el valle geográfico del Río Magdalena y sus afluentes. Dentro de este paisaje se encuentran como tipos de relieve las vegas, terraza y taludes que se formaron a partir de aluviones de variada granulometría.

La topografía del terreno correspondiente al tipo de relieve de vega es por lo general plana a ligeramente ondulada, con pendientes que oscilan entre 0-3-7 %, en ocasiones fácilmente encharcables. Sobre algunas terrazas que han sido labradas sobre materiales detríticos de rocas volcánicas que ocupan niveles planos ligeramente erosionados, cuyos suelos son superficiales a muy superficiales, imperfecta a bien drenados, de textura arcillosa,

Estos suelos ocupan en el municipio de Campoalegre 12.116,86 Ha que representa el 26.17% de la superficie total. Espacialmente se localizan en las veredas de Llano Sur, La Vuelta, Horizonte, Vega de Oriente, La Esperanza, Llano Norte, El Rincón, La Sardinata, Bejucal Bajo y Piravante Bajo (PBOT, 2017).

GEOMORFOLOGÍA DE PIEDEMONTES

Estas geoformas están ubicadas a menos de 1000 m.s.n.m y a la extremidad de las estribaciones de la cordillera oriental, en visión intermedia entre las superficies planas del Valle del Magdalena y las laderas del paisaje de montaña, en las formaciones de bosque seco tropical y muy seco tropical.

Estas áreas pueden variar en relieve desde lo plano a inclinado hasta lo fuertemente quebrado y moderadamente escarpado en las disecciones, con superioridad de las pendientes entre el 10 y el 20%, estas están frecuentemente afectados por procesos de escurrimiento difuso y concentrado y erosión ligera a muy severa. Esta zona está conformada por una asociación de relieves de glacis, colinas, lomas, abanicos y conos, vallecitos estrechos, escarpes y taludes.

Los denominados suelos de Glacis de Erosión se caracterizan por un relieve con topografía plana a inclinada y su posición al pie de la vertiente del río Neiva de donde provienen los coluviones.

GEOMORFOLOGÍA DE LOMERÍO

Esta geoforma se encuentra localizado a menos de 1000 msnm y corresponde de acuerdo con Holdridge a los tipos de relieve de colinas, lomas y depresiones ligera a fuertemente quebrados y en ocasiones hasta escarpado, con pendientes comprendidas entre 10-20-50%, así como también se pueden encontrar relieves más suaves en las cimas de las lomas y en algunas depresiones.

Los materiales sobre los cuales se han originado los suelos se componen de areniscas calcáreas, conglomerados y materiales detríticos. Los suelos son muy superficiales poco a medianamente evolucionados y generalmente estos suelos se hallan afectados por procesos de erosión ligeros a severos. Estos suelos ocupan un área de 1516,01 Has que son el 3,27% del municipio de Campoalegre.

GEOMORFOLOGÍA DE MONTAÑA

Estas geoformas de montaña son de origen volcánico y es el que presenta menor ocurrencia en el área de interés. Las geoformas presentes son producto de la actividad volcánica, la cual incluye erupciones efusivas, además de aquellas geoformas generadas por acumulación de la remoción de productos volcánicos. La actividad volcánica se debe a la acción de procesos endógenos, los cuales ocurren en el interior de la corteza terrestre y dependen de las fuerzas internas de La Tierra (SGC Plancha 345-Campoalegre, 2014). Los procesos de origen volcánico que se encuentran en la zona corresponden principalmente a flujos laháricos; estos se encuentran hacia el Occidente del área de estudio

Como se observó en el análisis anterior, se puede decir que las geoformas de mayor incidencia al momento de las inundaciones son los valles aluviales y el piedemonte, esto lo podemos corroborar con las pendientes que se encuentran en estas zonas, donde a continuación se hará un mapa más detallado.

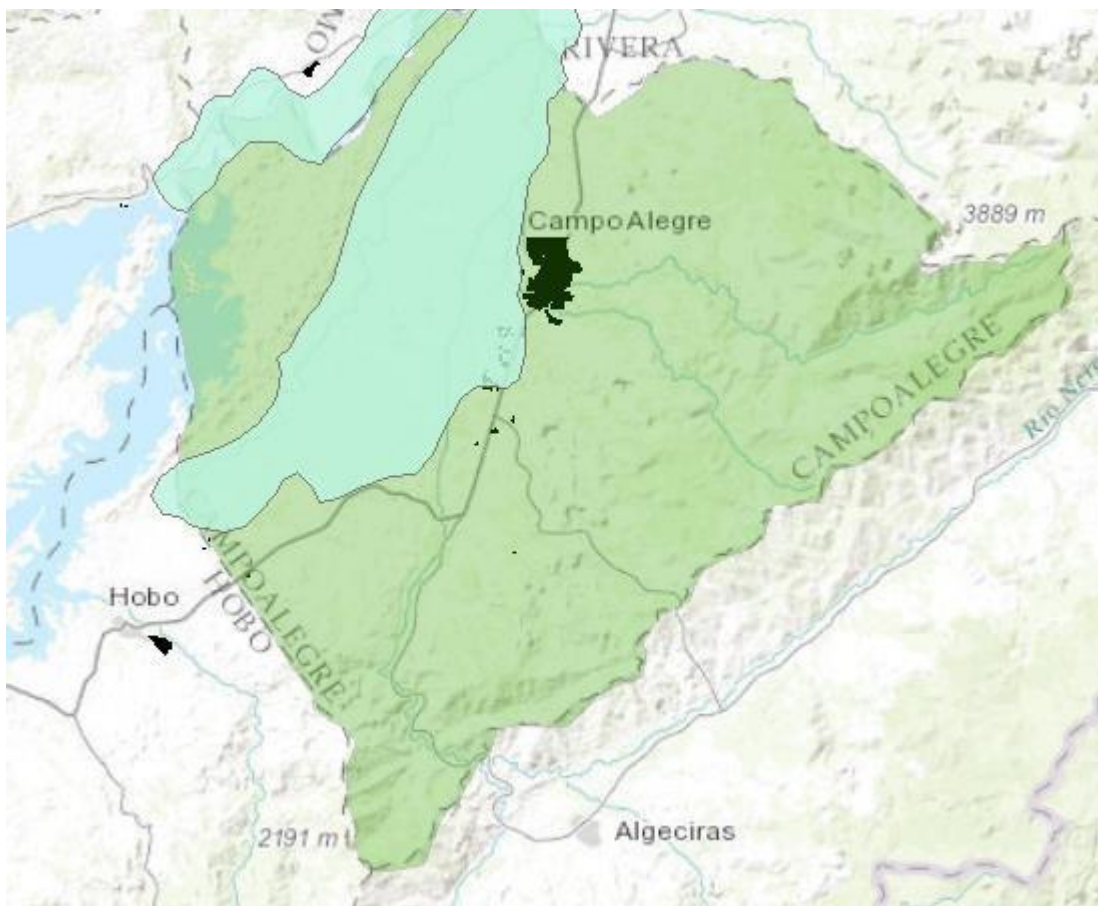
AMENAZA DE INUNDACIONES

Esta amenaza es de origen hidro climático, los desbordamientos son eventos que suceden principalmente en tiempos de lluvia originando crecida de ríos y quebradas que afectan a los cultivos, viviendas e infraestructura. Esta amenaza se valora especialmente en zonas planas con pendientes suaves que varían entre 0 y 15°, correspondiente en su mayoría a los sectores ubicados en las márgenes de las quebradas, también en los cambios de dirección de los afluentes y en cercanía a estructuras hidráulicas insuficientes. Están sujetos principalmente a depósitos aluviales que en geomorfología serían en canales activos, llanuras de inundación, y terrazas bajas principalmente.

Las zonas inundables pueden permanecer varios años sin sufrir este fenómeno ya que dependen de los periodos de recurrencia de las crecientes máximas. El resultado de las inundaciones implica en muchos casos pérdidas de vidas humanas y daños en infraestructura según la magnitud e intensidad del evento. Las condiciones topográficas, la dominancia de materiales finos que son de características litológicas que induzcan baja permeabilidad en las capas infrayacentes y un nivel freático alto conforman las características propias de un área inundable (Flórez y Suavita, 1997).

En el municipio de Campoalegre, la amenaza por inundación se muestra, en los sectores aledaños al Río Magdalena, Quebrada Las Sardinata, Río Neiva, Quebrada La Ciénaga, Quebrada Otas, Quebrada Las Tapias, Quebrada Caraguaja, Quebrada San Isidro, Quebrada Río Frio. Estos fenómenos no son de gran concurrencia ya que en dichas zonas son muy pocas las viviendas construidas y el caudal del río Magdalena está regulado por la operación del embalse de Betania. Se hacen aún más evidentes este tipo de fenómenos de inundación cuando hay fuertes precipitaciones, que hacen que aumente el caudal de las fuentes que discurren de la zona montañosa y en la parte de menor pendiente en la zona de piedemonte, tienden a desbordarse inundando las áreas aledañas (PBOT Campoalegre 2017).

Figura. 5 Zonas susceptibles a inundaciones en el municipio.



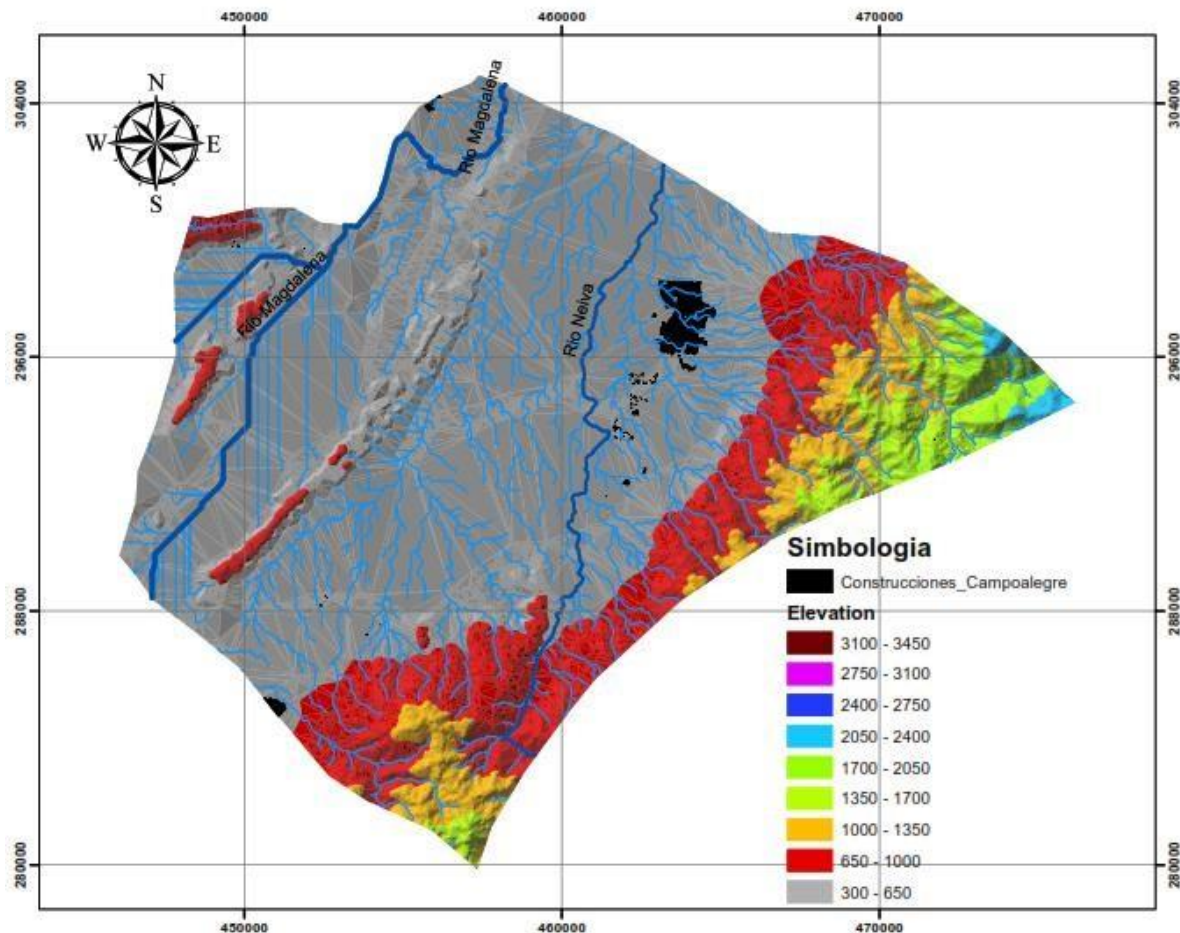
Nota: Fuente (Shape PBOT, 2017)

Para el presente trabajo se realizó el mapa de amenaza que también incluye la zona de inundación asociada a las principales fuentes hídricas de Campoalegre, elaborado mediante criterios geomorfológicos y rasgos de recientes inundaciones con ayuda de la imagen de Google Earth. Si bien este criterio de demarcación geomorfológica no es un criterio de probabilidad, sino un criterio físico, que involucra un área, es importante saber los cambios topográficos, litológicos y las tipologías de los suelos, esto brinda una localización cierta de todas las áreas que han sido afectadas por inundación en el pasado reciente, lo mismo que de aquellas que no lo han sido y que por la dinámica del río están fuera del alcance de las aguas de inundación.

RESULTADOS

Para el desarrollo de las cuencas y en especial la del Rio Neiva que es en la que más presenta amenaza de inundaciones se hace uso de las herramientas del software ArcMap. En la figura 9 se representan el resultado de esta modelación en cuanto a la elevación del municipio.

Figura. 6 Mapa de Elevación y Cuencas Principales de Campoalegre.



Nota: Fuente Propia (DEM, 2020).

Se calculan de los parámetros morfométricos de la cuenca del rio Neiva, ya que la cuenca del rio Magdalena no presenta amenazas de inundación porque su cota máxima está controlada por el embalse de Betania el cual regula su cauce y hace que la probabilidad de ocurrencia del fenómeno sea muy baja, esto para obtener información detallada acerca del funcionamiento hidrológico de esta, estos parámetros se obtuvieron con ayuda de la herramienta “Hydrology” de ArcGIS. En la tabla 5 se presenta un resumen de los cálculos obtenidos.

Tabla 5 Parámetros del Rio Neiva en el Municipio de Campoalegre.

PARAMETROS	VALOR	UNIDADES
Área	228,51	km ²
Perímetro	191,09	km
Cota Mínima	479	msnm
Cota Máxima	3282,2	msnm
Longitud	25,30	km
Pendiente media del cauce	3	%

Nota: Fuente Propia (DEM, 2020).

El cálculo de los parámetros como el área y el perímetro, son importantes ya que son los insumos para posteriormente estimar otras variables morfométricas, el área se vincula con la cantidad de precipitación que puede recoger la cuenca, en este caso arrojo un resultado de 228,51 km², además el área en conexión con el perímetro que es de 191,09 km revela la forma de la cuenca y definiendo así una cuenca ligeramente alargada, y con poca probabilidad de generar grandes crecidas, también nos dice que por su forma alargada predomina una zona de bajo relieve. Las descargas son de menor volumen debido a que el cauce de agua principal es más largo que los cauces secundarios y los tiempos de concentración para eventos de precipitación son distintos (Córdova, 2016).

GREGORY y WALLING (1973) señalaron que cuanto más redonda es una cuenca más retardo existe entre el momento de precipitación y el momento de crecida en la desembocadura, pero al mismo tiempo, más acusada y súbita es la misma crecida, y por tanto más alto el riesgo de inundaciones (SALA y GAY, 1981). De modo que cabe esperar que apenas se den crecidas repentinas en ningún cauce de la red de drenaje, y por tanto sean muy escasas las crecidas relámpago, predominando las crecidas de valle, que son bastante previsibles (Matauco, 2004).

Con esta información de la morfología del río se puede hacer una primera idea de lo que se espera de una inundación por la dinámica del río, pero como el factor más importante a evaluar es la geomorfología alrededor de la cuenca del río Neiva, es importante describir las unidades que tienen injerencia alrededor de ella para tener una mayor comprensión del impacto que tienen esta al momento de producir una inundación y como el fenómeno se potencializa con cada geoforma

PENDIENTES

El mapa de pendientes es una variable cuantitativa y continua, derivada del modelo digital de elevación (DEM). Los rangos de pendientes que se emplean en esta variable corresponden a los rangos de inclinación de laderas propuesto por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2018).

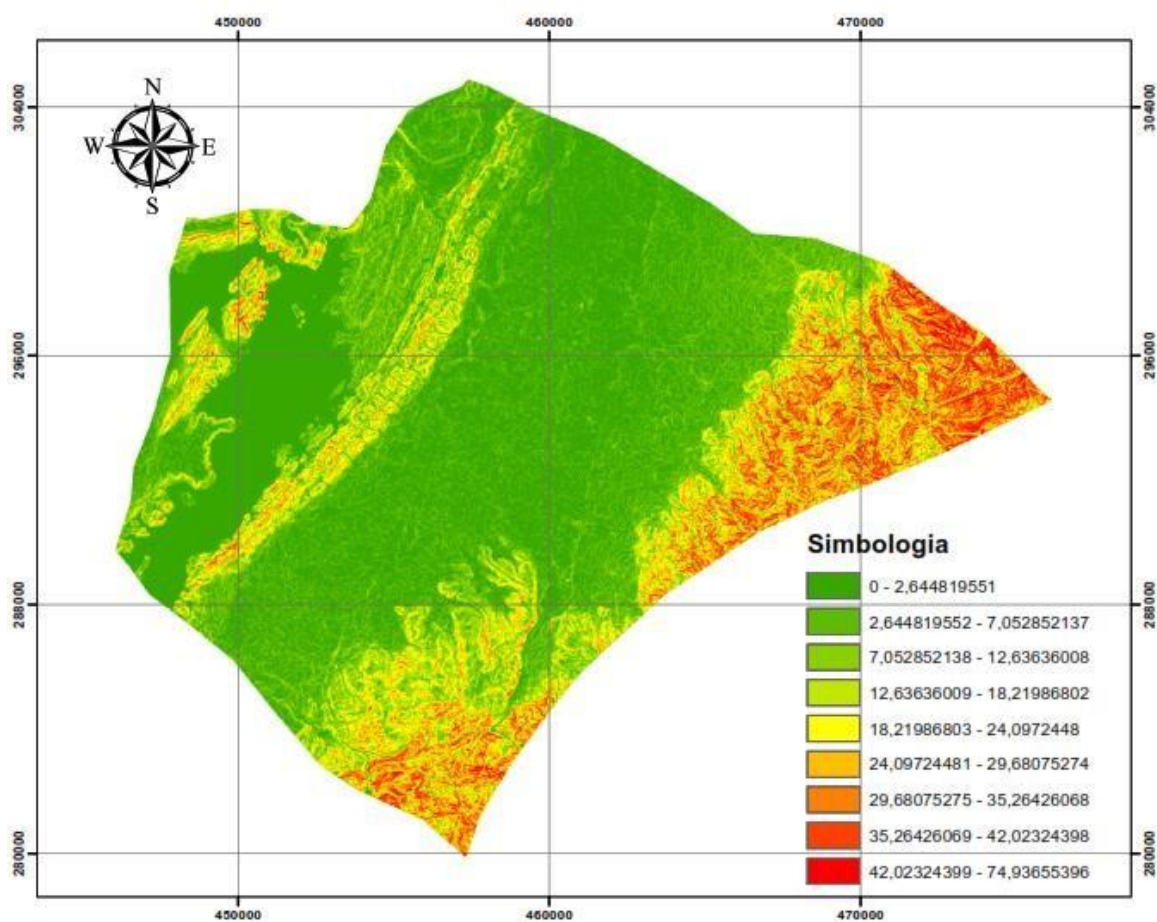
Tabla 6 Rangos de Pendientes.

Valor de la Pendiente (%)	Descripción
0 - 3	Plana
3 - 10	Muy Suave
10 – 25	Suave
25 – 40	Moderada
40 – 60	Alta
60 - 100	Muy alta
>100	Escarpada

Nota: Fuente de consultoría Colombia (2018).

Para el área de influencia como se observa en la tabla 6, predominio de pendientes generalmente planas a ligeramente ondulada empinadas (0-7%), seguido de pendientes inclinadas hasta fuertemente quebradas y moderadamente escarpada en las disecciones (8-25%).

Figura. 7 Mapa de Pendientes de Campoalegre.



Nota: Fuente Propia (DEM, 2020).

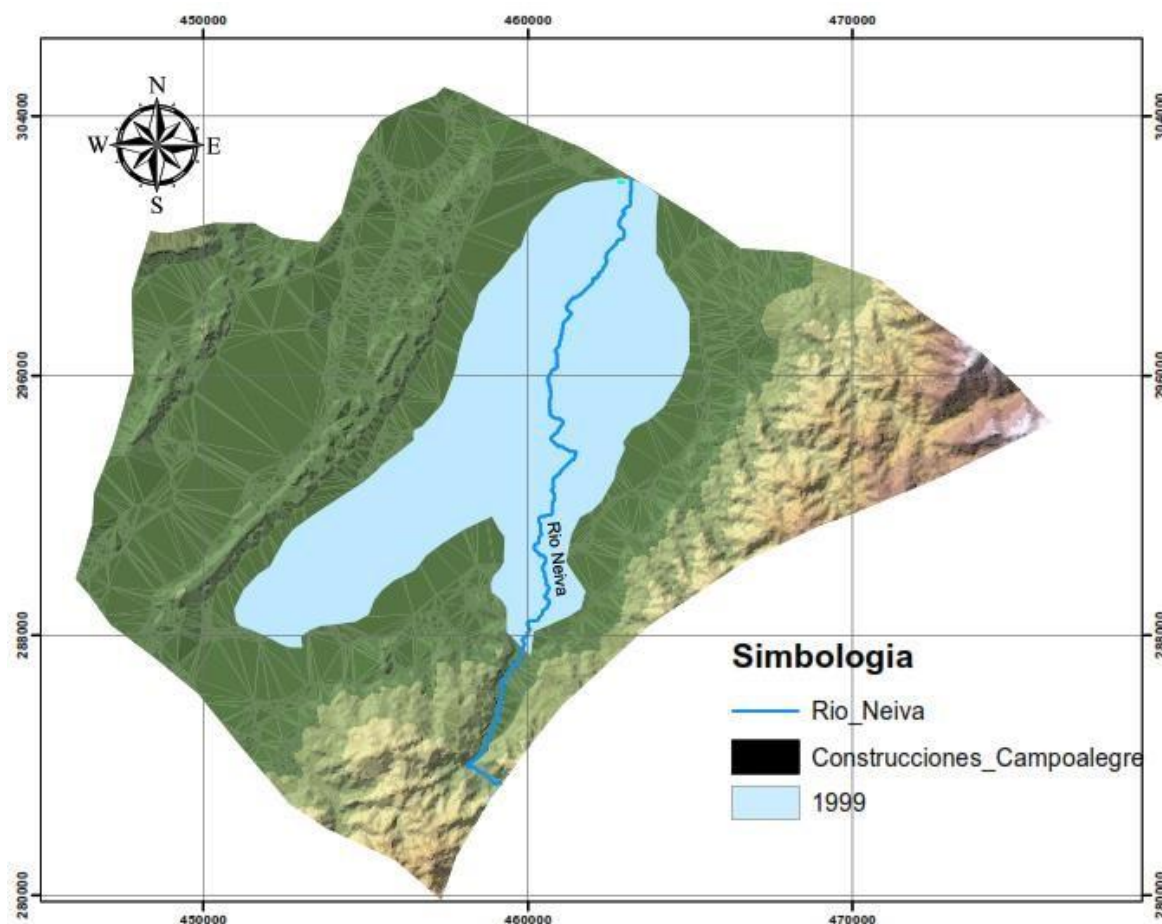
Una vez calculadas las pendientes de la zona de estudio, se puede observar que la mayor parte de los costados del río Neiva se encuentra rodeado de geoformas aluviales con pendientes de 0 a 7 % lo cual indica que en una inundación estas no serán capaz de contenerlas por lo cual va a seguir hasta encontrar inclinaciones más elevadas en donde la cota de inundación no pueda ser rebasada, la cual de manera natural será las geoformas de origen piedemonte las cuales tienen pendientes de hasta 25% y se encuentran al lado oriental del municipio, al costado occidental se encuentran las formaciones geológicas de la serranía del seboruco, por lo cual tenemos una formación en forma de valle que explica una potencial amenaza para una inundación.

MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

Se estimó el parámetro de amenaza mediante la geomorfología, modelo de elevación digital del terreno e Identificación de las zonas inundables e inundadas que corresponden al registro de eventos. Para la zonificación de la amenaza se emplean cuatro categorías: Muy alta, alta, media y baja, teniendo en cuenta principalmente los parámetros de pendientes que están asociados a las características geomorfológicas que es en la que se basa el presente proyecto.

Como primer paso se hacen uso de los registros de eventos de inundación en el municipio, que principalmente fueron 3 y serán mostrados a continuación en el mapa del municipio. Para El primer evento mostrado en la figura 11, se identificó la inundación que ha abarcado mayor zona en el municipio con un área de 7654,4 Ha y con porcentaje de afectación del 34,2% del municipio.

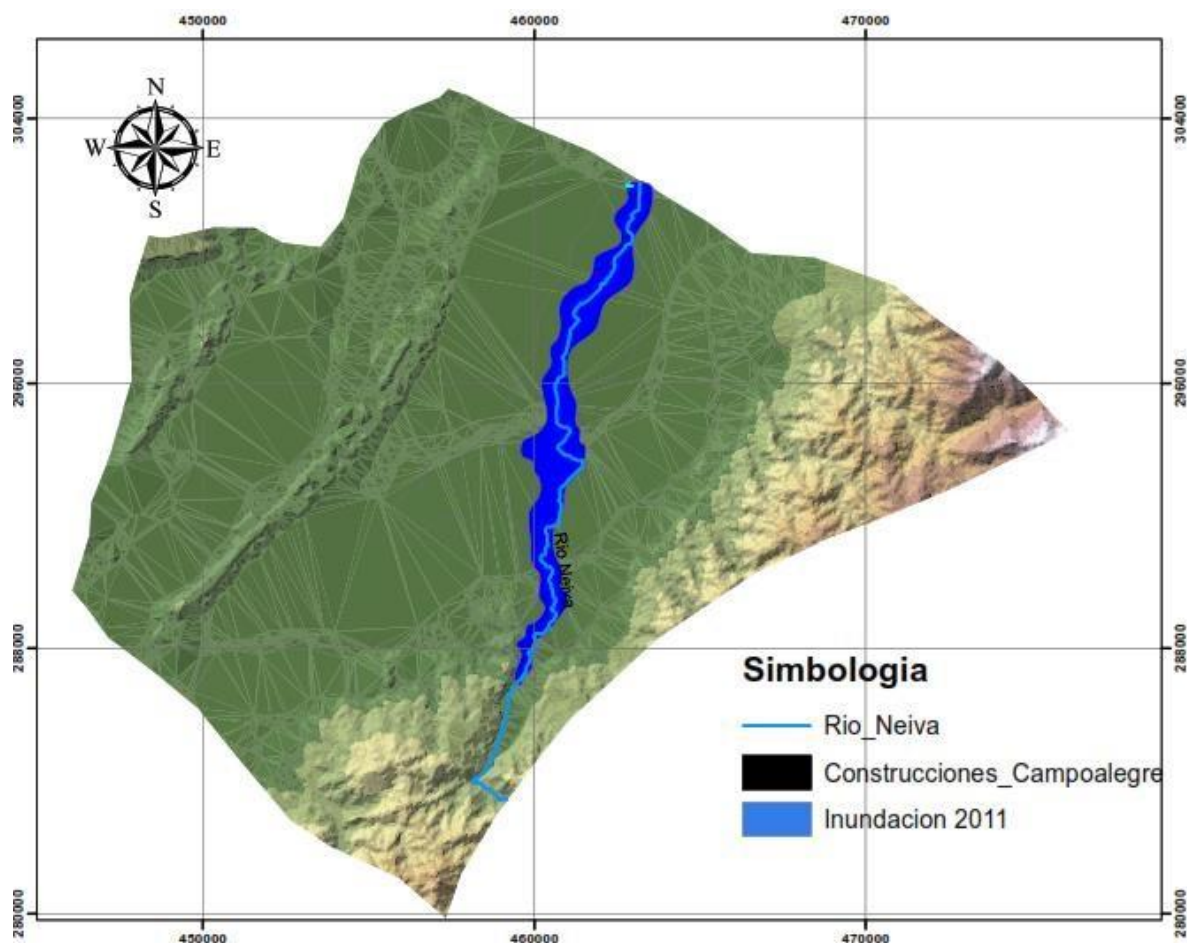
Figura. 8 Zona de registro inundación 1999 en el municipio.



Nota: Fuente IDEAM (DEM, 2020).

Para el segundo evento histórico de inundación de la figura 12 se registró en el año 2011 y fue debido a una variación del evento de la niña con un área de 892,3 Ha con porcentaje de afectación del 9,4% del municipio.

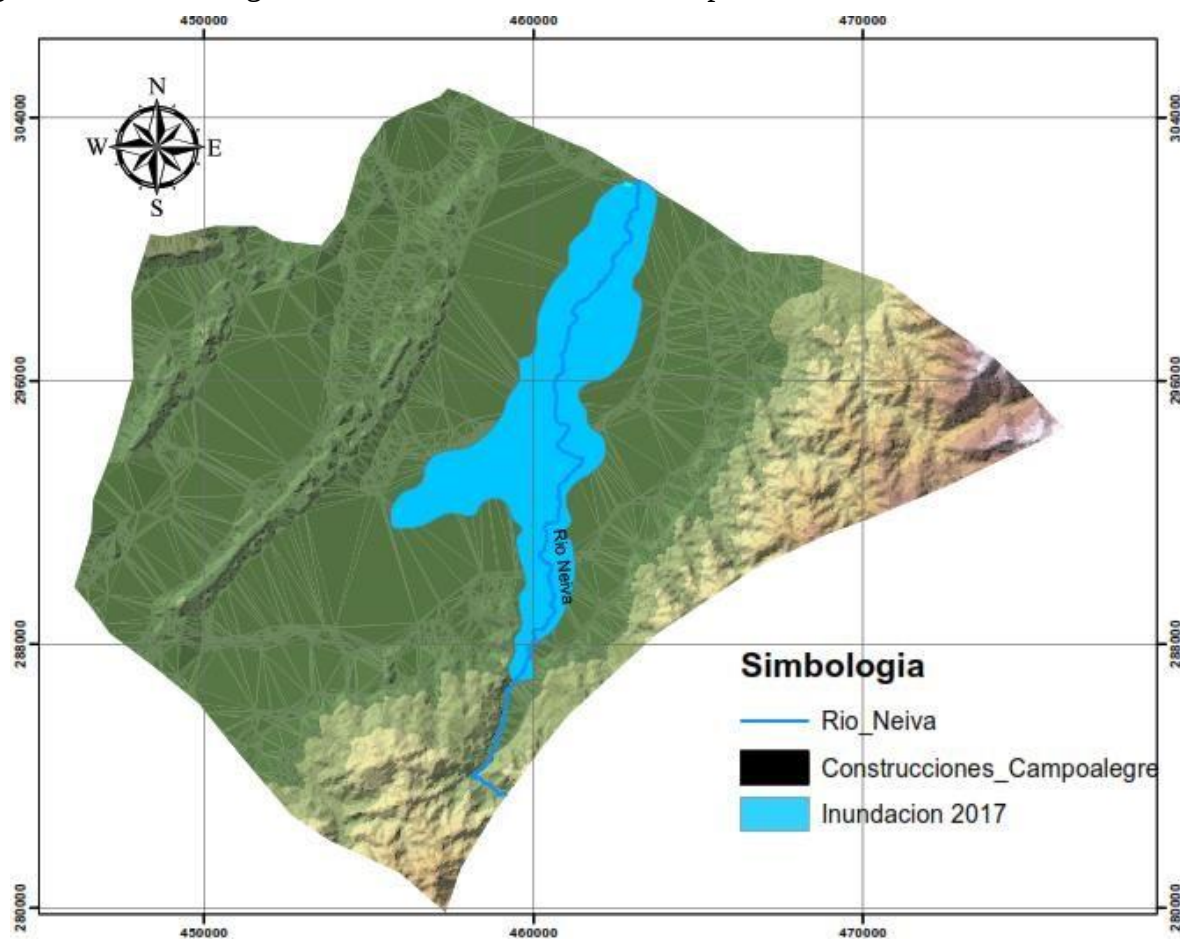
Figura. 9 Zona de registro inundación 2011 en el municipio.



Nota: Fuente IDEAM (DEM, 2020).

Para el año 2017 se presentaron los eventos que llegaron a afectar hasta el casco urbano de Campoalegre con un área de 4760,4 Ha y un porcentaje de afectación del municipio de un 17,4 %.

Figura. 10 Zona de registro inundación 2017 en el municipio.



Nota: Fuente IDEAM (DEM, 2020).

Estos registros nos permiten tener una idea clara de hasta donde llegan y como se han comportado las inundaciones a lo largo de los eventos presentados, para compararla ahora si con el mapa de amenaza realizado por ArcGIS. Este se realizó de acuerdo con la revisión de información, la metodología para la evaluación de la amenaza a usar es el análisis multicriterio (García, 2008), debido a que este es de tipo semicuantitativo y heurístico.

La evaluación multicriterio es un conjunto de operaciones para lograr un objetivo, que en este caso es la determinación de la amenaza, teniendo simultáneamente en consideración todas las variables que intervienen (Barredo-Cano, 1996). Este método es considerado especialmente útil para la evaluación de las amenazas en distintas escalas (1:10.000, 1:25.000 y 1:50.000), en zonas donde no se dispone de datos geotécnicos o hidrogeológicos para la aplicación de métodos determinísticos (Hervás et al., 2002). Para hacer uso de la evaluación multicriterio se requiere

del Método AHP (Analytic Hierarchy Process), el cual realiza una jerarquización de los criterios a evaluar, determinando así, las variables de alta preferencia, donde los principios empleados para desarrollar la evaluación de los componentes del modelo jerárquico de acuerdo con Saaty (1987). Construcción de las jerarquías: donde el problema es descompuesto en elementos constituyentes, o en las partes que lo componen. Establecimiento de prioridades: asignar la importancia relativa o prioridad a cada elemento de la matriz de comparación de pares, para asignar dicha importancia se usa la escala de Saaty representada en la tabla 7.

Tabla 7 Clasificación de prioridades para el método AHP.

Tipo	Importancia	Característica
1	Igual importancia	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
2	Moderadamente más importante un elemento que el otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
3	Fuertemente más importante un elemento que en otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
4	Importancia extrema de un elemento frente a otro	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.

Nota: Fuente Saaty (1994).

Para generar la matriz A, es necesario realizar las comparaciones entre las variables definidas, siendo W_i el peso dado al elemento (i). Para el elemento W_{ij} , si $i=j$ el valor será igual a 1, ya que se está comparando el elemento consigo mismo. Además, se cumple que $W_{ij} * W_{ji} = 1$. Por tanto, $W_{ij} = (1/W_{ji})$. A continuación, se presenta en la siguiente ecuación donde se evidencia la estructura de la matriz de comparaciones pareadas.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & w1/w2 & \dots & w1/wn \\ w2/w1 & 1 & \dots & w2/wn \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ wn/w1 & wn/w2 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Seguido a esto, es necesario realizar la normalización de la matriz, debido a que el rango de valores finales de cada parámetro es diferente. Para ello se divide cada elemento de la matriz entre la suma de todos los elementos de la columna j de dicha matriz, el método AHP permite calcular una razón de consistencia para establecer si los resultados del método son consistentes, para ello esta razón, por ningún motivo debe superar el 10%. Se dice que la matriz A es consistente si y sólo si $AW = nW$. Donde W es un vector columna de pesos relativos que se obtiene con el promedio de los n elementos de la fila en la matriz normalizada que se presenta en la siguiente ecuación.

$$\begin{bmatrix} 1 & w1/w2 & \dots & w1/wn \\ w2/w1 & 1 & \dots & w2/wn \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ wn/w1 & wn/w2 & \dots & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} w1 \\ w2 \\ \vdots \\ wn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} nw1 \\ nw2 \\ \vdots \\ nwn \end{bmatrix} = n * \begin{bmatrix} w1 \\ w2 \\ \vdots \\ wn \end{bmatrix}$$

Para medir la razón de consistencia, se utiliza la siguiente ecuación, donde RC= razón de consistencia, I.C. = índice de consistencia y I.A. = índice aleatorio.

$$R.C. = \frac{I.C.}{I.A.}$$

Para calcular el índice de consistencia se utiliza la ecuación siguiente, donde n máximo es el máximo valor propio de la matriz de comparaciones y se calcula.

$$I.C. = \frac{n_{max} - 1}{n - 1}$$

$$n_{max} = AW^T$$

El índice de consistencia aleatoria se obtiene de la tabla 8, de acuerdo con el número de elementos a comparar y es propuesta por García (2012).

Tabla 8 Índice de consistencia aleatorio.

Tamaño de la Matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IA	0	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Nota: Fuente García (2012).

Una vez calculados los pesos relativos W y comprobado la razón de consistencia del método, se procede a introducir los pesos relativos a ArcGIS para la generación del mapa de amenaza.

Una vez obtenidos los coeficientes de importancia de las variables que son la geomorfología, zonificación hídrica y pendientes, se hará uso de la herramienta “álgebra de mapas” del software ArcMap, multiplicando las capas reclasificadas de los anteriores factores, con sus coeficientes de importancia. Este mapa permite la interrelación de dichos factores identificando las zonas más amenazadas, arrojando valores que varían de 1 a 4. Los niveles de amenaza se representan en la tabla.

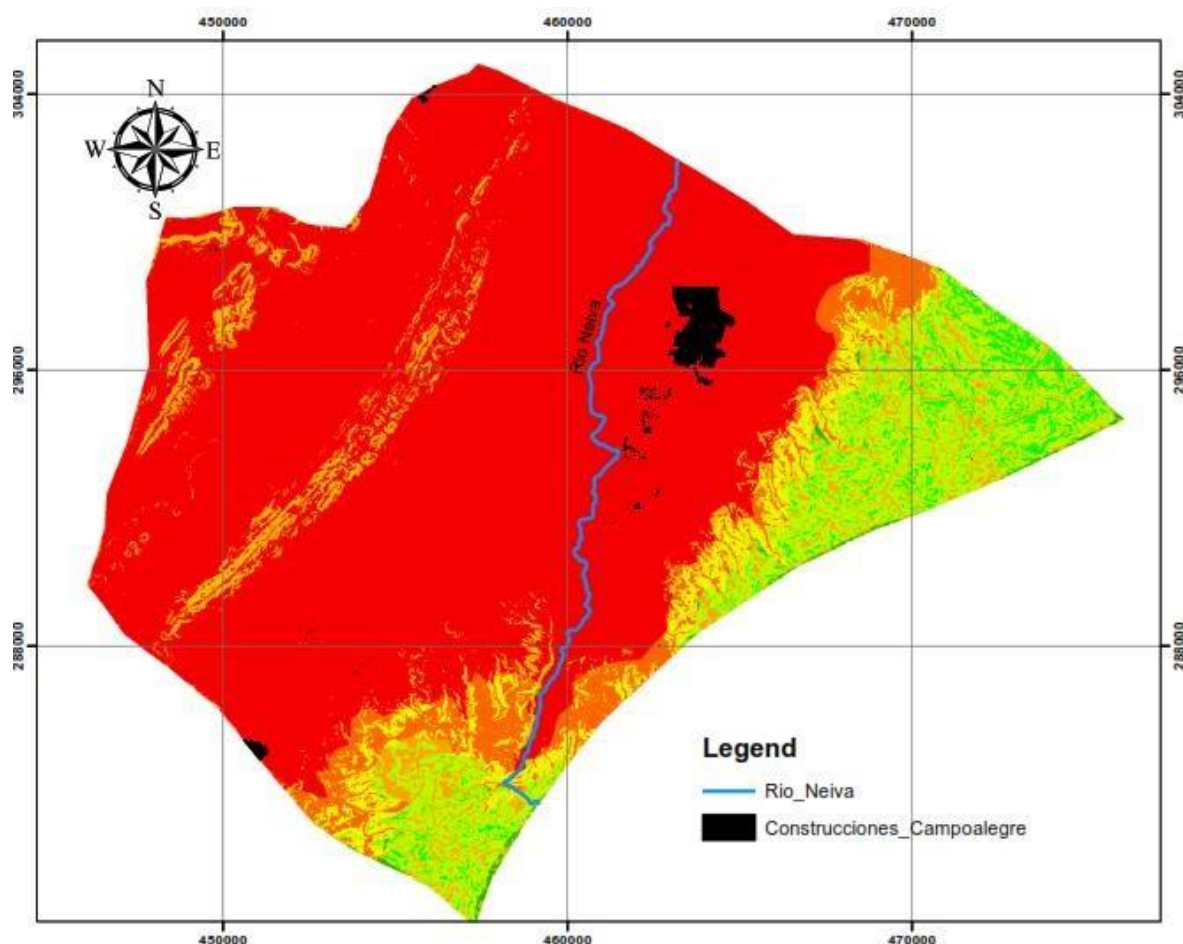
Tabla 9 Clasificación de las variables para el método AHP.

Clase	Importancia	Características
1	Baja	Sectores con pendientes muy empinadas y donde se presenten la geoforma “montana” que es la que menos injerencia tendrá, así como en la zonificación hídrica estarán el río Juagara y juncal.
2	Media	Sitios donde predomina las geoformas de “lomerío” y su porcentaje de pendientes no supera el 30%, esta solo se encuentra en el margen oriental del municipio por lo que tiene injerencia el río Neiva.
3	Alta	Sectores donde se encuentra la geoforma “piedemonte” y sus pendientes no son mayores a 15%, en esta tienen injerencia las dos fuentes hídricas más grandes que son el Magdalena y el río Neiva.
4	Muy alta	Probabilidad de inundación muy alta en donde se encuentra la geoforma “valle aluvial” y su pendiente no es mayor al 7% y donde tiene injerencia el río Neiva

Nota: Fuente Propria.

Con lo anterior se obtiene ya la reclasificación de 1 a 4 de cada factor que se va a analizar y el resultado final de la matriz en donde haciendo uso de la herramienta algebra de mapas mencionada anteriormente da como resultado el mapa representado en la figura 11.

Figura. 11 Mapa de Amenaza Relativa del Municipio de Campoalegre.



Nota: Fuente IDEAM (DEM, 2020).

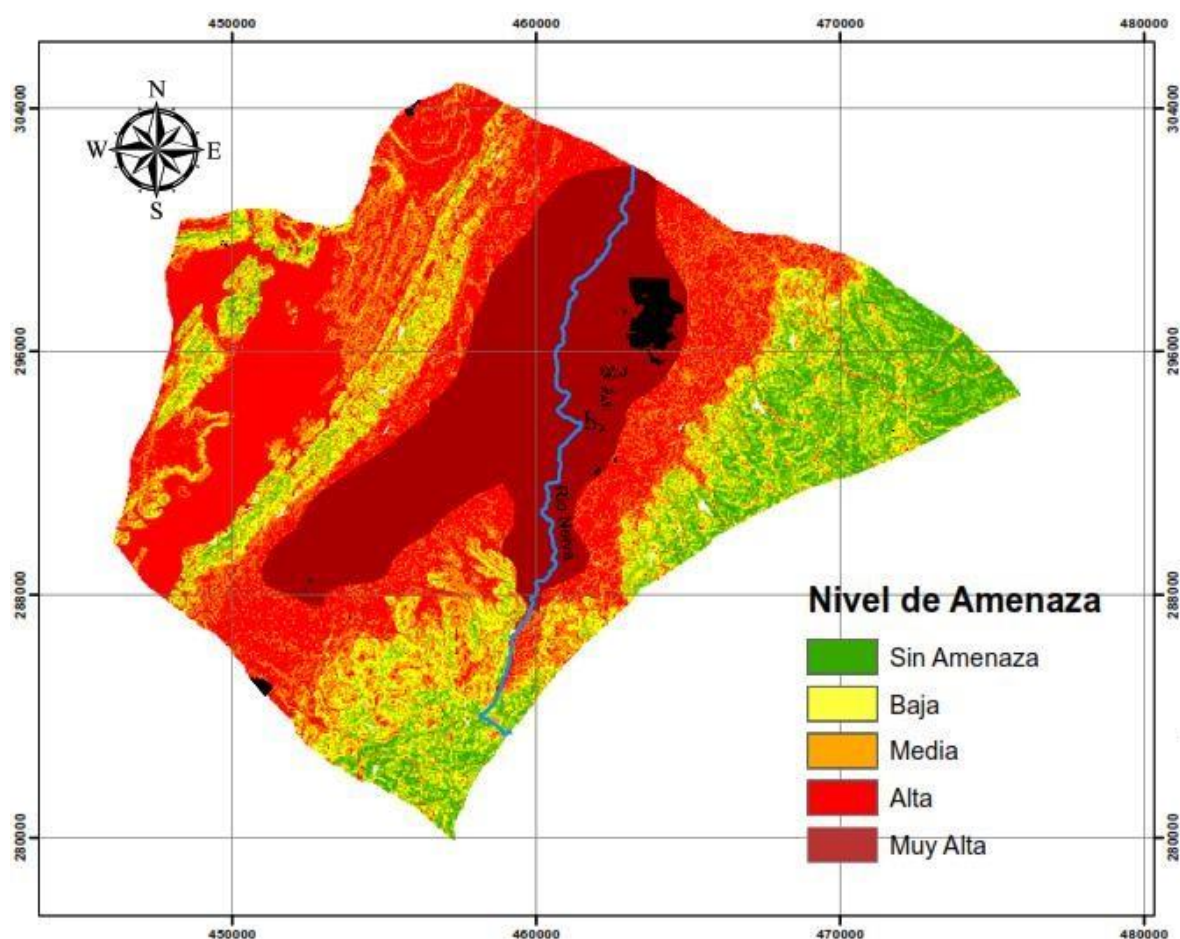
Según el mapa de amenaza (Figura 14), se observa que las zonas rojas (amenaza muy alta y alta) se concentra en el área rural de la cuenca y en menor medida en el casco urbano del municipio de Campoalegre, esta área corresponde a la formación geomorfológica de valle aluvial y en menor medida a las zonas de piedemonte donde es predecible que estos flujos que pasan por esta geoforma sean de tipo torrenciales, que una vez pasan la zona montañosa en donde el cauce está bien definido en forma de V, tienden a inundar zonas aledañas, validando la matriz donde se representó con mayor amenaza el área de injerencia del río Neiva combinado con la geoforma valle aluvial y piedemonte y su pendientes de no más del 7%, este se parecería mucho al mapa de la figura 7 que corresponde a la geomorfología del municipio lo cual valida el problema planteado de como la geomorfología potencia el fenómeno de las inundaciones, ya que al ser el valle aluvial una

geoforma con pendiente insuficientes potencia el fenómeno afectando a más del 65% del municipio.

También afectan a algunas veredas de la zona, las cuales fueron las que más afectaciones tuvieron en el último evento representado en la figura 13, así como la amenaza por inundación en el costado occidental del municipio también se presenta como alta, pero se debe a que en la zona también se presentan formaciones geomorfológicas de valle aluvial, pero la zona se ubica en el embalse de Betania el cual el riesgo de inundación es casi nulo por lo que su caudal y su cota están controladas por el mismo embalse.

Como siguiente paso se hace la combinación de los dos mapas anteriormente mencionados, tomando la combinación de los 3 registros históricos y el mapa de amenaza relativa que se realizó en ArcMap, donde se muestran 4 zonas de amenazas mostrando que la principal amenaza se encuentra en todo el valle aluvial y en donde con estudio de más a detalle al nivel del río Neiva se podrían encontrar subdivisiones geomorfológicas como terrazas o valles aluviales recientes dejados por el río. Por otro lado, la amenaza alta por inundación también corresponde a la zona donde existen huellas o vestigios hasta donde han llegado flujos de agua y sedimentos producto de las crecientes.

Figura. 12 Mapa de Amenaza Combinada del Municipio de Campoalegre.



Nota: Fuente IDEAM (DEM, 2020).

La combinación de estos dos mapas da como resultado las zonas que mas son propensas a una eventual inundación, analizada desde el punto de vista de la geomorfología y los registros de eventos más importantes que han sucedido en el municipio. Este mapa es diferente al que se presenta en el PBOT del municipio, exactamente *CG02 de amenaza de inundación*, en el cual la determinación de las áreas afectadas por inundación se hace a través de métodos determinísticos que incluyen información de precipitación mediante las cuales se obtienen caudales esperados para varios pedidos de retorno, teniendo en cuentas las características de cada cuenca entre otras: cobertura, pendiente, suelos.

En este nuevo análisis se tiene en cuenta la geomorfología de todo el municipio con registro de eventos históricos, que es algo que no se tiene en el municipio y da cuenta a un nivel macro y no de cauce por cauce como lo tiene en estudios el municipio del nivel de amenaza que representa las inundaciones en cada fuente hídrica que tiene el municipio cerca de un centro poblado.

ZONAS AMENAZADAS

Es importante tener en cuenta que aparte del río Neiva, las subcuencas y áreas de drenaje de esta como las asociadas a las quebradas El Volcán, La Sardinata, San Isidro, La Caraguaja, Las Tapias y Otas, también han presentado fenómenos de desbordamiento afectando la infraestructura Vial a través de la troncal del Magdalena, la cual pasa por Neiva, Campoalegre y se dirige hacia el sur del país, así como también se han visto afectados los cultivos en el municipio de Campoalegre.

Otro sitio de importante amenaza es el centro Poblado Rio Neiva se localiza al sur de la zona urbana de Campoalegre, sobre la margen izquierda de la vía al sur, a una distancia de 6 Km, sobre la vereda Rio Neiva. Este centro poblado presenta un trazado ortogonal, ocupa un área de 70.64 Has, en él se encuentran 80 viviendas.

Figura. 13 Imagen satelital del centro Poblado de Rio Neiva.



Nota: Fuente de Google Earth

También se encontraron varias viviendas construidas en ladrillo a orillas del Río Neiva aproximadamente a 15 metros de distancia, las viviendas se encuentran a tan solo unos 2 metros de altura del nivel de río la cual la hace vulnerable ante un eventual aumento del cauce del río.

Figura. 14 Imagen Satelital del centro Poblado Otás.



Nota: Fuente de Google Earth

Estos son los sitios donde se han presentado eventos de inundación en el pasado y donde existe mayor riesgo de afectación por la presencia de estructuras y cultivos que se localizan en el área de influencia del rio Neiva, se hace pertinente también dar unas recomendaciones ingenieriles para que en lo posible se logre minimizar los desastres que puedan causar las inundaciones en las zonas ya mencionadas anteriormente.

RECOMENDACIONES.

De acuerdo con el mapa de amenaza figura 11, existen diversas zonas con amenaza muy alta, lo anterior no significa que sea necesario intervenir la totalidad de dichas áreas, debido a esto, se proponen recomendaciones para las áreas susceptibles que pongan en riesgo vidas humanas, instalaciones de terceros y bienes e infraestructura los cuales se representan en el mapa y también hacer un nivel de estudio más a detalle para conocer las zonas de subdivisiones geomorfológicas en las márgenes del río Neiva.

Como primera recomendación es la implementación de una mayor planificación de asentamientos humanos y de obras de infraestructura marcadas por una concepción técnica integrada de la gestión del suelo y del agua en el ámbito urbano, la consolidación de un modelo institucional responsable por la rendición de cuentas a la sociedad, así como una declaratoria de reservas o de zonas ecológicas especiales y de protección para la mitigación y prevención de las inundaciones. También una mayor operación de la red de alertas tempranas hidrometeorológicas para disminuir su probabilidad de ocurrencia

Se plantea un muro de protección de orilla, y una infraestructura interna que detiene la erosión en las partes del afluente hídrico que están al lado de las viviendas mencionadas en el capítulo de *zonas de amenaza* y a su vez reduce la vulnerabilidad por inundación frente a las lluvias, intentar cambiar el cauce del río no es recomendable, la mejor opción si las soluciones anteriores no funcionan sería intentar reubicar a la población aledaña.

También se recomienda hacer uso del gavión en el caso de que el margen del río presente taludes peligrosos que con las inundaciones se inestabilicen presenten un potencial riesgo, el gavión permite el estado de equilibrio del cauce; además, evita el transporte de materiales, deslizamiento y derrumbe de márgenes ya que en la zona además de las inundaciones también presenta amenaza de avenidas torrenciales, inundaciones rápidas y flujo de detritos y, por otro lado, el gavión ayuda a las inundaciones porque controla las crecientes protegiendo a los valles aluviales y a las construcciones mencionadas anteriormente.

Se recomienda también los muros de contención, pero como su coste es elevado, solo se recomienda en áreas específicas donde el impacto de la inundación sea mayor o donde tenga más afectación a las construcciones. también se recomienda no cultivar dentro de la ronda hídrica para mantener y conservar de manera natural la ronda hídrica del río Neiva.

CONCLUSIONES

Producto del análisis de la información secundaria y del modelo digital de elevación, del municipio de Campoalegre, en la zona se determinaron cuatro grandes geoformas: Valle aluvial, Piedemonte, Lomerío y Montaña. Una de ellas relacionada con las zonas inundables como lo es el valle aluvial como se determinó en la figura 14, y las otras tres estarían relacionadas con las zonas no inundables.

La geoforma directamente relacionada con las zonas determinadas como de amenaza por inundación alta y muy alta, se denomina geoforma de Valle Aluvial, la cual puede presentar subdivisiones.

El análisis se centró en la zona de inundación de la cuenca del Río Neiva, dada la escala del estudio, y teniendo en cuenta que, en la zona occidental del municipio, su ubica una pequeña área que hace parte de la gran cuenca hidrográfica del Río Magdalena, pero esta zona está regulada por el embalse de Betania la cual no tiene amenaza de inundación.

El entendimiento del origen de las geoformas, en especial de la directamente asociada a los fenómenos de inundaciones del Municipio: el Valle Aluvial, tiene un origen que va de la mano de la dinámica del río. Por tanto, cuando el hombre no entiende estos procesos, que originan estas geoformas, las invade, construye sobre ellas sin ningún control y es allí, sobre estas infraestructuras, sobre estas viviendas, donde se producen las principales afectaciones generadas por las inundaciones.

La recopilación de información secundaria y datos relevantes para el estudio se dificultó debido a las condiciones de aislamiento y cierres prolongados de muchos de los entes gubernamentales regionales y locales, dinamizados por la pandemia, y obligó a un trabajo muy sensato de búsqueda de información en fuentes secundarias virtuales, algo escasas o desactualizadas. Debido a esta misma situación de cuarentenas prolongadas por casi año y

medio, no fue posible realizar al menos una visita de campo, para recolectar alguna información primaria, por tanto, el presente estudio está basado únicamente en fuentes secundarias.

A pesar de las amplias zonas del municipio detectadas como inundables, es decir cerca del 63,4 % del área del municipio es inundable, en la zona no se cuenta con un buen desarrollado de sistema de alertas tempranas, lo cual es preocupante, puesto que evidencia la falta de preparación por parte de los habitantes y el municipio para eventos de esta naturaleza, así como para eventos de inundaciones rápidas o avenidas torrenciales.

Las geoformas de Montaña y Lomerío, en las últimas décadas han presentado un creciente proceso de deforestación, debido al cambio de uso del suelo. Este aumento de áreas deforestadas en áreas de pendientes medias y altas, podrían estar modificando la capacidad de infiltración del agua de lluvia, lo que conduce a un aumento de la escorrentía superficial, y un gran aumento del caudal de los ríos en épocas de fuertes precipitaciones.

También los cambios en el uso de la tierra en áreas bajas o planas, como la expansión agrícola y el desarrollo urbano tienden a llenar, ocupar o cambiar el curso de ríos y arroyos, lo que limita su capacidad para amortiguar las inundaciones y los sedimentos. Estos cambios aumentan el riesgo de desastres porque en eventos extremos, el río intenta restaurar su espacio natural, lo que afecta cultivos y comunidades enteras.

De acuerdo con las características morfométricas obtenidas de la subcuenca (tabla 5), se determina que esta posee un nivel de drenaje fluvio torrencial moderado, capaz de movilizar los sedimentos aguas abajo, formando depósitos en forma de abanicos y terrazas los cuales por su características litológicas y su falta de cobertura vegetal hacen que las inundaciones permanezcan por más tiempo y no sean del tipo rápida, las cuales disminuirían el nivel de amenaza a los asentamientos humanos cercanos las márgenes del río Neiva.

En el territorio de Campoalegre se evidencio inundaciones constantes en el casco urbano y en zonas rurales, que, en esta última, aunque menos constantes se potencializan debido a la geomorfología del municipio.

Con el modelo de zonificación de amenaza se concluyó que el municipio, en su gran mayoría esta en zona de amenaza media y alta, en donde también afecta al casco urbano que en su mayoría son inundaciones y en el resto de este se ve afectada por inundación torrenciales, movimientos en masa y aludes, lo cual potencializa las inundaciones.

REFERENCIAS

Areiza, R. (2018). Millonaria demanda por los daños de la avalancha en Campoalegre. publicado en <https://www.lanacion.com.co/millonaria-demandapor-los-danos-de-la-avalancha-encampoalegre/>

Diario del Huila. (2017). Hechos más destacados en el huila durante el 2017. Retrieved Jul 17, 2020, de <https://www.diariodelhuila.com/hechos-masdestacados-en-el-huila-durante-el-2017>

Municipio, d. C. (2017). Plan básico de ordenamiento territorial., 2020, de <http://www.campoalegre-huila.gov.co/Transparencia/Paginas/Plan deOrdenamiento-Territorial.aspx>

Aniya, M. (1968). Landslides and mudflow in the sumiyoshi valley, mts. rokko, caused by the concentrated heavy rain in july, 1967. Human Geography, 20(4), 454-470. doi:10.4200/jjhg1948.20.454

Caicedo J, Morales J, Núñez A, Velandia F. 2001. geología de la plancha 345 Campoalegre escala 1:100.000, memoria explicativa.

Velandia F, Núñez A, Marquinez G. 2001. Mapa geológico del departamento del Huila. Memoria explicativa. 209 p. Bogotá.

INGEOMINAS, 2002 Memoria explicativa del mapa geológico a escala 1:300.000 del Departamento del Huila.

SGC. 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos de remoción en masa. Páginas 31-76. Colección de guías y manuales SGC, Colombia. ISBN: 978-95899528-5-6.

Betancourt. 2019. Guia metodológica para manejo de cuencas por medio de archivos DEM.

Páginas 1-31. Universidad Santo Tomas.

Mojica J, Franco R. 1990. Estructura y evolución tectónica del Valle Medio y Superior del Magdalena. U. Nal., Geol. Col., 17: 41-64. Bogotá.

FERRANDO, F., CUETO S. 1998 Carta De Riesgos Naturales: Inundación. En: Proyecto Regional Bases Para El Ordenamiento Territorial Ambientalmente Sustentable De La Región Metropolitana De Santiago. Segunda Etapa: Inventario Ecológico y Evaluación del Territorio. Págs. 117-126.

Ferreira, P., Núñez, A. & Rodríguez, M. (2002). Levantamiento Geológico de la Plancha 323 Neiva

Ávila, A. (2012). Simulación hidrológica Utilizando HEC-HMS como herramienta para estimar caudales máximos en la cuenca hidrográfica del Río Cali. Tesis de pregrado, Universidad del Valle, Cali, Colombia.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA CAM. INSTITUTO Geomorfológico (Erosión, Fenómenos de Remoción en Masa) e Hidrometeorológico (Inundación. Sequías) y Caracterización Geotécnica Preliminar de 33 Cabeceras Municipales para el Departamento del Huila. Neiva Huila 1999.

SGC Plancha 345-Campoalegre. (2014). MEMORIA EXPLICATIVA DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO APLICADO A MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

UNGRD, 2017. Unidad Nacional para la gestión del Riesgo de Desastres – Colombia. Base de datos Consolidado Anual de Emergencias, Bogotá D.C., Colombia

2009. Plan de emergencia especial por inundaciones. INUNCAT. Agencia Catalana del Agua. Barcelona: s.n., 2009

Aguilar, AM, Bedoya, G & Hermelin, M. 2008. Inventario de los desastres de origen natural en Colombia, 1970-2006. Limitantes, tendencias y necesidades futuras. (Artículo) Revista Gestión y Ambiente. Vol 11, no 1. 2008

Aristizabal, E & Yokota, Sh. 2006. Geomorphology applied to landslide occurrence in the Aburra Valley. Artículo Revisa Dyna, Vol. 73. Número 149. Universidad Nacional sede Medellín. Medellín: Redalyc, 2006. págs. 5-16.

Bonachea P, J. 2006. Desarrollo, aplicación y validación de procedimientos y modelos para la evaluación de amenazas, vulnerabilidad y riesgo debidos a procesos geomorfológicos. Tesis. Santander, España: Universidad de Cantabria. Departamento de Ciencias de la Tierra y Física de la Materia Condensada, 2006.
9788469035757.

Caballero, J. H., & Caupé, F. (2009). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el valle de Aburrá. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Córdova, M. (30 de abril de 2016). Prontubeam.com. Obtenido de Parámetros geomorfológicos de cuencas hidrográficas: http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=26

INGEOMINAS. (1989). Mapa Geológico generalizado del Departamento del Huila. Escala 1:400.000. Bogotá