

Zonificación de susceptibilidad de amenazas a escala 1:2000 por movimientos en masa e inundación a partir de las características geológicas, geomorfológicas y cobertura del suelo en el asentamiento 13 de Mayo en el municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander para su proceso de regularización y legalización.

Hazard susceptibility zoning at a scale of 1:2000 for mass movements and flooding based on geological and geomorphological characteristics and land cover in 13 de Mayo settlement in the municipality of San José de Cúcuta, Norte de Santander for its regularization and legalization process.

Javier Augusto Barros Cañón ^a; Nicolas Alexander Guzmán Montoya ^b

^a Facultad de Ciencias Básicas; Universidad de Pamplona; Colombia. E-mail: javier.barros@unipamplona.edu.co;

^b Facultad de Ciencias Básicas; Universidad de Pamplona; Colombia; E-mail: nicolas.guzman@unipamplona.edu.co

Correspondencia: autorresponsable@unipamplona.edu.co

Recibido: Noviembre 18, 2023. Aceptado: Noviembre, 2023. Publicado: Diciembre, 2023

Resumen

El municipio de San José de Cúcuta enfrenta desafíos en la gestión de amenazas y su vulnerabilidad debido a la escasa información disponible, que en algunos casos está en proceso de actualización en relación con los estudios de riesgo detallado en las áreas urbanas. Los estatutos reservados y el análisis del plan de ordenamiento territorial revelan un comportamiento estructural que involucra fallas, anticlinales, sinclinales y otras estructuras, desencadenando fenómenos naturales como inundaciones y fenómenos de remoción en masa (FRM) en la superficie terrestre. En este contexto, se llevó a cabo una investigación enfocada en el asentamiento humano 13 de Mayo, donde se realizó una zonificación por susceptibilidad de amenazas con el fin de facilitar el proceso de legalización y urbanización a través de análisis multitemporales, cartografía geológica, geomorfológica y evaluación detallada de unidades geológicas superficiales, así como el uso del suelo, cobertura y parámetros hidrológicos. Estos elementos se utilizaron para caracterizar las unidades superficiales y sirvieron como base para la elaboración de un algebra de mapas de zonificación de amenazas y evaluación de riesgo a una escala detallada de 1:2.000. Este enfoque metodológico sigue las indicaciones del Decreto 1077 del 2015 para la escala de los estudios básicos, de conformidad con las clases de suelo establecidas en la Ley 388 de 1997.; de manera que se interpreta y se analiza una clasificación general de los fenómenos por susceptibilidad de amenaza en un rango determinado (alto, medio y bajo) estipulados en las cartas generales para su proceso de zonificación.

Palabras clave: Fenómenos, Vulnerabilidad, Amenaza.

Abstract

The municipality of San José de Cúcuta faces challenges in the management of hazards and its vulnerability due to the scarce information available, which in some cases is in the process of being updated in relation to detailed risk studies in its urban areas. The reserved statutes and the analysis of the land use plan reveal a structural behavior involving faults, anticlines, synclines and other structures, triggering natural phenomena such as floods and mass removal phenomena (MRF) on the land surface. In this context, an investigation focused on the human settlement 13 de Mayo, where a zoning by hazard susceptibility was carried out in order to facilitate the legalization and urbanization process through multitemporal analysis, geological and geomorphological mapping and detailed evaluation of surface geological units, as well as land use, land cover and hydrological parameters. These elements were used to characterize the surface units and served as the basis for the elaboration of an algebra of hazard zoning and risk assessment maps at a detailed scale of 1:2,000. This methodological approach follows the indications of Decree 1077 of 2015 for the scale of basic studies, in accordance with the soil classes established in Law 388 of 1997.; so that a general classification of phenomena by hazard susceptibility in a given range (high, medium and low) stipulated in the general charts for their zoning process is interpreted and analyzed.

Keywords: Phenomena, Vulnerability, Threat.

1 Introducción

Las áreas con condición de susceptibilidad por amenaza se establecen en zonas del territorio municipal zonificadas como amenaza alta, media y baja; mientras que las áreas con condición de riesgo corresponden a las zonas clasificadas de amenaza que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos e infraestructura de servicios públicos. En el

Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Cúcuta actualizado y aprobado mediante el Acuerdo No. 022 de diciembre 19 del 2019, establece la necesidad de hacer estudios básicos detallados en las áreas con condición de amenaza y en las áreas con condición de riesgo cuyo objetivo principal será analizar las condiciones geomorfológicas de los asentamientos para comprender las amenazas naturales y contribuir al estudio. Los estudios básicos son aquellos que

se deben elaborar en los suelos de expansión urbana a escala 1:5000 y expansión rural a escala 1:25000 para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa; es por esto que entendiendo la necesidad de la alcaldía de la ciudad de San José Cúcuta, de conocer las condiciones geológicas y geomorfológicas de 14 asentamientos y como se relacionan con los fenómenos naturales de inundaciones y los movimientos de remoción en masa para la susceptibilidad de este sector. Con la finalidad de incluirlos en el plan de ordenamiento territorial municipal, se realiza un algebra generalizado a partir de las actividades a escalas 1:2000, correspondientes al análisis detallado de amenaza en el asentamiento 13 de Mayo. Para estos fenómenos por remoción en masa se tuvieron en cuenta insumos de cartografía, unidades geológicas superficiales, la geomorfología a nivel de elementos, los análisis hidrogeológicos con énfasis en el comportamiento de los niveles freáticos, la evaluación de los drenajes superficiales, el uso del suelo y cobertura, y finalmente, el levantamiento topográfico. Lo anterior, fue útil y necesario para determinar los diferentes componentes que sirvan para la identificación de la susceptibilidad de la amenaza con el método propuesto. En el desarrollo del ejercicio se identificó que con la escala rural de 1:25000 no es posible caracterizar todas los elementos requeridos a detalle para la identificación de sus susceptibilidad y lograr el objetivo de identificar las amenazas por inundación y por remoción en masa; los cuales permitirán no solo actualizar información del POT sino, que también permitirán la planificación de estrategias para la mitigación de amenazas por susceptibilidad a partir de la zonificación y la regularización determinada en este informe.

2 Localización

El asentamiento 13 de Mayo, situado al SW del municipio de San José de Cúcuta (Ver Figura 1), presenta un área aproximada de 5,4 Hectáreas (Ha), se encuentra localizado en el sector Suroeste del Municipio de San José de Cúcuta y pertenece a la comuna 8. Se encuentra delimitado al Norte por el Asentamiento Nuevo Horizonte, al NW por el Barrio el Dorado; al W por el Barrio Minuto de Dios; al S por el Barrio Juan Pablo II y al NE por el Barrio Nueva Esperanza.

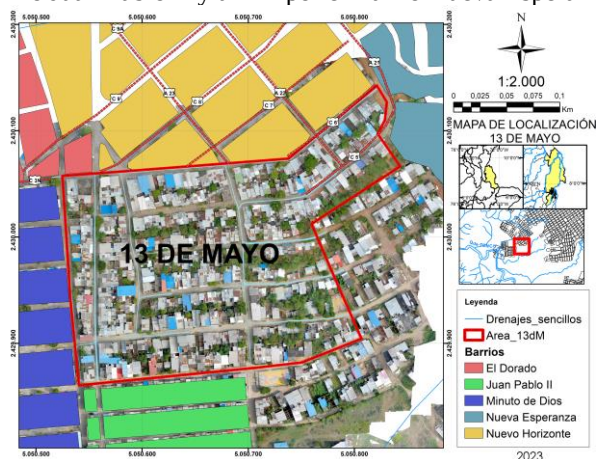


Figura 1 Mapa de localización asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

3 Metodología

La metodología utilizada en la elaboración de la cartografía y caracterización geomorfológica, geológica, de unidades geológicas superficiales, hidrología, uso y cobertura de suelo en el área del asentamiento 13 de Mayo; comprende distintas actividades que incluyen el trabajo de campo y oficina, con el fin de alcanzar los objetivos establecidos. [1] (Ver Figura 2)

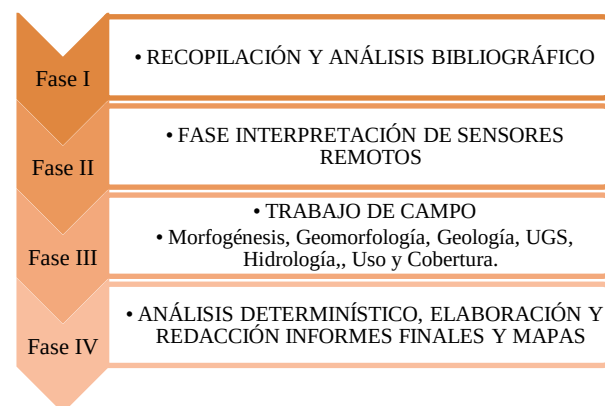


Figura 2 Metodología por etapas para el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4 Resultados

4.1 Antecedentes

El asentamiento 13 de mayo nombrado así en honor a la aparición hecha por la Virgen María [2], fundado el año 2000 cuando se instalaron 300 familias [3] en terrenos pertenecientes al municipio de San José de Cúcuta entre el Asentamiento Nuevo Horizonte y Juan Pablo II en la Comuna 8 [4]. En el año 2010 la alcaldía de San José de Cúcuta mediante el contrato 2028-09 del arquitecto urbanista Julio Gómez realizan un documento técnico de soporte sobre el ajuste y revisión del plan de ordenamiento territorial del municipio de San José de Cúcuta; para actualizar, modificar y ajustar los contenidos y normas del plan, para promover el desarrollo efectivo de las determinaciones e instrumentos necesarios para consolidar el modelo de ordenamiento territorial [5]. Para el mismo año en el 2010 el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales emiten la memoria descriptiva de los mapas de inundación del departamento de Norte de Santander a escala 1: 100,000. En primera estancia, el documento define que Colombia es un país vulnerable a los procesos de inundación debido a factores físicos como la variabilidad climática, la pendiente del terreno, geomorfología de los ríos, entre otros, y factores de ordenamiento territorial como patrones de poblamiento e infraestructura productiva [6]. En el año 2013, gracias al Convenio Especial de Cooperación 021, desarrollado por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) en colaboración con la Universidad de Caldas, se implementó la "Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos aplicados a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:100.0000"; estos productos cartográficos son esenciales para la gestión

de riesgos naturales en la región y el desarrollo de medidas de prevención y mitigación en el área de estudio [7].

Para el año 2017 Alarcón en su trabajo metodología para la evaluación de amenaza por eventos de avenida torrencial a escala 1:2000, plantean un método para la zonificación de amenaza por movimientos en masa (flujos, avalanchas, avenidas torrenciales) se explican las causas de estos, sus tipos, factores y variables que influyen en cada uno y las características de cada uno [8] Mediante el convenio celebrado en el año 2019 (acuerdo 022 del 19 de diciembre de 2019) entre la consultoría del plan de ordenamiento territorial y la alcaldía de Cúcuta, se generan diversos mapas a escalas 1:20.000 y 1:25.000, que pretenden representar características tales como las amenazas por inundación, las secciones viales, un mapa geomorfológico rural, entre otros [4]. Para el año 2021 la alcaldía de San José de Cúcuta, informó que la administración municipal iniciará el proceso de legalización y regularización de 10 asentamientos humanos en la ciudad, buscando mejorar las condiciones y la calidad de los ciudadanos que habitan estos sectores, para así conocer la capacidad, resistencia y determinación de las principales características como lo son: el índice de capacidad del suelo en un área de estudio, aportando así información valiosa para conocer la composición de los suelos y poder mantener un control y mitigación para la estabilidad de estos, disminuyendo los desastres por remoción en masa e inundación. [9]

4.2 Análisis multitemporal

Se realizó el análisis multitemporal del área del asentamiento, en el cual nació la necesidad de observar los cambios año a año de las coberturas que componen el área de trabajo. Se observó en el año 1991 la zona del asentamiento, donde se identificaron dos zonas de riesgo para fenómenos de remoción en masa, y diversos canales aluviales, ya en los años 2003, y 2004 se observa las primeras expansiones de viviendas en la zona central desde su fundación en el año 2000. Ya en el año 2010, se observa un crecimiento poblacional, donde se han respetado las zonas de riesgo identificadas anteriormente, de igual manera se observa la presencia de las primeras vías no tecnificadas en el asentamiento, pero gracias a esto las direcciones de los drenajes se empezaron a regir bajo estas. En el año 2014 se construyó encima del drenaje ubicado en el SW del asentamiento (límite con Juan Pablo II), de igual manera se observa el crecimiento de viviendas hacia el sector E. En el 2015 se termina de poblar el sector occidental y se observa un crecimiento poblacional en el sector Oriental el cuál se consolida en el año 2019 (ambas en las zonas de riesgo identificadas), donde en el año actual los drenajes se convierten en drenajes intermitentes, debido a la construcción de las vías no tecnificadas justo encima de los mismos. Conforme a los resultados del análisis multitemporal se determinó que todos los agentes geomorfológicos y morfodinámicos mencionados anteriormente se vieron afectados principalmente por la actividad antrópica en la zona. A medida que el crecimiento exponencial de la población del Asentamiento, la

construcción de infraestructuras y la habilitación de vías no tecnificadas modificaron el comportamiento natural de los depósitos y de los canales aluviales (desviando el cauce principal de los drenajes, donde a lo largo del tiempo fueron convirtiéndose en canales aluviales no permanentes). (Ver Figura 4)

4.3 Elementos Geomorfológicos

Para la caracterización de elementos geomorfológicos se utilizó la jerarquización del International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (I.T.C, por sus siglas en inglés), elaborada por Verstappen y Van Zuidam.) [10], y adaptada por Carvajal [11], aplicada para las diferentes geoformas del terreno y los procesos que la moldean, donde para lograr una caracterización efectiva, se deben definir los parámetros de morfología, morfodinámica y morfogénesis. [11]

4.3.1 Estaciones

Para poder definir unidades, cambios de pendiente, y diversos elementos geomorfológicos se realizó la cartografía a escala 1:2000 dando como resultados una densidad alta de estaciones. (Ver Figura 3)

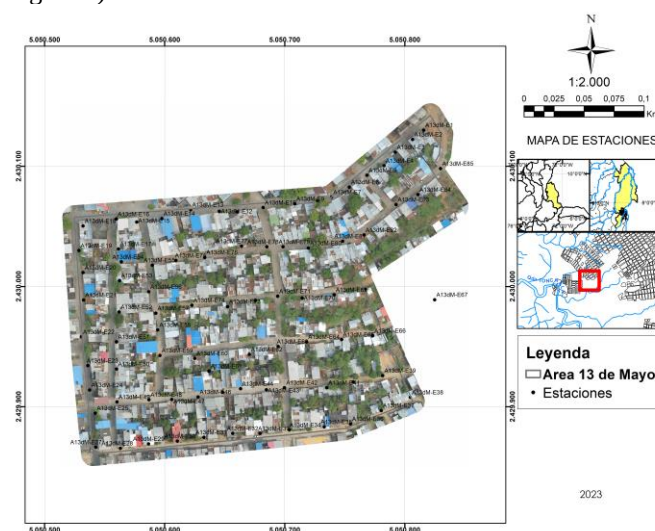


Figura 3. Mapa de estaciones asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4.3.2 Morfogénesis

Se logró conocer la distribución morfogenética en el asentamiento 13 de Mayo, donde se determinó que el ambiente Estructural (S) presenta la mayor área, seguido del ambiente Denudacional (D); seguido del ambiente Fluvial (F) y por último el ambiente Antrópico (A).

Tabla 1. Distribución de ambientes morfogenéticos asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

Ambiente	Acrónimo	Área (Ha)	%
Estructural	S	4,00,	76,18
Denudacional	D	0,88	14,96
Fluvial	F	0,49	8,41
Antrópico	A	0,026	0,44

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL
 ASENTAMIENTO
 13 DE MAYO**

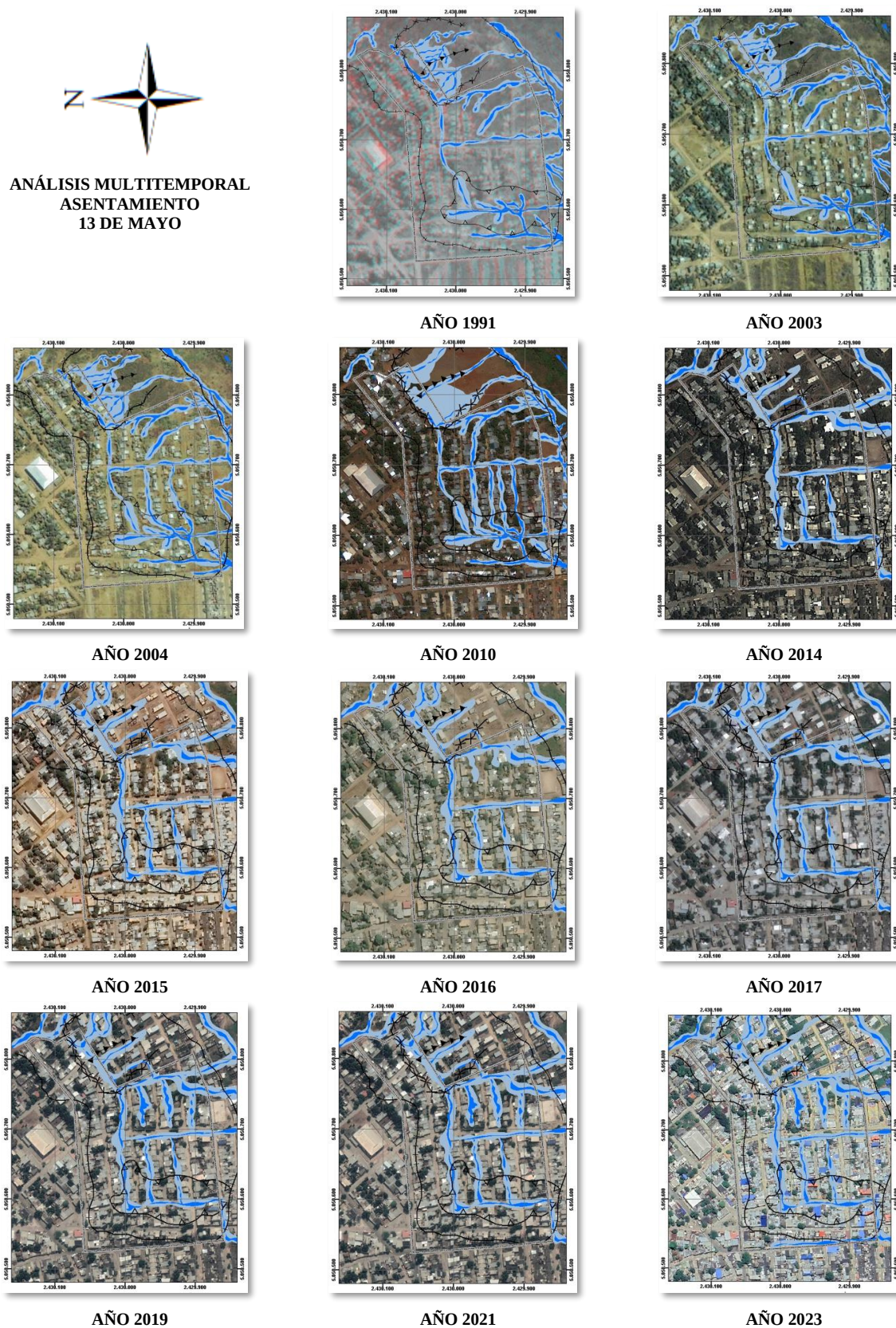


Figura 4. Análisis multitemporal del asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4.3.2.1 Elementos geomorfológicos de remoción en masa

Los mapas de elementos geomorfológicos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa, corresponden a la interpretación subjetiva del origen y la evolución de todas las formas del relieve de una región (morfogénesis), definidas estas por la expresión morfográfica, morfológica y morfométrica del terreno, su relación con los cambios litológicos, sedimentológicos o geomecánicos rocas y suelos y su disposición estructural (morfoestructura); al igual que los procesos morfodinámicos (movimientos en masa y procesos erosivos) [11] [12] (Ver Figura 5)

4.3.2.1.1 Ambiente Estructural

Se incluyeron las geoformas que se originaron por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, cuya expresión morfológica se definió por la tendencia y la

variación en la resistencia de sus unidades. Se compone principalmente por las unidades geomorfológicas para remoción en masa de Escarpe de línea de falla (Slfe).

4.3.2.1.1.1 Escarpe de línea de falla (Slfe)

En esta unidad geomorfológica la cuál se categorizó por presentar características planas, verticales a subverticales cortas convexas de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada. Esta se encuentra distribuida desde la Avenida 23a con Calle 4 hacia la Calle 3. Su pendiente va de N-S siguiendo los cambios de pendiente hacia el asentamiento Juan Pablo II, y la topografía del terreno hacia la cicatriz de deslizamiento debido a la planicie antrópica al margen derecho debido a la construcción del parque. (Ver Figura 6)

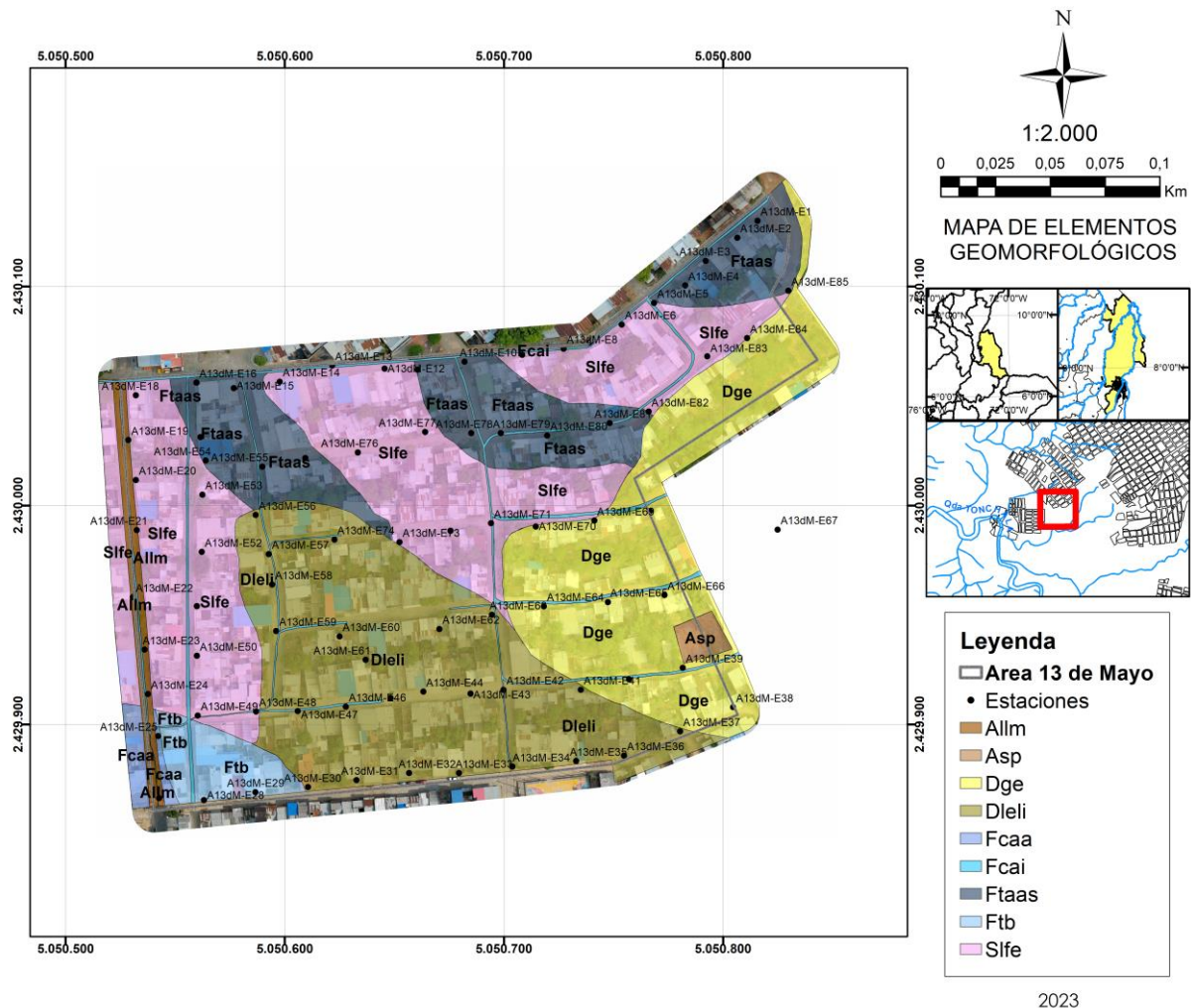


Figura 5. Mapa de elementos geomorfológicos en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)



Figura 6. Elemento geomorfológico de Escarpe de línea de falla (Slfe).
Fuente: Autor(es)

4.3.2.1.2 Ambiente Denudacional

Se incluyeron las geoformas cuya morfología se definió por la acción combinada de procesos intensos de meteorización, erosión y transporte que remodelan las unidades preexistentes y creando nuevas por la acumulación de material sedimentario. El ambiente geomorfológico Denudacional (D), está constituido por la Ladera erosiva levemente inclinada (Dleli) y Glacis de erosión (Dge).

4.3.2.1.2.1 Ladera erosiva levemente inclinada (Dleli)

Se definió como una superficie de pendientes con una inclinación leve de longitudes relativamente largas, la cual presenta procesos de deslizamiento y flujo de detritos. Su distribución se da a lo largo de la intersección de la Avenida 23 con Calle 2. Se evidenció el inicio de la cima (zona más alta) a lo largo de la Avenida 23 con Calle 4. Hacia el flanco S se evidenció el descenso de la pendiente a lo largo de la Avenida 23 y un suelo residual de color pardo rojizo con una textura arcillosa y alto contenido orgánico. (Ver Figura 7)

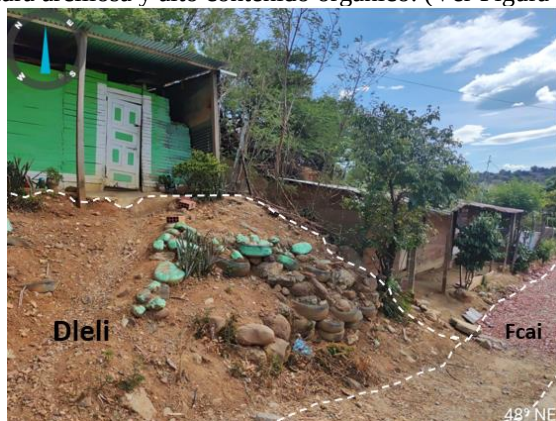


Figura 7. Elemento geomorfológico de Ladera erosiva levemente inclinada (Dleli). Fuente: Autor(es)

4.3.2.1.2.2 Glacis de Erosión (Dge)

Se identificó una zona de pendientes profundas que han generado escarpes denudados de varios metros de profundidad, controlado y modificado por acción antrópica,

lo cual indica un riesgo para la zona debido al flujo de drenaje pluvial y a la alta susceptibilidad de procesos de remoción en masa. Presenta procesos erosivos intensos de carcavamiento. Su distribución va desde la Avenida 22 con Calle 5 hacia la zona Sur en la Avenida 23 con Calle 2 (Ver Figura 8)



Figura 8. Elemento Geomorfológico Denudacional de Glacis de erosión (Dge) en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4.3.2.1.3 Ambiente Fluvial y lagunar

Se definieron las geoformas que se originaron por procesos de erosión de corrientes o cursos de agua, y por la acumulación o sedimentación de materiales en las áreas cercanas a las corrientes, tanto en épocas de inundación como de grandes avenidas. Se definieron las unidades fluviales de Terraza baja (Ftb), Cauce aluvial intermitente (Fcai), Terraza de acumulación antigua sobreelevada (Ftaas) y Cauce aluvial antiguo (Fcaa)

4.3.2.1.3.1 Terraza baja (Ftb)

Se observó al borde del cauce aluvial antiguo, acompañado por la acumulación de material debido a la topografía y a las pendientes del suelo. Esta unidad es medianamente plana, y está constituido principalmente del material sedimentario erosionado y transportado. Está ubicado en la Avenida 24 con Calle 2. (Ver Figura 9)

4.3.2.1.3.2 Cauce aluvial intermitente (Fcai)

Se definió como un componente aluvial no continuo, el cuál transportan el flujo de agua desde la parte más alta (límite con el asentamiento Nuevo Horizonte), hacia el Sur (límite con Juan Pablo II). La dirección del flujo de drenaje se rige con respecto a la topografía del terreno y el tramo de las vías no tecnificadas. (Ver Figura 10)

4.3.2.1.3.3 Cauce aluvial antiguo (Fcaa)

Se observó en el asentamiento 13 de Mayo, como un sistema fluvial abandona en la zona límite con el asentamiento Juan Pablo II, acompañado de un depósito matriz soportado de color café y una textura arcillosa, compuesto principalmente de relictos y de materiales transportados de grava, arena guijarros y limos. Se observó actividad fluvial antigua y el paso e interacción de los componentes fluviales intermitentes. Su distribución se da en forma de franja de E a W caracterizado como una zona pendiente cambiante. (Ver Figura 11)



Figura 9. Elemento geomorfológico de Terraza Baja (Ftb). Fuente: Autor(es)



Figura 10. Elemento geomorfológico de Cauze aluvial intermitente (Fcai). Fuente: Autor(es)



Figura 11. Elemento geomorfológico de Cauze aluvial antiguo (Fcaa). Fuente: Autor(es)

4.3.2.1.3.4 Terraza de acumulación antigua sobreelevada (Ftaas)

Se observó de tonalidades amarillas moteadas con gris, en algunos casos rojizas; matriz soportada de composición areno-arcillosa con clastos de tamaños guijos y guijarros; esfericidad alta a moderada, subredondeado a subangulares. Su distribución principalmente se da en la zona límite con el

asentamiento Nuevo Horizonte de E a W. Se observó en diversos sectores a lo largo de la Calle 5 del asentamiento debido a una condición estructural de escalonamiento. (Ver Figura 12)



Figura 12. Elemento geomorfológico de Terraza de acumulación antigua sobreelevada (Ftaas). Fuente: Autor(es)

4.3.2.1.4 Ambiente Antrópico

Se definieron las geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, donde el principal objetivo es la construcción de viviendas, escenarios deportivos, escombros y obras de ingeniería afectando la morfología del terreno.

4.3.2.1.4.1 Antrópico de superficie de explanación (Asp)

Se observó una superficie de explanación antropogénica en una zona de glaciés de erosión (Dge), donde esta se adecuó para la construcción de un complejo deportivo. (Ver Figura 13)



Figura 13. Elemento geomorfológico de Antrópico de superficie de explanación (Asp). Fuente: Autor(es)

4.3.2.1.4.2 Antrópico de lleno mixto (Allm)

En el área se observó una zona de forma irregular rellena con material de composición variada entre materiales de construcción de obras civiles, los cuales fueron acumulados en pendientes moderadas a muy altas, en sentido N-S. (Ver Figura 14)



Figura 14. Antrópico de lleno mixto de obra civil (Allm) en el asentamiento 13 de Mayo.

4.3.2.2 Elementos geomorfológicos para inundación.

Se generó el mapa el mapa geomorfológico para inundación del Asentamiento 13 de Mayo, en el cual se pudo conocer la distribución de los componentes morfológicos, establecidos en la Guía Metodológica para la Elaboración de Mapas de Inundación del [13] donde se determinó que las Terrazas con pendiente media plana con presencia de diques y cauces abandonados (DAf2) presentan la mayor área, seguidas de Valles denudados de pendientes sobreelevadas y depósitos

aluviales con predominio de materiales finos(DOf3) y por último llanura aluvial de pendiente media a plana con formas de diques, orillales, meandros y cauces abandonados (DTI5). Los mapas de elementos geomorfológicos aplicados a la zonificación de amenaza por inundaciones, están basados en eventos recientes o pasados, cuya información del evento puede ser obtenida de varios tipos de fuentes, tales como documentos históricos o imágenes de satélite debidamente interpretadas y verificadas. (Ver Figura 15)

4.3.2.2.1 Terrazas con pendiente media plana con presencia de diques y cauces abandonados (DAf2)

En dirección 29NW sobre la Avenida 24ª; se evidenciaron sobre el antrópico de vía principal una serie de cambios morfológicos de pendiente, no tan pronunciados; se analizan remanentes de Terrazas bajas con características de origen de suelo residual altamente erosionado. En los límites del asentamiento (entre Juan Pablo II y Minuto de Dios, respectivamente) se evidenciaron Terrazas con pendiente media plana con presencia de materiales aluviales con horizontes plintíticos continuos de composición variada (presencia de bloques y cantos de origen residual). (Ver Figura 16)



Figura 15. Mapa Geomorfológico para inundación del asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4.3.2.2.1.1 Llanura aluvial con pendiente media plana, con formas de diques, orillares, meandros y cauces abandonados (DTI5)

Sobre el antrópico de vía se observó en sus laderas de cercanía urbana un tipo de suelo de color amarillo moteado con gris sobre la calle 6 en dirección 75SW, con drenaje pluvial en sentido 85NW, así mismo la zona presenta direcciones de cauces intermitentes lo que ocasiona encharcamiento por agua. Las viviendas se encuentran construidas sobre el depósito y algunos optaron por rellenos. No se evidenció inundación en las viviendas debido a la inclinación de la ladera. (Ver Figura 17)



Figura 16. Elemento geomorfológico para inundación de Terrazas con pendiente media plana con presencia de diques y cauces abandonados (DAf2). Fuente: Autor(es)



Figura 17. Elemento geomorfológico para inundación de Llanura aluvial con pendiente media plana, con formas de diques, orillares, meandros y cauces abandonados (DTI5). Fuente: Autor(es)

4.3.2.2.1.2 Valles de pendiente plana y Depósitos aluviales con predominio de materiales finos. (DOf3)

Los depósitos aluviotorrenciales que se observaron en la Terraza de acumulación y en el escarpe de ladera de falla, respectivamente; me describieron una zona donde evidenció un suelo transportado de composición arcillo-limosa con material de relleno fino y arenas finas situados sobre el elemento geomorfológico DTI5 (Ver Figura 18)



Figura 18. Elemento geomorfológico de Valles de pendiente plana y Depósitos aluviales con predominio de materiales finos (DOf3). Fuente: Autor (es)

4.3.3 Morfodinámica

La morfodinámica es la parte de la geomorfología que trata de los procesos geodinámicos externos (principalmente denudativos), tanto antiguos como recientes que han modelado y continúan modelando el relieve y son los responsables del estado actual de las geoformas o Unidades de terreno. [14] Para determinar este parámetro se tuvo en cuenta la morfología, ya que se encuentra relacionada con los aspectos de la geometría del relieve e incluye fundamentalmente los gradientes topográficos y las formas relativas del mismo, descritos mediante adjetivos descriptivos y representativos [14]. Geológicamente, las unidades geomorfológicas presentes en el asentamiento 13 de Mayo, del municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander, según la caracterización realizada por el Servicio Geológico Colombiano en el año 2012 se compone principalmente por movimientos en masa, definidos como procesos erosivos de carcavamiento, y deslizamiento. [14] (Ver Figura 23)

4.3.3.1 Cambios de pendiente

En el área de estudio correspondiente, se evidenciaron gran densidad de características estructurales incipientes gracias a las zonas de laderas moderadas a abruptamente inclinadas las cuales determinaron rasgos en su comportamiento morfológico, variados y paulatinos para los diferentes movimientos por susceptibilidad de amenaza. Esta unidad morfodinámica se encontró distribuida a lo largo del asentamiento, siendo una de las características predominantes.

4.3.3.2 Erosión por cárcavas

Esta unidad morfodinámica se encontró distribuida en la zona Este del asentamiento 13 de Mayo abarcando la Avenida 22 y 23 con Calle 5,6,7 y 8 respectivamente. Se determinó que el principal responsable fue la interacción de los medios estructurales de las altas laderas, y los elementos fluviales intermitentes o de escorrentía con la unidad geológica de la Formación León presentada como un suelo residual en este sector. (Ver Figura 19 y Figura 20)

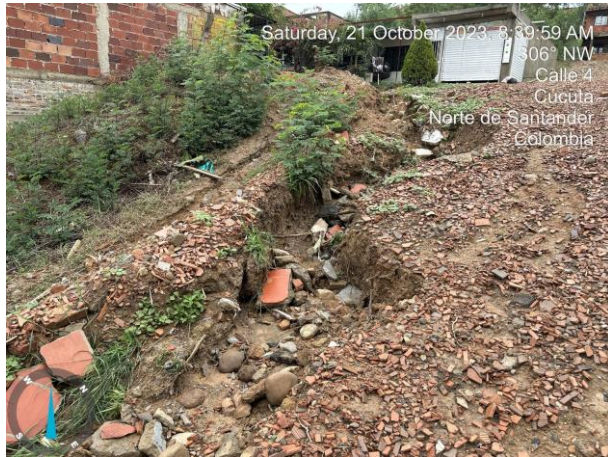


Figura 19. Erosión por cárcavas en el asentamiento 13 de Mayo. Día 21 de Octubre de 2021. Fuente: Autor(es).

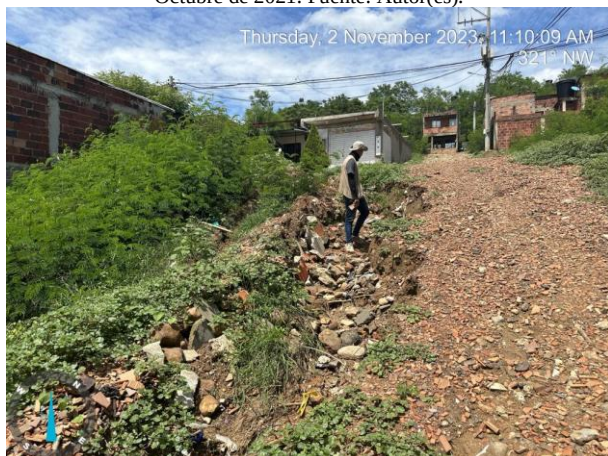


Figura 20. Erosión por cárcavas en el asentamiento 13 de Mayo. Día 2 de Noviembre de 2023. Fuente: Autor(es).

Se logró observar en el mismo punto en un lapso de 12 días (separación de una imagen a la otra), el ensanchamiento y hundimiento de la cárcava logrando una subsidencia y trazo de cicatriz mayor, donde los componentes fluviales intermitentes (que en el asentamiento se rigen por la topografía del área de estudio (hacia el asentamiento Juan Pablo II, al S)), y acciones antropogénicas (construcción de vías no tecnificadas). Logra abarcar casi la mitad de la vía la cual no se encuentra pavimentada. Inicialmente la profundidad (superficialmente) era menor a 60cm y su ensanchamiento era de aproximadamente 80cm. No obstante, en la segunda imagen con una separación de 12 días su hundimiento es mayor a 1,10m, y su ensanchamiento mayor a 1,5m. Algunas observaciones que se realizaron en campo son que este carcavamiento ha sido rellenado por residuos de materiales de construcción y cemento. En la actualidad la interacción de la ladera, con el suelo y las lluvias torrenciales han removido todo este material al punto de ser una zona de amenaza. En las zonas de alta ladera, las cuales están constituidas por viviendas los habitantes han realizado el relleno con cemento, y en otros casos gaviones con neumáticos para poder contener este fenómeno.

4.3.3 Deslizamiento y Flujo de detritos

En esta primera unidad de deslizamiento ubicada en la Avenida 23a con Calle 4, se observó una cicatriz de deslizamiento, el cuál anteriormente perteneció a un depósito aluvial. La interacción de las altas pendientes de las laderas, la gravedad y los componentes fluviales intermitentes y de escorrentía (que estos se rigen en su totalidad por la topografía del terreno) son los principales responsables de esta remoción de material hacia la zona S del asentamiento. (Ver Figura 21)



Figura 21. Elemento morfodinámica de deslizamiento en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

En una segunda unidad morfodinámica de flujo ubicada en la Avenida 23a con Calle 2 hacia el asentamiento Juan Pablo II, el flujo del material, se da hacia una zona de depositación, la cual fue oculta debido a acciones antropogénicas (construcción de vías no tecnificadas de cemento), donde se observó rastros de un antiguo Cauce aluvial ubicado en el límite con el asentamiento Juan Pablo II. (Ver Figura 22)



Figura 22. Elemento morfodinámica de flujo de detritos en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es).

4.3.4 Morfometría

Se determinaron los aspectos cuantitativos abarcando los rasgos dimensionales de las geoformas, derivadas de una representación numérica con respecto a la topografía del área de estudio.



Figura 23. Mapa morfodinámico asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

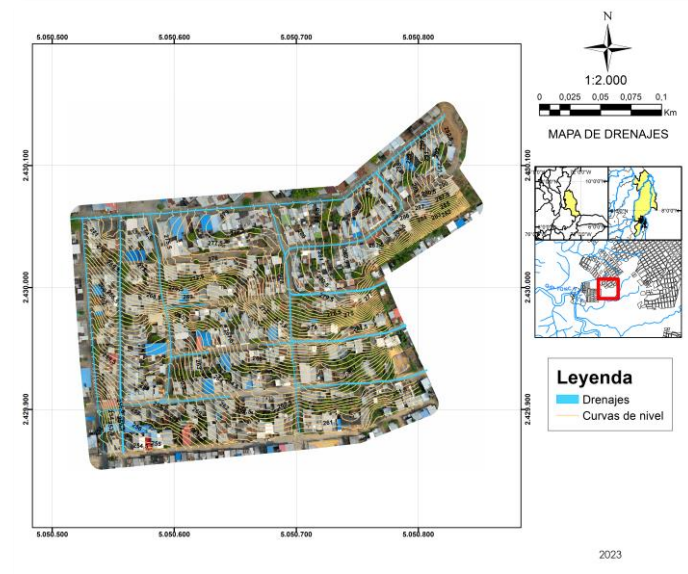


Figura 24. Mapa de patrón de drenajes asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

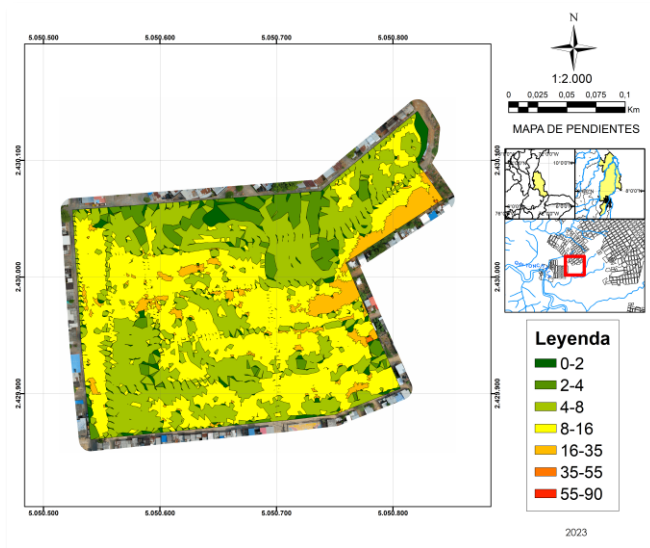


Figura 25. Mapa de pendientes asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

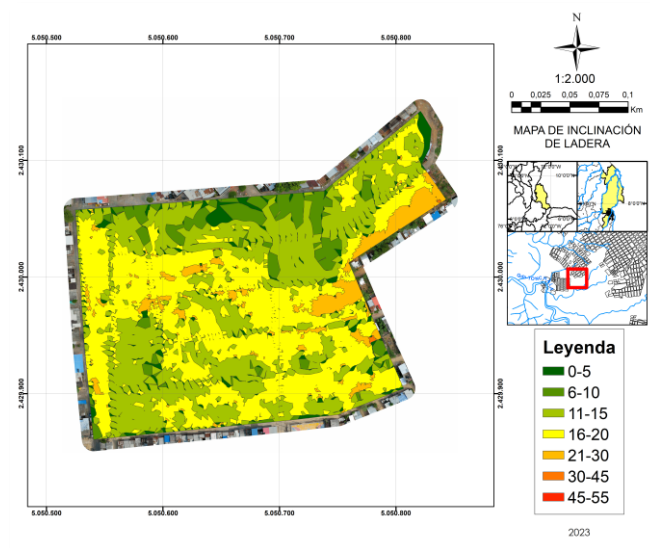


Figura 26. Mapa de inclinación de ladera asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4.3.4.1 Pendientes

La pendiente mide la tasa de cambio de la elevación en la dirección descendente más empinada [15]. El asentamiento 13 de mayo, se caracteriza principalmente por ser una zona de alta densidad de pendientes con una alta inclinación. Se determinó gracias a los rangos de pendientes establecidas por Van Zuidam [16], donde en el área de estudio predominan principalmente las pendientes en un rango de 8 a 16 grados clasificadas como pendientes moderadamente abruptas, descritas por ser susceptible a sufrir cualquier tipo de movimientos en masa, deslizamiento y tipos de erosión como surcos y cárcavamiento, estas se encuentran distribuidas a lo largo de las Avenidas 22, 23 y 24 con las calles 5, 4, 3 y 2 respectivamente; seguidas de pendientes inclinadas, definidas por el rango de inclinación de 4 a 8 grados, siendo estas descritas por tener una alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos, siguiente a esta se presentan pendientes abruptas establecidas en un rango entre 16 y 35 grados, donde estas son altamente propensas a desarrollar procesos erosivos, estando distribuidos a lo largo del asentamiento en la Avenida 24 con Calle 5 y 4 respectivamente, y en menor densidad pendientes suavemente inclinadas y sectores planos, donde los procesos denudativos son casi nulos. Los rangos de pendiente en el asentamiento 13 de Mayo son: pendiente máxima: 46,30°, pendiente media 8,83°. (Ver Figura 25)

4.3.4.2 Curvatura

Indica el grado de convexidad/concavidad del terreno, considerando el radio de curvatura que posee una celda según un plano vertical [17]. Se determinó mediante la clasificación de los tipos de Curvaturas de Dikau [18], los tipos de curvatura presentes en el asentamiento 13 de Mayo, donde se definió una Curvatura de clase 2 cóncava-convexa, caracterizada por retener flujo lateralmente, pero diverge verticalmente, se encuentra presente en la Avenida 21 con Calle 6, zona límite con el asentamiento Nuevo Horizonte; como una segunda geoforma de curvatura se definió una curvatura convexa-convexa tipo 8, caracterizada por no retener flujo, esta se encuentra distribuida a lo largo de la Avenida 24 con Calle 5 y por último en el sector E del asentamiento con dirección N-S hacia el asentamiento Juan Pablo II, se identificaron dos geoformas de curvatura: geoforma llana-convexa 5, caracterizada por no retener flujo, acompañada de una geoforma de curvatura llana-cóncava 3, caracterizada por no retener flujo.

4.3.4.3 Inclinación de Ladera

Es el ángulo que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal [14]. Se logró determinar, gracias al mapa de ladera, y a los rangos establecidos en la Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 [14], que las pendientes presentes en el asentamiento 13 de Mayo se

componen principalmente de pendientes Abruptas, y dependientes muy inclinadas; seguido en menor proporción por pendientes inclinadas, muy abruptas y en zonas específicas pendientes suavemente inclinadas, escarpadas, muy abruptas y muy escarpadas. (Ver Figura 26)

4.3.4.4 Longitud de ladera

Se logró establecer, gracias a los rangos establecidos de longitudes de ladera en la Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 [14] donde se obtuvieron los siguientes valores de longitud de ladera (distribuida a lo largo de la Calle 5): 72,73m, 18,48m, 84,04m, 19,08, 18,48m, 87,03m, 32,79m, 35,77m y 17,29m, determinando que el asentamiento 13 de Mayo, está compuesto principalmente de laderas Muy cortas, y laderas cortas con una disposición de laderas escalonadas y de pendientes altas.

4.3.4.5 Forma de la ladera

Se logró determinar, gracias los rangos de forma de ladera establecidos en la Propuesta Metodológica Sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 [14] que la forma de la ladera en el asentamiento 13 de Mayo es irregular o Escalonada, caracterizada por movimientos en masa de caídas de bloque y erosión diferencial, siendo está compuesta de materiales con resistencia variada, y una disposición estructural en contra de la pendiente, generando depósitos de terrazas recientes en las zonas medianamente planas prolongadas por el contorno morfológico.

4.3.4.6 Patrón de drenaje

Para la caracterización de la red de flujo, del patrón de drenaje, la configuración y el diseño de las geoformas, se tomó como base la clasificación de Huggett R.J, [19], donde se determinó que el asentamiento 13 de Mayo presenta un patrón de drenaje paralelo a subparalelo. Los drenajes están constituidos principalmente por drenajes intermitentes, los cuáles su dirección flujo se ha visto afectado por el desarrollo y expansión antropogénica mostrándose respectivamente en las vías no tecnificadas y la topografía del terreno (hacia el asentamiento Juan Pablo II). (Ver Figura 24)

4.4 Geología

Las unidades geológicas descritas en el asentamiento evidencian rasgos litológicos denotados en la sucesión estratigráfica generalizada y determinada mediante la cartografía geológica en la plancha 88 – Cúcuta a escala 1:100.000, [20] las cuales, mediante sus estructuras y su análisis morfodinámico, aúnan un esfuerzo para describir sus unidades de roca y sedimentos presentes en el área de estudio. Conforme la fase de campo para la zonificación; en el asentamiento urbano 13 de Mayo se describieron unidades que corresponden a una sucesión litoestratigráfica de rocas de la Formación León (E3n1lcl), principalmente arcillolitas

del periodo Oligoceno [21] Los depósitos cuaternarios (depósitos más jóvenes que las series de rocas paleocénicas) distinguen entre depósitos aluviales antiguos, depósitos de terraza antigua, de terraza reciente y sobre elevada y depósitos de origen antrópico, presentándose principalmente con clastos polimícticos subredondeados a redondeados embebidos en una matriz arcilloarenosa. Las definiciones de unidades geológicas fueron utilizadas para aplicar los principios a la gestión de fenómenos amenazantes que influyen en la ocurrencia por remoción en masa o por inundación para desarrollar estrategias de mitigación y adaptación de una manera eficiente. Estratigráficamente, el asentamiento se encuentra sobre rocas sedimentarias que van desde el Cuaternario (rocas más jóvenes de la era cenozoica) hasta el Paleógeno (Terciario inferior, para otros autores, que especifica el periodo más antiguo de la era cenozoica); siendo evidenciada a partir la información cartográfica y geológica recolectada en campo. (Ver Figura 28)

4.4.1 Formación León (E3N1l)

Litológicamente compuesta de arcillolitas grises verdosas que varían a limolitas. En el asentamiento 13 de Mayo, se observó como intercalaciones de arcillolitas y lodolitas con

shales fisiles, grisáceos concoideos, altamente meteorizados hacia la parte media de las laderas erosivas de la Formación León, miembro arcilloso. Como unidad suprayacente, se tiene una serie de 50cm de depositación de bloques y cantos heterométricos embebidos en una matriz areno-arcillosa (Ver Figura 27)



Figura 27. Formación León (E3N1l). Fuente: Autor (es)

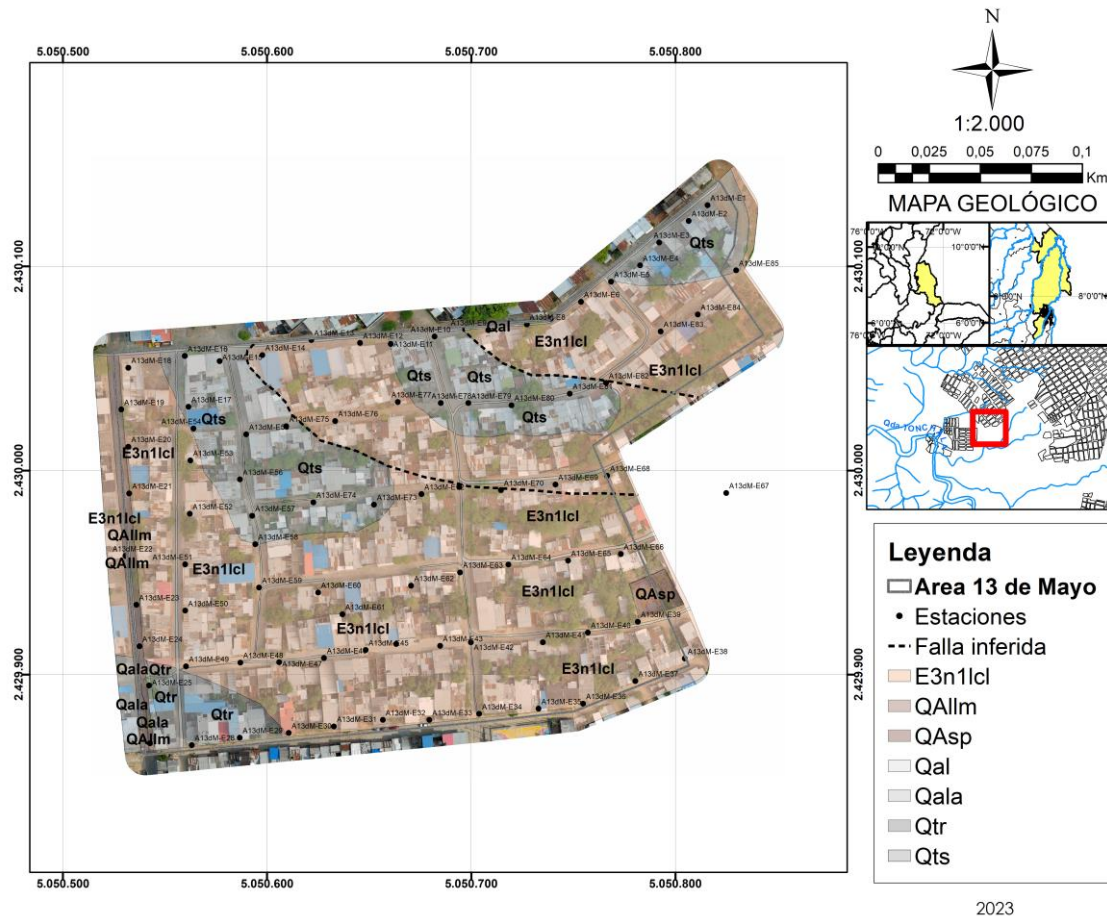


Figura 28. Mapa Geológico asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4.4.2 Depósitos Cuaternarios de Terraza Reciente (Qtr)

En el área de estudio se observó como una sección o corte alargado de N-S compuesto por depósitos de color amarillo pardo, altamente meteorizado, de composición polimíctica donde presentó particularmente una estructura matriz soportada. Hacia el límite con el asentamiento Minuto de Dios se evidenció que está compuesto por gravas con formas redondeadas a subredondeadas y alta esfericidad, soportados por una matriz de textura arcillo arenosa de color amarillo pardo moteado con rojo. (Ver Figura 29)



Figura 29. Depósito de terraza reciente (Qtr). Fuente: Autor(es).

4.4.3 Depósitos aluviales (Qal)

Para el área de estudio, estos tipos de depósitos frecuentemente se vieron representados como aguas intermitentes debido a un rasgo morfológico en las laderas estructurales que conformaron la génesis del asentamiento humano. Estos drenajes llevan consigo sedimentos de tamaños de grano desde arcillas hasta arenas gruesas, debido al poco nivel de su caudal. (Ver Figura 30)



Figura 30. Elemento geológico Depósito aluvial (Qal). Fuente: Autor(es)

4.4.4 Depósito antrópico de lleno mixto (QAllm)

El relleno utilizado para la construcción de la misma, elevó la vía de su altura original, actuando entonces como un partearguas que impide la circulación de drenajes

intermitentes dentro y fuera del asentamiento. Se comporta como una franja alargada de E-W, representa el límite norte del asentamiento y. se mostró como una zona alta medianamente plana sobre la cual pasa una de las rutas de acceso principal al asentamiento, dada la altura de la superficie actúa como una divisoria de aguas (Ver Figura 31)



Figura 31. Depósito antrópico de lleno mixto (QAllm). Fuente: Autor(es)

4.4.5 Cauce aluvial abandonado (Qala)

Los depósitos de cuaternario aluvial antiguo en el asentamiento 13 de Mayo, se identificaron como suelo transportado areno-arcilloso los cuales fueron depositados por ríos antiguos en el pasado delimitados por las terrazas recientes (Qtr) (Ver Figura 32)



Figura 32. Depósito de cauce aluvial abandonado (Qala) en el asentamiento 13 de Mayo.

4.4.6 Depósito de terraza sobreelevada (Qts)

Se definieron como laderas sobreelevadas escalonadas donde ocurren procesos estructurales ligados a fallas inferidas con la cual geológicamente se evidenciaron intercalaciones de rocas con tamaños variados (cantos, bloques y relictos) de origen sedimentario en suelos residuales de pendientes moderadamente inclinadas, acompañado de pequeñas zonas de valles asociados a escorrentía de cauces intermitentes. (Ver Figura 33)



Figura 33. Depósitos imbricados de terraza sobreelevada (Qts) en límites con Nuevo Horizonte y 13 de Mayo

4.4.1 Depósito antrópico de superficie explanada (QAsp)

Deposito antrópico de estructura matriz soportada color café moteado con rojizo de textura arcillosa los cuales se pudieron observar a los alrededores de la superficie explanada para escenarios deportivos o en los andenes de las viviendas. (Ver Figura 34)

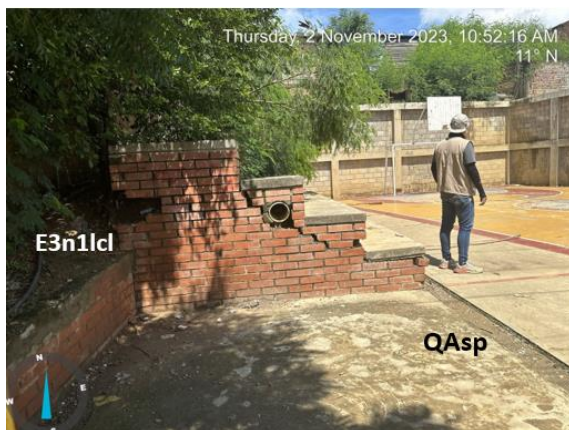


Figura 34. Depósito antrópico de superficie explanada (QAsp) en el asentamiento 13 de Mayo.

4.5 Unidades Geológicas Superficiales (UGS)

Las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) corresponden a un conjunto (homogéneo) de materiales geológicos que afloran en la superficie, que provienen del mismo origen y conservan en general las mismas características físicas y de comportamiento geomecánico, hasta algunas decenas de metros por debajo de la superficie del terreno [22]. Las unidades se subdividieron en dos; en una parte se evidenció su litología, su génesis, su grado de meteorización y sus rasgos tectonoestructurales.

Por otra parte, está la descripción de unidades de suelo las cuales en particular mostraron ciertas características físicas y químicas de las partículas identificando su estructura. De acuerdo a estos conceptos, en el municipio de San José de Cúcuta, precisamente en el asentamiento urbano 13 de Mayo

se lograron identificar mediante el análisis cartográfico siete (7) UGS categorizadas en unidades de suelos clasificados según su origen como residual, transportado o roca superficial, lo cual permitió el algebra de una carta base para ejemplificar la zonificación de unidades superficiales descritas a continuación. (Ver Figura 36)

Tabla 2. Distribución de las Unidades Geológicas Superficiales en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

Unidad Geológica Superficial	Acrónimo	Área (Ha)	%
Roca muy blanda de la Formación León	Rmble	2,57	43,76%
Suelo residual de la Formación León	Srle	0,48	7,58%
Suelo transporte aluvial	Stal	0,20	3,39%
Suelo transportado de terraza reciente	StQtr	0,30	5,05%
Suelo transportado de lleno mixto	Stallm	0,15	2,5%
Suelo antrópico de relleno tecnificado	Sart	0,10	3,9%
Suelo transportado de terraza sobreelevada	StQts	2,14	36,02%

4.5.1 Unidades de Roca

4.5.1.1 Roca muy blanda de la Formación León (RmbE3N1l)

En el asentamiento 13 de mayo, sobre una zona de explanación profunda que se evidenció sobre el punto de control, se generó un escarpe de aproximadamente 0,5 metros de profundidad, controlado por trincheras improvisadas, lo cual indica un riesgo para la zona debido a la interacción de medios estructurales de altas laderas y elementos fluviales intermitentes de transporte sedimentario. Aún con evidencias de roca original se definió una arcilla formada a partir del desgaste compuesta por silicato y feldespato, sumando factores como las depresiones tectónicas; las cuales se pudieron encontrar en diversas coloraciones debido a impurezas minerales, pero es blanca en su estado puro. (Ver Figura 35)



Figura 35. Roca muy blanda de la Formación León (Rmble) en el asentamiento 13 de Mayo Fuente: Autor(es)

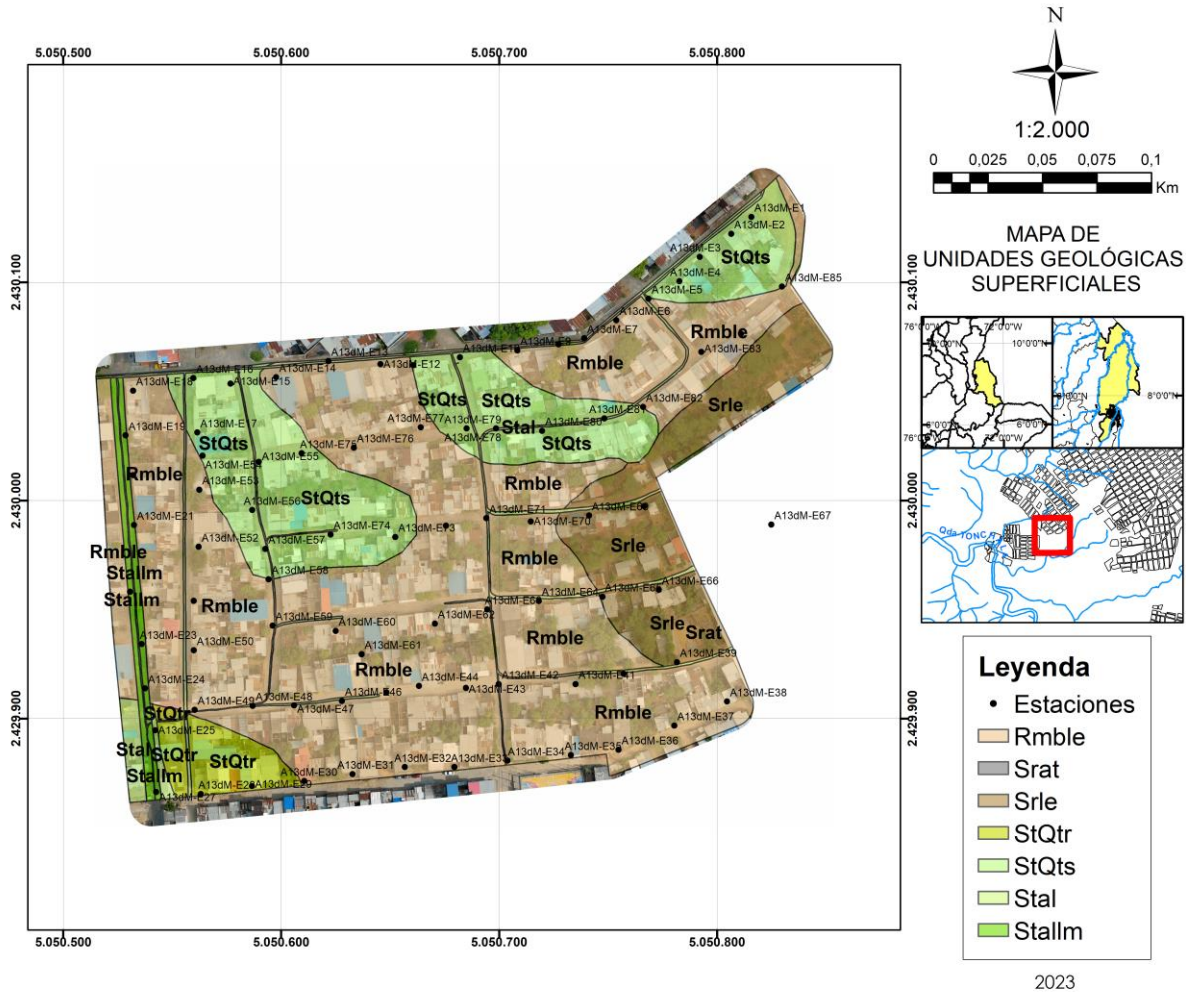


Figura 36. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales UGS asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

4.5.2 Unidades de Suelo

4.5.2.1 Suelo residual de la Formación León (Srle)

Se identificó un suelo residual de color amarillero rojizo a oscuro de carácter húmedo, que presenta estructuras relicticas visibles, compuestas por clastos de tamaño predominantes arenas finas y arcillas moderadamente seleccionados. Posee una dilatancia nula, resistencia en seco de media a baja, con un brillo ligero por la presencia del yeso y feldespatos. (Ver Figura 37)

4.5.2.2 Suelo de relleno tecnificado (Srat)

Ubicado al margen E del asentamiento que se extendió hacia el límite con el Barrio Nueva Esperanza, donde se mostró como una zona plana medianamente alta en la Calle 3; dado el cambio de suelo de relleno se evidenció un límite estratégico con el cauce aluvial intermitente (Stal). Su función es proporcionar soporte estructural a la carretera y

distribuir las cargas del tráfico sobre el suelo subyacente para diferentes escenarios deportivos. Los altos índices estructurales y la meteorización de saprolitos en la unidad Rmble (Roca muy blanda de la Formación León) han desestabilizado la superficie de explanación por la acción de la gravedad y la acción de los empujes del suelo en desniveles controlados por la erosión y desgaste. (Ver Figura 38)

4.5.2.3 Suelo transportado de terraza reciente (StQtr)

En dirección SW del área de estudio, se observó un suelo compuesto por fragmentos de rocas de tamaños guijo, guijarro y bloques que poseen una esfericidad media a alta, con características de granos subredondeados, soportados por una matriz de textura arcillo arenosa de color amarillo pardo, con una compacidad moderada hacia el SW; donde se presentó una zona de cobertura vegetal, la cual se reflejó en el suelo como una capa de humus. (Ver Figura 39)



Figura 37. Suelo residual perteneciente a la Formación León (Srle) donde se evidencia contenido altamente erosionado por cicatrices de erosión en cárcavas en el asentamiento 13 Mayo. Fuente: Autor (es)

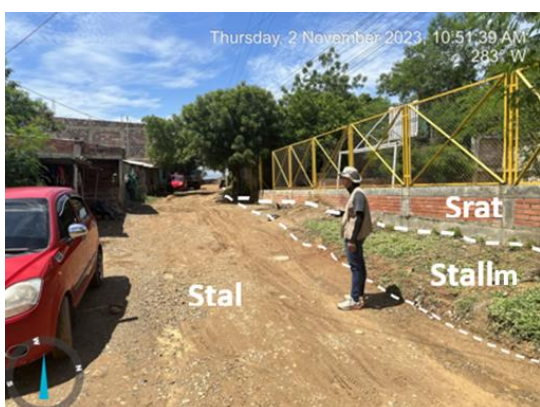


Figura 38. Suelo de relleno tecnificado (Srat). Fuente: Autor(es)



Figura 39. Suelo transportado de terraza reciente (StQtr). Fuente: Autor(es)

4.5.2.4 Suelo transportado aluvial (Stal)

Se encontraron a lo largo de la Calle 4 convergiendo justo en margen E del asentamiento El Dorado. Otros Stal, se presentaron en el margen N y E del asentamiento donde estos finalmente desembocaron en dirección NW, hacia Juan Pablo II. El depósito presentó residuos antrópicos (basura y restos de construcción). (Ver Figura 40)



Figura 40. Suelo transportado aluvial (Stal). Fuente: Autor(es)

4.5.2.5 Suelo transportado de terraza sobreelevada (StQts)

Franja semicircular de NW-SE que inició a 10 metros de la vía principal límite entre el asentamiento Nuevo Horizonte, ubicada sobre la parte SE de la calle 6, esta geoforma se encontró en el límite más al NE entre los asentamientos Nueva Esperanza y Nuevo Horizonte respectivamente. (Ver Figura 41)



Figura 41. Suelo transportado de terraza sobreelevada (StQts). Fuente: Autor(es)

4.5.2.6 Suelo transportado de lleno mixto (Stallm)

Estos depósitos cubren la totalidad de la zona que solía ser el antiguo cauce, lo que influyó en su morfología actual, caracterizada por la presencia de cauces intermitentes, los cuales derivaron de origen antrópico y conforman un Jarillón relleno de composición mixta. (Ver Figura 42)

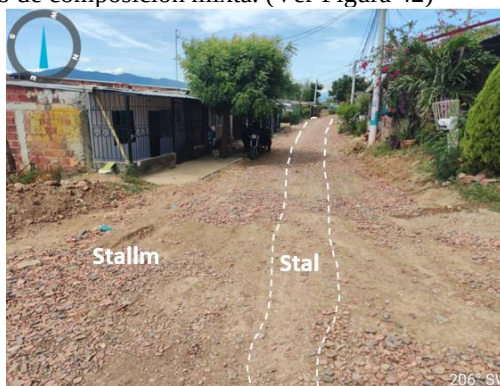


Figura 42. Suelo transportado de lleno mixto (Stallm). Fuente: Autor(es)

4.6 Hidrología

Se realizó la delimitación de las microcuencas hidrográficas pertenecientes a la Cuenca la Chinalera (Ver Figura 43), influyentes en el asentamiento 13 de Mayo. Estos se realizaron gracias al análisis topográfico (curvas de nivel a 50m basadas en el Modelo Digital de Elevación). Se obtuvo como resultado en el Modelo Digital de Elevación (con alturas entre 252m y 253m) la influencia de 8 microcuencas (Nombradas de A-H respectivamente) (Ver Figura 36), a las cuáles se les realizó el cálculo de Área (A), perímetro (P), longitud (L) y ancho (An), necesarios para los cálculos de factor de forma y índice de compacidad expresadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Parámetros de Área, perímetro, longitud y ancho para las microcuencas en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

Microcuenca	Área (m ²)	Perímetro (m)	Longitud (m)	Ancho (m)
A	23249,98	1173,11	284,2	107,52
B	14059,86	1185,09	124,84	80,40
C	21584,90	1041,98	269,34	143,62
D	29407,98	1379,54	248,68	144,99
E	12047,88	753,52	234,49	99,24
F	4429,56	787,41	65,90	43,73
G	47022,61	1677,52	443,91	221,46
H	3733,05	330,56	80,46	85,85

4.6.1 Índice de compacidad de Gravelius (Kc)

$$Kc = 0.28 \left(\frac{P}{\sqrt{A}} \right)$$

Ecuación 1. Índice de compacidad de Gravelius [23]

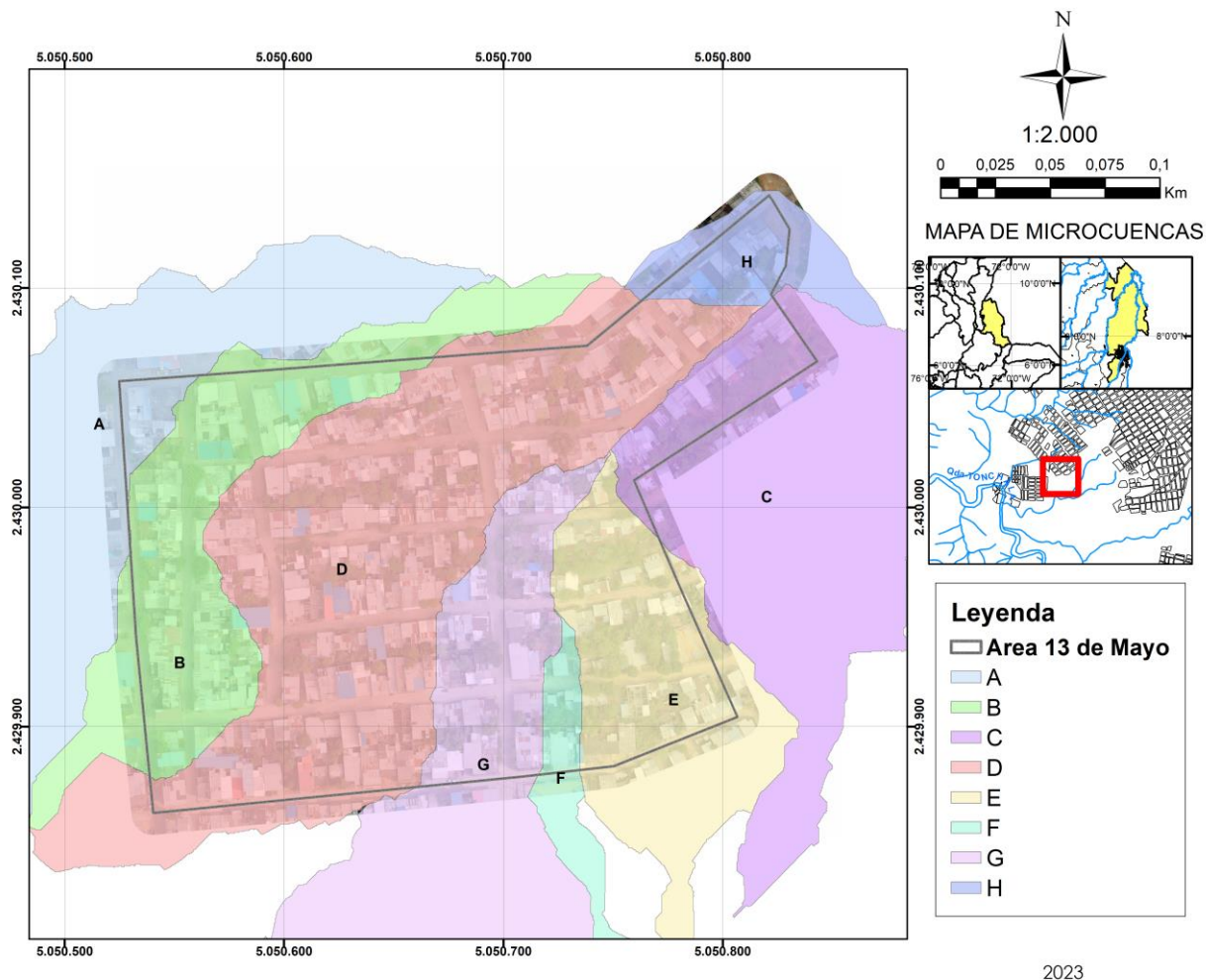


Figura 43 Mapa de microcuencas asociadas al asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

Tabla 4. Índice de compacidad de Gravelius

Microcuenca	Índice de Compacidad (Kc)
A	2,15
B	2,79
C	1,98
D	2,25
E	1,92
F	3,31
G	2,166
H	1,51

A partir de los resultados obtenidos y cómo indican los parámetros generales y la clasificación de Gravelius [24] se definió a la cuenca H como una cuenca de oval oblonga a rectangular oblonga; y a las cuencas A, B, C, D, E, F, G (valores mayores a 1,75) como cuencas casi rectangulares (alargadas)

4.6.2 Factor de forma (Kf)

Se realizó el cálculo del factor de forma de las microcuencas analizado y posteriormente determinado mediante la metodología propuesta por Monserrat [25] asociadas al asentamiento 13 de Mayo, a partir de la siguiente ecuación:

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Ecuación 2. Ecuación del factor de forma (Kf) [25]

Dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 5. Factor de forma asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

Microcuencas	Factor de forma (Kf)
A	0,28
B	0,90
C	0,29
D	0,47
E	0,21
F	1,02
G	0,23
H	0,57

Donde a partir de los resultados se definió a las cuencas A, B, C, D, E, G y H como cuencas achatadas, y a la Cuenca F como una Cuenca alargada teniendo en cuenta la relación propuesta por Reyes & Carvajal [23]

4.7 Uso y cobertura

Cuando se habla de uso y cobertura, se refiere a cómo se utiliza y cuál es la distribución espacial de los diversos elementos pertenecientes a un área geográfica. En un estudio de zonificación a escala 1:2000, la información sobre el uso y la cobertura del suelo, es crucial, ya que ayuda a comprender cómo las diferentes áreas pueden estar expuestas a amenazas naturales o antropogénicas, y cómo estas características del entorno podrían influir en la susceptibilidad de fenómenos de amenaza.

La zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa e inundación, proporciona una información indicativa de inestabilidad o propensión del terreno de acuerdo a sus condiciones intrínsecas y la amenaza solamente se consolida cuando actúa un detonante o desencadenante que alcanza umbrales o límites que pueden ser críticos para el ámbito urbano. Para este trabajo, se realizó la clasificación de elementos de Uso y cobertura mediante el método de Corine Land Cover [26], el cual permitió realizar la clasificación espacial mediante el RGB de 3 unidades: Tejido Urbano continuo, Vegetación secundaria o transicional y Tierras desnudas y degradadas. (Ver Figura 44)

4.7.1 Tejido urbano continuo

Se considera una clasificación urbanística cuando las áreas están predominantemente ocupadas por estructuras urbanas interconectadas sin grandes brechas o interrupciones. El tejido urbano continuo se distribuye a lo largo de todas las calles del asentamiento 13 de Mayo, donde se incluyeron las viviendas de uso doméstico, que en su mayoría son casas de un piso, donde en muchos casos poseen patios abiertos, casi que continuos a los de las viviendas vecinas. Se incluyen igualmente los andenes, las vías, y un escenario deportivo (cancha).

4.7.2 Vegetación secundaria o transicional

Definida como las superficies del territorio que han sido ocupadas por cobertura vegetal originada en el proceso de sucesión de la vegetación primaria. En el asentamiento principalmente se incluyeron vegetaciones que aflora en los lotes vacíos, en algunos de los patios abiertos, y zonas adyacentes a las viviendas.

4.7.3 Tierras desnudas y degradadas

Definida como una zona con una vegetación muy baja debido a la ocurrencia de procesos antrópicos y zonas degradables, incluyendo las de intensos procesos de erosión. Se pudo evidenciar zonas de intensos procesos erosivos, principalmente por la formación de cárcavamiento. Distribuida principalmente en la zona SE del asentamiento límite con el Barrio Nueva Esperanza.

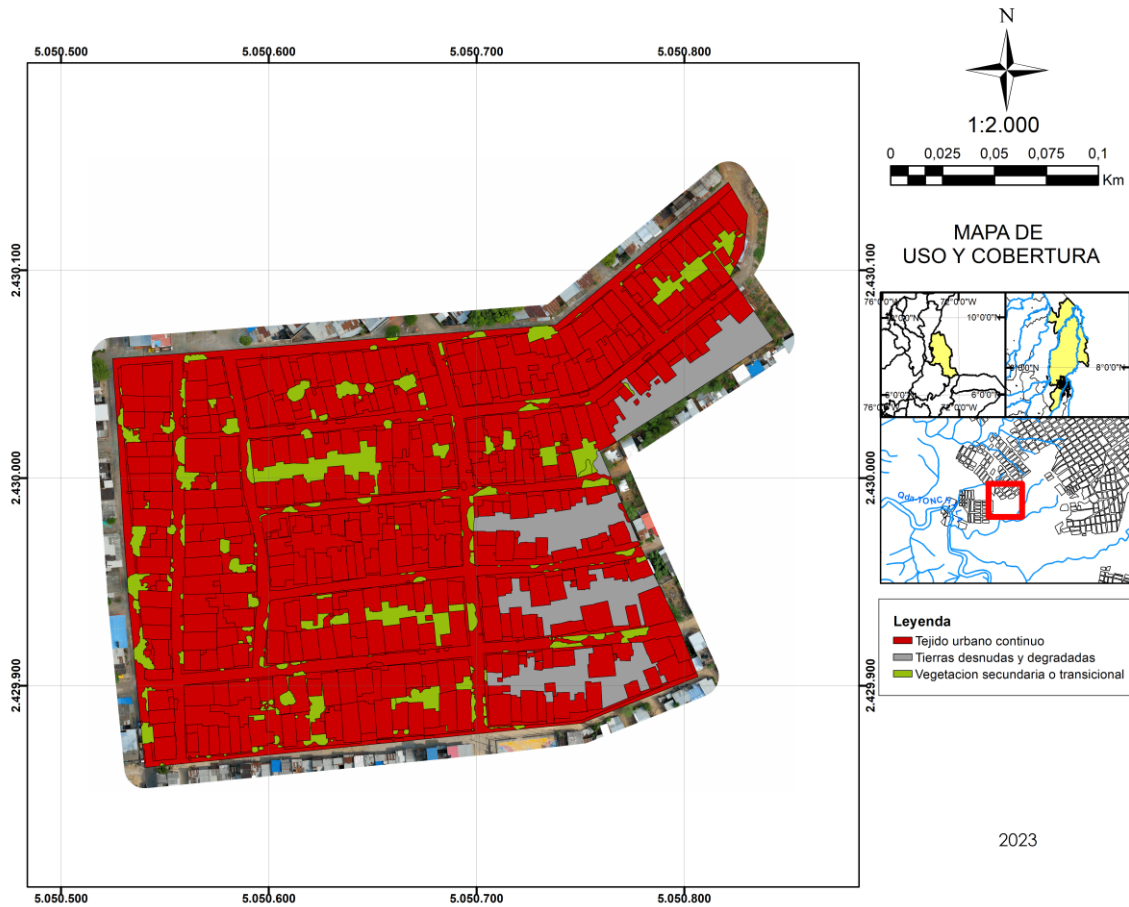


Figura 44. Mapa de uso y cobertura asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

5 Susceptibilidad

El análisis de susceptibilidad es uno de los componentes más relevantes, e incluso, el primero en generarse en los estudios de zonificación de amenaza y evaluación del riesgo [27]. En este análisis se determinó la susceptibilidad, como un indicativo de qué tan propenso es a generar un movimiento en masa y/o inundación. Matemáticamente, el análisis de susceptibilidad corresponde al cálculo de la probabilidad espacial de ocurrencia de movimientos en masa y/o inundaciones, dado un conjunto de condiciones geoambientales [28]; cálculo que parte de la premisa de la relación entre los factores condicionantes y eventos antecesores, determinando zonas que podrían iniciarse, o reactivarse estos procesos de movimientos en masa y/o inundación [29]. En el desarrollo de este trabajo el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa se llevó a cabo siguiendo los lineamientos propuestos por el Servicio Geológico Colombiano [16], en su guía metodológica de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000, utilizando como insumo: los elementos geomorfológicos (de movimientos en masa e inundación), las unidades geológicas superficiales, las pendientes y uso y cobertura del suelo, dándole una clasificación de valores entre 0 a 1, y

categorizando en 3 rangos de susceptibilidad: Bajo (de 0 a 0,25); Medio (de 0,25 a 0,75) y Alta (0,75 a 1). [27]

5.1 Susceptibilidad por movimientos en masa

El análisis de susceptibilidad para movimientos en masa se centró en el concepto de probabilidad espacial, analizando la posibilidad de que en el asentamiento se presentara o se desencadenara un evento. Este tipo de probabilidad se estimó teniendo en cuenta las funciones de densidad basadas en las relaciones entre las áreas inestables o deslizadas, y las áreas de diferentes clases que conforman el asentamiento. Según el inventario de los fenómenos amenazantes para movimientos en masa realizado en el asentamiento 13 de Mayo, se lograron identificar tres tipos de movimientos en masa como lo son erosiones, flujos y deslizamientos.

A partir del estudio realizado sobre las temática evaluadas dentro de la caracterización geoambiental y de la información secundaria (Unidades Geológicas Superficiales, Geomorfología, Uso y cobertura del suelo, morfodinámica, etc.) se definieron, sumado a la fotointerpretación realizada en cada temática y evaluada en factores multitemporales, definiendo la hipótesis de falla para el asentamiento con respecto a los puntos de inestabilidad calculados

estadísticamente mediante el inventario de movimientos en masa para definir las posibles combinaciones que se obtuvieron como producto final en las probabilidades de ocurrencia con respecto a esta misma variable:

Donde el aspecto condicionante más relevante es los puntos de inestabilidad del terreno debido a la mala calidad de la roca de la Formación León, la cual presenta en la mayor parte del área un alto grado de meteorización, generando suelos residuales que son influenciados por condiciones morfoométricas (pendientes fuertemente escarpadas y glaciares erosivos) de la zona, especialmente hacia el NE, las cuáles presentan ángulos mayores a 35°, e influye como factor condicionante y contribuyente a la inestabilidad de las laderas. Otro factor condicionante es la condición morfoestructural del área, que contribuye en la acción de puntos de inestabilidad; El asentamiento en su análisis multitemporal se vio ligado a cambios morfológicos propios de terrazo colgado, y debido al carácter de las fallas inferidas crean más planos de debilidad sobre este sector, que dan lugar a una alta tasa de eventos erosivos que, conjugado con las pendientes crean superficies inestables para la generación de movimientos rotacionales, flujos de roca y detritos. Por último, se define una relación entre las coberturas de la tierra, el uso del suelo y las pendientes, donde se definen coberturas de vegetación secundaria y tejido urbano continuo los cuales ofrecen índices de estabilidad del suelo, con respecto a las tierras desnudas y degradadas, las cuáles generan condiciones propicias para el progresivo desarrollo de procesos de erosión superficial que inciden en la generación de fenómenos de movimientos en masa.

A partir de esto, se definieron las unidades contenidas en cada variable temática con las cuáles se calculó la función final de susceptibilidad por movimientos en masa, de tal manera, que expliquen la menor o mayor susceptibilidad del terreno a posibles eventos de inestabilidad de las laderas, esto mediante la agrupación de las Unidades de Modelación (UM), donde se tuvo en cuenta la hipótesis de falla, los factores de inestabilidad, la calidad de roca, y el origen del suelo:

Tabla 6. Relación de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Acronimo UGC	Unidad de Modelación
Rmble	UM1
Srle	UM2
StQts	UM3
StQtr	UM4
Stal	UM5
Stallm	UM6
Srat	UM7

Tabla 7. Relación de la Cobertura y Uso del suelo en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Nombre de la cobertura y uso del suelo	Unidad de Modelación
Tejido urbano continuo	UM1
Vegetación secundaria	UM2
Tierras desnudas y degradadas	UM3

Tabla 8. Relación de las pendientes en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Valor de la Pendiente	Unidad de Modelación
0 - 2	UM1
2 - 4	UM1
4 - 8	UM3
8 - 16	UM4
16 - 35	UM5
35 - 55	UM2
> 55	UM2

Tabla 9. Relación de los Elementos Geomorfológicos en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Acronimo Gmf	Unidad de Modelación
Allm	UM1
Asp	UM2
Dge	UM3
Dleli	UM4
Fcaa	UM5
Fcai	UM5
Ftb	UM6
Ftaas	UM7
Sife	UM8

Con los parámetros definidos para el modelo de susceptibilidad por movimientos en masa se realizó el cálculo de los pesos de evidencia sobre las variables o condicionantes en el asentamiento integrándose al final como factores y sus clases respectivas, que definieron un índice de susceptibilidad por movimiento en masa determinados a partir de la suma ponderada de los pesos de los factores y las clases definidas a partir de la ecuación planteada [16]:

$$ISM = \sum_{j=1}^n W_j w_{ij}$$

Ecuación 3. Integración final de los factores condicionantes por susceptibilidad de movimientos en masa por Nguyen. [30]

Donde:

ISM: Índice de Susceptibilidad por movimientos en masa

Wj: Valor del peso para el parámetro j.

wij: Valor de peso de la clase i en el parámetro j.

n: número de parámetros

Tabla 10. Pesos de evidencia para la Variable de Unidades Geológicas Superficiales. Fuente: Autor(es).

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W final
UM1	0,10	0,5	0,05
UM2	0,8	1	0,8
UM3	0,3	0,2	0,06
UM4	0	0,1	0
UM5	0	0	0
UM6	0,4	0,13	0,052
UM7	0	0,3	0

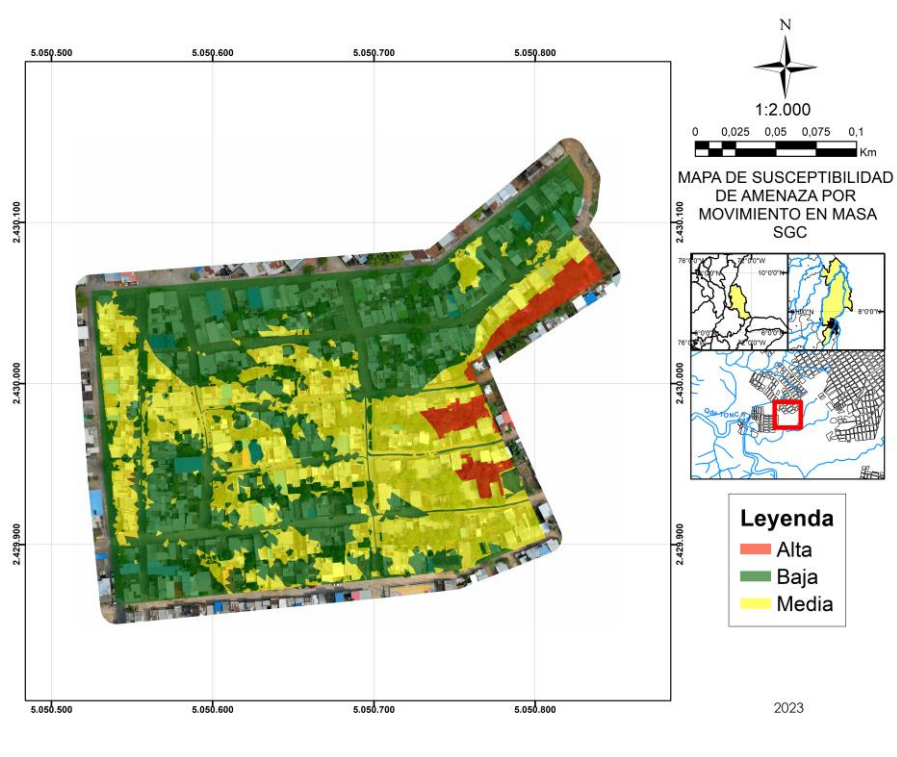


Figura 45 Mapa de susceptibilidad de amenaza para movimientos de remoción en masa mediante la metodología del SGC en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es).

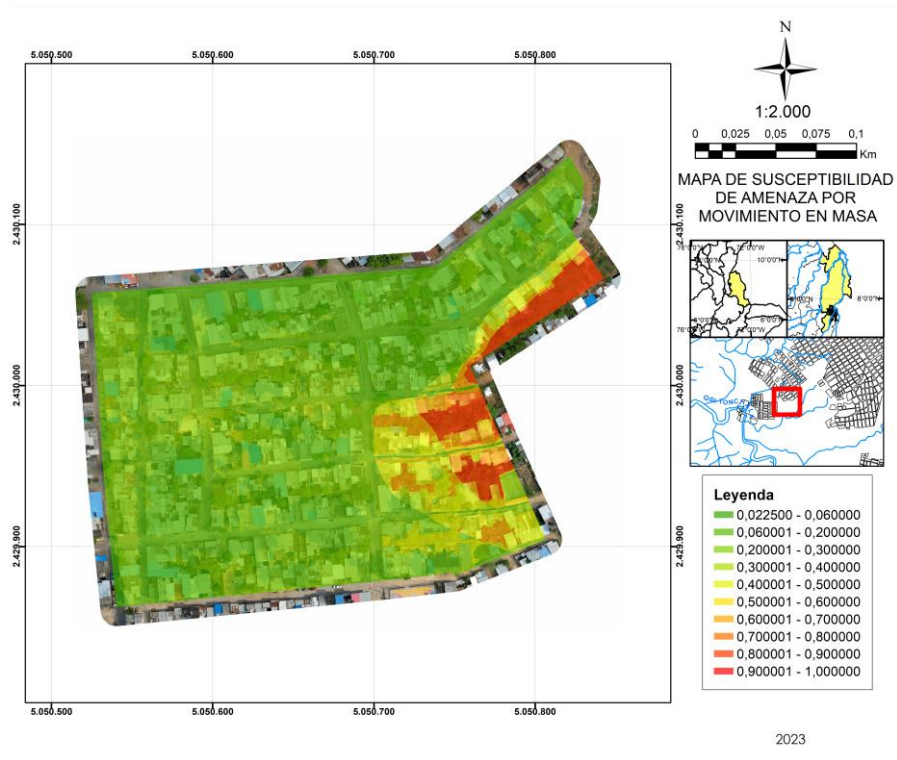


Figura 46 Mapa de susceptibilidad de amenaza para movimientos de remoción en masa mediante la metodología de rangos en el asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es).

Tabla 11. Pesos de evidencia para la Variable de Elementos Geomorfológicos. Fuente: Autor(es)

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W final
UM1	0,2	0,1	0,02
UM2	0,1	0,2	0,02
UM3	1	1	1
UM4	0,4	0,4	0,16
UM5	0	0	0
UM6	0	0,1	0
UM7	0,3	0,2	0,06
UM8	0,5	0,25	0,125

Tabla 12. Pesos de evidencia para la Variable de Uso y Cobertura del suelo. Fuente: Autor(es).

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W final
UM1	0,25	0,6	0,15
UM2	0,2	0,45	0,09
UM3	0,76	1	0,76

Tabla 13. Pesos de evidencia para la Variable de Pendientes. Fuente: Autor(es).

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W final
UM1	0	0	0
UM2	0,3	0,5	0,15
UM3	0,8	0,85	0,68
UM4	0,9	1	0,9
UM5	1	1	1

Con los valores del peso de evidencia se realiza el cálculo de la función de susceptibilidad por método estadístico bivariado; estos pesos se ingresan a una ecuación para el cálculo de la función final de la susceptibilidad o LSI (Landslide Susceptibility Index):

Ecuación 4. Función final de susceptibilidad o LSI (Landslide Susceptibility Index).

$$LSI = Wf(UGS) + Wf(Cobertura) + Wf(Pendiente) + Wf(Gmf)$$

Donde:

$$LSI = (0,962) + (1,385) + (1) + (2,73)$$

$$LSI = 6,077$$

De acuerdo con la anterior fórmula, se obtuvo el mapa de LSI correspondiente. Por último, se realizó la categorización de la susceptibilidad por movimiento en masa bajo el cálculo del LSI, con base a la guía metodológica del SGC [16], dividida en susceptibilidad Alta, Media y Baja: (Ver Figura 45 Figura 46

Tabla 14. Grados, áreas y porcentajes obtenidos de la categorización final de la susceptibilidad. Fuente: Autor(es)

Nivel	Área (ha)	%
Alta	0,224161	4,15708196
Media	2,132432	39,5461056
Baja	3,035675	56,2968124
Total	5,392269	100

5.1.1 Susceptibilidad Alta

El área alcanzada por esta categoría es del 4,16%, correspondiente a 0,22 ha localizado principalmente al

Nororiente del asentamiento. Se presenta en la región cubierta superficialmente por suelo residual de la Formación León, donde se presentan altas pendientes que permiten fácilmente la aparición de movimientos en masa; Las subunidades geomorfológicas asociadas a esta corresponden a la unidad estructural de escarpe de línea de falla marcadas por antiguas fallas normales, atribuible al comportamiento escalonado de las geoformas, seguido de unidades geomorfológicas denudacionales como lo es el glacis de erosión presentando altos niveles de erosión acompañado de las altas pendientes.

5.1.2 Susceptibilidad Media

El área alcanzada por esta categoría es de 39,55% del área total, correspondiente a 2,13 ha, localizada principalmente al Nororiente, centro y Noroccidente del asentamiento. Se presenta principalmente como material de calidad muy mala a regular de E-W en la región cubierta principalmente por la roca muy blanda de la Formación León, y superficialmente por el Suelo residual de esta misma (Al Noreste) (suelo de color amarillo rojizo a oscuro húmedo), presentando en muy pocos casos estructuras relicticas visibles, compuestas por clastos de arenas finas y arcillas moderadamente. Se evidencia presencia de composición de depósitos aluviales demarcados.

5.1.3 Susceptibilidad Baja

El área alcanzada por esta categoría es de 56,30% del área total, correspondiente a 3,03 ha, localizada principalmente en la zona Norte y Sur del asentamiento. Se presentan pendientes bajas a moderadas, asociadas a las zonas de depósitos antiguos de terraza sobre elevada, siendo esta un punto de estabilidad en la misma cubriendo en su totalidad la zona que solía ser red principal de cauces permanentes influyendo en su morfología actual.

5.2 Susceptibilidad por inundación

El análisis de susceptibilidad por inundaciones se centró en el concepto de probabilidad espacial, donde se analizó la posibilidad de que en una localización en particular se presentara o desencadenara un evento. En general este tipo de probabilidad se estimó teniendo en cuenta funciones de densidad basadas principalmente en relaciones entre las áreas inundables, las áreas de las diferentes clases que conforman los factores condicionantes y el área total de la zona de estudio. Según el inventario de fenómenos amenazantes para inundación realizado en el asentamiento 13 de Mayo, se lograron identificar como principales fenómenos amenazante de inundación nueve drenajes intermitentes.

A partir del estudio realizado sobre las temáticas evaluadas dentro de la caracterización geoambiental y de la información secundaria (Unidades Geológicas Superficiales, Geomorfología, Uso y Cobertura del suelo, morfodinámica, etc.), sumado a la fotointerpretación realizada en cada temática y evaluada en factores multitemporales, definiendo la hipótesis de inundación para el asentamiento con respecto a los puntos de posible acumulación de agua y que abarcan todos estos aspectos integrados con la caracterización

realizada en campo para definir las posibles combinaciones como producto final en las probabilidades de ocurrencia con respecto a esta misma variable:

El aspecto más relevante en el área de estudio, como condicionante en la generación de puntos de inundación del terreno es su morfometría, especialmente evidenciada en los cambios de pendientes significativos en su mayor parte; las cuales evidencian Terrazas sobreelevadas con pendiente medias a abruptas, con presencia de diques y cauces abandonados, las cuales presentan ángulos entre 35° a 45° e influye como factor condicionante y contribuyente a la posibilidad de inundación de ser casi nula. Seguido de la condición morfométrica de la región también contribuye en la acción de pequeños puntos más planos en laderas estructurales, que dan lugar a una acumulación de agua, conjugado con las pendientes crean superficies muy suaves a planas para la generación de inundaciones en las terrazas recientes y depósitos aluviales con predominio de materiales finos. Y por último, se define una relación entre las coberturas de la tierra, el uso del suelo y las pendientes, donde se definen coberturas de vegetación secundaria y tejido urbano continuo los cuales permiten la circulación homogénea de los diferentes cauces intermitentes de origen pluvial; con respecto a las tierras desnudas y degradadas, las cuáles generan condiciones propicias para el progresivo desarrollo de procesos de acumulación de agua e inundaciones en las llanuras aluviales y terrazas recientes con pendiente media a casi plana.

A partir de esto, se definieron las unidades contenidas en cada variable temática con las cuáles se calculó la función final de susceptibilidad por inundación, de tal manera, que expliquen la menor o mayor susceptibilidad del terreno a posibles eventos, esto mediante la agrupación de las Unidades de Modelación (UM), donde se tuvo en cuenta la hipótesis de falla, los factores de inestabilidad, la calidad de roca, y el origen del suelo:

Tabla 15. Relación de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS) en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Acrónimo UGC	Unidad de Modelación
Rmble	UM1
Srle	UM2
StQts	UM3
StQtr	UM4
Stal	UM5
Stallm	UM6
Srat	UM7

Tabla 16. Relación del Uso y Cobertura del suelo en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Nombre de la cobertura y uso del suelo	Unidad de Modelación
Tejido urbano continuo	UM1
Vegetación Secundaria	UM2
Tierras desnudas y degradadas	UM3

Tabla 17. Relación de las pendientes en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Valor de la Pendiente	Unidad de Modelación
0 - 2	UM1
2 - 4	UM2
4 - 8	UM3
8 - 16	UM4
16 - 35	UM5
35 - 55	UM6
> 55	UM6

Tabla 18. Relación de los Elementos Geomorfológicos para inundación en Unidades de Modelación. Fuente: Autor(es).

Acrónimo Gmf I	Unidad de Modelación
DOF3	UM1
DAI2	UM2
DTI5	UM3

Con los parámetros definidos para el modelo de susceptibilidad por inundación se realizó el cálculo de los pesos de evidencia sobre las variables o condicionantes en el asentamiento integrándose al final como factores y sus clases respectivas, que definieron un índice de susceptibilidad por inundación determinados a partir de la suma ponderada de los pesos de los factores y las clases definidas a partir de la ecuación planteada [27]:

$$ISI = \sum_j^n W_j w_{ij}$$

Ecuación 5. Función final de los factores de susceptibilidad ISI por Nguyen. [30]

Donde:

ISI: Índice de Susceptibilidad por inundaciones

Wj: Valor del peso para el parámetro j.

wij: Valor de peso de la clase i en el parámetro j.

n: número de parámetros

Tabla 19. Pesos de evidencia para la Variable de Unidades Geológicas Superficiales. Fuente: Autor(es)

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W Final
UM1	0	0,15	0
UM2	0,04	0,1	0,004
UM3	0	0,2	0
UM4	0,4	0,25	0,1
UM5	1	1,5	1,5
UM6	0,1	0,25	0,025
UM7	0,1	0,1	0,01

Tabla 20. Pesos de evidencia para la Variable de Elementos Geomorfológicos para Inundación. Fuente: Autor(es)

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W Final
UM1	0,35	0,3	0,105
UM2	0,34	1	0,34
UM3	1	1,25	1,25

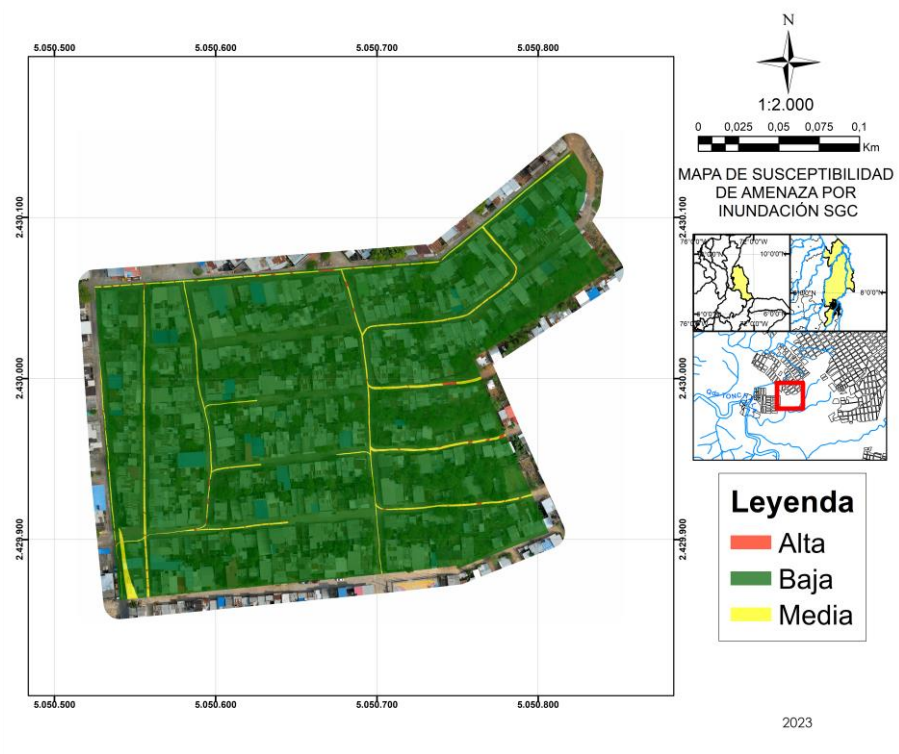


Figura 47. Mapa de susceptibilidad de amenaza por inundaciones mediante la metodología del SGC asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

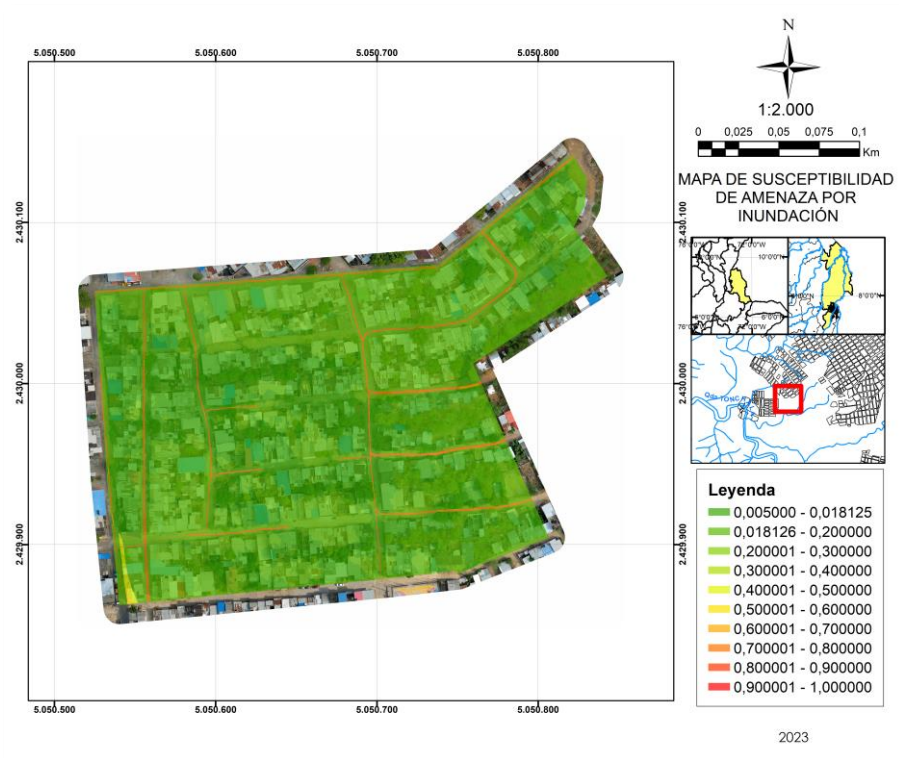


Figura 48. Mapa de susceptibilidad de amenaza de inundaciones mediante la metodología de rangos asentamiento 13 de Mayo. Fuente: Autor(es)

Tabla 21. Pesos de evidencia para la Variable de Uso y cobertura del suelo. Fuente: Autor(es)

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W final
UM1	0,25	0,25	0,0625
UM2	0,2	0,1	0,02
UM3	1	0,15	0,15

Tabla 22. Pesos de evidencia para la Variable de Pendientes. Fuente: Autor(es)

Clasificación	Peso Unidad	Peso por Categoría	W final
UM1	1	0,35	0,35
UM2	0,9	0,2	0,18
UM3	0,8	0,1	0,08
UM4	0,5	0	0
UM5	0,1	0	0
UM6	0	0	0

Con los valores del peso de evidencia se realiza el cálculo de la función de susceptibilidad por método estadístico bivariado; estos pesos se ingresan a una ecuación para el cálculo de la función final de la susceptibilidad o FSI (Flood Susceptibility Index):

Ecuación 6. Función final de susceptibilidad o FSI (Flood Susceptibility Index).

$$FSI = Wf (UGS) + Wf (Gmf_I) + Wf (Cobertura) + Wf (Pendientes)$$

Donde:

$$FSI = (1,639) + (1,695) + (0,2325) + (0,61)$$

$$FSI = 4,1765$$

De acuerdo con la anterior fórmula, se obtuvo el mapa de FSI correspondiente. Por último, se realizó la categorización de la susceptibilidad por movimiento en masa bajo el cálculo del FSI, con base a la guía metodológica del SGC [16], dividida en susceptibilidad Alta, Media y Baja: (Ver Figura 47 y Figura 48)

Tabla 23. Grados, áreas y porcentajes obtenidos de la categorización final de la susceptibilidad por amenaza de inundación. Fuente: Autor(es)

Nivel	Área (ha)	%
Alta	0,011852	0,2197962
Media	0,142319	2,63931615
Baja	5,238097	97,1408877
Total	5,392269	100

5.2.1 Susceptibilidad Alta

El área alcanzada por esta categoría es de 0,22% del área total, correspondiendo a 0,012 ha, y se encuentra ubicada principalmente en la parte suroriental, suroccidental y norte(límite con el asentamiento Nuevo Horizonte) del asentamiento, la cual se presenta en Suelos transportados aluviales (Stal) y de terraza recientes (StQts), donde estos puntos de amenazas altas, se encuentran en zonas con pendientes bajas, y algunos casos en pequeñas subsidencias u ondulaciones, esto debido a diversas zonas de planicie, o en zonas de alta erosión; Las subunidades geomorfológicas asociadas corresponden a tipos de ambiente fluvial compuesto por Terrazas recientes y Cauces aluviales intermitentes producto de aguas pluviales y de escorrentía.

5.2.2 Susceptibilidad Media

El área alcanzada por esta categoría es de 2,64% del área total, correspondiendo a 0,14 ha, se localiza principalmente en los márgenes determinados por los cauces aluviales intermitentes en donde las subunidades geomorfológicas asociadas corresponden a zonas de terrazas con pendientes medias a altas, mientras que en menor proporción se presenta en zonas aledañas a los llenos mixtos en las áreas de cauces abandonados y pendientes casi planas; siendo estas propensas a los fenómenos de inundación, en especial en tiempos de altas precipitaciones.

5.2.3 Susceptibilidad Baja

El área alcanzada por esta categoría corresponde a la mayor presente en el asentamiento y abarca cerca del 97,14% en 5,24 ha, del área total. Se localiza en su mayoría principalmente en las zonas urbanizadas. Sus pendientes altas a escarpadas y las zonas de suelo transportado permiten la fácil circulación de las aguas pluviales. Las terrazas recientes de cauces abandonados, los suelos transportados de terrazas sobreelevadas, las zonas de las vías no tecnificadas compuesta de material transportado de lleno mixtos, delimitan unidades geomorfológicas de inundación en los asentamientos aledaños al norte, y sur.

6 Discusión

Los grados de los diferentes fenómenos de amenaza como insumo dentro de la determinación final de la susceptibilidad, fueron tomados a partir de la clasificación metodológica optada por el Servicio Geológico Colombiano a escala 1:25000 la cual define rangos por susceptibilidad alta valores mayores a 75%; susceptibilidad media a valores entre 25% a 75% y susceptibilidad baja con valores menores al 25% en todos los fenómenos (Ver Figura 45y Figura 47). Con la categorización definida para el análisis de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa e inundación determinados a partir de los factores condicionantes y de las unidades de modelación, se indica que esta clasificación no es enteramente apropiada para validar las diferentes hipótesis de falla e inundación que especifican los diferentes procesos de movimiento en masa e inundación en el área del asentamiento humano 13 de Mayo. Las principales razones mediante la cual se generan procesos de movimientos en masa, van ligadas a partir de la multitemporalidad del área específica, en donde se denota índices mayores debido a la clasificación de las variables entre los rangos definidos donde la susceptibilidad media me representa cerca del 40% de la clasificación, con diferencia netamente perceptible entre la clasificación baja y alta que corresponden al 60% restante; lo que infiere una visualización a una escala no detallada de la amenaza. En la categorización también se evidencian valores diversos que están clasificados como susceptibilidad baja en un 20% determinando zonas de cauces aluviales antiguos; aunque por otra parte se encuentran valores cercanos al 45% en zonas cercanas a los cauces intermitentes de origen pluvial donde su amenaza por susceptibilidad está clasificada como media se puede relacionar más a amenaza alta debido a las

laderas estructurales en la zona de estudio. Para las unidades de movimientos en masa se observa un déficit por susceptibilidad alta de más del 25% en la parte noreste del área ligada a procesos erosivos los cuales limitan morfologías de origen residual que pueden ser (a detalle) clasificadas como susceptibilidad media-alta, sugeridas para que sean más acorde a la escala de trabajo. Para su aplicación en el concepto de orden de susceptibilidad, se plantea representar una clasificación establecida por rangos de 10% los cuales permitan observar a detalle las diferentes variables de susceptibilidad a partir de los fenómenos de movimiento de masa e inundación para una escala a detalle de 1:2000

7 Conclusiones

Se determinó la zonificación por susceptibilidad de amenaza mediante el álgebra de mapas, y el análisis de los factores condicionantes para movimientos en masa e inundación a una escala detallada 1:2000, a partir de las características geológicas, geomorfológicas, unidades superficiales y de uso y cobertura del suelo en el asentamiento 13 de Mayo mediante la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano.

Se obtuvo la recopilación y descripción completa de la información relacionada con el objeto del estudio, analizando cada uno de los factores planteados para identificar la incidencia de los fenómenos por susceptibilidad de movimientos en masa e inundación en el área de estudio determinada, que sirvió para establecer un marco general de las diferentes unidades geológicas y geomorfológicas en la gestión del riesgo.

Se realizó una evidencia de características para fenómenos amenazantes a partir de la multitemporalidad en un intervalo periódico anual entre 1991 a 2023, en el que se evidenciaron diferentes rasgos morfológicos para la caracterización de los factores condicionantes que inciden en los procesos del área de estudio, como lo son el cambio y alteración de los cauces fluviales, los procesos morfodinámicos, su variabilidad y su relación con la susceptibilidad.

Los elementos caracterizados tanto geomorfológicamente como geológicamente, se ven evidenciados por los diferentes tipos de ambientes denudacionales los cuales se encontraron distribuidos en la mayor parte del área de estudio, generando procesos erosivos como el flujo de detritos y cárcavas superficiales, en donde se relacionan con la interacción de los drenajes intermitentes superficiales los cuales aumentan este tipo de procesos y consigo su amenaza. Se puede definir un marco geológico ligado a los procesos de terrazas colgadas a partir de la incidencia de fallas normales antiguas, las cuales han actuado como detonantes en la generación y mitigación de los rasgos litológicos que se pueden analizar allí; de esta manera, se dimensiona el ambiente estructural del Suroeste del municipio de San José de Cúcuta que forma valles y terrazas escalonadas producto de la deformación tectónica con cinemática de fallas normales presente sobre el margen sinéctico de la estructuralidad en el oriente de la región.

Se determinaron los niveles por susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa e inundación validando las hipótesis planteadas mediante el análisis determinístico y la caracterización de los factores condicionantes en donde el asentamiento humano las interpretaciones geológicas geomorfológicas y cartográficas descritas definieron una zona de susceptibilidad por medios estructurales como cicatrices de deslizamiento observables por el flujo de detritos y sigmas de transporte relacionados a cárcavamiento por procesos erosivos superficiales, siendo la susceptibilidad más alta en la parte noreste que se estima puede llegar a tener entre un 20% a 45% de su área en amenaza media-alta, respectivamente. Para la susceptibilidad por fenómenos de inundación se tiene que la condición morfométrica en el área de estudio contribuye en la acción de puntos más planos en laderas estructurales, que dan lugar a diferentes acumulaciones de agua; que gracias a las pendientes delimitan superficies muy suaves a planas para la generación de inundaciones en las terrazas recientes y depósitos aluviales con predominio de materiales finos.

Mediante la categorización definida para el análisis de susceptibilidad de amenaza por movimientos en masa e inundación establecida por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), determinados a partir de los factores condicionantes y de las unidades de modelación, se concluye que la clasificación en los mapas por susceptibilidad de las diferentes amenazas no es la apropiada para validar los factores de hipótesis de falla e inundación de las variables que especifican los diferentes procesos de movimiento en masa e inundación en el área del asentamiento humano.

8 Reconocimientos

Expreso un agradecimiento muy especial a mis padres Javier Augusto Barros Leal y Bibiana Cañón Abril, por su esfuerzo y dedicación en forjar la persona que soy, por estar presentes en todos los momentos de mi vida, por ser quienes me apoyaron en el ámbito moral y económico en todos estos años de formación profesional, y no menos importante por su inmenso amor y cariño.

A mi familia y amigos, por brindarme todo el apoyo y brindarme la confianza en mis estudios como profesional.

A las señoras July Andrea Barros Cañón (hermana), Rosa Helena Cañón Abril (tía), y Julia Abril Pérez (abuela), por siempre brindarme un apoyo sincero y motivarme a ser mejor.

A mi novia Diana Camila Sánchez Rojas, por siempre apoyarme con sus palabras de aliento y moral en todo este proceso. Gracias por tu lindo amor.

Javier Augusto Barros Cañón

Quiero expresar un profundo agradecimiento a mi familia y a mis amigos que han sido un apoyo incondicional durante todo mi proceso de formación académica y que me brindaron una confianza íntima en el transcurso de mis estudios. A mi querida madre Marcela Michela Montoya Centeno, a mi padre Aldemar Guzmán y mi hermana Johanna Rojas Montoya, quienes siempre han estado a mi lado con su amor

incondicional y quienes me apoyaron tanto moral y sabiamente en el transcurso de estos 5 años de pregrado. Su constante aliento ha sido mi motivación, y cada logro adquirido en este trabajo de grado lleva impreso el reflejo de su dedicación. Agradezco infinitamente la presencia constante de cada una de estas personas en mi camino educativo y su inmenso cariño se verá reflejado siempre en motivarme ser un mejor profesional.

Nicolas Alexander Guzmán Montoya

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento al profesor y director del programa de Geología Ilich Sebastián Villamizar por su invaluable enseñanza a lo largo de nuestros estudios profesionales y por su continuo respaldo y confianza durante el desarrollo de este trabajo de grado.

También extender nuestras palabras de agradecimiento a nuestros compañeros, amigos y colegas por sus aportes a nuestro conocimiento a lo largo de este proceso.

Así mismo, queremos reconocer a la Universidad de Pamplona por su confianza en nuestro programa de geología, brindando oportunidades para la consolidación de funciones investigativas en el ámbito educativo.

Agradecemos especialmente la posibilidad de establecer más convenios interadministrativos con otras entidades, permitiendo a los estudiantes y nuevos egresados explorar excelentes oportunidades para poner en práctica sus conocimientos y adquirir nuevos saberes.

Es fundamental expresar nuestra humilde gratitud a la Alcaldía de San José de Cúcuta por confiar en nuestra institución y por desempeñar un papel crucial en el desarrollo de estudios con impacto en los ámbitos sociales, naturales, ambientales, políticos y educativos dentro de la región. Esta colaboración ha permitido un ambiente propicio para el crecimiento académico y la contribución significativa a nuestra comunidad.

Nuevamente, agradecemos a todas las partes involucradas por su apoyo continuo y compromiso con la excelencia educativa.

9 Referencias

- [1] SGC, "Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa," 2016.
- [2] .. G. Bermúdez, 2018. [Online]. Available: <http://cronicasdecucuta.blogspot.com/>. Obtenido de <http://cronicasdecucuta.blogspot.com/2012/06/190-barrios-de-cucuta.html>.
- [3] La opinión, 2015. [Online]. Available: <https://www.laopinion.com.co/>. Obtenido de <https://www.laopinion.com.co/cucuta/habitantes-del-13-de-mayo-esperan-un-milagro-para-la-construccion-de-su-barrio>.
- [4] Cúcuta, Alcaldía de San José de, "Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de San José de Cúcuta," San José de Cúcuta, 2019.
- [5] J. Gómez, "Ajuste y revisión del Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de San José de Cúcuta," San José de Cúcuta.
- [6] IDEAM, "MEMORIA DESCRIPTIVA MAPAS DE INUNDACIÓN DEPARTAMENTO DE SANTANDER Escala 1:100.000.," 2010.
- [7] e. a. Leiva, ". Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos aplicados a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa a escala 1:100.000.," MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA, SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2012.
- [8] N. Alarcón, "METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE AMENAZA POR EVENTOS DE AVENIDA TORRENCIAL A ESCALA 1:2000.," Universidad de la Gran Colombia, 2007, pp. 35-37.
- [9] C. Rincón, Zonificación Geotécnica Preliminar con base en la correlación de los resultados de ensayos CBR, del área Urbana del Municipio de San José de Cúcuta, Norte de Santander., Universidad de Pamplona, 2022.
- [10] Verstappen, H., & Van Zuidam., El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos., Villanueva de Huerva: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), 1992.
- [11] J. H. Carvajal, Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia, Bogotá: Documento interno sometido a discusión y modificaciones.: Instituto Colombiano de Geología y Minería., 2012.
- [12] SGC, Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000, Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, 2012.
- [13] IDEAM., GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN., Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, 2017.
- [14] SGC., Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza, Escala 1:100.000., Bogota: Servicio Geológico Colombiano., 2012.
- [15] Wilson, J., & Gallant, J., Terrain Analysis: Principles and Applications, New York: Wiley, 2000.
- [16] SGC, GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1: 25.000., 2017.
- [17] Santacana, N., Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. Aplicación a la cuenca alta del río Llobregat. Barcelona Barcelona.: Tesis doctoral, Barcelona: UPC, Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica, 2001.
- [18] R. Dikau, The application of a digital relief model to landform analysis. Londres: In: Raper, J.F. (Ed.), Three dimensional applications in Geographical Information Systems., Londres: Taylor and Francis, 1989.

-
- [19] R. Huggett, Fundamentals of Geomorphology. 2nd Edition., New York: Master e-book, 2007.
 - [20] SGC, "Guía metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa," 2016.
 - [21] Uribe, E., & Villamizar, I, Inventario y divulgación del patrimonio geológico del departamento Norte de Santander., 2023.
 - [22] M. Hermelín, "Suelos, Rocas y Formaciones Superficiales," *DYNA (106)*, pp. 25-29, 1985.
 - [23] A. U. F. & C. Y. Reyes, Guía básica para la caracterización morfométrica de cuenca hidrográficas. Santiago de Cali, Colombia., Santiago de Cali: Programa editorial Universidad del Valle, 2010.
 - [24] A. Pallarés Serrano, La planificación hidrológica de Cuenca como instrumento de ordenación ambiental sobre el territorio., Valencia: Tirant lo Blanch, 2007.
 - [25] J. Monserrat, "Forma de una cuenca de drenaje, análisis de variables morfométricas que nos la definen.," *Revista de Geografía*, 19, 1985, pp. 41-68.
 - [26] IDEAM., Leyenda Nacional de Coberturas de ía Corine Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000., Scripto Ltda., 2010.
 - [27] SGC, Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25.000, Bogotá: Servicio Geológico Colombiano, 2017.
 - [28] Guzzetti, F et al. and F. R. P. C. M. G. M. A. F. Guzzetti, "Probabilistic landslide hazard assessment at the basin scale.," 2005, pp. *Geomorphology* 72, 272 - 299.
 - [29] Hutchinson, D., "Landslide hazard assesment," Christchurch., VI Int Symp on Landslides, 1995.
 - [30] V. Nguyen, Comparing the prediction performance of a Deep Learning Neural Network model with conventional machine learning models in landslide susceptibility assessment., Catena: CATENA, 2020.