



Universidad[®]
Católica
de Manizales

Evaluación Del Escenario de Riesgo por Movimientos en Masa en el Sector Cementerio Municipio de Tenjo Cundinamarca

EVALUACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR CEMENTERIO MUNICIPIO DE TENJO CUNDINAMARCA

BLANCA YENITH TORRES FORERO
Ingeniero Geólogo

**Monografía presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Prevención, Reducción y Atención de Desastres**

Director
Dr. JHON MAKARIO LONDOÑO BONILLA
Geofísica

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, ATENCIÓN Y REDUCCIÓN DE DESASTRES
MANIZALES
2018

Blanca Yenith Torres Forero Ing. Geólogo
Universidad Católica de Manizales
Especialización en Prevención, Reducción y Atención de Desastres



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	6
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2. JUSTIFICACIÓN.....	8
3. OBJETIVOS.....	9
Objetivo General.....	9
Objetivos Específicos.....	9
4. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO.....	10
4.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	13
4.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	14
5. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL POSIBLE ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR CEMENTERIO MUNICIPIO DE TENJO.....	15
5.1 Revisión Documental.....	15
5.2 Análisis de Amenaza por movimientos en masa:.....	15
5.3 Metodología para la zonificación de amenazas por movimientos en masa.....	17
Revisión de información primaria:.....	18
Visitas a campo:.....	18
Actualización cartográfica:.....	18
Zonificación de amenazas por movimientos en masa mediante el uso de geoprocesamiento.....	24
5.3.1 Análisis de vulnerabilidad:.....	28
<i>Metodología del proceso de vulnerabilidad:</i>	28
5.3.2 Caracterización del Escenario de Riesgo.....	35
6. RESULTADOS Y ANÁLISIS	36
6.1 Análisis De Amenaza:.....	38
<i>Geología UGI (Unidades Geológicas para Ingeniería)</i>	38
UGI- Caracterización geotécnica de la zona- SMR- RMR.....	44
Variable Sísmica.....	52
Relación material y comportamiento frente a un sismo. Talud en condición sísmica.....	53
Clima – precipitación:.....	55
Geomorfología.....	58
Morfometría.....	58
Morfodinámica.....	58
Fenómenos de Remoción en masa en la Zona De Estudio.....	60
Morfología:.....	66
Cobertura y Uso de suelo.....	69
Zonificación de amenaza:.....	80
Áreas con condición.....	81
Áreas con condición de amenaza.....	81
Áreas con condición de Riesgo.....	82
Áreas Sin Condición.....	83
6.2 Análisis de vulnerabilidad física.....	84
6.3 Escenario De Riesgo.....	96
7. Recomendación De Acciones Y Medidas De Reducción.....	99
8. CONCLUSIONES.....	101
9. BIBLIOGRAFÍA.....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Descripción general del área.....	14
Tabla 2.Insumos para realizar la zonificación	18
Tabla 3 Descripción de la aplicación metodológica por variable en el área de estudio.....	19
Tabla 4. Clasificación de pendientes IGAC	22
Tabla 5. Calificación y ponderación de variables del modelo conceptual para Fenómenos de Remoción en Masa.....	27
Tabla 6. Escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrin	29
Tabla 7 Parámetros del desarrollo metodológico del análisis de vulnerabilidad.	30
Tabla 8. Variables para y calificación del parámetro configuración en planta.....	33
Tabla 9. Variables para y calificación del parámetro configuración de elevación	34
Tabla 10. Variables para y calificación del parámetro distancia máxima entre muros	35
Tabla 11. Comparativo de los instrumentos de Planificación	36
Tabla 12. Resultado de la Revisión del Diagnóstico del POT.....	37
Tabla 13. Descripción general Depósito Cuaternarios	40
Tabla 14. Afloramientos presentes en la zona de acuerdo a la visita realizada en campo.	42
Tabla 15 Identificación de la muestra sector 1	45
Tabla 16 Análisis petrográfico en macro de muestra UGI	45
Tabla 17. Resultados de laboratorio	46
Tabla 18 Resistencia a compresión simple por sectores.....	46
Tabla 19. Parámetros de rotura del macizo rocoso.....	46
Tabla 20. Parámetros mecánicos del macizo rocoso	47
Tabla 21. Peso específico.....	47
Tabla 22. Datos estructurales discontinuidades por sectores.....	47
Tabla 23. Parámetros Geomecánicos.....	48
Tabla 24.Factores de ajuste de Diaclasas	50
Tabla 25 Ponderación de las UGI para la zonificación	51
Tabla 26. Condición FS en condición pseudo-estática Sismo y Ru- Amenaza geotecnia Condiciones extremas.	54
Tabla 27. Ponderación de la variable sísmica para la zonificación.....	54
Tabla 28.Calificación y ponderación de la variable clima para la zonificación	57
Tabla 29 Descripción de procesos Morfodinámicos identificados en la zona	58
Tabla 30. Inventario De Puntos Críticos.....	62
Tabla 31. Territorios Artificializados	70
Tabla 32. Territorios agrícolas área de planificación	74
Tabla 33. Territorios agrícolas área de planificación	77
Tabla 34. Clasificación de cobertura y porcentajes	78
Tabla 35. Distribución porcentual de las áreas con condición	84
Tabla 36.Levantamiento de información acerca del análisis de vulnerabilidad en campo	88
Tabla 37 Distribución porcentual de la clasificación del riesgo en la zona de estudio.	97
Tabla 38. Propuesta definida para áreas expuestas en condición de riesgo.....	100



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localización del área de estudio.....	13
Figura 2. Localización zona de estudio.....	14
Figura 3. Proceso metodológico	15
Figura 4. Metodología zonificación de Amenazas Metodología para el desarrollo de estudios soportes de la zonificación de amenazas por movimiento en masa.....	17
Figura 5. Modelo de variables para la zonificación por fenómenos de remoción en masa.....	26
Figura 6. Modelo de amenaza	28
Figura 7. Configuración en Planta.....	33
Figura 8. Configuración de Elevación	34
Figura 9 Distancia entre muros	35
Figura 10. Geología regional.....	38
Figura 11. Levantamiento geológico a escala regional escala 1:25.000.....	39
Figura 12 Deposito Coluvial	40
Figura 13. Geología local zona de estudio	41
Figura 14 Afloramiento Fm. Arenisca dura.....	42
Figura 15 Afloramiento Fm. Arenisca dura zona Norte.....	43
Figura 16 Mapa Geológico Levantado En Campo.....	52
Figura 17 Datos sísmicos reportados por el SGC en el municipio y alrededores	52
Figura 18. Modelación de F.S en SLIDE	54
Figura 19 Mapa de la variable sísmica en la zona	55
Figura 20 Histograma de variables climáticas.....	56
Figura 21. Mapa variable clima.....	57
Figura 22. Mapa de pendientes.....	58
Figura 23 Procesos morfodinámicos que se desarrollan en la zona.....	62
Figura 24. Localización e identificación movimientos en masa en zona de estudio.....	66
Figura 25. Mapa De Geomorfología.....	69
Figura 26. Cobertura tejido urbano continuo.....	71
Figura 27. Tejido urbano continuo, Cementerio.....	71
Figura 28. Cobertura tejido urbano discontinuo.....	72
Figura 29. Tejido urbano discontinuo	72
Figura 30. Red vial de comunicación	73
Figura 31. Cobertura correspondiente a pastos limpios	75
Figura 32. Pastos limpios.....	75
Figura 33. Cobertura correspondiente a pastos arbolados.....	76
Figura 34. Pastos arbolados	76
Figura 35. Cobertura correspondiente a Bosque fragmentado.....	77
Figura 36. Bosque fragmentado.....	78
Figura 37 Porcentaje cobertura área de planificación	79
Figura 38. Mapa de cobertura y uso de suelo	79
Figura 39. Mapa final de zonificación de amenaza por movimiento en masa.....	81
Figura 40. Áreas con condición de amenaza	82
Figura 41. Áreas con condición de Riesgo.....	83
Figura 42. Área sin ningún tipo de restricción y sin condición de riesgo.....	83
Figura 43. Distribución porcentual de la ocupación áreas con condición en el área de estudio.....	84
Figura 44. Análisis de vulnerabilidad física en las zonas establecidas de amenaza alta y media por ocurrencia de movimientos en masa.....	85



Figura 45. Localización viviendas en zona de amenaza	94
Figura 46. Mapa de vulnerabilidad	95
Figura 47. Mapa de riesgos en el sector cementerio municipio de Tenjo	97



INTRODUCCIÓN

Partiendo desde el concepto de que la gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población LEY 1523 DE 2012 (Abril 24), este trabajo tiene como propósito realizar la evaluación del posible escenario de riesgo por movimiento en masa a la altura del sector el Cementerio Municipio De Tenjo-Cundinamarca.

En otros términos tiene como objeto identificar los factores de riesgo y un modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad ante la posible ocurrencia de movimientos en masa que se pueda llegar a articular con una línea de acción que determine los posibles efectos sociales, económicos y ambientales de la zona de estudio.

Para cumplir con este propósito, esta monografía se compone de una metodología que comprende el desarrollo de cuatro (4) procesos asociados a la revisión documental que abarque un análisis de los instrumentos de planificación inherentes al sistema nacional de gestión del riesgo, un proceso encaminado a la evaluación de factores de riesgo como amenaza y vulnerabilidad, los cuales serán la base para la obtención y consolidación del posible escenario de riesgo y finalmente un proceso orientado en el planteamiento de posibles acciones y medidas de reducción según los resultados obtenidos.



1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El desarrollo de estudios de gestión del riesgo a escalas inadecuadas puede arrojar análisis poco asertivos en cuanto a la valoración y condiciones reales del terreno, lo que trae consigo la delimitación y zonificación de áreas con condición de riesgo y condición de amenaza cuyas características pueden no estar sujetas a la ocurrencia de los procesos amenazantes.

Por otra parte, la importancia de estudios básicos y detallados en conformidad con el decreto 1807 de 2014, está relacionada directamente con la definición de medidas de regulación necesarias respecto de la ocupación del suelo. En el caso de las zonas ya ocupadas y construidas reconoce la existencia de una condición de riesgo que debe ser reducida adecuadamente.

En el municipio de Tenjo Cundinamarca se llevó acabo la formulación del POT, cuya vigencia comprende el periodo 2014-2025. En el desarrollo de este instrumento de planificación se definieron zonas con condición de riesgo geotécnico a escalas mayores. Para el caso del área de estudio el sector Cementerio quedó zonificado como área de amenaza alta y muy alta por riesgo geotécnico. Frente a la situación en mención surge la necesidad de desarrollar un estudio básico a escala detallada de un escenario de riesgo por movimiento en masa.



2. JUSTIFICACIÓN

Partiendo del concepto que la Gestión del Riesgo es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible, surge el objeto de este estudio cuyo propósito es la evaluación de los factores del riesgo asociado al posible escenario de riesgo identificado en el POT vigente, en el sector Cementerio municipio de Tenjo - Cundinamarca.

El desarrollo de las actividades de los profesionales que se orientan por este campo laboral y proceso social debe ser fundado bajo la premisa de la normatividad sin hacer óbice a ninguno de los requerimientos establecidos. Una vez se asume esta responsabilidad se acepta el reto y el compromiso a la hora de la identificación de un posible escenario de riesgo, en el desarrollo de análisis y evaluación del riesgo, en el constante monitoreo y seguimiento del riesgo y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que fortalece el conocimiento, la reducción del riesgo y de manejo de desastre.

3. OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar un **escenario de riesgo** por movimientos en masa a escala detallada en el Sector Cementerio municipio de Tenjo Cundinamarca

Objetivos Específicos

- Generar la información necesaria para llevar acabo la zonificación de amenaza por movimientos en masa por medio de la determinación de zonas homogéneas.
- Analizar los elementos expuestos y vulnerables a nivel físico.
- Establecer el escenario de riesgo presente en la zona de análisis por medio de la articulación de la información obtenida en la zonificación de áreas con condición de amenaza o condición de riesgo y la evaluación de vulnerabilidad.
- Formular acciones, medidas, y estrategias que fortalezcan estratégicamente el marco del conocimiento y reducción del riesgo en la zona.



4. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

En la elaboración y adopción de instrumentos de ordenamiento territorial los municipios deben tener en cuenta determinantes que constituyen normas de jerarquía superior, relacionadas, entre otros aspectos, con la conservación y protección del medioambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales (Ley 388 de 1997, artículo 10).

La Ley 019 de 2012 en su artículo 189 contempla la incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de los planes de ordenamiento territorial con el fin de promover medidas para la sostenibilidad ambiental del territorio y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuesta con anticipación.

De esta forma la gestión del Riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos incluyentes, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.

Teniendo en cuenta el Decreto 1077 de 2015 que compila el decreto 1807 de 2014, que orienta a las administraciones municipales sobre la incorporación de la GR en los procesos de ordenamiento territorial y las consideraciones de estudios básicos y detallados para procesos de remoción en masa, inundaciones y avenidas torrenciales se tiene:

Artículo 2. De acuerdo con el decreto 1807 del 2014. "Teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados".

Artículo 3. Estudios básicos para la revisión o expedición de planes de ordenamiento territorial-POT, EOT, PBOT, de conformidad con lo dispuesto en el artículo anterior para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen:

- a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.

- b) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.
- c) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se requiere el siguiente artículo.
- d) La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

- **ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL RIESGO:** implica la consideración de las causas y fuente del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo, mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar posibles efectos sociales, económicos, ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y la recuperación
- **AMENAZA:** Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
- **CONOCIMIENTO DEL RIESGO:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre.
- **DESASTRE:** Es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y

del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

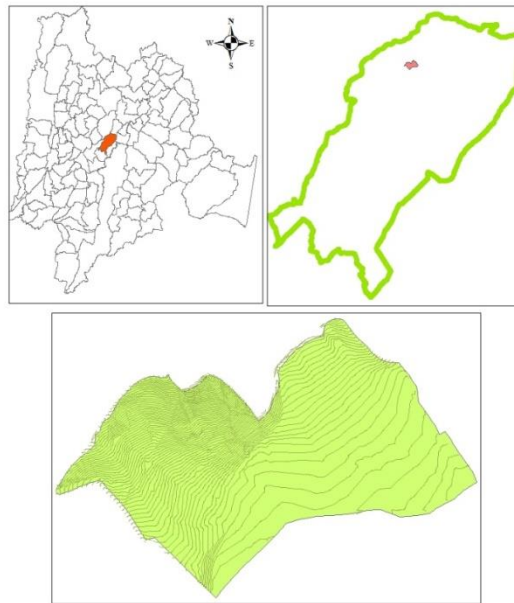
- **GESTIÓN DEL RIESGO:** Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible.
- **MANEJO DE DESASTRES:** Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación post desastre, la ejecución de dicha respuesta y la ejecución de la respectiva recuperación, entiéndase: rehabilitación y recuperación.
- **REDUCCIÓN DEL RIESGO:** Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera.
- **RIESGO DE DESASTRES:** Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad.

- **VULNERABILIDAD:** Susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.¹

4.1 CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Tenjo se localiza aproximadamente a 57 kilómetros de la ciudad de Bogotá, en la provincia denominada Sabana Centro; Cuenta con una población de veinte mil (20.000) habitantes aproximadamente y una superficie de 108 Km². Dentro de su división administrativa se establece una extensión de 2 Km² para el casco urbano y el sector rural conformado por 15 veredas cuya extensión total: 106 Km². Clasificación Como POT. Hace parte del área metropolitana de la sabana de Bogotá (Figura 1).

Figura 1 Localización del área de estudio.



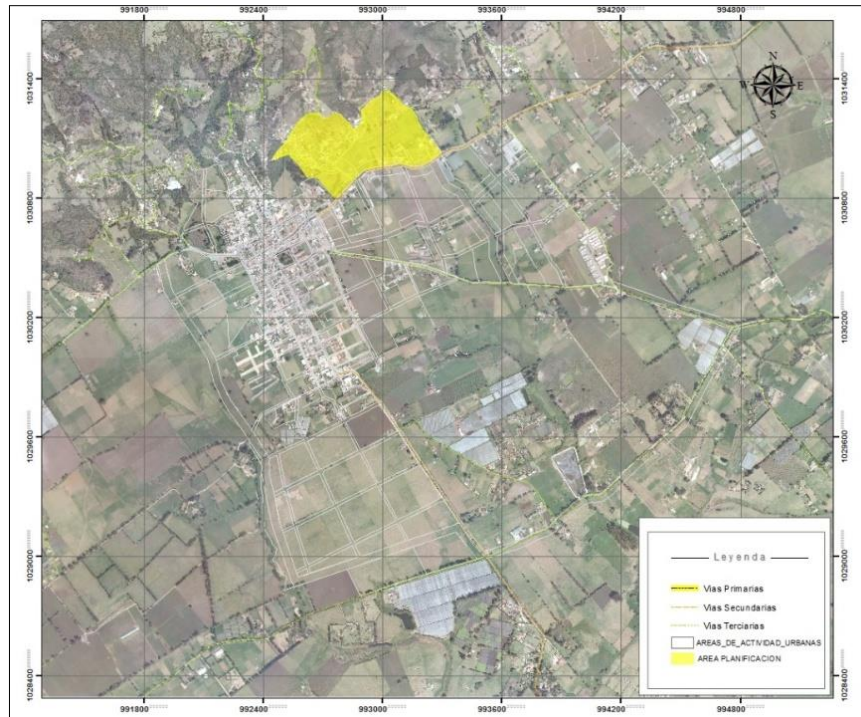
Fuente: Autor

¹ COLOMBIA. Congreso de la República. Ley 1523 de 2012 (abril 24), por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Artículo 4: Definiciones.

4.2 LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de Estudio se encuentra localizada al costado nororiental del Municipio de Tenjo Cundinamarca en el Sector Cementerio al margen de la vía que comunica al municipio de Tenjo con el municipio de Tabio. Cabe resaltar que sus vías de acceso son de tercer orden (Figura 2). Cuenta con una extensión aproximada de 23 hectáreas (Tabla 1).

Figura 2. Localización zona de estudio.



Fuente: Autor

Tabla 1 Descripción general del área

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
Área total	23 Ha
Categoría del municipio	6
Cuenca Hidrográfica	Cuenca del Rio Chicú (POMCA en actualización)
Altitud de la cabecera municipal	2.587 msnm
Temperatura media	13° C

Fuente: POT municipio de Tenjo

5. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DEL POSIBLE ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR CEMENTERIO MUNICIPIO DE TENJO

El proceso metodológico para llevar a cabo la evacuación del posible escenario de riesgo en el área de análisis parte de la ejecución de cuatro (4) procesos centrales y cuyo desarrollo de actividades arrojará los resultados anticipados para la comprensión de la situación presente y prospectiva en la zona (Figura 3).

Figura 3. Proceso metodológico



Fuente: Autor

5.1 Revisión Documental

La ejecución de este subproceso metodológico tiene como finalidad:

- Delimitar estratégicamente la dirección y desarrollo del estudio a través de la identificación de posibles escenarios de riesgo.
- Articulación de los instrumentos de planificación inherentes al sistema nacional de gestión del riesgo.
- Desarrollo de un plan de análisis preliminar de la información obtenida de la zona de estudio.
- En conformidad con el CAPÍTULO III Instrumentos de Planificación de la ley 1523 de 2012 se va a realizar la revisión de la información concerniente a la inclusión de gestión del riesgo en los instrumentos de planificación territorial.

5.2 Análisis de Amenaza por movimientos en masa:

La terminología y clasificación de movimientos en masa para este documento es conforme a la Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa propuesta por el Proyecto Multinacional Andino (PMA), adoptada por Colombia (PMA:



GCA, 2007), en la que movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad.

Una vez obtenidos los resultados de la revisión documental se establecen líneas de acción, como llevar acabo la zonificación de amenazas por movimiento en masa en la zona, en donde se priorice la delimitación de áreas homogéneas cartográficamente asociadas a la posible ocurrencia de movimientos en masa. Por tal razón se define los siguientes aspectos normativos y proceso metodológico.

De acuerdo con el decreto 1807 del 2014. *"Teniendo en cuenta el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012, se deben realizar los estudios básicos para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes y en su ejecución se deben realizar los estudios detallados"*.

Artículo 3. *Estudios básicos para la revisión o expedición de planes de ordenamiento territorial-POT-, De conformidad con lo dispuesto en el artículo anterior para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen:*

- a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.*
- b) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.*
- c) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se requiere el siguiente artículo.*
- d) La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas. Ley 1523 de 2012*

Para la elaboración de los estudios básicos, el Decreto 1807 de 2014 define el "Área de Estudio", mencionada previamente y los "insumos" en términos de cartografía base y de inventario de procesos morfodinámicos. Por el proceso metodológico que se plantea en esta guía, tales insumos forman parte de los factores condicionantes de la amenaza. Finalmente, el decreto define el "Alcance" del análisis de amenaza en lo relacionado con la integración de las variables que inciden en la ocurrencia, tanto actual como futura de los procesos de inestabilidad, considerando como agentes detonantes el agua, el

sismo y los factores antrópicos, y plantea que como mínimo se debe hacer alguno de los siguientes tipos de análisis: estadístico, determinístico y probabilístico. Para el caso de este estudio se realizó un estudio estadístico.² Como se menciona anteriormente y con la finalidad dar cumplimiento a los objetivos planteados dentro del estudio se establece el siguiente proceso metodológico que abarca desde la revisión documental hasta el informe de resultados y zonificación de amenazas.

5.3 Metodología para la zonificación de amenazas por movimientos en masa

La zonificación de amenazas se lleva a cabo por medio de la interacción del conjunto de técnicas interdisciplinarias que permiten la evaluación e intervención de diversos profesionales, con el fin de obtener resultados certeros a la hora de clasificar las condiciones del área de estudio. Para la zonificación de amenazas en el área de estudio, se utilizó el método estadístico, el cual se basa en la aplicación de “valores” a variables externas e internas que modifican las condiciones del terreno (geomorfología, pendientes, geología UGI, cobertura y uso de suelo, sísmica, precipitaciones etc.). A partir de la sumatoria de mapas ponderados, calificaciones estándar y recalificaciones de validación, se obtienen valores que identifican las zonas de baja, media y alta amenaza. Las actividades preliminares a la aplicación metodológica se especifican en la Figura 4.

Figura 4. Metodología zonificación de Amenazas Metodología para el desarrollo de estudios soportes de la zonificación de amenazas por movimiento en masa.



Fuente: Autor

² Servicio Geológico Colombiano (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Revisión de información primaria:

Recopilación de la información temática: cartografía, Geológica, geomorfología, topografía, imágenes de satélite, fotografías aéreas y exploración del subsuelo. Interpretación de imágenes aéreas y satelitales: delimitación preliminar de elementos geomorfológicos a partir de atributos como formaciones geológicas UGI, unidades de roca, suelos residuales y transportados, procesos Morfodinámicos y rasgos estructurales, entre otros, cobertura y uso de suelo, análisis de eventos sísmicos, y análisis de estaciones meteorológicas aledañas los insumos para la consolidación de información se muestran en la (Tabla 2).

Tabla 2. Insumos para realizar la zonificación

INSUMOS	FUENTE
Levantamiento Cartográfico	Estudio- IGAC
MDE	Se originó por medio de la topografía
Registro de precipitaciones	IDEAM
Información complementaria	Servicio geológico, SIMMA, POT, Plan De Desarrollo
Sensores remotos	IGAC

Fuente: Autor

Visitas a campo:

Reconocimiento, verificación y ajuste de la información temática en campo: se complementó la información preexistente obtenida con la interpretación de los insumos y se realizó la descripción de unidades que componen las diferentes variables.

Una vez hecha la revisión de la información y evaluación de insumos se procedió a realizar el levantamiento de información en campo de las variables involucradas con el fin de consolidar el modelo de amenaza por movimiento en masa.

Actualización cartográfica:

En el marco de ejecución del estudio básico de amenazas a escala detallada del área de estudio se llevó a cabo estudios a escala 1: 2.000 de geología UGI, geomorfología, cobertura y uso de suelo, pendiente, clima, sísmica y demás

variables que se consideran relevantes para obtener el modelo de amenazas conforme a lo dispuesto en el decreto 1807 del año 2014.

Una vez establecido el desarrollo de la zonificación de amenazas por movimientos en masa y en conformidad con la normatividad vigente se procedió a trabajar bajo el marco de la guía de zonificación por movimientos en masa del servicio geológico. Sin embargo, se hace claridad que en la inclusión de cada uno de las variables en mención se hacen algunos ajustes por falta de información, de tal manera que se establecen dos (2) marcos de acción:

1. Buscar fuentes de información primaria que arrojen datos ciertos en cuanto a las condiciones de la zona de estudio en relación a: la información existente, variable y terreno.
2. Una vez se establezca la carencia de información, inexistencia de la misma o poca aplicabilidad para los objetivos del estudio, se procede a realizar el levantamiento en campo de los datos que se requieran.

En conformidad con los marcos de acción establecidos se procede a describir la metodología para el levantamiento de información para cada una de las variables vinculadas para generar la zonificación de amenaza por movimientos en masa (Tabla 3).

Tabla 3 Descripción de la aplicación metodológica por variable en el área de estudio

Geología	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de unidades geológicas a nivel regional en el que se establecen posibles sistemas regionales que puedan incidir en las condiciones del terreno del área de estudio. - A nivel local y a escala detallada se lleva acabo el análisis de las unidades geológicas para ingeniería por medio de interpretación de imágenes aéreas y satelitales del terreno. - Reconocimiento, ajuste y verificación de la información obtenida en la fotointerpretación por medio de la asistencia a campo donde se hace descripción detallada y caracterización de la litología aflorante, sistema estructural, etc. - Una vez establecidos los sectores de análisis a partir de las unidades geológicas para ingeniería se procede a realizar la caracterización geotécnica de la zona por medio del sistema SMR (Slope Mass Rating índice geomecánico y clasificación
-----------------	---

	<p>geomecánica) y RMR (clasificación geomecánica Rock Mass Rating), que se obtienen a partir de los datos obtenidos de análisis de laboratorio, ensayos y otros procesos de modelación en software específico. Finalmente se obtiene la ponderación para zonificación de las unidades.</p> <ul style="list-style-type: none"> - A partir de los datos obtenidos se representa cartográficamente las áreas con características homogéneas y clasificadas para la zonificación.
<p>Sísmica</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Los efectos nefastos de los terremotos asociados a las zonas afectadas por actividad sísmica están marcados por la destrucción de cualquier estructura ubicada cerca al epicentro, por la separación de las rocas a lo largo de las zonas de debilidad (fallamientos, por la generación de deslizamientos como consecuencia de la onda sísmica especialmente en materiales poco consolidados ubicados en sectores con alto gradiente topográfico, al igual que por desplomes de roca en sectores escarpados afectados por discontinuidades originadas en eventos tectónicos anteriores, por la licuefacción de materiales no consolidados (especialmente arenas), y por la subsidencia o depresión de superficies generada por la consolidación rápida de los depósitos recientes. - En el caso de la variable sísmica la clasificación para la zonificación se basó en el análisis de la información obtenida a partir del mapa de zonificación sísmica de Colombia, donde se evaluó el valor de aceleración pico efectivo horizontal. - Una vez obtenida la clasificación de amenaza sísmica en el área, se analizó los datos registrados por el servicio geológico asociados a la intensidad máxima observada en el área. - A su vez se analiza el valor de la intensidad máxima esperada en la zona para justificar la modelación que se llevara a cabo en la zona. - Para finalizar el proceso de análisis de información sísmica de la zona se procede a revisar los antecedentes y registros de sismos. - Una vez se obtengan los datos de la revisión documental que soporten este proceso, se lleva a cabo la modelación de la relación geología y comportamiento frente a un sismo. Talud en condición sísmica cuya finalidad es obtener la clasificación de la variable sísmica para la zonificación. - A partir de los datos obtenidos se representa cartográficamente las áreas con características homogéneas y

<p>Clima-precipitación</p>	<p>clasificadas para la zonificación</p> <ul style="list-style-type: none"> - Una de las variables que se consideran como detonantes en la generación o activación de fenómenos de remoción en masa son las precipitaciones por sus características como intensidad, duración y distribución, las cuales provocan fluctuaciones en los niveles freáticos del subsuelo, ocasionando esporádicamente la saturación de las capas, aumentando la presión de fluido, descenso en la resistencia de los materiales durante un periodo de tiempo, inestabilidad, aumento de vulnerabilidad y posterior activación de un eventual fenómeno de remoción en masa. - Se llevó a cabo la revisión de datos y registros de IDEAM para establecer factores como temperatura, humedad relativa, precipitaciones, etc. - Una vez establecidos estos factores se realiza el análisis hidrogeológico donde relaciona los datos obtenidos y las condiciones geológicas descritas en campo. - A partir de la relación precipitación y geología de la zona se establecen posibles cuerpos hidrogeológicos en la zona y su respectiva clasificación para la zonificación. - A partir de los datos obtenidos se representa cartográficamente las áreas con características homogéneas y clasificadas para la zonificación
<p>Geomorfología</p>	<p>El propósito de la cartografía geomorfológica es proporcionar información concisa y sistemática sobre las formas del terreno; su origen, los tipos de materiales involucrados y los procesos naturales tanto antiguos como recientes que los afectan. Para cumplir con el propósito del proyecto. Para tal efecto se siguen los lineamientos generales establecidos en la metodología I.T.C (VERSTAPPEN Y VAN ZUIDAM, 1992, DAMEN. Cada elemento cartográfico está representado, por símbolos; convenciones y colores usados en estándares de uso internacional (Metodología I.T.C – Verstappen y Van Zuidam 1992) con modificaciones establecidas por Carvajal (2002) de acuerdo con la experiencia de INGEOMINAS.</p> <p>Para tal efecto, se relacionan las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas, los ambientes morfogenéticos, el detalle, expresión morfológica, litología y procesos Morfodinámicos.</p> <p>Con base en la cartografía geológica detallada y la fotointerpretación de imágenes aéreas y satelitales del terreno se</p>

lleva acabo el análisis de las unidades geomorfológicas.

Procesamiento cartográfico de para obtener los datos morfométricos de la zona.

Reconocimiento, ajuste y verificación de la información obtenida en la fotointerpretación por medio de la asistencia a campo donde se hace descripción detallada y caracterización de procesos morfodinamicos en la zona.

Levantamiento de puntos críticos asociados a la posible ocurrencia de movimientos en masa.

Una vez evaluados los procesos morfodinamicos y morfométricos se lleva a cabo la delimitación cartográfica de la morfología de la zona.

A partir de los datos obtenidos se representa cartográficamente las áreas con características homogéneas y clasificadas para la zonificación.

La caracterización morfométrica incluye el análisis de variables cuantitativas o medibles en el terreno como la pendiente; la morfología concierne la caracterización de las formas del terreno desde su génesis u origen y la morfodinámica consolida aspectos asociados a procesos antiguos, actuales y futuros de las unidades dinámicas del terreno como depositación, erosión y remoción en masa.

Inclinación De La Ladera

La pendiente de un punto se define como el ángulo de 0° a 90° que forma el terreno con respecto a la horizontal. Se mide tanto de forma cualitativa como cuantitativa dependiendo del objetivo a buscar. Muchos documentos técnicos y metodologías que aplican este aspecto han definido un estándar o una base de descripción de las pendientes, dicha metodología se aplica de acuerdo a los rangos definidos por el IGAC, en la siguiente tabla se observa la clasificación, (Tabla 22)

Tabla 4. Clasificación de pendientes IGAC

Descripción Topográfica	Rango de pendiente en (%)
Plana	0 - 3
Suavemente ondulada	3 - 7
ondulada	7 - 12
inclinada	12 - 25
Muy inclinada	25 - 50
Escarpada	50 - 75
Muy escarpada	< 75

Fuente: IGAC

	<p>La morfodinámica permite realizar la identificación de las zonas que sufren diversos procesos que modelan el paisaje a partir de eventos sucesivos, simultáneos y cíclicos a través de las cuales los agentes geomorfológicos principalmente externos, modelan las formas del paisaje.</p> <p>Estos eventos continuos están asociados a una secuencia conformada probablemente por la erosión de las rocas, el transporte de los materiales removidos y la sedimentación de dichos detritos, finalmente la sedimentación corresponde al depósito de los materiales removidos y desplazados en las dos etapas anteriores.</p> <p>La morfodinámica evalúa y plantea los posibles factores que intervinieron en la modelación del actual paisaje y en su evolución.</p> <p>Características morfológicas de un movimiento de masa</p> <p>Con el objeto de dar claridad sobre la terminología relacionada con movimientos en masa a continuación se presenta una breve descripción de la morfología asociada a estos. (vames 1978). Los elementos morfológicos de un movimiento en masa asociados al terreno intacto son: La corona, el escarpe principal, la superficie de ruptura principal y los flancos.</p>
<p>Cobertura y uso de suelo</p>	<ul style="list-style-type: none"> - La metodología aplicada para el análisis de cobertura y uso de suelo actual se llevó a cabo a partir del análisis de fotografías aéreas de alta resolución y corroboración del as unidades identificadas con visitas a campo. - La metodología aplicada para el análisis de cobertura y uso de suelo es corine land cover donde se delimitaron las zonas a partir del análisis de fotografías aéreas de alta resolución y verificación de las unidades identificadas con visitas a campo. - A partir de los datos obtenidos se representa cartográficamente las áreas con características homogéneas y clasificadas para la zonificación

Fuente: Autor

Una vez se obtiene el producto asociado a la representación cartográfica de las áreas con características homogéneas, clasificadas y para la ponderación las variables, se procede a llevar acabo la zonificación de amenaza por movimiento en masa en la zona de estudio.

Zonificación de amenazas por movimientos en masa mediante el uso de geoprocesamiento

De conformidad con la normatividad vigente, parámetros y requerimientos se planteó el desarrollo de un estudio básico por movimientos en masa a escala detallada, de tal forma que se desarrolla un modelo estadístico que se describe a continuación.

Para la zonificación de amenazas se utilizó el método estadístico que se basa en la calificación y ponderación de “valores” de variables detonantes o contribuyentes en la posible ocurrencia de movimientos en masa y que eventualmente modifican las condiciones del terreno (geomorfología, cobertura y uso del suelo, precipitación, geología, sismicidad. etc). A partir de la sumatoria de mapas ponderados, calificaciones estándar y recalificaciones de validación, se obtienen valores que identifican las zonas de amenaza baja, media y alta. Las actividades preliminares en el desarrollo metodológico corresponden a:

Se propuso la ejecución del método estadístico de evaluación de componentes principales y los procesos de análisis jerárquicos cuyo objeto es determinar los pesos ponderados de “n” variables ($n > 2$), que influyen relativamente en la calificación de un objetivo, en este caso el proceso amenazante y la combinación de operadores borrosos (lógica difusa). La secuencia metodológica general se indica continuación:

- Identificación del proceso amenazante.
- Diseño del modelo conceptual con las variables que influyen en el proceso amenazante identificado. El modelo conceptual utilizado para los diferentes tipos de amenazas se elabora con el apoyo de profesionales en diversos campos.
- Revisión y selección de variables con información disponible para realizar la calificación heurística. Dichas variables deben combinarse y permitir la creación de variables intermedias creándose un árbol de calificación.
- Ponderación de variables. Sobre el árbol de variables creado, se podrá colocar directamente la posible calificación numérica o porcentual de cada variable. Se deberá tener en cuenta que la sumatoria de cada rama del árbol de variables no podrá superar el 100%. En este paso se realiza la ponderación mediante los procesos de análisis jerárquicos.

- Estandarización de las variables. Se consolida un panel de expertos que califica las variables con valores de 1 a 3; siendo el valor de (1) la calificación a una baja contribución, el valor de (2) para la media contribución, el valor de (3) para la alta contribución a la probabilidad de ocurrencia del proceso amenazante.

A continuación se realiza la sumatoria cartográfica utilizando software para SIG:

$$S = \sum W_i * X_i$$

Dónde:

S = Valor del indicador de probabilidad de ocurrencia del fenómeno en general sobre el terreno.

W_i = Ponderación para la variable.

X_i = Calificación estándar de la variable (i) según el criterio de contribución al proceso amenazante definido por el experto.

Es decir, se halla un indicador de probabilidad de ocurrencia del fenómeno que pueda llegar a afectar el terreno con la materialización del proceso amenazante. Valor que se obtiene a partir de la calificación y sumatoria del modelo ponderado de cada uno de las variables del modelo, categorizando la probabilidad de ocurrencia de acuerdo al valor más cercano a los valores 1 a 3 antes mencionados.³

- Una vez se obtenga la calificación para cada una de las variables, se validaran los resultados, comparando las diferentes categorías obtenidas con un inventario de eventos amenazantes, previamente establecido y que servirá como capa validadora del mapa. En caso de que la valoración no satisfaga los criterios de validación, se podrá repetir el proceso hasta encontrar una combinación de reclasificación estadística aceptable en el software para SIG.
- Finalmente, la reclasificación tendrá categorías de amenaza baja, media y alta correspondientes a los valores de 1, 2 y 3.

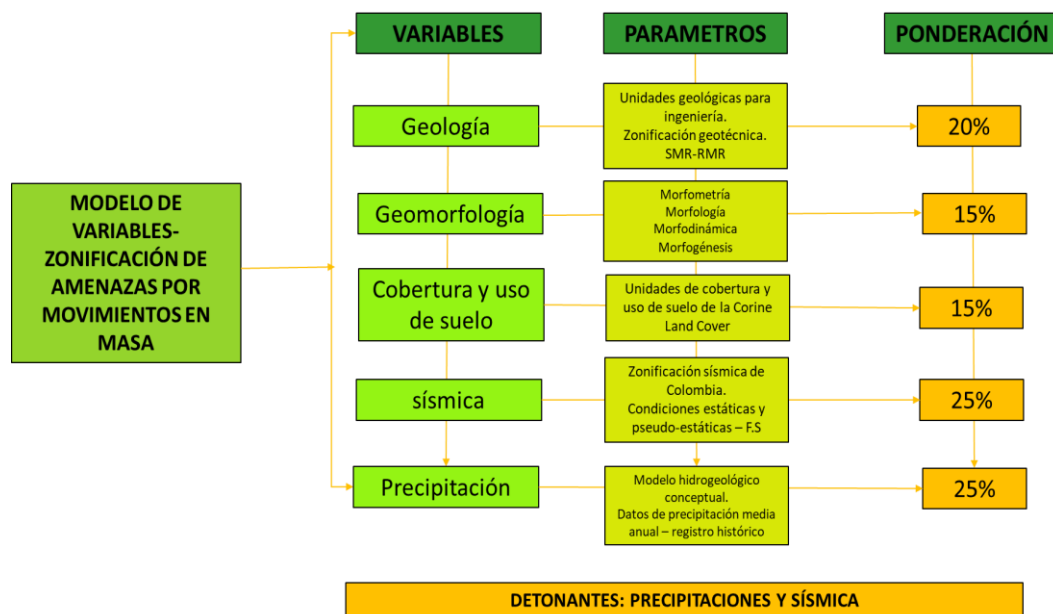
A partir del estudio preliminar adoptado por el esquema de ordenamiento territorial del municipio de Tenjo referente a la zonificación de amenaza geotécnica se desarrolla el análisis de zonificación de amenazas por fenómenos

³ (DAPARD Antioquia, 2014). Proceso metodológico de zonificación.

de remoción en masa con base en los parámetros y requerimientos de un estudio básico en conformidad con la normatividad vigente a escala detallada llevando acabo la metodología descrita en el anterior capitulo.

Una vez establecidas las variables para la zonificación se procede a elaborar el modelo conceptual en el que se establecen los valores de ponderación para cada una de las variables basando el criterio en la influencia que cada variable ejerce en la posible materialización del proceso amenazante como se muestra en la Figura 5

Figura 5. Modelo de variables para la zonificación por fenómenos de remoción en masa.



Fuente: Autor

Unidades analizadas dentro de las variables con su respectiva calificación, ponderación y reclasificación.

Para este ejercicio, se tomó como detonantes las variables de precipitación y sismicidad, razón por lo cual, se halla un valor indicador de la amenaza. A continuación se presenta la tabla de con las variables, parámetro y la respectiva calificación, ponderación y recalificación utilizada en la modelación de SIG Tabla 5.

Tabla 5. Calificación y ponderación de variables del modelo conceptual para Fenómenos de Remoción en Masa.

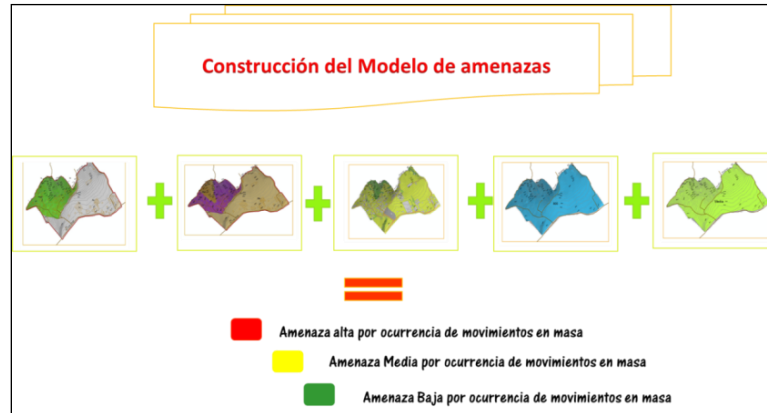
VARIABLE	PARAMETRO	UNIDADES	CALIFICACIÓN	PONDERACIÓN	RECLASIFICACIÓN
GEOMORFOLOGIA	Morfometría Morfología Morfodinámica Morfogénesis	Ladera Estructural	1	0,15	0,15
		Ladera Coluvial	2	0,15	0,3
		Ladera Denudacional	3	0,15	0,45
GEOLOGIA	Unidades geológicas para ingeniería. Zonificación geotécnica. SMR-RMR	Suelo transportado (Qc)	2	0,2	0,4
		Roca in Situ (Kgd)	1	0,2	0,2
CLIMA	Modelo hidrogeológico conceptual. Datos de precipitación media anual – registro histórico	Manto Rocoso 0.4 % Humedad al presentarse un acuífero semiconfinado con las bajos niveles transmisibilidad y con los datos de humedad que corroboran la condición se califica en la ponderación de bajo	1	0,25	0,25
		Calificación de variable baja por el nivel de precipitación media anual y el registro promedio en los últimos años no es mayor a 1000 ml anual. se califica como bajo en la ponderación			
SISMICIDAD	Zonificación sísmica de Colombia. Condiciones estáticas y pseudo-estáticas – F.S	Deposito Coluvial. Amenaza/sísmica media	2	0,25	0,5
		Manto rocoso Arenisca Dura (Kgd) F,S 1.74-1.50. Amenaza sísmica media			
COBERTURA	Unidades de cobertura y uso de suelo de la Corine Land Cover	Bosque fragmentado	1	0,15	0,15
		Pastos Arbolados	1	0,15	0,15
		Pastos Limpios	2	0,15	0,3
		Tejido urbano discontinuo	1	0,15	0,15
		vía	1	0,15	0,15

Fuente: Autor

Construcción del modelo de amenazas:

Posterior a la clasificación y ponderación de las variables incluidas dentro del análisis se sistematiza, geoprocesa y se construye en modelo de amenazas.

Figura 6. Modelo de amenaza



Fuente: Autor

Una vez hecha la ponderación y calificación de las variables, se utilizan las herramientas del software para SIG con el fin de realizar el geoprocesamiento entre la información vectorial de cada una de las variables y generar la suma ponderada de cada una de las variables del modelo en particular, es entonces cuando se empiezan a definir los rangos de clasificación de la amenaza baja, media y alta que mejor se ajusten a las condiciones reales del terreno. Los rangos de la sumatoria, pueden realizarse por medio del método de la media ponderada ordenada; y la calificación de las variables por medio de conjuntos difusos.

5.3.1 Análisis de vulnerabilidad:

Su ejecución es similar al análisis de amenaza con la diferencia que se centra en la especificación del plan de muestreo de datos para la colección de información carente, una vez establecidas las áreas que por sus condiciones pueden llegar a ser afectadas por la posible ocurrencia de movimientos en masa se procede a realizar el estudio de vulnerabilidad priorizando las zonas en mención.

- A partir del análisis de información existente se establecen líneas de acción que permitan sistematizar la fragilidad física.
- Una vez identificados los factores descritos anteriormente se realiza la visita a campo con el fin de validar los datos y generar información por medio de encuestas donde prima la evaluación por vulnerabilidad física.

Metodología del proceso de vulnerabilidad:

La Vulnerabilidad estructural. Se entiende como el procedimiento para determinar el grado de impacto que tendría la acción de un sismo o evento

externo sobre una estructura, lo cual permite categorizar si esa estructura es segura y por lo tanto habitable, entendiéndose que “*para que una vivienda califique como de vulnerabilidad sísmica intermedia o alta es suficiente con que presente deficiencias en cualquiera de los aspectos mencionados (geométricos, constructivos, estructurales, cimentación, entorno, suelos)*” según la AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica).

El análisis de vulnerabilidad tiene como objetivo Implementar un método de cálculo de vulnerabilidad que permita identificar, estudiar y evaluar el escenario de riesgo que afecta la integridad de las personas que habitan en el área de estudio mediante un proceso que coteje la calidad estructural de las construcciones.

La escala que se utiliza para calificar los diferentes parámetros que influyen en el comportamiento de las estructuras se conoce como escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, la cual permite una estimación cuantitativa de la vulnerabilidad. El método del índice de vulnerabilidad ha sido ampliamente utilizado en Italia durante los últimos años y su gran aceptación en este país ha quedado demostrada por el GNDT (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti) que lo ha adoptado para los planes de mitigación de desastres a nivel gubernamental.

Cálculo del índice de vulnerabilidad. Según la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini Tabla 6, el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores en formato numérico que expresan la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales de la construcción. A cada parámetro se le atribuye, durante las investigaciones de campo, una de las 4 clases "A, B, C, D" siguiendo un mecanismo detallado para que a cada clase le corresponda un valor numérico K_i que varía entre 0 y 45.

Tabla 6. Escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrin

PARÁMETROS	CLASE K_i				IMPORTANCIA DEL PARÁMETRO
	A	B	C	D	
1. organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2. calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3. posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
4. diafragma horizontales	0	5	15	45	1.00
5. configuración en planta	0	5	25	45	0.50
6. configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
7. distancia máxima entre los muros	0	5	25	45	0.25
8. Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
9. Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
10. Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

Fuente: AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas.

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso W_i , que varía entre 0.25 y 1.5. Este coeficiente refleja la importancia de cada uno de los parámetros (Tabla 7) dentro del sistema resistente del edificio. De esta forma, el índice de vulnerabilidad V_i se define

$$V_i = \sum_{i=1}^{11} K_i * W_i$$

Tabla 7 Parámetros del desarrollo metodológico del análisis de vulnerabilidad.

<i>Organización del Sistema Resistente (Sistema Estructural)</i>		
Variable	Clase K_i	W_i
Construcción de acuerdo con las recomendaciones de la norma NSR-98 (Actual NSR-10) Rx. Mampostería confinada	0	1.00
Construcción que presenta, en todas las plantas, conexiones realizadas mediante vigas de amarre, capaces de transmitir acciones cortantes verticales. Rx. Mampostería 50 % confinada	5	1.00
Construcción que, por no presentar vigas de amarre en todas las plantas, está constituido únicamente por paredes ortogonales bien unidas. Rx. Mampostería mal confinada. Rx. Con refuerzo exterior	20	1.00
Edificio con paredes ortogonales no ligadas (unidas) entre sí. Rx. Sin refuerzo	45	1.00

<i>Calidad del Sistema Resistente (Sistema Estructural)</i>		
Variable	Clase K_i	W_i
Mampostería en ladrillo o bloques prefabricados de buena calidad. Mampostería en piedra bien cortada, con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro. Presencia de ligamento entre las piezas	0	0.25
Mampostería en ladrillo, bloques o piedra bien cortada, con piezas bien ligadas más no muy homogéneas en toda la extensión del muro	5	0.25
Mampostería en piedra mal cortada y con piezas no homogéneas, pero bien trabadas, en toda la extensión del muro. Ladrillos de baja calidad y privados de ligamento	20	0.25
Mampostería en piedra irregular mal trabada o adriillo de baja calidad u otros, con la inclusión de guijarros y con piezas no homogéneas o privadas de ligamento.	45	0.25

<i>Posición construcción y Cimentación (Terreno y Cimentación)</i>		
Variable	Clase K_i	W_i
Construcción cimentada sobre terreno estable con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.	0	0.75

Edificio cimentado sobre roca con pendiente comprendida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.	5	0.75
Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente comprendida entre un 30% y un 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén.	20	0.75
Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La diferencia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén	45	0.75

<i>Diafragmas horizontales</i>		
Variable	Clase K_i	W_i
Edificio con diafragmas, de cualquier naturaleza, que satisfacen las condiciones: 1. Ausencia de planos a desnivel. 2. La deformabilidad del diafragma es despreciable. 3. La conexión entre el diafragma y los muros es eficaz.	0	1.00
Edificio con diafragma como los de la clase A, pero que no cumplen con la condición 1.	5	1.00
Edificio con diafragmas como los de la clase A, pero que no cumplen con las condiciones 1 y 2.	20	1.00
Edificio cuyos diafragmas no cumplen ninguna de las tres condiciones. Características de la estructura:	45	1.00

<i>Tipo de cubierta</i>		
Variable	Clase K_i	W_i
Construcción con cubierta estable y provisto de viga. Construcción con cubierta plana.	0	1.00
Construcción con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga. Construcción con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbreira.	15	1.00
Construcción con cubierta inestable, provista de viga.	20	1.00
Construcción con cubierta inestable, sin viga.	45	1.00

Elementos no estructurales		
Variable	Clase K_i	W_i
Construcción sin cornisas y sin parapetos. Construcción con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Construcción cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas.	0	0.25
Construcción sin cornisas y sin parapetos. Construcción con cornisas bien conectadas a la pared, con chimeneas de pequeña dimensión y de peso modesto. Edificio cuyo balcón forma parte integrante de la estructura de los diafragmas	0	0.25
Construcción con elementos de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared.	25	0.25
Construcción que presenta chimeneas o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificio con balcones contruidos posteriormente a la estructura principal y conectada a ésta de modo deficiente	45	0.25

Estado de Conservación		
Variable	Clase K_i	W_i
Muros en buena condición, sin daños visibles	0	1.00
Muros que presentan daños no extendidos, con excepción de los casos en los cuales dichos daños han sido producidos por terremotos	5	1.00
Muros con daños de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con daños producidos por sismos. Edificio que no presenta daños pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería	25	1.00
Muros que presentan, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho	45	1.00

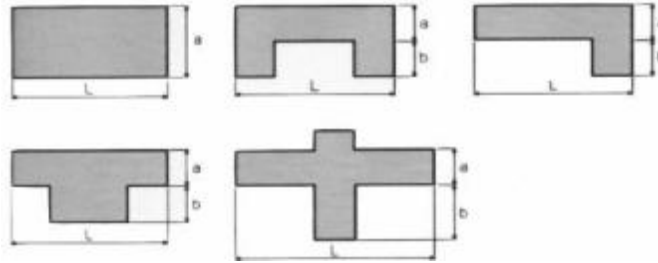
Fuente: GNDT (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti)

Configuración en planta

El comportamiento sísmico de un edificio depende de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativo la relación $\beta_1 = a / L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las protuberancias del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b / L$. En la Figura 7, Tabla 8 se explica

el significado de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa siempre el caso más desfavorable.

Figura 7. Configuración en Planta



Fuente: Glogau, O.A., *Masonry Performance in Earthquakes* (1974)

Tabla 8. Variables para y calificación del parámetro configuración en planta

Variable	Clase K_i	W_i
Construcción con $\beta_1 = 0.8$ ó $\beta_2 = 0.1$.	0	0.50
Construcción con $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ ó $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$.	5	0.50
Construcción con $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ ó $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$.	25	0.50
Construcción con $0.4 > \beta_1$ ó $0.3 < \beta_2$	45	0.50

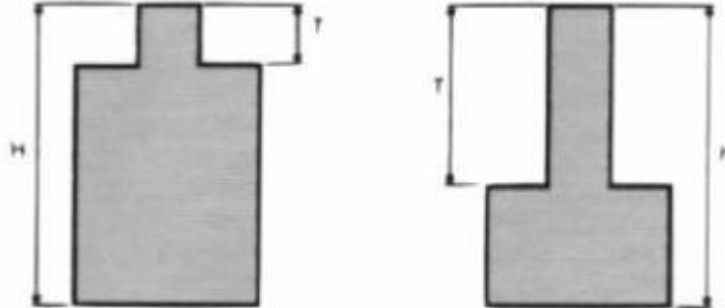
GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti)

Configuración de la elevación

En el caso de edificios de mampostería, sobre todo para los más antiguos, la principal causa de irregularidad está constituida por la presencia de porches y torretas. La presencia de porches se reporta como la relación porcentual entre el área en planta del mismo y la superficie total del piso. La presencia de torretas de altura y masa significativa respecto a la parte restante del edificio se reporta mediante la relación T/H, tal como se indica en la Figura 8, Tabla 9. No se deben tener en cuenta las torretas de modesta dimensión tales como chimeneas, escapes de ventilación, etc. También se reporta la variación de masa en porcentaje $+\Delta M/M$ entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación

de áreas respectivas $\pm \Delta A/A$, evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable.

Figura 8. Configuración de Elevación



Fuente: Glogau, O.A., Masonry Performance in Earthquakes (1974)

Tabla 9. Variables para y calificación del parámetro configuración de elevación

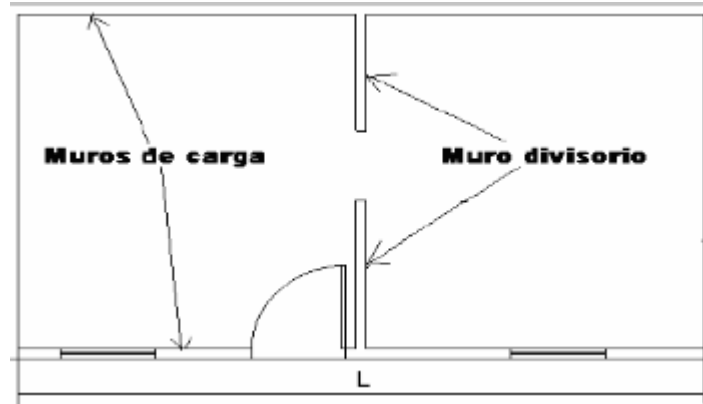
Variable	Clase K_i	W_i
Construcción con $-\Delta M/M < 10\%$.	0	1.00
Superficie porche (Techo Exterior) $< 10\%$ ó $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$.	5	1.00
Superficie porche = $10\% \approx 20\%$ ó $-\Delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$.	25	1.00
Superficie porche $> 20\%$ ó $\Delta M/M > 0$ ó $T/H > 2/3$.	45	1.00

Fuente: GNDT (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti)

Distancia máxima entre los muros

Con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros (de carga) interceptados por muros transversales, ubicados a distancia excesiva entre ellos. Se reporta el factor L/S , donde L es el espaciamiento entre los muros transversales y S el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable Figura 9, Tabla 10

Figura 9 Distancia entre muros



Fuente: Glogau, O.A., Masory Performance in Earthquakes (1974)

Tabla 10. Variables para y calificación del parámetro distancia máxima entre muros

Variable	Clase K_i	W_i
Construcción con $L/S < 15$	0	0.25
Construcción con $15 \leq L/S < 18\%$	5	0.25
Construcción con $18 \leq L/S < 25$	25	0.25
Construcción con $L/S = 25$	45	0.25

Fuente: GNDT (Grupo Nazionale per la Difesa dei Terremoti)

Una vez se obtiene la información se procede a la sistematización y análisis de los datos obtenidos, con la finalidad de generar el mapa de vulnerabilidad física del área de análisis.

5.3.2 Caracterización del Escenario de Riesgo:

Una vez se obtienen los resultados asociados a los factores de riesgo en este caso la zonificación de amenaza y vulnerabilidad se procede a realizar el cruce de información que arrojará campos delimitados de las condiciones de riesgo del área y que facilitan tanto la comprensión de los problemas, como la priorización y formulación de las acciones de intervención, así como el seguimiento y evaluación de las mismas.

Un escenario de riesgo se representa por medio de la caracterización de los factores de riesgo, sus causas, la relación entre causas, los actores causales, el tipo y nivel de daños que se pueden presentar, más la identificación de los principales factores que



requieren intervención así como las medidas posibles a aplicar y los actores públicos y privados que deben intervenir. ⁴

Para el área de análisis la revisión documental está orientada en la evaluación de información asociada a la posible ocurrencia de movimientos en masa y elementos expuestos o condiciones de riesgo asociados, bajo el marco de la implementación de los procesos de la gestión del riesgo conocimiento y reducción del riesgo.

Mapa final de riesgo:

Para el efecto, se sumaron los mapas de vulnerabilidad y amenaza resultantes con los insumos asociados y se reclasificaron en términos de riesgo calificando la aptitud del terreno en 3 tres categorías:

- Riesgo alto
- Riesgo medio
- Riesgo bajo

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La Tabla 11 muestra una comparación de los instrumentos de planificación indisponibles en el municipio de Tenjo, realizada a partir de una revisión documental.

Tabla 11. Comparativo de los instrumentos de Planificación

Instrumento De Planificación Inherente Al Sngrd	ITEM	ESTADO
PMGRD- EMRE	No se tuvo acceso	--
Plan De Desarrollo Municipal	programa reducir el 100% de familias localizadas en áreas con condiciones de riesgo	Ejecutado: por medio del formulación e implementación de la política de gestión del Riesgo municipal. Inclusión de la gestión del riesgo en ordenamiento territorial
POT	Se adopta por medio del acuerdo 010 de 2014.	Activo sin modificación de ningún tipo hasta el momento y periodo 2014-2027.

Fuente: Autor

En vista que en el año 2014 por medio de acuerdo se adopta el POT vigencia 2014-2027, se procedió a la revisión de los documentos y establecer líneas de acción que orienten en la posible ocurrencia del escenario de riesgo en el Sector Cementerio.

⁴ COLOMBIA. Congreso de la República. Ley 1523 de 2012 (abril 24), por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones



Acuerdo N 010 Por el cual se adopta el POT del Municipio de Tenjo Cundinamarca

Dentro del marco conceptual, la identificación del riesgo parte del componente estratégico de gestión que vinculado con el planeamiento urbanístico son elementos que direccionan el desarrollo sostenible, que define aspectos como la exposición y vulnerabilidad de zonas frente a la posible ocurrencia de fenómenos naturales.

Una vez hecha la revisión del POT del municipio de Tenjo se establece que: en el capítulo de incorporación de gestión de riesgo de desastres no se tuvo en cuenta los lineamientos y disposiciones establecidos en el decreto 1807 de 2014 para la zonificación de amenazas por movimientos en masa, en cambio muestra un análisis de vulnerabilidad física de las estructuras del área de estudio cruzadas con algunas condiciones físicas del terreno, donde obtienen el mapa de amenaza geotécnica a escala 1:50.000 cómo se evidencia en la (Tabla 12).

Tabla 12. Resultado de la Revisión del Diagnóstico del POT

DOCUMENTO	AÑO	APLICACIÓN AL DOCUMENTO EN EL AREA DE ESTUDIO
Diagnostico RG POT Municipio De Tenjo - Metodología Proceso De Vulnerabilidad	2013	En conformidad con el POT vigente que establece como unidad cartográfica en la incorporación de gestión del riesgo en la panificación territorial “ el mapa de amenaza geotécnica ” POT Acuerdo N 010 Por el cual se adopta el POT del Municipio de Tenjo Cundinamarca, en el que se delimita un tipo de amenaza asociada a un análisis de vulnerabilidad física de las estructuras del área de estudio cruzadas con algunas condiciones físicas del terreno, donde obtienen el mapa de amenaza geotécnica a escala 1:50.000, categorizando el área de análisis como zona de alto a mu alto riesgo y muy alto riesgo por amenaza geotécnica y en el que no se tiene en cuenta los parámetros del decreto 1807 de 2014. Por tanto no hay estudios básicos incorporados en el POT que orienten en la toma de decisiones asociadas a la posible ocurrencia de movimientos en masa en el municipio de Tenjo.

Fuente: Autor

Una vez hecha la revisión documental de los instrumentos de planificación inherentes al sistema nacional de gestión del riesgo y en conformidad con lo dispuesto en la normatividad que define **el marco del conocimiento** como el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo y en cumplimiento del decreto **1807 de 2014** por el cual se reglamenta el **artículo 189** del **Decreto-ley 019 de 2012** en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones, se determina realizar un **Estudio Básico Por Movimientos En Masa A Escala Detallada**

y complementar el análisis de vulnerabilidad que ya se ha desarrollado en la zona dando cumplimiento a los objetivos del presente estudio.

6.1 Análisis De Amenaza:

Geología UGI (Unidades Geológicas para Ingeniería)

Geología Regional

Para el análisis del área de estudio se evaluaron aspectos que a nivel regional influyen en las condiciones del terreno como geología y geomorfología, procesos erosivos, sistema de fallas, inclinación de capas, etc, y a su vez el análisis de pendiente y su relación con la activación de procesos morfológicos.

Las unidades de terreno delimitadas y caracterizadas, que son la base de la definición de las UGI, se demarcan preliminarmente con base en la clasificación del terreno en unidades geomorfológicas con apoyo de la cartografía básica, el MDT, las fotografías aéreas y demás imágenes remotas disponibles en el área de estudio.

Estratigráficamente el área de planificación se encuentra localizada sobre la secuencia cretácica compuesta por el miembro superior, medio e inferior del grupo Guadalupe correlacionados con las formaciones Labor y Tierna (Ksglt), Plaeners (Ksgpl) y Arenisca Dura (Ksgd) cuyo contacto es discordante con el depósito Cuaternario (Qc) (Figura 10).

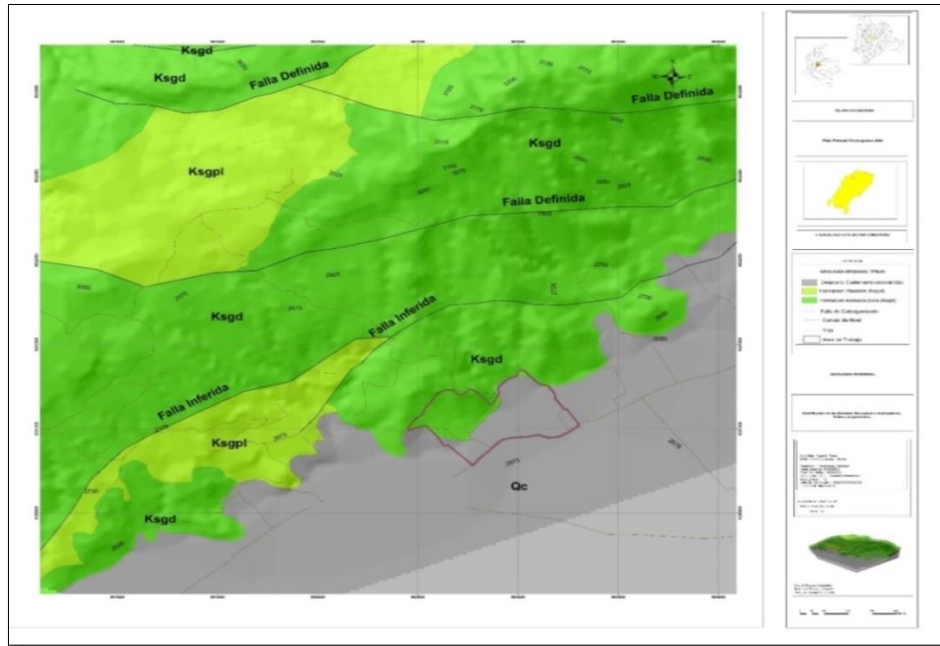
Figura 10. Geología regional.



Fuente: Autor

A continuación se presenta el Mapa Geológico a escala 1:25. 000 levantado en campo para fines del estudio (Figura 11).

Figura 11. Levantamiento geológico a escala regional escala 1:25.000.



Fuente: Autor

Geología Local

En el sector de interés afloran rocas del Cretácico superior y del Cuaternario, representadas por el Grupo Guadalupe por medio de afloramientos de La Formación Arenisca Dura y en contacto con Depósitos Cuaternario Recientes (Figura 9) y (Tabla 8).

Las UGI referidas en esta guía corresponden a zonas delimitadas teniendo en cuenta que representen alto grado de homogeneidad con respecto a las propiedades geotécnicas básicas, cumpliendo con las características de área de acuerdo con la escala de trabajo y con base en la definición de unidades litoestratigráficas. Se clasifican para nuestra área de análisis en:

- Roca - sector 1 de análisis
- Suelo transportado de origen coluvial - sector 2 de análisis.

De tal manera que se desarrolló la evaluación en campo a partir de estas unidades con el propósito de establecer las características geológicas, geotécnicas, geomecánicas en el caso del macizo.

Cuaternario -Suelo Transportado De Origen Coluvial Sector 2 De Análisis.

Tabla 13. Descripción general Depósito Cuaternarios

Edad	Cuaternario
Ambiente de Sedimentación	Denudacional
Litología	Distribución de bloques heterométricos embebidos en una matriz arcillo limosa, presenta variación en cuanto a la extensión y se originó a partir de procesos denudativos recientes.

Fuente: Autor

Son depósitos de edad reciente de origen local está compuesto por bloques de tamaños heterogéneos y formas angulares a subangulares embebidos en una matriz areno arcillosa, presentan una morfología ondulada a suavemente ondulada, se localizan en la zona de estudio hacia el sector sureste zona lo localización del cementerio y las urbanizaciones desarrolladas actualmente, de igual forma se presenta en la zona noreste media, Figura 12.

<p>Este tipo de materiales y unidades geológicas están dispuestos en las zonas bajas del área de análisis contrastando las zonas de alta pendiente</p>		<p>X: 992857 Y: 1030733 Z: 2693</p>
--	---	---

Figura 12 Deposito Coluvial

A continuación se realiza la identificación de las formaciones geológicas presentes en la zona de estudio en donde se observa el contraste de acuerdo a la litología característica de cada una y la competencia de los materiales presentes.

En la Figura 13 se observa el contraste de la Formación Arenisca Dura con una topografía abrupta y un relieve escarpado con el depósito coluvial que presenta una topografía ondulada.

Figura 13. Geología local zona de estudio



Fuente: Autor

Los depósitos Coluviales generalmente son unidades geológicas de espesores fluctuantes, por otro lado este tipo de áreas sirven como zonas agradacionales en las que los resultados de procesos Morfodinámicos descansan. Por tal razón se clasifica como zona de susceptibilidad media.

Sector 1: Cretáceo - Grupo Guadalupe:

El Grupo Guadalupe se observan en la zona de estudio en el sector cementerio, específicamente representado por la Formación Arenisca Dura, a continuación se realiza la descripción general.



Formación Arenisca Dura (Ksgd)- Roca In SITU

La formación Arenisca Dura se encuentra aflorante en el sector Noreste del Municipio de Tenjo, zona en la que se identificó la influencia de un posible control estructural asociado a fallas regionales de cabalgamiento que desplazaron algunos bloques y estratos.

Morfométricamente la zona a nivel general se caracteriza por presentar una topografía abrupta en contrastada con zonas de baja pendiente.

En el área de análisis se identificó la presencia de mantos rocosos pertenecientes a la formación Arenisca Dura (Ksgd), estructuralmente presentan una dirección de rumbo preferencial S70°W y un buzamiento 47°NW y está compuesta por bancos de areniscas que presentan capas de espesor variable identificadas como la sección inferior de la Formación. Litológicamente presenta una intercalación de Liditas de color gris claro con arcillolitas blancuzcas muy delgadas (Tabla 14).

Tabla 14. Afloramientos presentes en la zona de acuerdo a la visita realizada en campo.

Afloramiento en campo	Fotografía
<p>En el sector noreste de la zona de estudio al margen de la vía, se observa el afloramiento de un manto rocoso compuesto principalmente por areniscas de grano fino a muy fino, las cuales presentan una coloración blancuzca a parda posiblemente por la presencia de óxidos de hierro como traza. El afloramiento presenta una estratificación Plano paralela discontinua, afectada por la presencia de grietas y discontinuidades. Figura 14</p>	 <p style="text-align: center;">Figura 14 Afloramiento Fm. Arenisca dura</p> <p>X: 992522 Y:1031114</p>
<p>Hacia el sector noreste de la zona de planificación por la vía que rodea el sector se observa un afloramiento de liditas intercaladas con capas delgadas de arcillolita, la cual presentan un fracturamiento característico en secciones con una forma muy plana, la roca fresca presenta un color gris claro, se observa la presencia de óxidos de hierro.</p> <p>Litología característica del miembro inferior de la formación Arenisca Dura y en la zona presenta un espesor cercano a los 3 mts.</p>	 <p style="text-align: center;">Afloramiento Fm. Arenisca Dura</p>

	 <p> X: 992557 Y: 1031160 Z: 2718 </p>
<p>En las coordenadas X: 992589; Y: 1031200 se encuentra un afloramiento de areniscas de grano fino de color blanco a amarillo claro, la roca se encuentra bastante diaclasada. El espesor de las capas se identifica desde delgadas a muy espesas. Estructuralmente presentan una dirección preferencial S 76° W y buzamiento 70°NW.</p>	 <p> Afloramiento Fm. Arenisca dura X: 992589 Y: 1031200 Z: 2731 </p>
<p>Hacia la zona norte de la zona de estudio extremo medio superior se observa una Intercalación de areniscas blancuzcas de capas de espesor variable aproximadamente de 0,30 bastantes diaclasadas con Arcillolita de color blanco bastante fracturadas en capas delgadas y un espesor aproximado de 2.0 metros Figura 10</p>	 <p> Figura 15 Afloramiento Fm. Arenisca dura zona Norte X: 992830 Y: 1031201 Z: 2674 </p>

Se observa un afloramiento de potentes bancos de arenisca cuarzosa blanquizca con presencia de óxidos de hierro con capas de aproximadamente de 1 metro y espesores menores, bastante diaclasadas. Con una dirección preferencial S47°W y un buzamiento 47°NW, el afloramiento se localiza a lo largo de la vía secundaria que conduce a la zona noreste del área de planificación.



X: 992874
Y: 1031195
Z: 2647

Fuente: Autor

UGI- Caracterización geotécnica de la zona- SMR- RMR

En esta fase de exploración básica se busca caracterizar las unidades geológicas y geomorfológicas de forma general.

De acuerdo con el trabajo realizado en campo, en el área de análisis, se planeó la determinación de propiedades geológicas y geomecánicas por medio de tres etapas:

- Reconocimiento: En la visita a campo se realiza recolección de la información, sectorización, determinación de características del macizo rocoso como: grado de meteorización, litología, localización de estructuras geológicas y sus características, grado de fracturamiento de la roca, entre otras.
- Investigación detallada: en esta etapa se realiza la recolección de la muestra con el fin de determinar propiedades físicas (humedad, peso específico) y propiedades mecánicas (resistencia a la compresión simple y resistencia al corte directo).
- Clasificación sistema SMR (Slope Mass Rating índice geomecánico y clasificación geomecánica) y RMR (clasificación geomecánica Rock Mass Rating).

Una vez hecha la asistencia a campo se identificó la zona de muestreo para caracterizar la muestra cómo se evidencia en las (Tablas 15 y 16).

Tabla 15 Identificación de la muestra sector 1

Identificación muestra	Sector	Coordenadas de muestreo			Ensayo realizado
		Este	Norte	Altura (m.s.n.m.)	
M1	1	992557	1031160	2718	Compresión simple – Humedad – Corte directo

Fuente: Autor


Tabla 16 Análisis petrográfico en macro de muestra UGI

DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS					
LOCALIZACIÓN					
DEPARTAMENTO:	CUNDINAMARC A	MUNICIPIO:	TENJO	NO. MUESTRA	TM -01
COORDENADAS	ESTE: 992857	NORTE: 1030733	ALTURA: 2693		
CARACTERÍSTICAS GENERALES					
COLOR (FRESCO Y METEORIZADO)		RESISTENCIA	ESTRUCTURA		
Fresco Blanco, Meteorizado Amarillo ocre		Roca muy dura			
GRADO DE METEORIZACIÓN		POROSIDAD VISIBLE	REACCIÓN CON HCL		
Débilmente meteorizada		Baja	No		
FOTOGRAFÍA		Formación: Arenisca Dura			
		Descripción:			
		Arenisca Cuarzosa de grano fino de color blanco con niveles de liditas.			
		Observaciones: La roca se encuentra débilmente meteorizada ya que presenta presencia de óxidos de hierro en las discontinuidades.			
PATRÓN TEXTURAL Y COMPOSICIÓN					
Tamaño de grano y composición del armazón	Fino - cuarzo	Tamaño de grano promedio	Fino		
		Rango de tamaños	0,125 - 0,25 mm		
Tamaño de grano y composición de matriz	Muy fino - cuarzo	Selección	Muy buena		
Porcentaje de Armazón y Matriz	Armazón cuarzo - 90% Cuarzo 8%	Redondez promedio	Sub angular		
Porcentaje de cemento	Cemento silíceo 2 %	Esfericidad	Sub esférico		
Matriz soportada o armazón soportada	Armazón soportada	Contacto predominante entre partículas	Cóncono Convexo		
CLASIFICACIÓN TEXTURAL Y COMPOSICIONAL					
CUARZOARENITA (FOLK,1974)					

Fuente: Autor

Para el adecuado desarrollo de la clasificación geomecánica se realizó análisis de propiedades físicas y de resistencia en laboratorio (Tablas 17,18 y 19).

Tabla 17. Resultados de laboratorio

Id. Muestra	Sector	Ensayo	Resultado	Unidades	Esquema de falla
M1	1	Compresión simple	68.82	MPa	
		Humedad	0.1	%	
		Peso específico	2.452	g/cm ³	
		Corte directo	C= 1.70 A.F. 44.5	Kg/cm ² °	

Fuente: Autor

Las propiedades físicas o índice son determinantes del comportamiento geomecánico del macizo rocoso, estando entre ellas el peso específico, la porosidad y la resistencia.

Resistencia a compresión simple (σ_{ci}):

Es el máximo esfuerzo que soporta la roca sometida a compresión uniaxial, determinada sobre una probeta sin confinar en el laboratorio. En la 9 se presentan los datos generados por medio de análisis de laboratorio.

Tabla 18 Resistencia a compresión simple por sectores

N° Muestra	Frente de Trabajo	Σ_{ci} (MPa)
1	Sector 1	68,82

Fuente: Autor

Envoltentes de rotura:

Se realiza el análisis de la resistencia de la roca por medio del programa RocLab, para el frente de trabajo, basado en el criterio de ruptura generalizado de Hoek-Brown (mb, s, a), que permiten hacer el cálculo de los parámetros mohr-Coulomb como cohesión y ángulo de fricción (c, ϕ) del macizo rocoso (Tablas19, 20 y 21).

Tabla 19. Parámetros de rotura del macizo rocoso

Sector	Criterio Hoek-Brown			Criterio Mohr-Coulomb	
	mb	s	a	Cohesión (Mpa)	Angulo de fricción (°)
1	1.239	0.0007	0.508	0.573	48.56

Fuente: Autor

Tabla 20. Parámetros mecánicos del macizo rocoso

Sector	Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)	Resistencia a compresión general (MPa)	Módulo de deformación (MPa)
1	-0.036	1.658	9.943	4665.72

Fuente: Autor

Tabla 21. Peso específico

N° Muestra	Sector	γ (g/cm ³)	γ (MN/m ³)
1	Sector 1	2,452	0,024

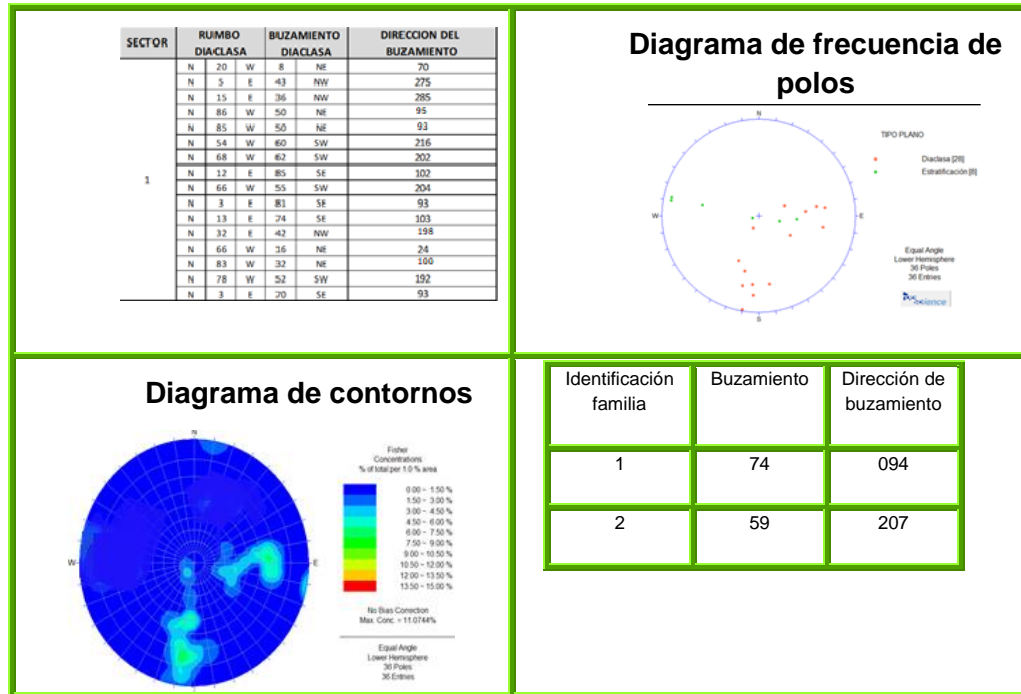
Fuente: Autor

Análisis y caracterización Geomecánica

Para poder establecer las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en el área de análisis, se realiza el análisis estereográfico y cinemático (evaluando la influencia de las discontinuidades de diverso tipo en la estabilidad del macizo rocoso, así como la creación de cuñas que generan diferentes mecanismos de falla) mediante el programa DIPS, contando con información estructural y propiedades de las discontinuidades tomadas en campo.

Las discontinuidades se obtuvieron según el sector del macizo rocoso establecido por medio del levantamiento de la información en campo (Tabla 22).

Tabla 22. Datos estructurales discontinuidades por sectores



Fuente: Autor

Clasificación RMR (Rock Mass Rating)

La incidencia de los parámetros que se estudian en la clasificación en el comportamiento geomecánico del macizo se expresa por medio del índice de calidad RMR que varía de cero (0) a cien (100), siendo cero un macizo roco de muy mala calidad y cien uno de excelente comportamiento geomecánico. Cada parámetro será descrito según los sectores descritos en la zonificación geomecánica.

Aplicando esta clasificación, el macizo rocoso se divide en regiones estructurales (Sector 1) que se identifican por separado.

En la Tabla 23 se describen los parámetros geomecánicos obtenidos y que posteriormente se usan para la clasificación.

Tabla 23. Parámetros Geomecánicos.

Resistencia de la matriz rocosa							
RESISTENCIA DE LA MATRIZ ROCOSA				Sector 1			
Compresión simple (MPa)	> 250 2 - 100 5 - 0	10 0 - 50		50 - 25	25 - 05	5 - 1	< 1
Puntuación RMR	1 5	12 7		4	2	1	0
La resistencia a compresión simple es un resultado medio y bajo, generando una condición de las rocas denominado débil, siendo común en rocas sedimentarias alteradas y débilmente compactadas.							
Índice de calidad de la roca RQD y espaciado de las discontinuidades:							
Sector	Espaciado promedio (m)	Frecuencia (λ)	RQD (%)	CALIDAD			
1	0.1538	6.1538	87.30	Buena			
El RQD (rock quality designación) es la expresión habitual del grado de fracturación del macizo rocoso, cuya estimación se puede realizar a partir de la frecuencia de discontinuidades (λ). También se define como el porcentaje de núcleos que se recuperan en piezas de 10cm, o más, del largo total del barreno. Además, su cálculo se realiza por medio del espaciado promedio de las discontinuidades proporcionando el valor teórico mínimo del RQD, así: $RQD=100^{-0.1\lambda(0.1\lambda+1)}$ Siendo λ la frecuencia de las discontinuidades, que es a su vez: $\lambda = 1/Espaciado$							
Parámetros RMR, espaciado de las discontinuidades				Parámetros RMR, índice RQD			
ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES				RQD			
Sector 1				Sector 1			
Espaciado	>2 m	0,6 - 2 m	0,2 - 0,6 m	0,06 - 0,2 m	<0,06 m	RQD	90% - 100%
Puntuación	20	15	10	8	5		75% - 90%
							50% - 75%
							25% - 50%
							<25%
						Puntuación	20
							17
							13
							6
							3

Estado de las discontinuidades

ESTADO DE LAS DISCONTINUIDADES				Sector 1	
Continuidad	<1m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 -20 m	> 20 m
Puntuación	6	4	2	1	0
Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1 - 1,0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Puntuación	6	5	3	1	0
Rugosidad	Muy Rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave
Puntuación	6	5	3	2	0
Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5mm	Relleno Blando < 5 mm	Relleno Blando > 5 mm
Puntuación	6	5	3	1	0
Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta
Puntuación	6	5	3	1	0

Hay diferentes propiedades que definen el comportamiento mecánico de las discontinuidades y con ello pueden afectar o no al macizo rocoso, generando diversos tipos de falla en los taludes. Estas propiedades son: Continuidad, Abertura, Rugosidad, Relleno y Alteración, las cuales se describen, según los datos tomados en campo, para cada sector incluyendo el puntaje para la clasificación RMR. Las discontinuidades son las estructuras más comunes en un macizo rocoso, pueden ser abiertas, cerradas o estar llenas de algún material, y se pueden medir en ellas los grados de cohesión y fricción a lo largo de las superficies.

Contenido de agua

Agua				Sector 1	
Estado general	Seco	Ligeramente Húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo
Puntuación	15	10	7	4	0

El contenido de agua en el macizo rocoso depende generalmente de la porosidad, la capacidad de almacenamiento, la permeabilidad y el nivel freático o piezométrico, de las formaciones presentes en el área de trabajo; por tanto, es indispensable indicar que, según el estudio geológico, en el área de análisis aflora la formación Arenisca Dura, la cual se caracteriza por la alternancia de estratos con alto contenido en areniscas y arcillolitas compactas de grano fino con propiedades descritas en el capítulo geológico. Una arenisca friable generalmente pierde el 15% de su resistencia por simple saturación, por lo que el contenido de agua es una propiedad relevante para la clasificación.

Parámetros RMR, Corrección por orientación

Favorabilidad de la Dirección y Buzamiento				Sector 1	
Taludes	Muy Favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy Desfavorables
Puntuación	0	-5	-25	-50	-60

Los diferentes tipos de roturas se condicionan por el grado de fracturación del macizo rocoso y por la orientación y distribución de discontinuidades con respecto al talud, quedando la estabilidad definida por los parámetros resistentes de las discontinuidades y de la matriz rocosa. Obtenidos los resultados, la clasificación RMR ofrece una corrección por la orientación de las discontinuidades con respecto a los taludes, evaluándose el macizo rocoso como fracturado en gran medida.

Con la corrección de la clasificación realizada, por

Con la puntuación mencionada se genera la

frente de trabajo se obtiene el siguiente puntaje:			clasificación por frentes de trabajo de la siguiente forma:				
Sector	Puntuación RMR	Puntuación corregida	Sector	Frente	Puntuación	Clase	Calidad
1	66	41	1	Sector 1	41	IV	Media

Fuente: Autor

En un macizo rocoso afectado por procesos geomorfológicos que afectan sus propiedades mecánicas, con dos familias de discontinuidades, generando matrices rocosas de muy bajas dimensiones (continuidad y espaciado), se puede clasificar como de media o alta calidad, identificando que la inclinación de los taludes actuales es un factor importante en la descripción del macizo.

Clasificación SMR para taludes SMR (Slope Mass Rating):

La clasificación SMR (Slope Mass Rating índice geomecánico y clasificación geomecánica) es un método de determinación de los factores de ajuste adecuados para aplicar la clasificación RMR (Rock Mass Rating), que incluye cuatro factores de ajuste:

La clasificación SMR no cuenta con instrucciones específicas para rupturas en cuña. Se obtiene el índice SMR para cada una de las dos familias de discontinuidades y se adopta para el talud el menor índice SMR obtenido para cada familia.

Por lo anterior se realiza la clasificación del sector 1, teniendo en cuenta los datos estructurales de las familias de discontinuidades descritas anteriormente. Los factores de ajuste de diaclasas se determinan según el buzamiento y dirección de buzamiento tanto de discontinuidades como de los taludes, Tabla 24.

Tabla 24. Factores de ajuste de Diaclasas

Características estructurales del macizo rocoso por sector								
Sector	Azimut (°)		Buzamiento		Dirección de buzamiento			
1	340		76		70			
Puntaje por sector, clasificación SMR								
Sector	F1		F2		F3		F4	
	P	T	P	T	P	T	P	T
1	0.4	0.4	1	1	-6	-2	0	0
					0	5		

Según el desarrollo de la clasificación SMR se obtiene los resultados, para falla plana del sector definido geotécnicamente,

Clasificación SMR por sectores							
Sector/Tipo Rotura	R M R	S M R	Clase	Descripción	Estabilidad	Rupturas	Tratamiento
1/Rotura Plana		41					
1/Rotura por vuelco	41	31	III	Normal	Parcialmente inestable	Algunas juntas o muchas cuñas	Sistemático

En conformidad con los resultados obtenidos se establece que la UGI tiene una clasificación RMR 66, clasificado como clase IV y media. En contraste, la SMR lo clasifica como macizo rocoso parcialmente inestable. Tipo 2 de amenaza.

Consideraciones para la calificación:

Una vez hechos los análisis de los sectores geológicamente establecidos se puede concluir que los depósitos recientes por su naturaleza son zonas agradacionales en las que los restos de procesos Morfodinámicos descansan. Por tal razón se clasifica como zona de susceptibilidad media.

Por otra parte la clasificación a partir del análisis de laboratorio y clasificación geomecánicas del macizo arroja como resultado un valor de calificación tiene una clasificación RMR 66, clasificado como clase IV y media. En contraste, la SMR lo clasifica como macizo rocoso parcialmente inestable. Tipo 2 de amenaza. Véase la Tabla 25.

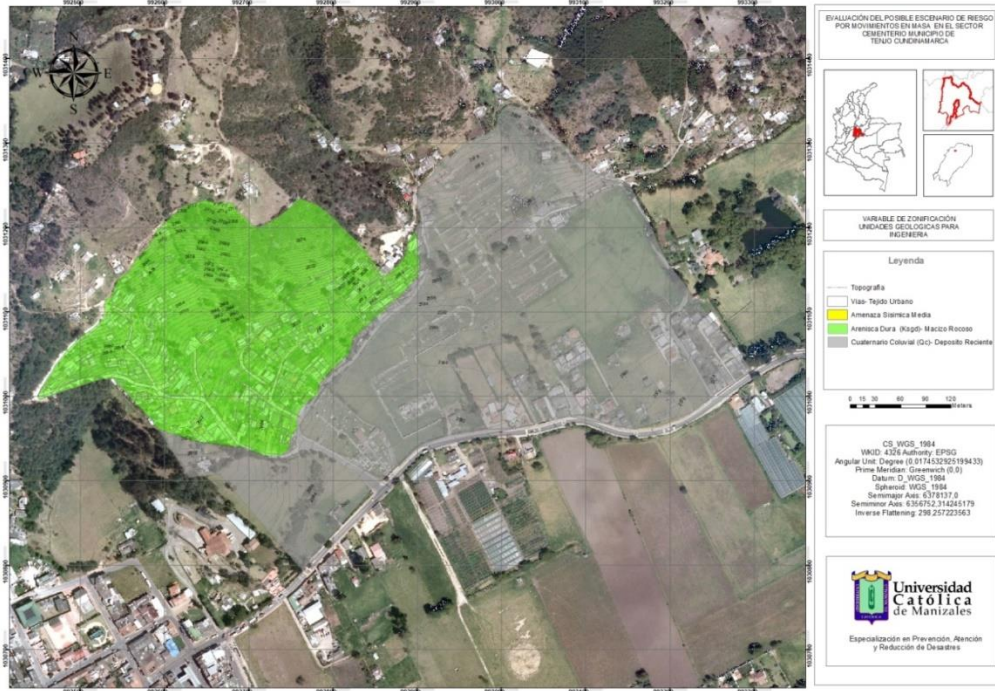
Tabla 25 Ponderación de las UGI para la zonificación

UGI	Nomenclatura en plano	Ponderación para zonificación
Roca - sector 1 de análisis	Kgd	Bajo (1)
Suelo transportado de origen	Qc	Medio (2)

Fuente: Autor

Una vez hecho el análisis se procede a realizar el mapeo de las unidades cartográficas homogéneamente a partir de las condiciones descritas anteriormente como se evidencia en la Figura 16.

Figura 16 Mapa Geológico Levantado En Campo

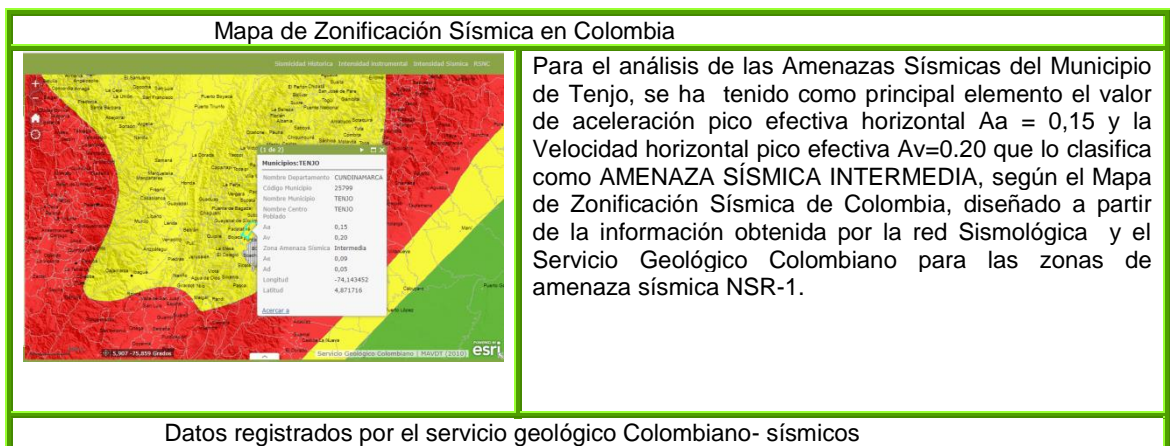


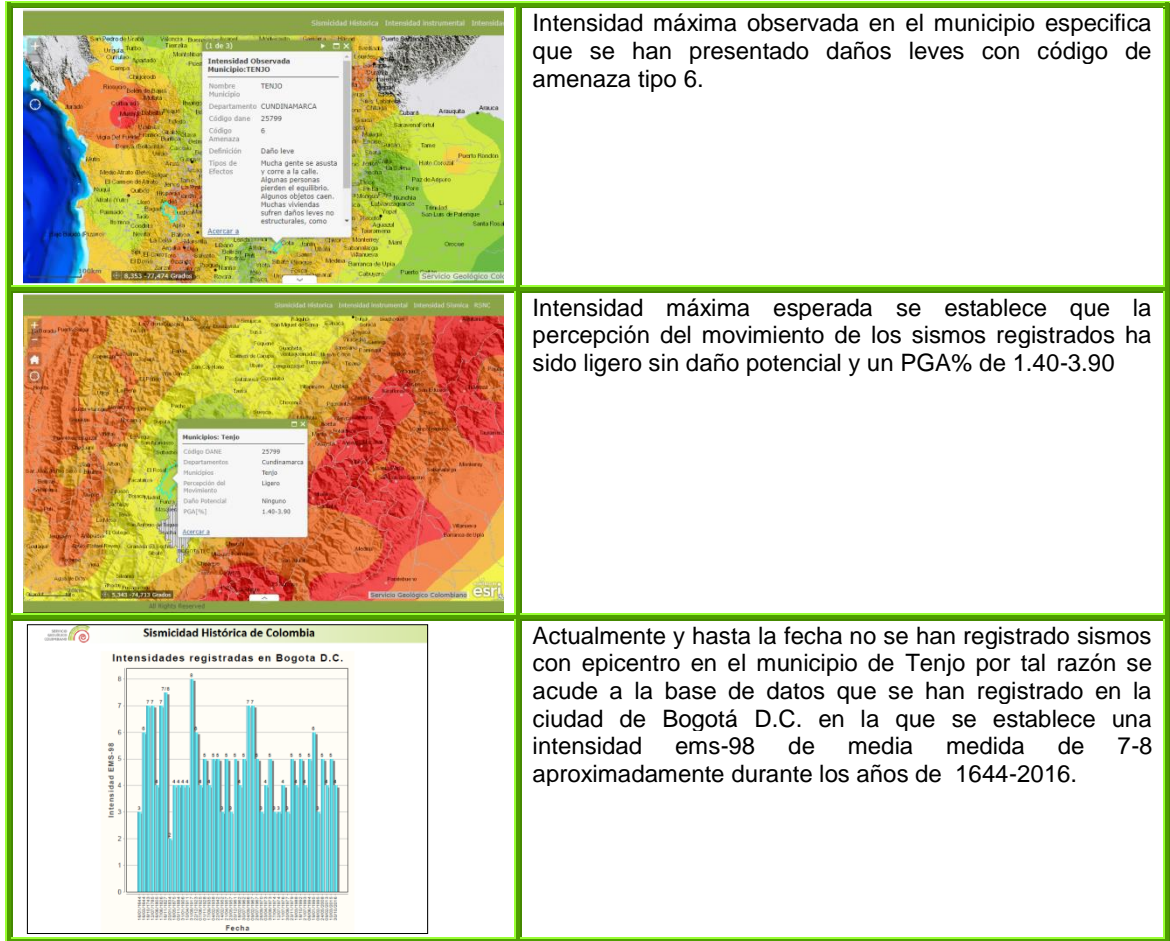
Fuente: Autor

Variable Sísmica

El resultado de la revisión documental y de información de diversas entidades se observa en la Figura 17.

Figura 17 Datos sísmicos reportados por el SGC en el municipio y alrededores





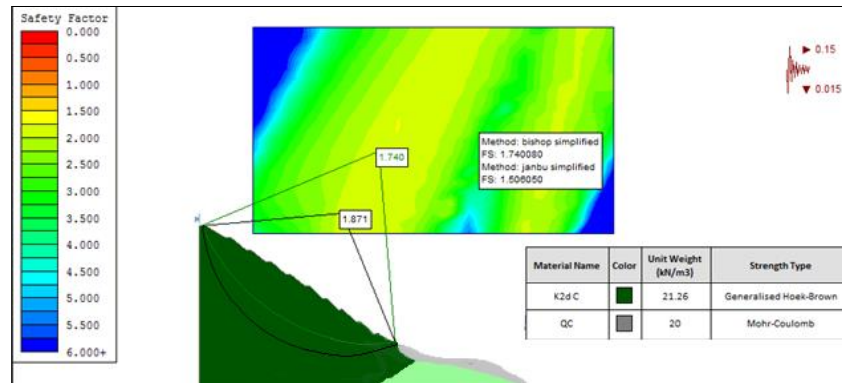
Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Con el propósito de establecer un escenario real en cuanto al comportamiento de los materiales presentes a la zona, frente al estímulo producto de un sismo se generó un modelo que permite categorizar las consecuencias frente a la ocurrencia de este tipo de proceso amenazante.

Relación material y comportamiento frente a un sismo. Talud en condición sísmica

A continuación se realiza el análisis de estabilidad del perfil del área de análisis, en el que se identificaron los miembros de la sección cretácica perteneciente a la Formación Arenisca dura en contacto con el depósito coluvial. El objetivo de desarrollar este análisis es evaluar en condiciones estáticas y pseudo-estáticas (Sismo y Ru) calculando el factor de seguridad y las posibles fallas que puede presentar el macizo en condiciones extremas y establecer el grado de amenaza por medio del programa SLIDE y categorizar dentro de los rangos de evaluación, Figura 18.

Figura 18. Modelación de F.S en SLIDE



Fuente: Autor

Teniendo en cuenta la evaluación de amenazas se obtuvo los factores de seguridad de acuerdo al rango de amenazas definido, obteniendo los niveles de amenaza según la condición y presentados en la Tabla 26.

Tabla 26. Condición FS en condición pseudo-estática Sismo y Ru- Amenaza geotecnia Condiciones extremas.

Método	FS en condición pseudo-estática Sismo y Ru	Amenaza geotecnia Condiciones extremas
Bishop	1.74	Amenaza medio (2)
Janbú	1.50	Amenaza medio (2)

Fuente: Autor

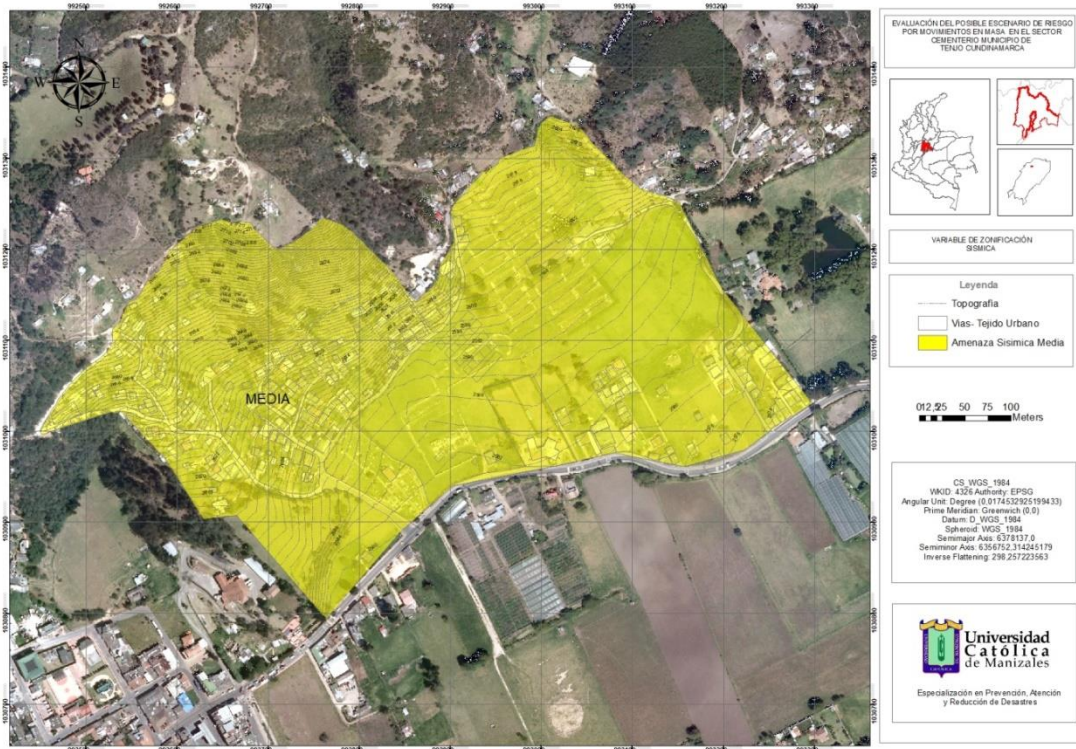
Una vez obtenidos los datos de frecuencia, recurrencia, intensidad máxima esperada, intensidad máxima registrada y observada se genera el anterior modelo dado como resultado la clasificación de amenaza y la respuesta de los materiales litológicos frente al estímulo producto de un evento sísmico, clasificado las capas como se muestra en la Tabla 27. A su vez se realiza el modelo de las unidades cartográficas homogéneas Figura 19.

Tabla 27. Ponderación de la variable sísmica para la zonificación

Tipo de material	Amenaza sísmica	Factor de seguridad
Manto rocoso arenisca dura	Medio (2) /21.26	1.74-1.50
Deposito Coluvial	Media (2) /20	

Fuente: Autor

Figura 19 Mapa de la variable sísmica en la zona



Fuente: Autor

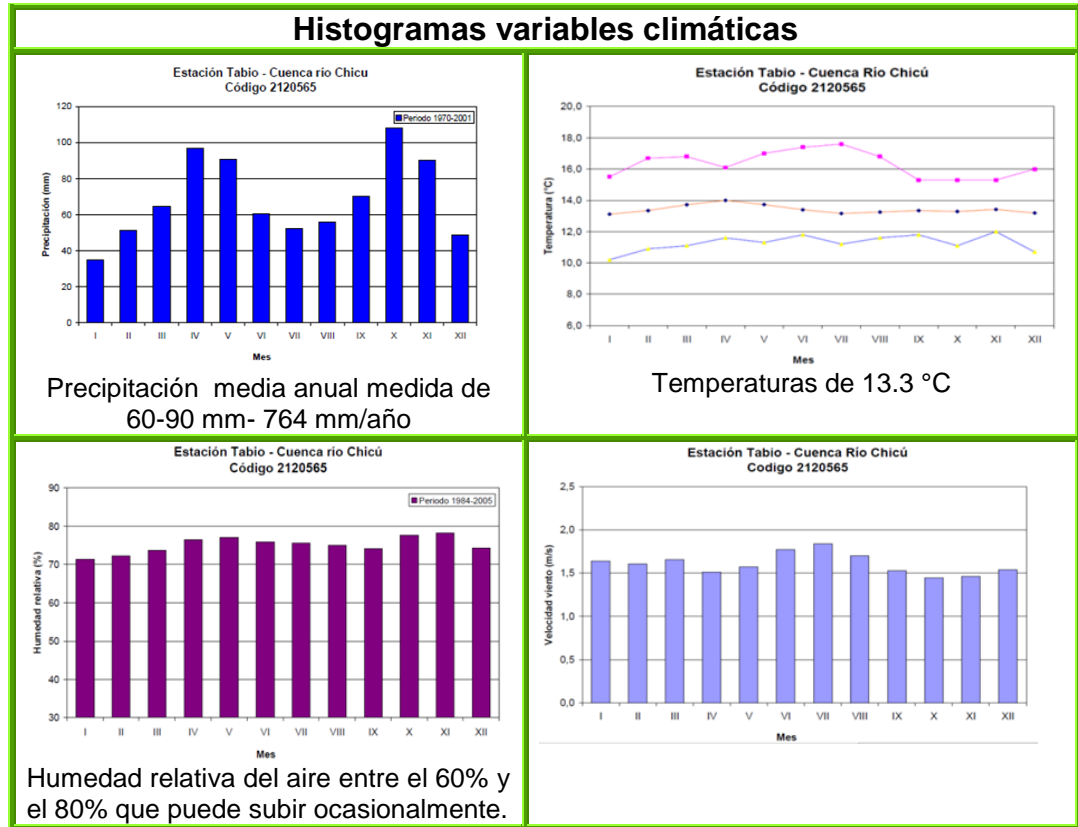
Clima – precipitación:

El clima de la cuenca del río Chicú es frío y semi húmedo, con temperaturas de 13.3 °C, humedad relativa del aire entre el 60% y el 80% que puede subir ocasionalmente y precipitaciones promedio de 764 mm/año, con déficits hídricos en los meses de enero, febrero, marzo, agosto y septiembre. Las lluvias por lo general son de bajo poder erosivo y se distribuyen de manera bimodal con dos periodos bien definidos: abril - junio el primero y octubre–diciembre el segundo. De acuerdo con el pluviograma comparado con el evapograma mostrados en la Figura 20, se puede inferir que todo lo que se precipita muy seguramente se evapore, por tanto el escurrimiento o aporte a una cuenca superior es relativamente baja, los excedentes de humedad no indican necesariamente escorrentía útil de aprovechar; es por ello que dentro del balance hídrico de oferta y demanda en la actualidad resulta deficitario o escasez de agua para el consumo.

Las variables climáticas mostradas en cada uno de los siguientes histogramas, evidencian un comportamiento de poca variación a lo largo del año, lo cual hace que el área del proyecto goce de un clima “constante”.

Blanca Yenith Torres Forero Ing. Geólogo
Universidad Católica de Manizales
Especialización en Prevención, Reducción y Atención de Desastres

Figura 20 Histograma de variables climáticas



Fuente: IDEAM

En cuanto a la parte hidrogeológica, la zona de trabajo se ubica sobre rocas sedimentarias de edad Cretácica cuya litología potencial del acuífero y capacidad específica, permitieron clasificar las formaciones geológicas a nivel regional en las siguientes unidades hidrogeológicas: El Grupo Guadalupe es definido formalmente al oriente de Bogotá por Pérez & Salazar, (1978) y está conformado por las Formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor y Tierna. Cabe resaltar que por su alternancia litológica y propiedades de los materiales que suprayacen las unidades hidrogeológicas hablamos de **acuíferos confinados, semiconfinados y demás** en el que prevalecen Sedimentos y rocas porosas/fracturadas con moderada importancia hidrogeológica. Corresponden a esta unidad hidrogeológica la formación Arenisca Dura.

Acuífero Confinado Formación Arenisca Dura

Acuífero constituido por cuarzoarenistas de grano muy fino; este acuífero se considera de moderada importancia hidrogeológica debido a que su capacidad específica varía entre 0.1 y 0.5 lps/m con caudales entre 4 y 12 lps, la transmisividad varía entre 15 y 40 m²/día y conductividad entre 0.5 y 1 m/día.

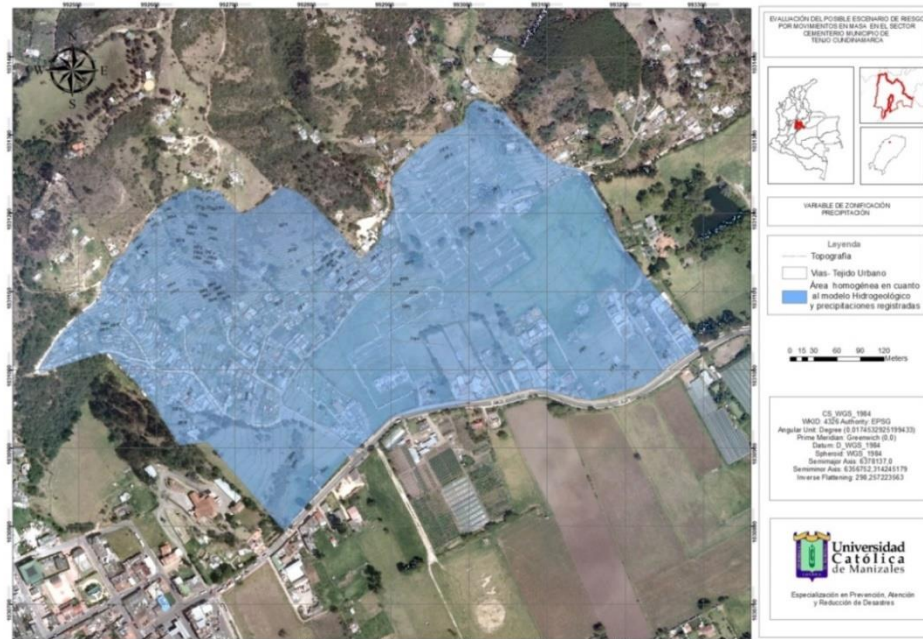
Se considera como un acuífero de extensión local ya que solamente está restringido a zonas fracturadas, de tipo confinado, presenta un grado medio de fracturamiento. El área de recarga la constituyen todos los afloramientos de la Formación existentes. En general el agua proveniente de este acuífero no es apta para consumo humano debido al alto contenido de hierro el cual puede fluctuar entre 3.06 y 5.1 ppm pero si es apta para el riego. Una vez hecho la relación hidrogeológica de los materiales y los datos registrados anualmente se establece que la calificación y se presenta a continuación en la (Tabla 28, Figura 21)

Tabla 28. Calificación y ponderación de la variable clima para la zonificación

Clima Precipitación Media Anual / promedio en los últimos años	Tipo De Material- Infiltración
70 ml/ 800ml	Una vez hecho el ensayo de propiedades físicas del muestreo se determinó que la litología en Situ – contenía cerca del 0.1 % de Humedad al presentarse un acuífero semiconfinado con las bajas niveles transmisibilidad y con los datos de humedad que corroboran la condición se califica en la ponderación de Bajo (1)
	Calificación de variable baja por el nivel de precipitación media anual y el registro promedio en los últimos años no es mayor a 1000 ml, se califica como Bajo (1) en la ponderación.

Fuente: Autor

Figura 21. Mapa variable clima.



Fuente: Autor

Geomorfología

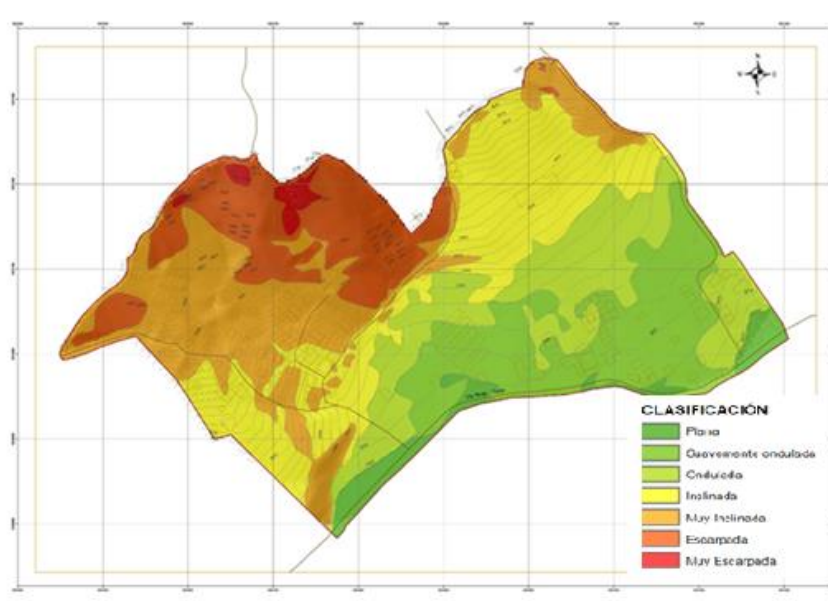
En este informe se muestran los aspectos de Geomorfológicos en el que se analizan atributos del paisaje como la morfodinamica, morfometria y morfología.

Cartografía geomorfológica (Escala 1:2000)

Morfometría

Los rangos de pendientes que se observan en el área de estudio varía desde plana a suavemente inclinada a escarpada, a continuación se observa la distribución zonal. A continuación se observa el mapa de pendientes realizado para el área de planificación. (Figura 19)

Figura 22. Mapa de pendientes.



Fuente: Autor

Morfodinámica

Procesos Morfodinámicos

Descripción de los procesos Morfodinámicos identificados en la zona Tabla 29.

Tabla 29 Descripción de procesos Morfodinámicos identificados en la zona

Procesos Endógenos

Los procesos endógenos que se presenta en la zona de estudio se relacionan con las fallas que actúan a nivel regional.

Procesos Exógenos

Están asociados a los elementos del clima como las precipitaciones, el viento y la temperatura a elementos fisiográficos como la acción de aguas de escurrimiento. Intervención del hombre, características de relieve y geológicos. Los procesos Morfodinámicos que intervienen el área de estudio son:

Procesos Geológicos	Dependen de una serie de factores externos relacionados con la energía del agente morfogenéticos y la posición geomorfológica, de factores internos tales como la composición mineralógica de las rocas, su textura y grado de cohesión.
Procesos Antrópicos:	Son todos aquellos procesos invasivos que contribuyen en la modelación del paisaje donde se refleja la intervención antrópica con actividades como minería, expansión y desarrollo rural o urbano, ganadería, pastoreo, cultivos, etc.

Fuente: Autor

La identificación de procesos exógenos presentes en el área de planificación se caracterizan por la acción del clima en los cuales intervienen agentes como la precipitación, el viento, aguas de escurrimiento., el principal proceso que se presenta es la erosión laminar sectorizada.

Procesos antrópicos

En el área de estudio se evidencia la acción de procesos antrópicos producto del desarrollo de actividades productivas como minería, expansión urbana y desarrollo rural, ganadería, pastoreo.



Procesos geológicos

Erosión laminar: Consiste en la remoción de delgadas capas de suelo extendidas en forma más o menos uniforme en toda la superficie del suelo. Su acción selectiva

sobre las partículas genera “pavimentos de erosión” (Suárez, 1980), los cuales se producen por la remoción y arrastre de las partículas más livianas -arcilla y materia orgánica- quedando sobre la superficie suelos gravillosos o pedregosos. De aquí se desprende su efecto también sobre la fertilidad de los suelos y su productividad.



Erosión diferencial: Asociada a la alternancia litológica o conjunto de rocas expuestas las cuales presentan diferentes respuestas geodinámicas, es característico en ciertas zonas de área donde se evidencia el contraste litológico debido a la alternancia de rocas fisibles, lodosas con limolitas o areniscas cuarzosas.



Fuente: Autor

Fenómenos de Remoción en masa en la Zona De Estudio

A partir del análisis de las características asociadas a los diferentes tipos de relieve, laderas y geofomas del terreno se evalúa la morfodinámica y se realiza la caracterización.

En general la zona de estudio se encuentra modelada por los ambientes Morfodinámicos de tipo estructural y Denudacional que han generado geofomas recientes y que continúan en dicho proceso. Los factores de influencia modeladora característicos son los por procesos gravitacionales e influencia de la erosión laminar y meteorización física de las rocas, provocando el transporte de materiales superficiales de las

unidades geomorfológicas preexistentes. El análisis realizado nos permite determinar zonas afectadas por la influencia de fenómenos de remoción en masa asociados a reptación.

Reptación:

Se caracteriza por ser un movimiento lento y superficial del terreno en el cual no se distingue una superficie de falla. Esta puede ser estacional cuando se asocia a cambios climáticos o a la humedad del terreno y verdadera cuando se presenta un desplazamiento relativamente continuo del terreno.

A este fenómeno se le atribuye la formación de capas delgadas de suelo saprolito a lo largo de laderas de alta pendiente.⁵

El área de planificación presenta movimientos con características asociadas a reptación laminar afectando suelo saprolito formado a partir de procesos físicos, químicos y erosivos. Al ser una capa delgada de aproximadamente 0,30 metros, presenta características de materiales plásticos, no cohesivos y no consolidados el cual se formó sobre material rocoso de la formación arenisca dura (Ksd) el cual presenta una morfometría de alta pendiente que influye en la generación de dicho movimiento, cabe resaltar que este movimiento se genera en el área de estudio por la acción de aguas lluvia y de escorrentía las cuales no tienen un manejo adecuado y por el uso del suelo como pastos limpios y pastoreo. Se observa el escalonamiento lo indica que dicho movimiento es intermitente, sin embargo repercute exclusivamente en la capa de suelo como Movimiento de reptación laminar superficial (Figura 23).

⁵ GEMMA 2007. Movimientos en masa en la región andina- una guía para la evaluación de amenazas.

Figura 23 Procesos morfodinamicos que se desarrollan en la zona



Acción antrópica uso de suelo para pastoreo

Reptación laminar zona de estudio

Inventario de sectores críticos por de remoción en masa: Teniendo en cuenta el análisis realizado durante la visita a campo en la zona de planificación se realiza el inventario de las zonas críticas con la respectiva descripción, ubicación y tipo de proceso identificado, el registro fotográfico y una breve descripción de la afectación encontrada

Fuente: Autor

Levantamiento de puntos críticos en campo una vez establecidos y descritos los procesos Morfodinámicos se procede a evaluar la zona desde el levantamiento de los puntos críticos que contienen las siguientes características, Tabla 30.

Tabla 30. Inventario De Puntos Críticos

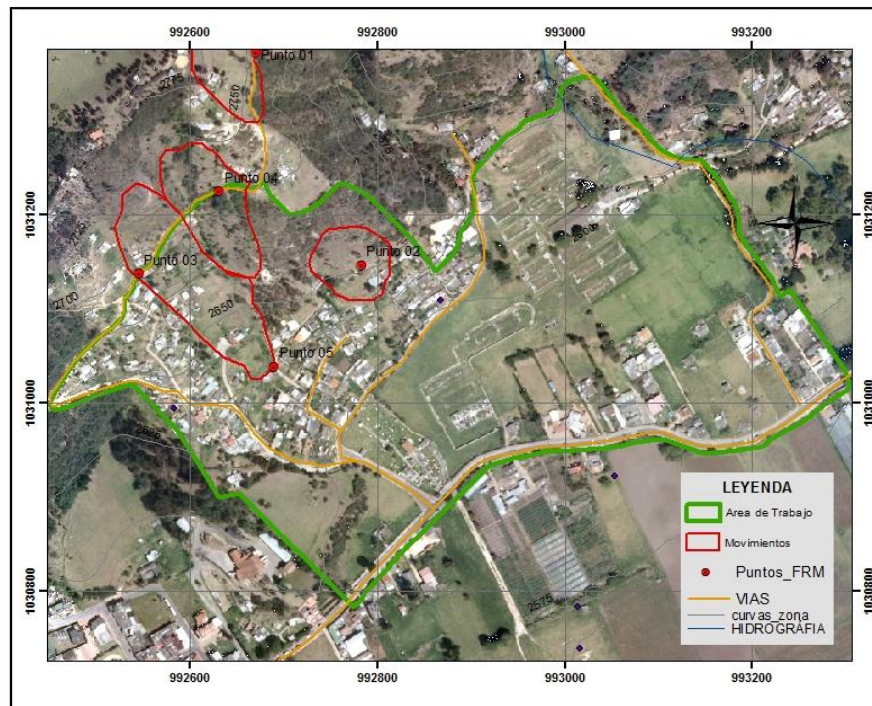
Zona punto de vulnerabilidad	Coordenadas Planas MAGNA COLOMBIA BOGOTA		Localización	Tipo de Proceso	Registro Fotográfico	Descripción
	Este	Norte				
Punto 01	992670	1031374	Sector norte vía secundaria que conduce al sector Churuguaco alto sector la plaza.	Reptación		Movimiento de propagación lento y activo que se presenta en un material de depósito coluvial reciente poco competente caracterizado por la presencia de terraceo, y asociado a procesos erosivos y desplazamiento por gravedad meteorización, erosión pluvial.
Punto 02	992783	1031147	Sector norte medio Vereda Churuguaco Alto sector cementerio	Reptación		Movimiento de propagación muy lento y activo que se presenta en un material de depósito coluvial reciente poco competente caracterizado por la presencia de terraceo bajo, y asociado a procesos erosivos y desplazamiento por gravedad meteorización, erosión laminar

Punto 03	992545	1031138	Sector Norte este límite zona de planificación Vereda Churuguaco Alto sector cementerio	Reptación		Movimiento de propagación lento y activo que se presenta en un material de depósito coluvial reciente poco competente, movimiento caracterizado por la presencia de terraceo, y asociado a procesos erosivos, desplazamiento por gravedad, meteorización, erosión pluvial.
Punto 04	992631	1031226	Sector Norte este límite zona de planificación Vereda Churuguaco Alto sector cementerio	Reptación		Movimiento de propagación lento y activo que se presenta en un material de depósito coluvial reciente poco competente, movimiento caracterizado por la presencia de terraceo, y asociado a procesos erosivos, desplazamiento por gravedad, meteorización, erosión pluvial.

						
Punto 05	992690	1031039	Sector noreste medio zona de planificación Vereda Churuguaco Alto sector cementerio	Reptación		Movimiento de propagación lento y activo que se presenta en un material de depósito coluvial reciente poco competente, movimiento caracterizado por la presencia de terraceo bajo y asociado a procesos erosivos, desplazamiento por gravedad.

A continuación se presentan la información sistematizada que fue levantada en campo referente a los movimientos masales identificados en el área próxima al plan parcial, destacándose que son los movimientos lentos tipo reptación laminar que pueden afectar de manera local y superficial las viviendas del sector noroccidental del Plan parcial (Figura 24).

Figura 24. Localización e identificación movimientos en masa en zona de estudio



Fuente: Autor

Morfología:

El análisis morfológico representa una zonificación de las áreas homogéneas del relieve que son producto de la interacción de procesos internos (tectonismo, magmatismo, volcanismo) y externos (procesos denudativos), factores climáticos, hidrológicos, geológicos, entre otros. Para generalizar las características del terreno se establecen ambientes morfogenéticos los cuales albergan atributos específicos de cada subunidad.

En el caso del área de análisis se identificaron dos ambientes morfogenéticos el ambiente Denudacional y el ambiente estructural.

El ambiente Denudacional

Se relaciona con los procesos de modelamiento del relieve que lo reducen, esta morfología se caracteriza por varios procesos que se relacionan con meteorización intensa, erosión y transporte de materiales inconsolidados o poco competentes, de igual manera fenómenos de remoción en masa

Subunidades Geomorfológicas De Ambiente Denudacional

Ladera Denudacional (Dld): Se caracteriza por presentar una pendiente inclinada a escarpada con laderas cóncavas y largas con drenaje tipo subparalelo. Se presenta en la zona noreste-este de la zona de estudio.



Ladera Coluvial (Dlc): Se localiza por la vía principal que comunica al municipio de Tenjo con Tabio desde la zona sur este a suroeste baja a media, se caracteriza por presentar laderas cóncavas y cortas con una topografía suavemente ondulada y pendiente inclinada, formándose a partir de antiguos procesos de transposición y remoción en masa sobre geoformas preexistentes, fenómenos que depositaron bloques heterométricos de diversas composiciones, en una matriz arcillosa suelos residuales. Son zonas blandas, moderadas erosionalmente y poco compactas.



El ambiente Estructural

Asociadas principalmente al plegamiento y al fallamiento de las rocas, su expresión morfológica es definida por a variación y resistencia de las unidades.

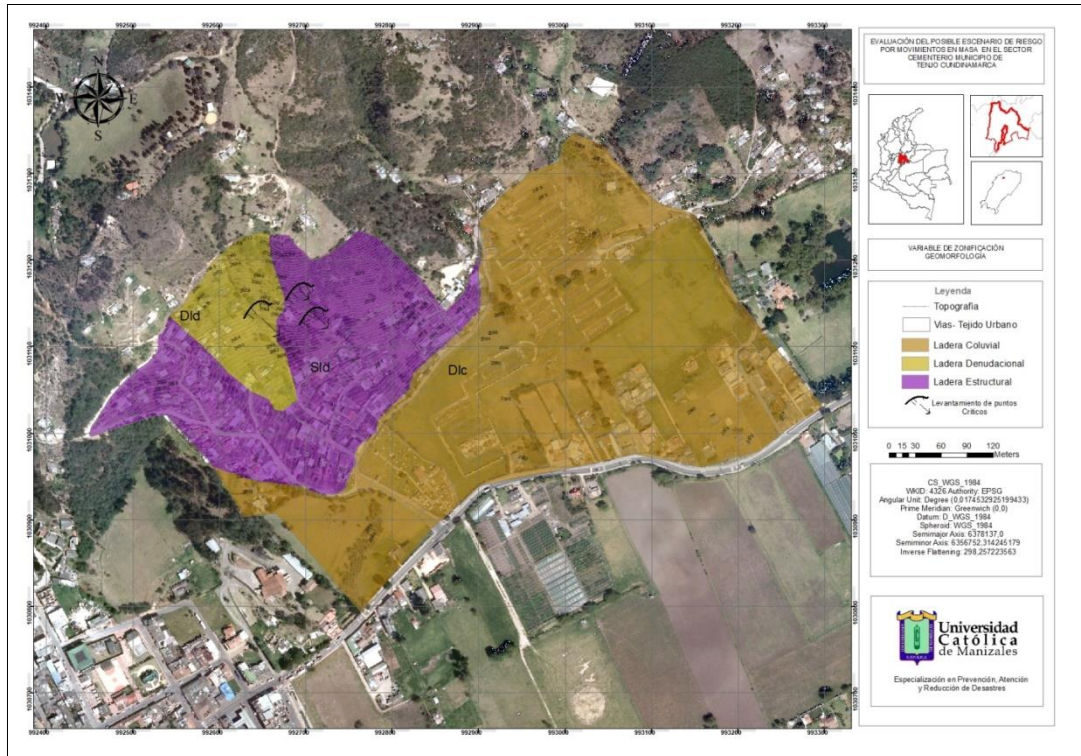
Subunidades Geomorfológicas De Ambiente Denudacional

Ladera estructural (Sl_e): Presenta una morfología irregular se encuentra definida estratos de arenisca cuarzosa, de longitud larga a extremadamente larga con pendiente suavemente inclinada a escarpada. En la siguiente fotografía se observan las características de esta subunidad, en donde se identifica la zona de estudio en gran proporción.



posteriormente se construyó el mapa de geomorfología estableciendo zonas que por sus características en mención se establecen como áreas homogéneas, donde prima la forma del terreno, ocurrencia de procesos Morfodinámicos, morfología de las zonas ver (Figura 25)

Figura 25. Mapa De Geomorfología



Fuente: Autor

Cobertura y Uso de suelo

En la zona de estudio se identificaron y delimitaron unidades correspondientes a Bosques Fragmentados, Bosques Arbolados, Pastos Limpio y Tejido Urbano Discontinuo, entre otros, dicha clasificación se realizó teniendo como base a la Metodología para la definición y delimitación de unidades de cobertura y uso de suelo de la Corine Land Cover (2000). La validación de estas unidades se determinó con la corroboración en el terreno.

El área corresponde a una serie de mosaicos compuestos definidos por pastos limpios los cuales un gran porcentaje que contraste con las demás coberturas.

Territorios Artificializados

Comprende las áreas de las ciudades y las poblaciones y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas mediante un proceso gradual de urbanización o de cambio del uso del suelo hacia fines

comerciales, industriales, de servicios y recreativos Se agrupan en cuatro categorías.

- Zonas urbanizadas
- Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación
- Zonas de extracción mineras y escombreras
- Zonas verdes artificializadas, no agrícolas

En el área de planificación se determinaron coberturas que corresponden a las categorías que se observan en la Tabla 31.

Tabla 31. Territorios Artificializados

COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO (Corine land cover)			
CATEGORIAS			
PRINCIPAL	CLASE	UNIDAD	USOS
Territorios Artificializados	Zonas urbanizadas	Tejido urbano Continuo	Cementerios con vegetación o sin vegetación con un área inferior a 5 hectáreas. Suelo Desnudo.
		Tejido urbano Discontinuo	Casas individuales de jardín con zonas verdes, carreteras con ancho menor a 50 metros.
	Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	Red vial y territorios asociados	Vías terciarias

Fuente: Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia

Zonas urbanizadas:

Las zonas urbanizadas incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que configuran un tejido urbano. Presenta dos unidades.

Tejido Urbano Continúo:

Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más de 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano. La superficie de la unidad debe ser superior a cinco hectáreas.

En la zona de planificación se identifica y delimita como tejido urbano continuo el cementerio, se observa delimitado en color rojo Figura (26 y 27)

Figura 26. Cobertura tejido urbano continuo



Fuente: Autor

Figura 27. Tejido urbano continuo, Cementerio.



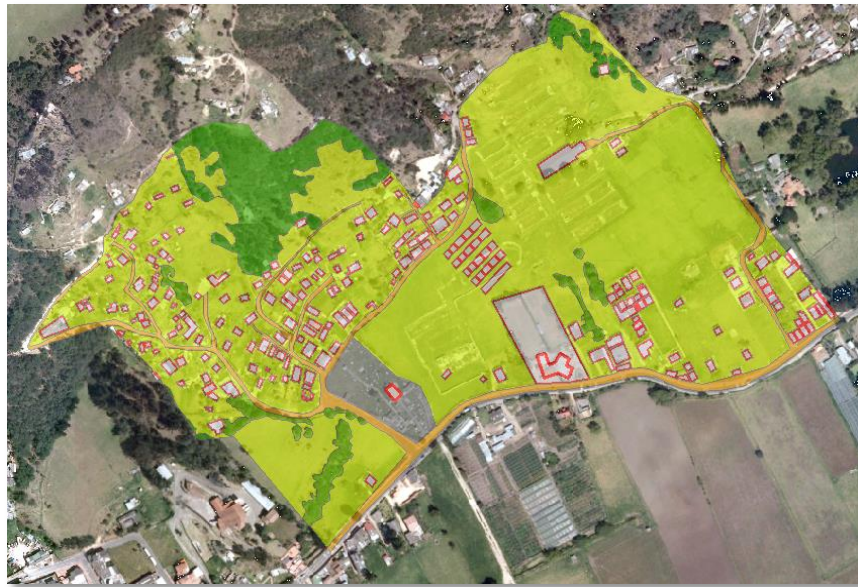
Fuente: Autor

Tejido Urbano Discontinuo

Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Estas edificaciones cubren la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierta por vegetación. Dentro del área de planificación se observa la disposición de diversas viviendas dispersas con zonas de jardín y espacios verdes, son heterométricos y con variaciones de distancias entre ellas.

De acuerdo a la ocupación del territorio y la cercanía que presenta la zona de planificación al casco urbano, se determina la cobertura de tejido urbano discontinuo teniendo en cuenta la distribución dispersa de las viviendas edificadas, sin embargo hay zonas en las cuales las viviendas se encuentran construidas en bloques. El manejo de dicha distribución es diferencial y dispersa. En la siguiente figura se definen las zonas con cobertura clasificadas como tejido urbano discontinuo y se encuentran demarcadas con color rojo Figuras 28 y 29.

Figura 28. Cobertura tejido urbano discontinuo.



Fuente: Autor

Figura 29. Tejido urbano discontinuo



Fuente: Autor

Zonas industriales y comerciales y redes de comunicación

Comprende los territorios cubiertos por infraestructura de uso exclusivamente comercial, industrial, de servicios y comunicaciones. Se incluyen tanto las instalaciones como las redes de comunicaciones que permiten el desarrollo de los procesos específicos de cada actividad. Se definieron las siguientes unidades:

Red vial y territorios asociados

Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura e instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.

En el área de planificación se identifican vías de comunicación de segundo y tercer orden, de las cuales la vía que comunica los municipios de Tenjo y Tabio que delimita hacia el sector sur el área de planificación se encuentra clasificada de segundo orden, de igual forma se observan varias vías de tercer orden que permiten la conectividad de los diferentes sectores. En la Figura 30 se observa la red vial de comunicación del área de planificación.

Figura 30. Red vial de comunicación



Fuente: Autor

Territorios agrícolas

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas en las cuales también se pueden dar usos pecuarios además de los agrícolas.

Pastos

Comprende las tierras cubiertas con hierba densa de composición florística dominada principalmente por la familia Poaceae, dedicadas a pastoreo permanente por un período de dos o más años. Algunas de las categorías definidas pueden presentar anegamientos temporales o permanentes cuando están ubicadas en zonas bajas o en depresiones del terreno. Una característica de esta cobertura es que en un alto porcentaje su presencia se debe a la acción antrópica, referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente, y en el manejo posterior que se le hace. Para su clasificación se consideraron las siguientes unidades de pastos, (véase la Tabla 32)

Tabla 32. Territorios agrícolas área de planificación

COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO			
Corine Land Cover			
CATEGORIAS			
PRINCIPAL	CLASE	UNIDAD	PORCENTAJE (%)
Territorios Agrícolas	Pastos	Pastos limpios	70.4
		Pastos arbolados	2.6

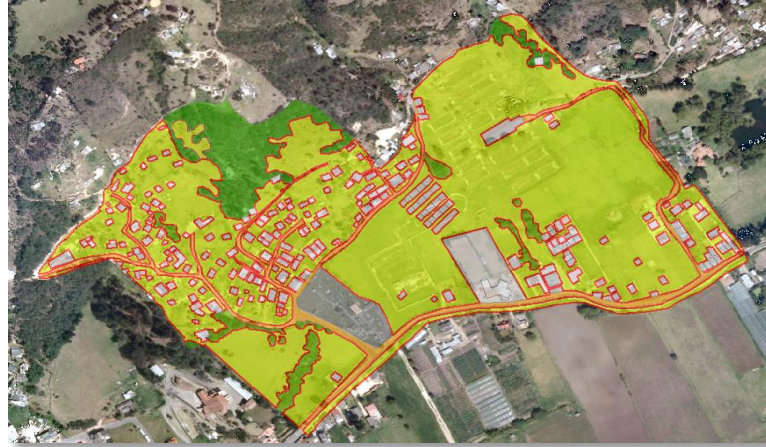
Fuente: Autor

Pastos limpios

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, enclamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.

El área de planificación presenta cobertura referente pastos limpios con un porcentaje de 70.4%, en contraste con la clasificación de la cobertura (Figuras 31 y 32)

Figura 31. Cobertura correspondiente a pastos limpios



Fuente: Autor

Figura 32. Pastos limpios



Fuente: Autor

Pastos arbolados

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a 1.5 metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos. En Colombia, se ubican en general sobre áreas planas ganaderas de climas cálidos. En el área de planificación presenta un bajo porcentaje 2.6% se observa la distribución puntual y dispersa en la siguiente figura se observa dicha demarcación en color rojo (Figura 33 y 34)

Figura 33. Cobertura correspondiente a pastos arbolados



Fuente: Autor

Figura 34. Pastos arbolados



Fuente: Autor

Bosques y áreas seminaturales

Comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo, desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos; también por aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos de degradación (Tabla 33).

Bosques

Comprende las áreas naturales o seminaturales, constituidas principalmente por elementos arbóreos de especies nativas o exóticas. Los árboles son plantas leñosas perennes con un solo tronco principal, que tiene una copa más o menos definida.

Tabla 33. Territorios agrícolas área de planificación

COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO Corine Land Cover			
CATEGORIAS			
PRINCIPAL	CLASE	UNIDAD	PORCENTAJE (%)
Bosques y áreas Seminaturales	Bosques	Bosque Fragmentado	6.9

Fuente: Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia

Bosque fragmentado

Comprende los territorios cubiertos por bosques naturales densos o abiertos cuya continuidad horizontal está afectada por la inclusión de otros tipos de coberturas como pasto, cultivos o vegetación en transición, las cuales deben representar entre 5% y 30% del área total de la unidad de bosque natural. La distancia entre fragmentos de intervención no debe ser mayor a 250 metros. (Véase Figura 35 y 36).

Figura 35. Cobertura correspondiente a Bosque fragmentado



Fuente: Autor

Figura 36. Bosque fragmentado



Fuente: Autor

Distribución porcentual áreas de cobertura y uso actual del suelo

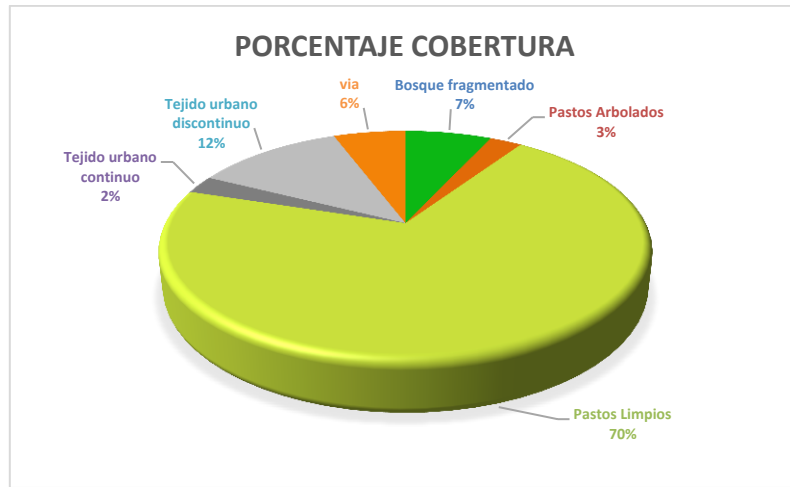
En la Tabla 34 se define el porcentaje de cobertura en el área de planificación de acuerdo a las categorías descritas anteriormente. Los pastos limpios presentan el mayor porcentaje en contraste con las demás coberturas (Figuras 37 y 38)

Tabla 34. Clasificación de cobertura y porcentajes

Cobertura	Área (m ²)	Área Planificación (m ²)	Porcentaje Cobertura (%)
Bosque fragmentado	15957.3	231940.8	6.9
Pastos Arbolados	5933.3	231940.8	2.6
Pastos Limpios	163369.9	231940.8	70.4
Tejido urbano continuo	5871.8	231940.8	2.5
Tejido urbano discontinuo	27485.7	231940.8	11.9
Vía	13322.8	231940.8	5.7
Total	231940.8		100.0

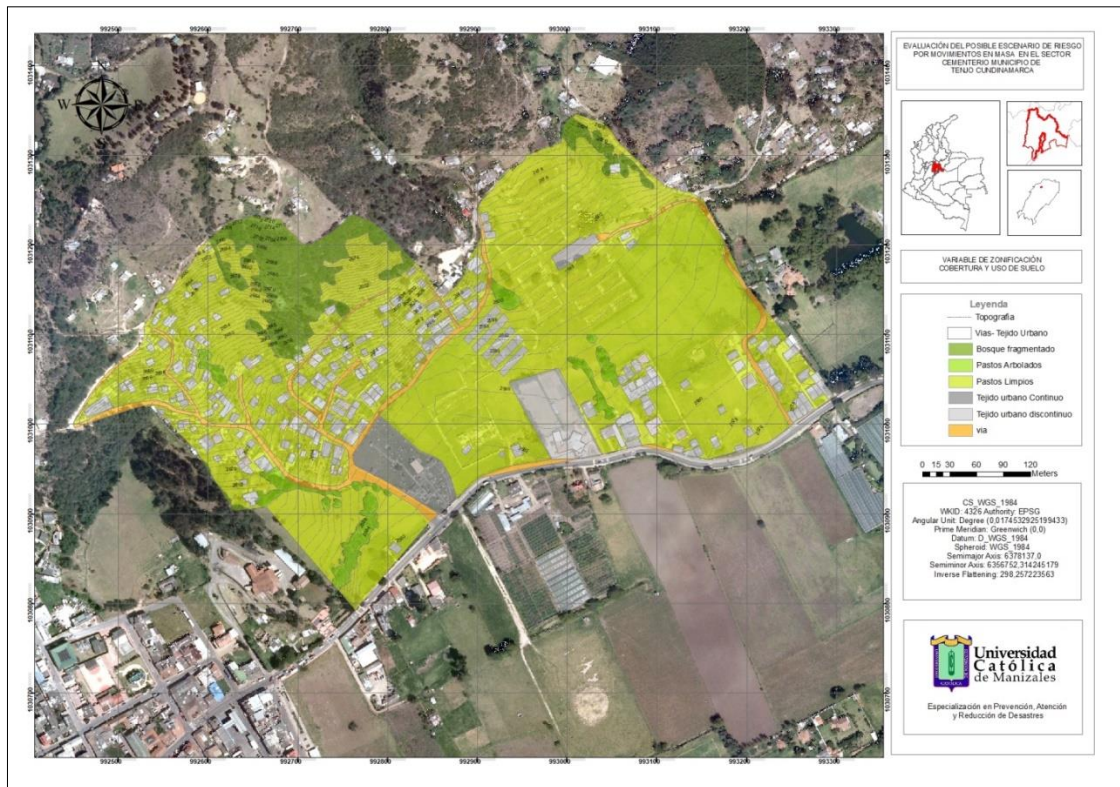
Fuente: Autor

Figura 37 Porcentaje cobertura área de planificación



Fuente: Autor

Figura 38. Mapa de cobertura y uso de suelo



Fuente: Autor



Zonificación de amenaza:

Una vez se adelantó el trabajo cartográfico sobre las variables contempladas para la zonificación, se llevó a cabo el procesamiento en SIG donde se obtuvo los siguientes resultados véase La Figura 39 con la siguiente categorización.

Amenaza Baja:

Son terrenos geológica y/o geotécnicamente estables donde las amenazas por movimientos naturales de masa son mínimas o no existen. Los factores de estabilidad de taludes presentan condiciones estáticas estables. Se presenta en algunos sectores como el área de estudio como cementerio, zonas aledañas, costado sur y noreste del área de intervención.

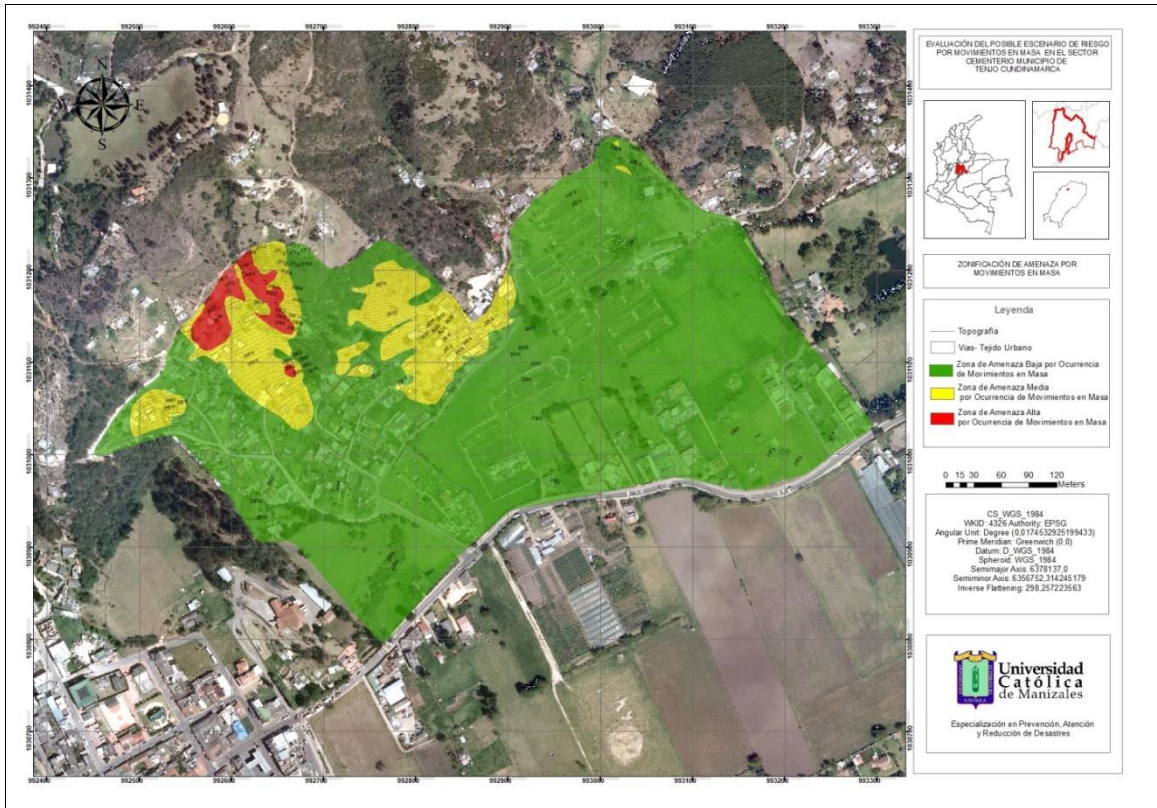
Amenaza Media:

Son terrenos clasificados geológicamente como “relativamente estables” en los que se establecen condicionantes para el manejo del terreno. Las zonas con esta característica en el área de estudio se localizan en el costado Noroeste alto.

Amenaza Alta:

Terrenos afectados por amenazas Geológicas a esta clasificación pertenecen las áreas clasificadas como inestables debido a las condiciones del terreno en el cual se pueden adelantar acciones y medidas de intervención con el fin de darles un uso adecuado, se localiza al costado alto nororiental del área de planificación. A continuación se presenta el resultado de la zonificación

Figura 39. Mapa final de zonificación de amenaza por movimiento en masa



Fuente: Autor

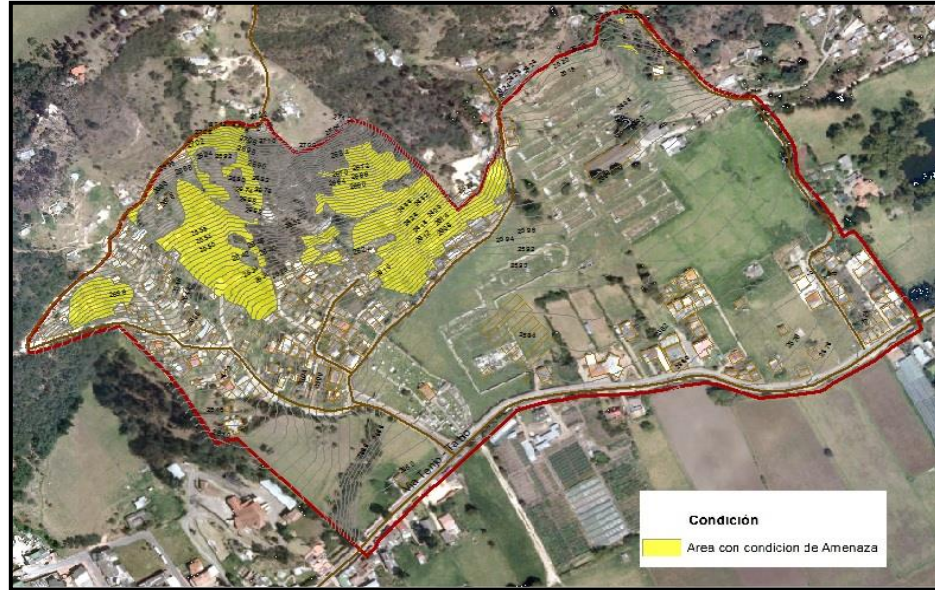
Áreas con condición

Con base en el decreto 1807 de 2014, Artículo 3, parágrafo 1, se definieron las áreas con y sin condición de amenaza y riesgo.

Áreas con condición de amenaza.

Zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural sub-urbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo, (Figura 40)

Figura 40. Áreas con condición de amenaza



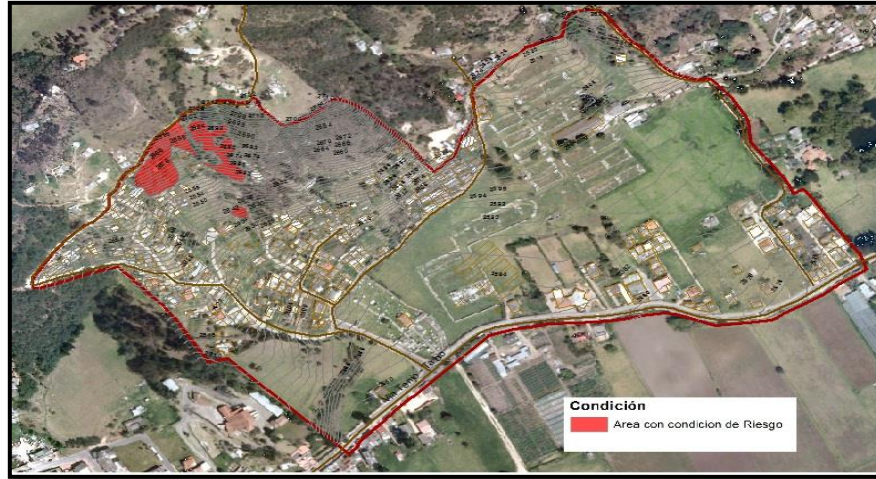
Fuente: Autor

Áreas con condición de Riesgo.

Corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos.

Se adaptaron dichos conceptos para la zonificación de las amenazas por fenómenos de remoción en masa, dando como resultado que en el área de análisis se encuentran áreas con esta condición de amenaza y condición de Riesgo, Figura 41.

Figura 41. Áreas con condición de Riesgo

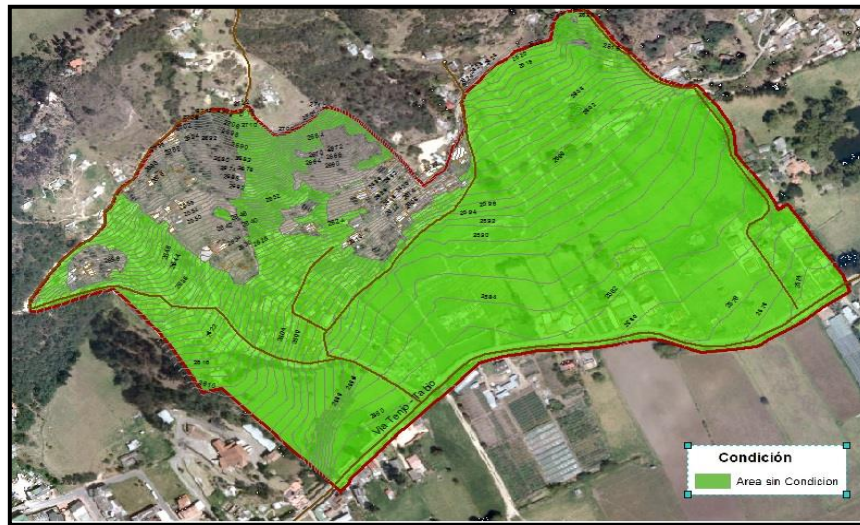


Fuente: Autor

Áreas Sin Condición

Son áreas en las cuales no se restringe su uso por sus características geotécnicas, geológicas, pendiente, procesos morfodinámicos, etc. Figura 42

Figura 42. Área sin ningún tipo de restricción y sin condición de riesgo



Fuente: Autor

En relación al uso potencial del área de estudio se puede establecer que cerca del 86% se encuentra en zonas sin condición de amenaza y riesgo por otro lado cerca del 11,8 % presenta algunas restricciones por sus condiciones geotécnicas asociadas a procesos morfodinámicos superficiales como erosión laminar

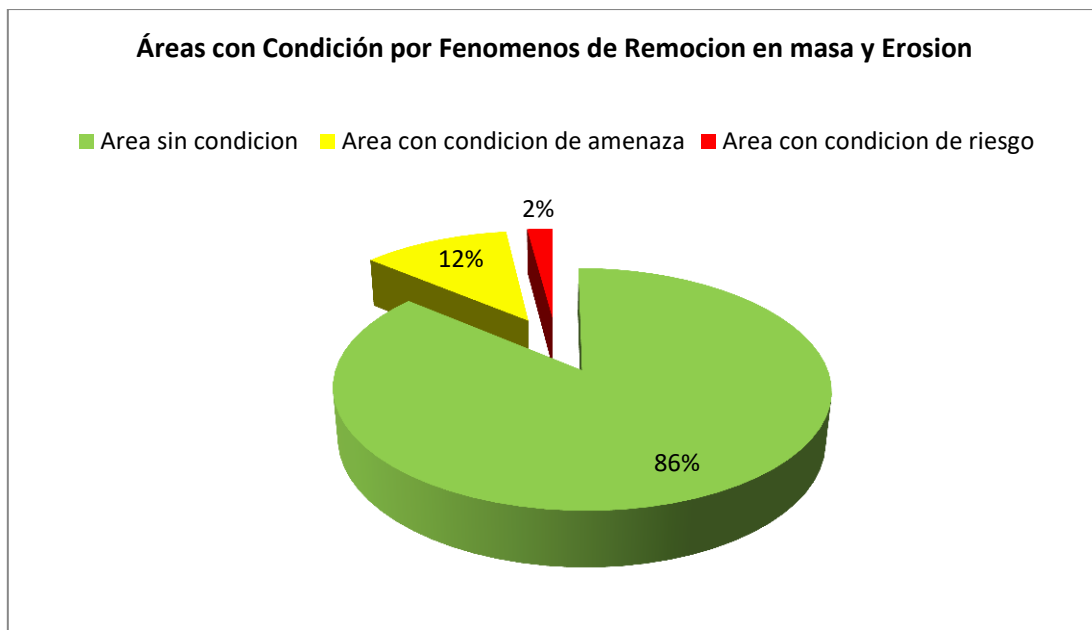
trayendo afectaciones de tipo local, por otras parte las áreas con condición de riesgo puede involucrarse en la planificación como zonas de protección las cuales ocupan un 2% del área total del área de estudio, Tabla 35, Figura 43

Tabla 35. Distribución porcentual de las áreas con condición

Áreas con condición	Área	Área Planificación	Porcentaje (%)
Área sin condición	199848,1	231940,8	86,2
Área con condición de amenaza	27331,6	231940,8	11,8
Área con condición de riesgo	4761,1	231940,8	2,1
Total	231940,8	231940,8	100,0

Fuente: Autor

Figura 43. Distribución porcentual de la ocupación áreas con condición en el área de estudio



Fuente: Autor

6.2 Análisis de vulnerabilidad física

Para poder identificar el posible escenario de riesgo por movimiento en masa en el Sector Cementerio- municipio de Tenjo se determina que una vez establecidas las áreas que por sus condiciones pueden llegar a ser afectadas por la posible

ocurrencia de movimientos en masa se procede a realizar el estudio de vulnerabilidad física priorizando las zonas en mención.

Una vez hecha la revisión documental se encontró que el CIDETER en el año 2013-2014 realizó un análisis de vulnerabilidad en la zona, estos datos fueron usados en el POT del municipio con el propósito de establecer el mapa de amenaza geotécnica ya mencionada anteriormente, Figura 44.

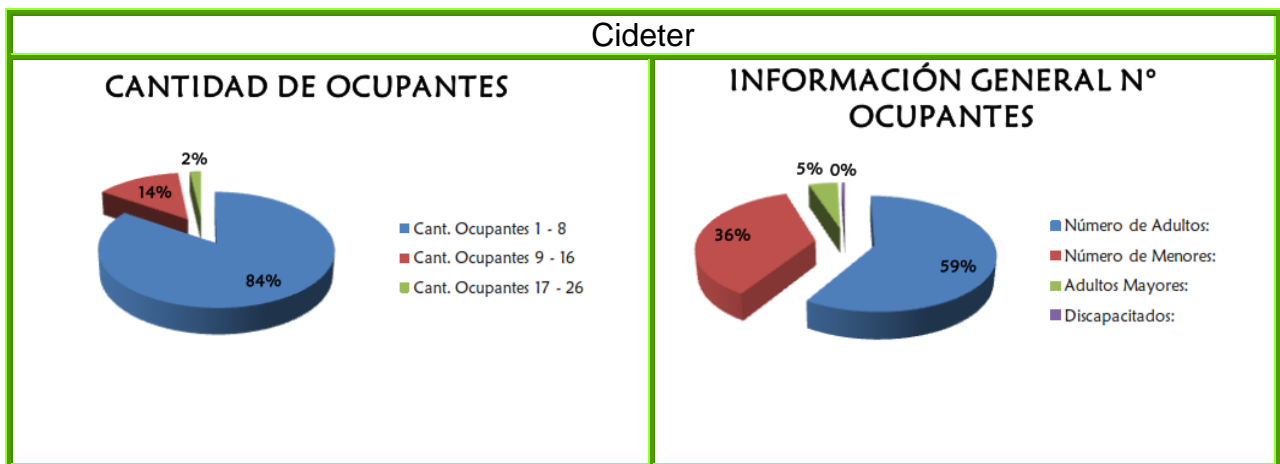
Para el desarrollo de este estudio se articuló parte de la información del estudio de CIDETER para el análisis de vulnerabilidad en las áreas zonificadas con condición de amenaza alta y media por la posible ocurrencia de movimientos en masa.

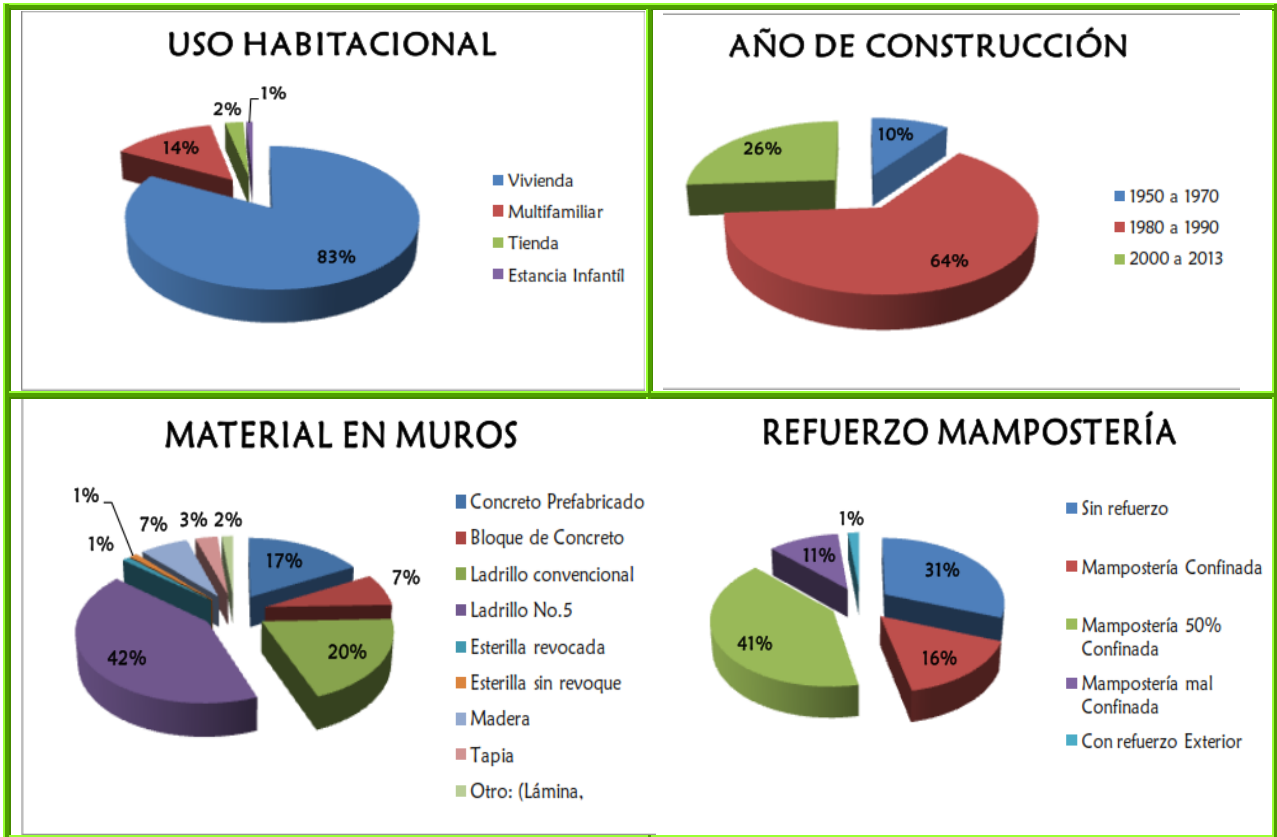
Durante la visita a campo se llevó a cabo el reconocimiento de las viviendas de diferentes áreas del sector categorizado como amenaza alta y media por movimientos en masa y se evaluó el estado de las viviendas en cuanto a su estructura y la incidencia de factores que indiquen afectación directa en éstas por la ocurrencia de movimientos en masa.

En el desarrollo del análisis de vulnerabilidad se evaluaron 141 viviendas, de las cuales en 118 se obtuvo información específica, en 10 no fue posible obtener información y las 13 restantes corresponden a predios que a la fecha no presentan desarrollo.

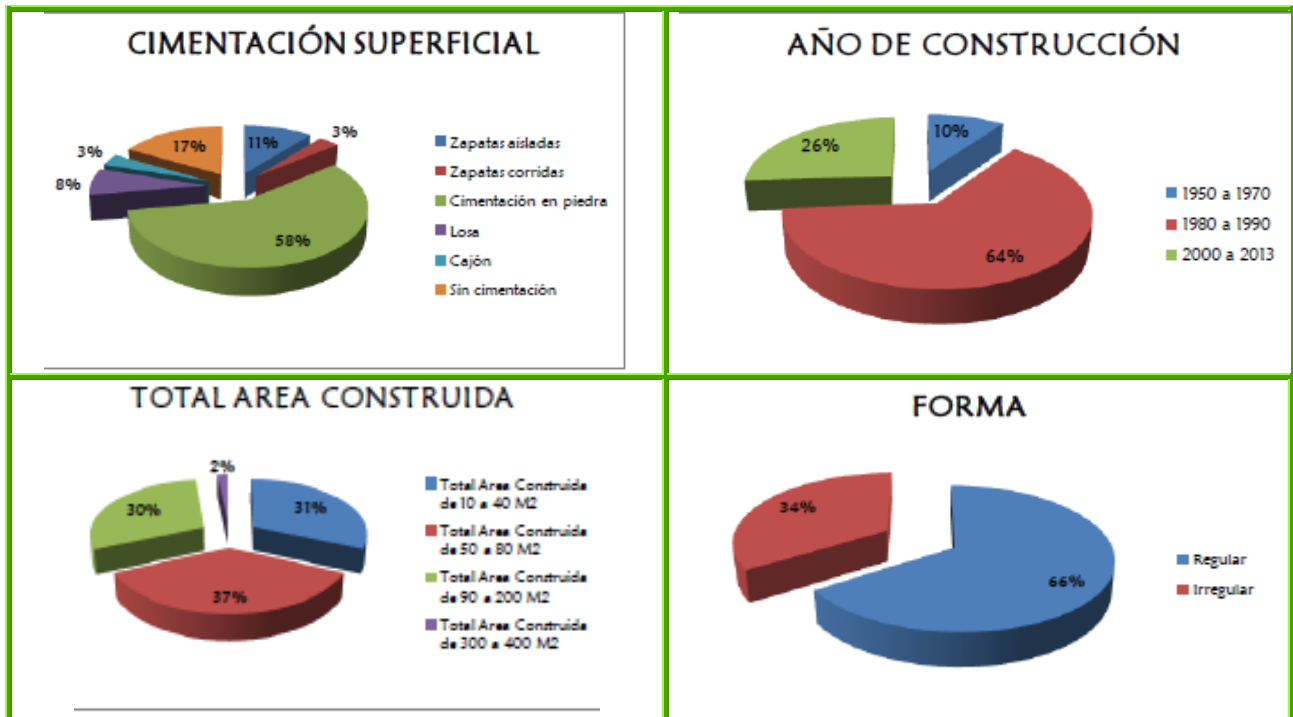
Resultado del informe vulnerabilidad CIDETER

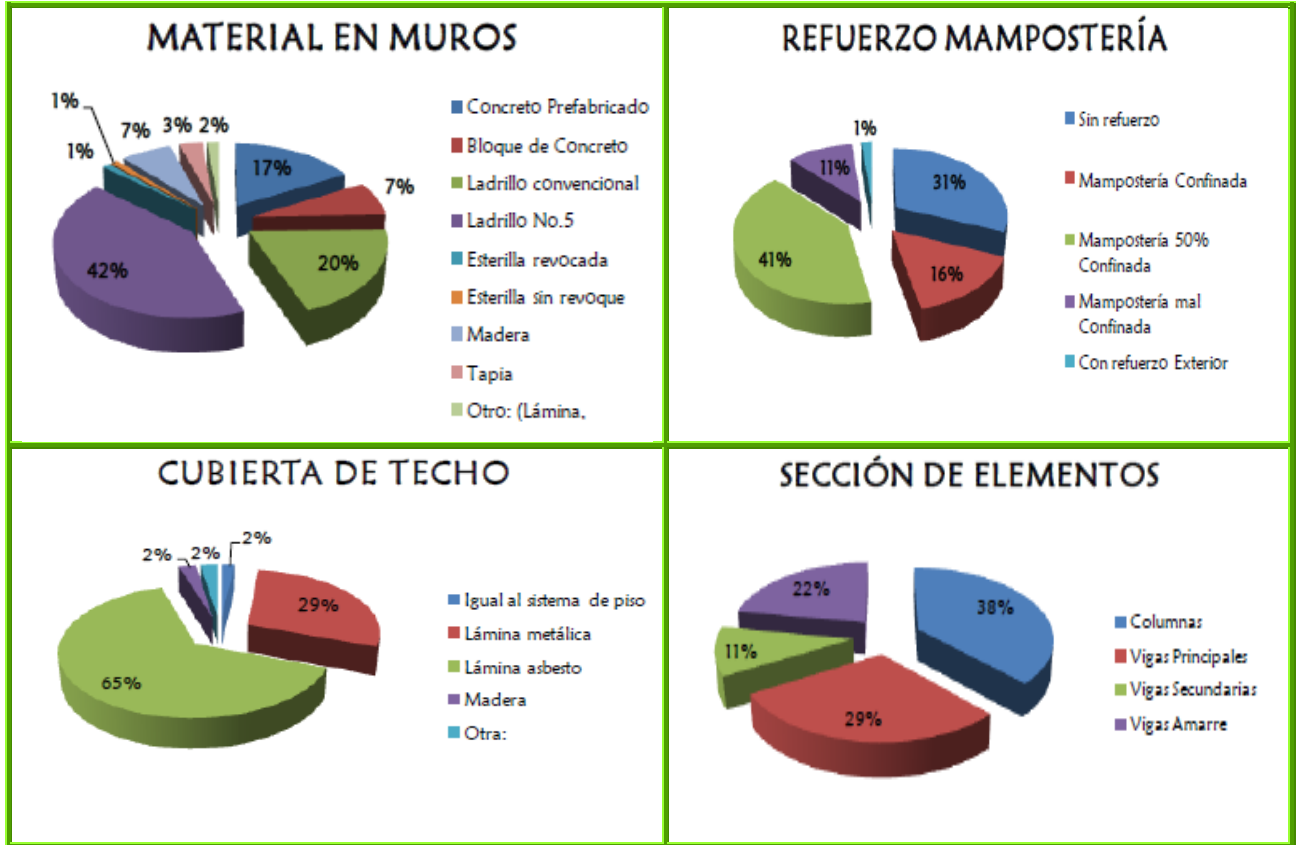
Figura 44. Análisis de vulnerabilidad física en las zonas establecidas de amenaza alta y media por ocurrencia de movimientos en masa.





Fuente: Cideter







Fuente CIDETER


Una vez hecha la revisión de información e incorporación se procede a realizar una evaluación en las viviendas como se muestra a continuación en la Tabla 37, figura 45.

Tabla 36. Levantamiento de información acerca del análisis de vulnerabilidad en campo

Punto	V-01			Registro fotográfico
Localización	E: 992639	N: 1031058	H: 2656	
Propietario	Ximena Cortes Finca El Mirador			
Análisis	<p>Las viviendas identificadas en el sector se encuentran edificadas sobre material rocoso el cual se identifica como la Formación Arenisca Dura, en zona de ladera, no presenta ningún daño en la estructura es decir no hay grieta alguna, movimiento o desplazamiento del terreno ni de la estructura, los propietarios indican que durante 20 años transcurridos a partir de la construcción no se ha presentado incidencia de algún fenómeno de remoción en masa.</p>			
Punto	V-02			Registro fotográfico
Localización	E: 992637	N: 1031103	H: 2660	
Propietario	Marco Cortes			
Análisis	<p>Vivienda edificada en zona de ladera sobre material rocoso identificado como arenisca, perteneciente a la Formación Arenisca Dura, se observan ligeros desplazamientos sobre la ladera producto de la erosión superficial y la estructura se encuentra estable y sin grietas.</p>			

Punto	V-03			Registro fotográfico
Localización	E: 992613	N: 1031113	H: 2654	
Propietario	Gloria Aldana Finca las Acacias			
Análisis	<p>Vivienda construida sobre material rocoso, se observa en el terreno algunas ondulaciones del terreno y se observa algunas fisuras en las paredes de la vivienda Se encuentra edificada en la zona de ladera parte alta.</p>			
Punto	V-04			Registro fotográfico
Localización	E: 992676	N: 1031243	H: 2736	
Propietario	Etelvina Rodríguez			
Análisis	<p>Al costado norte de la vivienda analizada se observa en el terreno ondulaciones y una ligera reptación, no obstante la vivienda no presenta afectación de tipo estructural y el propietario indica que durante 60 años que se encuentra edificada no ha presentado ningún inconveniente ni afectación.</p>			

Punto	V-05			Registro fotográfico
Localización	E: 993032	N: 1031003	H: 2596	
Propietario	Hogar geriátrico San José			
Análisis	Se encuentra localizado en la zona baja del área de análisis zona clasificada de amenaza baja, no presenta ninguna afectación por fenómenos de remoción en masa, la estructura de la vivienda se encuentra en buen estado no hay grieta alguna.			
Punto	V-06			Registro fotográfico
Localización	E: 992867	N: 1031110	H: 2627	
Propietario	Francelina Martínez			
Análisis	La vivienda se localiza en el área de planificación en la zona media baja por la vía de tercer nivel pavimentada, la vivienda se encuentra edificada sobre material rocoso, sin embargo presenta grietas en la estructura en la muros y en el piso debido a la carga generada en la zona superior por otra vivienda, presenta un estructura de mitigación construida en la zona trasera un muro de gaviones además de esto no se observa manejo de aguas lluvias es decir estas caen directamente de la zona alta a la vivienda.			

Punto	V-07			Registro fotográfico
Localización	E: 992582	N: 1030994	H: 2670	
Propietario	Georgina Aguilar			
Análisis	<p>La vivienda se encuentra localizada en la zona noreste del área de planificación se encuentra edificada en material rocoso arenisca de grano fino, está afectada por la caída de material, la vivienda presenta grietas en los muros y afectaciones de tipo estructural.</p>			
Punto	P-08			Registro fotográfico
Localización	E: 992794	N: 1031022	H: 2626	
Propietario	Vía Área de estudio sobre el cementerio			

Análisis	<p>El punto específico que se analiza presenta afectación de la vía de segundo orden que se extiende hacia el sector este del área de planificación, esta presenta agrietamiento en la banca derecha, posiblemente por la falta de manejo de agua y carencia una estructura de estabilización y contención.</p>			
Punto	P-09			Registro fotográfico
Localización	E: 992820	N: 1030977	H: 2622	
Lugar	Cementerio			

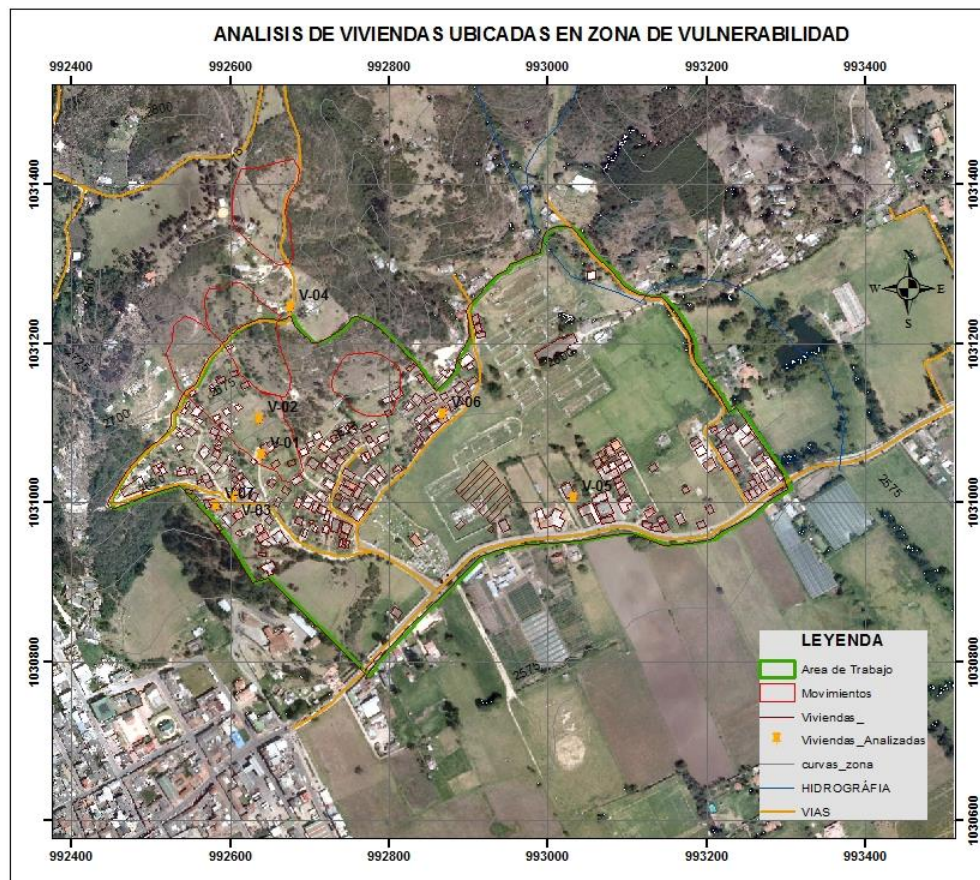
Análisis

El cementerio localizado en la zona de estudio presenta grietas sectorizadas las cuales se generan por la incidencia de las aguas lluvia que llegan al terreno a través de los lloraderos que tiene el muro de contención de la zona norte de dicho predio. Las cunetas localizadas en la zona norte reciben toda el agua lluvia de la parte alta, sin embargo el diseño de estas no es adecuado ya el agua lluvia es mayor a la capacidad de recibimiento y conducción de agua lluvia. La incidencia de agua lluvia recibida en el predio genera afectación en el terreno, por filtración. Además de esta afectación del terreno y de la estructura se puede generar una emergencia sanitaria que afectaría la zona de planificación, la zona urbana baja y el casco urbano. La estructura de cerramiento del cementerio presenta grietas puntuales, de igual forma la loza presenta agrietamiento.



Fuente: Autor

Figura 45. Localización viviendas en zona de amenaza



Fuente: Autor

De igual forma, se realizó la inspección de viviendas distribuidas en el área de planificación. En general, se observa que la construcción de estas se realizó sobre material rocoso, las cuales no presentan incidencia alguna de fenómenos de remoción en masa hacia el sector medio bajo. Se observa que en este sector no hay un manejo adecuado de aguas lluvias y ya que estas se encuentran construidas en bloques, esta agua lluvia afecta a las viviendas en forma descendente.

A Partir de la zonificación se estableció que cerca de 3 viviendas se encuentran localizadas en área con amenaza alta por la ocurrencia de movimientos en masa, por otro lado 33 viviendas se encuentran ubicadas en zona con condición de amenaza media por movimientos en masa con lo cual se puede llegar a concluir que cerca del 25% de las viviendas se encuentran ubicadas en áreas con alguna condición de amenaza o riesgo, por tanto se establece que los casos específicos en condición de vulnerabilidad se asocia al precario sistema constructivo, a la

Blanca Yenith Torres Forero Ing. Geólogo
Universidad Católica de Manizales
Especialización en Prevención, Reducción y Atención de Desastres

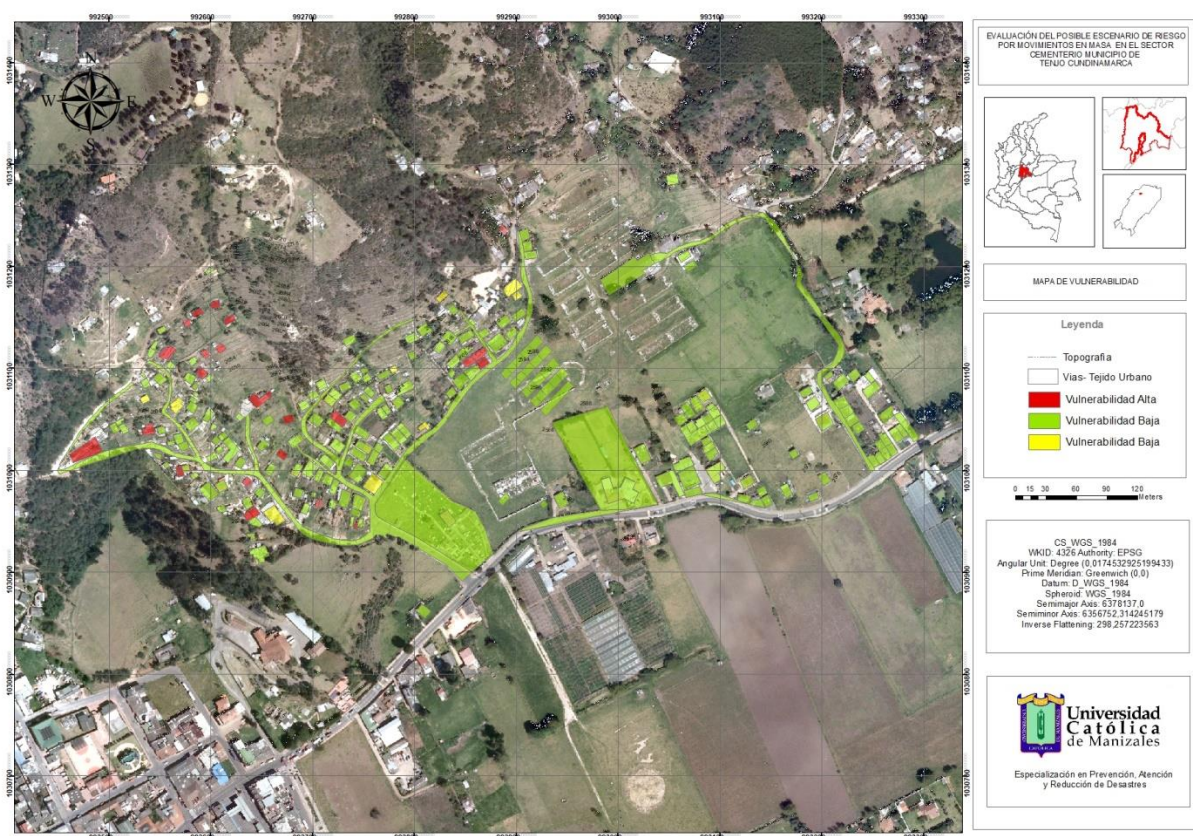
falta de planeamiento urbanístico, la autoconstrucción sin normatividad, la antigüedad de las viviendas y demás.

El mal manejo de aguas, la autoconstrucción, el inadecuado sistema constructivo, la falta de planeamiento, son algunos de los factores que contribuyen en el aumento de vulnerabilidad en las viviendas señaladas. Por otro lado la cantidad de ocupantes entre los que se destacan niños y ancianos como la población más vulnerable.

Mapa de vulnerabilidad

Una vez hechos los análisis de las viviendas en campo se logró sistematizar y desarrollar el proceso metodológico y se sistematizo obteniendo los siguientes resultados Figura 46.

Figura 46. Mapa de vulnerabilidad



Fuente: Autor



6.3 Escenario De Riesgo

Para el efecto, se sumaron los mapas de amenaza y vulnerabilidad resultantes con los insumos y se reclasificaron en términos de riesgo calificando en las categorías riesgo alto, medio y bajo, Tabla 38.

Zonas con riesgo Alto:

Se asocian a zonas donde existe alta susceptibilidad por procesos denudativos en suelos o roca, don la litología y control estructural favorecen la ocurrencia de procesos amenazantes y por otro lado, las estructuras o construcciones planteadas resultan desventajosas en cuanto a la relación costo/beneficio debido a que los procedimientos constructivos y las mismas edificaciones pueden generar y/o acelerar la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa o procesos erosivos, generando zonas de alto riesgo para los pobladores de estas áreas y las zonas circunvecinas debido a la confluencia de factores que determinan la ocurrencia de movimientos en masa. Este tipo de zonas requieren un uso adecuado y el desarrollo de estudios específicos que establezcan y orienten en la preservación de la estabilidad de ladera, la conservación de los suelos de protección y el uso adecuado del mismo.

Zonas con riesgo medio

Son zonas en las que todo actividad o desarrollo constructivo planteado debe ceñirse a todo lo dispuesto en la Norma de Sismo Resistencia NSR-10 vigente a la fecha, teniendo en cuenta las restricciones se encuentran encaminadas a la realización estudios puntuales adicionales de estabilidad de laderas, además de otros que aclaren la secuencia y espesor de los materiales en el área (suelos), las propiedades dinámicas de los materiales de la zona, los factores que determinen amplificación de señales sísmicas, los aspectos relacionados con la interacción entre la estructura y el suelo de soporte y la altura de los niveles de agua en subsuelo. Donde debe primar la identificación de las amenazas presentes y las actividades tendientes a minimizar el grado de amenaza antes de iniciar cualquier desarrollo constructivo. Se requiere que este uso se mantenga igualmente bajo prácticas de conservación de suelos

Zonas con riesgo bajo

Son aquellas en las que se debe incorporar igualmente todo lo dispuesto en la Norma de Sismo Resistencia NSR-10 vigente a la fecha, así como estudios de suelo donde se verifiquen las condiciones de espesor y secuencia de los materiales en el

área y los niveles freáticos. Se recomienda mantener prácticas de conservación de suelos adecuadas con el fin de preservar las condiciones de estabilidad actuales del terreno. Es de aclarar que cualquier desarrollo constructivo planteado para estas zonas debe ceñirse a toda la normatividad existente en el municipio de Tenjo así como a toda la normatividad de carácter Nacional.

Una vez mencionada la categorización del riesgo se muestra el resultado final y mapa de riesgo en el área. Figura 47 y 48.

Figura 47. Mapa de riesgos en el sector cementerio municipio de Tenjo



Tabla 37 Distribución porcentual de la clasificación del riesgo en la zona de estudio.

Categorización	Área en Ha	Porcentaje (%)
Riesgo Alto	0,880478	4%
Riesgo Medio	0,24223	1%
Riesgo Bajo	20,91465	95%



Fuente: Autor

Una vez categorizado el riesgo en la zona se puede establecer que el grado de riesgo de los sectores se asocia a condiciones naturales del terreno y procesos antrópicos. Una vez hecha la clasificación y categorización se pueden establecer recomendaciones y acciones de reducción, prevención del riesgo y preparación o atención frente a una posible emergencia



7. Recomendación De Acciones Y Medidas De Reducción

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas identificadas con algún tipo de riesgo. Tabla 39.

- Realizar la caracterización geotécnica definitiva y estudios detallados, para establecer las propiedades geomecánicas del suelo.
- Realizar el manejo de agua de escorrentía, lluvia residual etc, en las zonas identificadas con condición de riesgo y amenaza
- Realizar monitoreo, control y seguimiento del movimiento de reptación en las épocas lluviosas, mojones localizados y observar el desplazamiento.
- Adoptar medidas que mitiguen la incidencia del agua de escorrentía manejo desde la parte alta con zanjas que permitan realizar el control del agua, de igual forma canales y sub drenajes los cuales deben ser sub horizontales, permitan redirigir el agua, además implementar la construcción de disipadores.
- Revegetalizar la zona con especies que tengas raíces profundas para que le den estabilidad al terreno.
- Como medidas no estructurales se recomienda trabajar campañas de educación ambiental, enfocadas al manejo de suelos con tendencia a la erosión, campañas de prevención y respuesta a emergencia.
- Establecer franjas forestales protectoras que permanezcan con categoría de suelos de protección al igual que las zonas boscosas manteniendo vegetación protectora, no obstante, en las zonas de riesgo alto y desarrollar estudios y análisis que permitan identificar si es un riesgo mitigable.
- Para el desarrollo de proyectos constructivos, considerando que para estas zonas cualquier desarrollo planteado debe ceñirse a todo lo dispuesto en la Norma de Sismo Resistencia NSR-10 vigente a la fecha, teniendo en cuenta que las restricciones se encuentran encaminadas a la realización estudios puntuales adicionales de estabilidad de laderas.
- Incluir el escenario de riesgo identificado dentro de los instrumentos de planificación inherentes al sistema nacional de gestión del riesgo de desastres.

Tabla 38. Propuesta definida para áreas expuestas en condición de riesgo

SUELO	CATEGORIA	CLASIFICACION	DENOMINACIONES	DESCRIPCION	CONVENCION	USO PRINCIPAL	USOS COMPATIBLES	USOS RESTRINGIDOS	USOS PROHIBIDOS
DE PROTECCION	Áreas expuestas a condición de riesgo	Zona de Restauración	Áreas de amenaza natural	Áreas de amenaza con movimiento identificado como reptación	Reptación 1 Reptación 2	Restauración ecológica y rehabilitación para la protección	Revegetalización con especies nativas; Investigación controlada; Plantaciones forestales protectoras - productoras	Intervenciones especializadas de alta calidad para la protección ambiental y la mitigación del riesgo; Agroforestales; Agricultura tradicional; Actividades minero energéticas; infraestructura vial.	Usos urbanos, loteos; loteos productivos con área inferior a la UAF; vivienda, infraestructura institucional, ganadería intensiva y extensiva; infraestructura para apoyo de actividades de recreación; Actividades Agroindustriales e industriales; caza; quema, tala, distritos de adecuación de tierras. Agropecuario intensivo; arrojo y depósito de basuras; introducción, distribución, uso o abandono de sustancias toxicas o contaminantes que puedan causar daños en el ecosistema; Vertimiento de residuos líquidos; disposición de residuos sólidos

Fuente: Autor

8. CONCLUSIONES

- La integración de la gestión del riesgo en la planificación y desarrollo territorial es relevante ya que parte como condicionante en la localización de áreas de riesgo para asentamientos humanos y establecer líneas de acción en materia de prevención, estrategias, políticas, directrices y regulaciones en zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales.
- En el proceso de reconocimiento de un posible escenario prima la participación colectiva de la comunidad como línea de acción estratégica, puesto que son ellos los que conocen el territorio, los antecedentes de riesgo y son los que estarán expuestos a futuros eventos.
- Los estudios orientados a generar conocimiento se deben desarrollar de con base en los temas normativos y técnicos de las entidades del estado pues pueden aportar en la toma de decisiones poco acertadas en cuanto al Desarrollo del municipio.
- Se identificó que geológicamente la zona se encuentra localizada sobre dos sectores litológicamente diferentes y cuyas propiedades físicas inciden directamente sobre las otras variables analizadas y en la ocurrencia de movimientos en masa.
- La ocurrencia de procesos amenazantes en la zona tienen origen de carácter natural y antrópico, donde se identificó que algunas variables naturales contribuyentes o detonantes inciden de manera directa en la ocurrencia de movimientos en masa, por otra parte, a nivel antrópico se pudo establecer qué; el mal manejo de aguas, la autoconstrucción, el inadecuado sistema constructivo, la falta de planeamiento, contribuyen de manera directa en la ocurrencia de los movimientos en masa.
- A Partir de la zonificación se estableció que cerca de 3 viviendas se encuentran localizadas en área con amenaza alta por la ocurrencia de movimientos en masa, por otro lado 33 viviendas se encuentran ubicadas en zona con condición de amenaza media por movimientos en masa con lo cual se puede llegar a concluir que cerca del 25% de las viviendas se encuentran ubicadas en áreas con alguna condición de amenaza o riesgo, por tanto se establece que los casos específicos en condición de vulnerabilidad se asocia al precario sistema

constructivo, a la falta de planeamiento urbanístico, la autoconstrucción sin normatividad, la antigüedad de las viviendas y demás.

- En el municipio de Tenjo, la zona de piedemonte de la cadena montañosa al norte ha tenido un crecimiento acelerado y desordenado de viviendas sin control adecuado, con un uso y métodos constructivos con materiales no apropiados, con las insuficiencias propias en servicios públicos derivados de la carencia en control urbano.
- El inadecuado sistema de captación agua lluvia, escorrentía y sistema residual aporten en la generación de movimientos en masa, asociados a pavimentos de sedimentación.
- Se pudo establecer que cerca del 86 % del área no presenta ningún tipo de condición, en relación con el 14% restante, donde se concluyó que el 12% se localiza en área con condición de amenaza y cerca del 2% en condición de riesgo.
- Por medio de la articulación de información de fuentes primarias y secundarias, se logró determinar líneas de acción estratégicas para dar cumplimiento el objetivo propuesto.
- El desarrollo de este estudio es académico y los resultados pueden variar una vez se desarrollen estudios de detalle en la zona de influencia del escenario de riesgo.
- Se deben establecer acciones y medidas de reducción de tipo estructural, asociadas a manejo de aguas y sistemas de contención que se definan una vez se adelanten análisis más detallados, por otro lado se debe concientizar a la comunidad acerca del uso de suelo, el manejo de aguas y principiante respuesta frente a una posible emergencia o manejo de desastres.



9. BIBLIOGRAFÍA

AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica). Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas. San Salvador: LA RED (La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina), 2001. p.2-4.

BENEDETTI, D. Y PETRINI, V. Sulla Vulnerabilità sismica di edifici in muratura: Proposte di un metodo di valutazione. L' industria delle costruzioni, 149, 66-78. Roma. 1984.

COLOMBIA. Congreso de la República. Ley 1523 de 2012 (abril 24), por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

COLOMBIA. Congreso de la República. Decreto 1807 de 2014 por el cual se reglamenta el Artículo 189 del Decreto – Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.

(DAPARD Antioquia, 2014). Proceso metodológico de zonificación.

GEMMA 2007. Movimientos en masa en la región andina- una guía para la evaluación de amenazas.

Glogau, O.A., Masory (1974) Performance in Earthquakes

IDEAM. Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales

Servicio Geológico Colombiano (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Servicio Geológico Colombiano. Datos sísmicos reportados.

TENJO 2014. Acuerdo N 010 Por el cual se adopta el POT del Municipio de Tenjo Cundinamarca. Análisis de vulnerabilidad CIDETER.

(VAMES 1978). Características morfológicas de un movimiento de masa

VERSTAPPENN Y VAN ZUIDAM, 1992, DAMEN. Metodología I.T.C con modificaciones establecidas por Carvajal (2002) de acuerdo con la experiencia de INGEOMINAS.