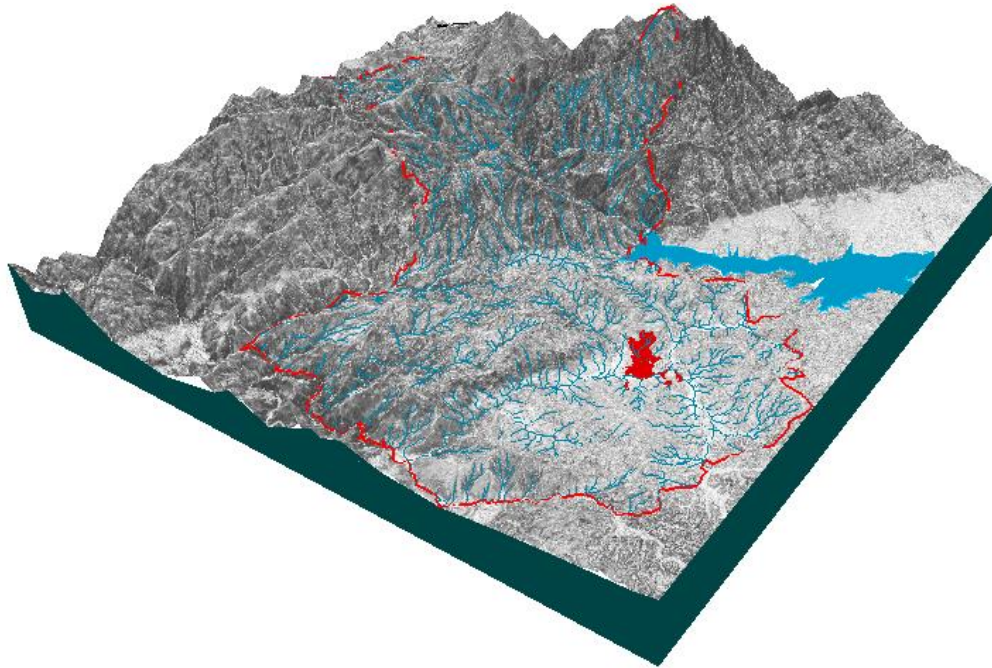


**“EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA  
PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA  
1:25000, EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE RESTREPO, VALLE DEL CAUCA.”**



**LUZ MERY MARTÍNEZ MUÑOZ**

**Geóloga**

**SEBASTIÁN GARCÍA IDARRAGA**

**Geólogo**



**Universidad  
Católica  
de Manizales**

**FACULTA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES**

**MANIZALES, 2020**

EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN  
DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA  
POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA 1:25000, EN LA ZONA RURAL DEL  
MUNICIPIO DE RESTREPO, VALLE DEL CAUCA.”



**“EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GUÍA METODOLÓGICA  
PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA, ESCALA  
1:25000, EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE RESTREPO, VALLE DEL CAUCA.”**

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

**SEBASTIÁN GARCÍA IDARRAGA**

**Geólogo**

**LUZ MERY MARTÍNEZ MUÑOZ**

**Geóloga**

**Asesor.**

**PhD. ROGELIO PINEDA MURILLO.**

**Geólogo**



**FACULTA DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**ESPECIALIZACIÓN EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES**

**MANIZALES, 2020**

**TABLA DE CONTENIDO**

1.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	11
2.	JUSTIFICACIÓN .....	12
3.	OBJETIVOS .....	13
3.1.	Objetivo General .....	13
4.	MARCOS CONCEPTUALES.....	14
4.1.	Referencial.....	14
4.2.	Normativo o Legal.....	14
5.	CONTEXTO GEOGRÁFICO.....	16
6.	METODOLOGIA GENERAL.....	17
6.1	Análisis de información existente y sensores remotos .....	18
6.2	Cartografía base .....	18
6.3	Modelo de elevación digital .....	19
6.4	Trabajo de verificación en campo.....	19
6.5	Procesamiento de la información y resultados .....	19
7.	CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL.....	26
7.1.	Inventario de procesos morfodinámicos.....	26
7.3.	Unidades geológicas superficiales UGS .....	31
7.3.2.	Rocas moderadamente duras tipo basalto (Rmb).....	33
7.3.3.	Rocas moderadamente duras metamórficas de protolito ígneo (Rmm) .....	35
7.3.4.	Rocas blandas metamórficas de protolito sedimentario (Rbm) .....	36
7.3.5.	Rocas duras ígneas no diferenciadas (Rdin) .....	37
7.3.6.	Suelos residuales de basalto (Srba).....	38
7.3.7.	Suelos transportados coluviales (Stco) .....	38
7.3.8.	Suelos transportados aluviales (Stal) .....	39

7.3.9. Suelos transportados torrenciales (Stat) .....	40
7.4. Geología estructural.....	42
7.4.1. Falla Dagua – Calima.....	43
8. ANÁLISIS DE LA SUCEPTIBILIDAD.....	71
9. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	86
10. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS. ....	93
11. CONCLUSIONES.....	96
12. REFERENCIAS.....	97

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización Municipio de Restrepo - Valle del Cauca, Fuente. Elaboración propia a partir de imágenes del IGAC, Google Earth. ....	16
Figura 2. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000. Modificado del SGC (2017). ....	17
Figura 3. Esquema metodológico para el análisis de la susceptibilidad, aplicado a la unidad de análisis, zona rural del municipio de Restrepo. Fuente. Modificado (SGC, 2017). ....	20
Figura 4. Representación gráfica de la relación deslizamiento y factor condicionante. Fuente: (SGC, 2017) .....	23
Figura 5. Mapa de procesos morfodinámicos, en el municipio de Restrepo Valle del Cauca, Fuente: Elaboración propia .....	28
Figura 6. Deslizamientos presentados a lo largo de la vía hacia Buenaventura. Fuente: Elaboración Propia .....	29
Figura 7. Mapa de Uso de Suelo, Fuente: (CVC, 2019).....	30
Figura 8. Mapa geológico de unidades superficiales del municipio de Restrepo. La escala de trabajo es 1:25.000, Fuente: Elaboración Propia a partir de información secundaria del Servicio Geológico Colombiano .....	32
Figura 9. Vista hacia el S, sobre la vía a Loboguerrero. Roca ígnea blanda tipo gabro, muy meteorizada y diaclasada, Fuente: Elaboración Propia .....	33
Figura 10. Vista del afloramiento hacia el NNE. ....	34
Figura 11. Vista afloramiento hacia el NNE. ....	34
Figura 12. Vista del afloramiento hacia el NE. Afloramiento de rocas moderadamente duras de metamorfismo dinámico de protolito ígneo. Fuente, Elaboración propia.....	35
Figura 13. Vista hacia el S. Afloramiento de rocas de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario. Fuente: Elaboración Propia.....	36
Figura 14. Vista hacia el NE. Afloramiento de rocas de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario. Fuente: Elaboración Propia.....	37
Figura 15. Afloramiento, de suelos residuales de basaltos en zona de adecuación urbana, ubicada en la Carrera 14 Calle 17. Fuente: Elaboración propia .....	38
Figura 16. Vista al S. Afloramiento sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo. Fuente: Elaboración Propia .....	39
Figura 17. Calle 4 Carrera 16 F. Fuente: Elaboración Propia. ....	40

Figura 16. Vista al NW. Depósito transportado de origen coluvial torrencial. Fuente: Elaboración Propia .....	41
Figura 17. Cauce Actual Del Río Calima. Fuente: Elaboración Propia.....	41
Figura 18. Mapa estructural del municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración Propia, a partir de información secundaria del Servicio Geológico Colombiano .....	43
Figura 21. Vista hacia el NW. Rocas ígneas tipo basalto. ....	44
Figura 22. Vista hacia el NW. Afloramiento en cantera sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo. Rocas ígneas tipo basalto. ....	44
Figura 23. Vista hacia el NE. Afloramiento de rocas de metamorfismo dinámico de protolito ígneo.....	46
Figura 24. Esquema de jerarquización geomorfológica. Fuente: S.G.C, 2012. ....	49
Figura 25. Mapa de subunidades geomorfológicas del municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración Propia .....	51
Figura 26. Vista al N. Planicie colinada denudada donde se emplaza el perímetro urbano de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración Propia .....	52
Figura 27. Vista al N, hacia el sector de Santa Lucía. Colinas residuales en rocas ígneas tipo basalto. Fuente: Elaboración propia .....	53
Figura 28. Vista al E. Colinas residuales que configuran los terrenos de la vereda el Aguacate, afectados por erosión profunda en surcos y cárcavas. Fuente: Elaboración propia. ....	54
Figura 29. Vista hacia el SE. Lomas residuales en inmediaciones al sector Las Margaritas, perímetro urbano de Restrepo. Fuente: Elaboración propia. ....	55
Figura 30. Vista hacia el N, hacia la vereda Agua Linda que se configura sobre lomas residuales, en suelos residuales de basaltos. Fuente: Elaboración propia .....	55
Figura 31. Vista al W. Lomos inclinados a moderadamente abruptos, localizados en la vereda Román, sobre rocas ígneas tipo basalto. Fuente: Elaboración propia. ....	56
Figura 32. Escarpe de erosión mayor, localizado en la margen izquierda del río Azul, al norte del municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth.....	57
Figura 33. Escarpe facetado, localizado en la margen derecha del río Calima, al norte del municipio. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth .....	58
Figura 34. Vista al SSW. Lóbulo coluvial ubicado sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda San Salvador. Fuente: Elaboración propia .....	59

Figura 35. Cima estructural ubicada en el corregimiento de río Bravo, en la vereda del mismo nombre. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth.....	61
Figura 36. Vista hacia el NW. Espolones altos largos en la vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth .....	61
Figura 37. Vista hacia el S. Laderas de pendiente estructural en la vereda río Bravo, vertiente derecha del río Calima. ....	63
Figura 38. Vista hacia el NNW. Lomos moderados margen izquierda de la quebrada la Guayacana, en la vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia .....	64
Figura 39. Vista hacia el S del cauce actual del río Calima, vía Restrepo, sector la Punta, vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia. ....	66
Figura 40. Vista hacia el S de la planicie o llanura de inundación torrencial sobre el cauce del río Calima, vía Restrepo – vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia. ....	67
Figura 41. Mapa de pendientes del municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración Propia, a partir del DEM.....	69
Figura 42. Mapa de curvatura del municipio de Restrepo, Valle del Cauca .....	70
Figura 45. Curva de éxito. Fuente elaboración propia .....	82
Figura 46. Curva de éxito categorizada. ....	83
Figura 47. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa. ....	84
Figura 46. Metodología general de zonificación de la amenaza por movimientos en masa..	86
Figura 49. Mapa de clasificación de lluvias en mm, de acuerdo a los órdenes de susceptibilidad. ....	89
Figura 50. Mapa de amenaza por movimientos en masa. Fuente: Elaboración Propia .....	90



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Listado imágenes Planetscope del geoportal IGAC, para el perímetro municipal de Restrepo, Valle del Cauca.....	18
Tabla 2. Información sobre eventos de deslizamientos registrados en <i>www.desinventar.org</i> para el municipio de Restrepo, Valle del Cauca.....	27
Tabla 4. Métodos de análisis para cada tipo de movimientos en masa, presentes en el área de estudio. ....	72
Tabla 5. Proceso estadístico para la determinación del factor condicionante .....	73
Tabla 6. Pesos finales para la variable pendiente aplicando el método WofE. ....	74
Tabla 7. Procesamiento estadístico para el factor condicionante curvatura.....	75
Tabla 8. Pesos finales para la variable curvatura aplicando el método WofE. ....	75
Tabla 9. Procesamiento estadístico para el factor condicionante unidades geológicas superficiales.....	76
Tabla 10. Pesos finales para la variable unidades geológicas superficiales aplicando el método WofE. ....	76
Tabla 11. Procesamiento estadístico para el factor condicionante geomorfología. ....	77
Tabla 12. Pesos finales para la variable geomorfología aplicando el método WofE.....	78
Tabla 13. Procesamiento estadístico para el factor condicionante uso del suelo. ....	79
Tabla 14. Pesos finales para la variable de uso del suelo aplicando el método WofE. ....	80
Tabla 15. Descripción de las categorías de susceptibilidad.....	85
Tabla 16. Categorías de amenaza a partir de las categorías de susceptibilidad. ....	87
Tabla 17. Calificación de la lluvia máxima diaria para un periodo de retorno de 100 años, según su contribución a los movimientos en masa. ....	88
Tabla 18. Descripción de las categorías de zonificación de amenaza por movimientos en masa, según el SGC .....	91
Tabla 19. Relación de áreas y porcentaje de las áreas en amenaza media y alta. ....	92



## RESUMEN

El presente estudio tiene la finalidad de evaluar y analizar la implementación de la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano a escala 1:25.000 en el municipio de Restrepo-Valle del Cauca, en tres etapas: caracterización geo-ambiental, análisis de susceptibilidad y caracterización de la amenaza.

Estas tres etapas permitieron identificar los principales factores que intervienen en la inestabilidad del terreno, a través de los Sistemas de Información Geográfica, la verificación en campo y la información secundaria se estableció: Unidades geológicas superficiales, geomorfología, inventario de movimientos en masa, y uso de suelo, para determinar las zonas de susceptibilidad por movimientos en masa, bajo el método estadístico Bivariado y su probabilidad temporal con los factores detonantes de lluvia, para finalmente realizar la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, posteriormente se realiza un análisis de los resultados, las variaciones que se pudieron presentar en la implementación y si los resultados son acordes a la situación real del municipio, haciendo un análisis de manera crítica a la aplicabilidad de la guía en los territorios.

Los resultados arrojados en el presente trabajo de investigación dan cuenta de una correcta y exitosa aplicación de la guía metodológica, donde se obtuvieron los siguientes resultados. Representado en una curva de éxito con 88,84%, evidenciando una buena calidad de ajuste de los datos, resultando confiable la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa. Se estableció como factor detonante el periodo de retorno de la lluvia máxima diaria y se desestimó el factor de sismos al no encontrar información de calidad en el sector que permitiera ser determinante en el análisis de la amenaza. De acuerdo a los resultados en la zonificación, se determinaron las veredas que se encuentran en zonas con amenaza media y alta.

## INTRODUCCIÓN

En el 2017 el Servicio Geológico Colombiano (SGC) publicó la Guía Metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000, con un desarrollo técnico y científico con el fin de tener un mejor conocimiento de las amenazas presentes en los territorios siendo este uno de los componentes necesarios para la prevención de futuros fenómenos que afecten la calidad de vida de las comunidades.

El objetivo principal de este trabajo es analizar la Implementación de la metodología para la susceptibilidad a movimientos en masa, el cual será un insumo para la toma de decisiones en la planificación territorial. En este trabajo se pretende adoptar el alcance de la guía metodológica propuesta por el SGC, con el fin de aportar al conocimiento como componente de la Gestión del Riesgo de Desastres.

Se realizará un análisis minucioso de la implementación de la metodología, caracterización de los factores condicionantes y detonantes presentes en la zona rural del municipio de Restrepo - Valle del Cauca, para tener como resultado la zonificación de la amenaza por movimientos en masa; posteriormente se analizarán y evaluarán los resultados. Al evaluar la confiabilidad de los resultados de zonificaciones por movimientos en masa, se generan parámetros para el mejoramiento en los cálculos futuros, siendo este un aporte importante para la disminución de la vulnerabilidad de la población ante la ocurrencia de este tipo de fenómenos tan frecuentes en nuestro territorio.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una de las mayores problemáticas que existen en las comunidades y las instituciones gubernamentales es determinar las amenazas existentes en su territorio, si bien existen normativas que orientan en el que hacer frente a la implementación de las metodologías, estas muchas veces terminan dando como resultado visiones poco objetivas de las amenazas reales; eso puede deberse a que muchas de ellas dejan un amplio margen para el criterio profesional, el cual puede variar de uno a otro.

En el año 2017 el servicio geológico colombiano desarrolló la guía metodológica para la evaluación de amenazas por movimientos en masa, donde expresa en su contenido un desarrollo más puntual frente a las características que se deberían tener en cuenta para este tipo de análisis en los territorios. Sin embargo, se debe tener presente que para cada caso la guía también establece la posibilidad de establecer variaciones en su aplicación según la particularidad del territorio, el acceso, y la calidad de la información. Se hace entonces necesario establecer una evaluación y análisis de la implementación de la guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa, escala 1:25000, en la zona rural del municipio de Restrepo, valle del cauca, y determinar en qué escenarios se puede aplicar y cómo esta metodología.

### PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

¿Es aplicable la metodología del SCG para el análisis de la amenaza a escala 1:25000 del municipio de Restrepo Valle del Cauca?

## 2. JUSTIFICACIÓN

La realización de esta investigación será un insumo para el mejoramiento de las zonificaciones de amenazas por fenómenos de remoción en masa en el municipio de Restrepo Valle del Cauca, Para la realización de este trabajo se cuenta con la información primaria y secundaria necesaria, sistemas de información geográfica para llevar a cabo los análisis, y criterio profesional desde la geología, lo que nos permite poner en conocimiento técnico en función de la gestión del riesgo.

Si bien se ha avanzado en las metodologías para la zonificación de la amenaza, estas muchas veces no se adaptan a la realidad del territorio, es por eso que es necesario determinar a partir del cálculo de la susceptibilidad cuál nos genera unos resultados más acordes a la consideración heurística y a la realidad de los datos que se tienen.

Este trabajo invita a pensar que, la consideración de este componente requiere de un análisis en el que se aborden integralmente todos los aspectos inherentes a su concepción, siendo un aporte importante para la obtención de resultados cada vez más confiables, beneficiando ampliamente a las comunidades afectadas por este fenómeno, y a las entidades gubernamentales del municipio quienes podrán utilizar la información obtenida en la gestión integral del riesgo de desastres.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo General

Evaluar la susceptibilidad por movimientos en masa usando la guía metodológica del SGC (Servicio Geológico Colombiano) y analizar los resultados obtenidos para la amenaza, en el municipio de Restrepo, Valle del Cauca.

#### 3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los factores condicionantes y detonantes, para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Restrepo, valle del Cauca
- Aplicar la guía metodológica del SGC (Servicio Geológico Colombiano) para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa
- Realizar un análisis de los resultados de la zonificación de amenaza arrojada en la utilización de la guía metodológica del SGC.

## 4. MARCOS CONCEPTUALES

### 4.1. Referencial

(Mora & Vahrson , 1984 – 1994) Presentan un modelo para el análisis de la amenaza relativa de deslizamientos utilizando indicadores morfodinámicos, teniendo como finalidad la definición y jerarquización de áreas críticas.

Posteriormente en el planteamiento estadístico, (van Westen, 1993) propone dos formas básicas de lograr una zonificación de amenaza, dependiendo de si el análisis estadístico es univariado o multivariado. En este caso se llevó a cabo un análisis univariado, empleando como parámetros de susceptibilidad los materiales, la pendiente, la densidad de drenaje y la densidad de fallamiento, al tiempo que los parámetros detonantes se definieron por la aceleración máxima superficial del terreno con periodo de retorno de 475 años

En el año 2015, el Servicio Geológico Colombiano y La Universidad Nacional de Colombia presentaron “*La Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad, y Riesgo por Movimientos en Masa*”. En esta guía se describen la metodología para realizar estudios de riesgo por movimientos en masa en suelos.

Posteriormente el servicio Geológico Colombiano presenta en el año 2017 la Guía *Metodológica para la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25.000* Una guía metodológica que utiliza el método Bivariado basado en (van Westen, 1993) que resulta ser muchas más precisa frente a la normatividad del ordenamiento territorial y la gestión del riesgo. Se han encontrado múltiples estudios relacionados a la aplicabilidad de estas metodologías, pero se puede determinar que el método heurístico es el más usado dejando un amplio panorama de interpretación.

### 4.2. Normativo o Legal

- Sistema Nacional de Prevención y Atención de Desastres: Ley 46/88 y Decreto Ley 919/89
- Directiva Presidencial No. 33/90: Define la prevención de Riesgos como concepto de Planificación. Constitución Política de Colombia (Art. 80)
- Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres –PNPAD- Decreto 93/98 (Art. 5, 31,105)
- Ley de Ordenamiento Territorial (planificación físico-espacial): Ley 388 de 1997

- Instrumentos de planificación ambiental (PGAR y PAT): Decreto 1200 de 2004
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial (LOOT): Ley 1454 de 2011
- Incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de los planes de ordenamiento territorial: Ley Antitrámites, Decreto Ley 019 de 2012, artículo 189
- Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres: Ley 1523 - 24 de abril del 2012
- Reglamentación del artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012: Decreto 1807 de 2014
- Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio: Decreto 1077 de 2015

#### **4.3. Teórico-Conceptual**

Desde el año 2001 se han generado diferentes versiones de mapas nacionales de susceptibilidad y amenaza, estos incluyen mapas a escala 1:1'500.000 (Mapa Nacional de amenaza Relativa por Movimientos en Masa – INGEOMINAS), escala 1:500.000 (Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa y Mapa de amenaza relativa por movimientos en masa –entre INGEOMINAS y el IDEAM).

Para el año 2010, el Servicio Geológico Colombiano, comenzó a hacer la zonificación de amenaza por movimientos en masa en escala 1:100.000 para lanzar el libro Las Amenazas por Movimientos en Masa en Colombia. Igualmente se han realizado diferentes guías y metodologías para zonificación de amenaza por movimientos en masa, entre las cuales se encuentran la Guía Técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa (1999) desarrollada por Germán Vargas Cuervo en colaboración con la Cooperación Colombo-Alemana GTZ en el marco del Proyecto Río Guatiquía, Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa – Guía Metodológica (2001) por INGEOMINAS y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca y la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (2015) desarrollada por el SGC así como la metodología para la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa para Colombia a una escala de detalle 1:25.000 del 2017.



## 5. CONTEXTO GEOGRÁFICO

El municipio de Restrepo se encuentra localizado en el occidente del Departamento del Valle del Cauca

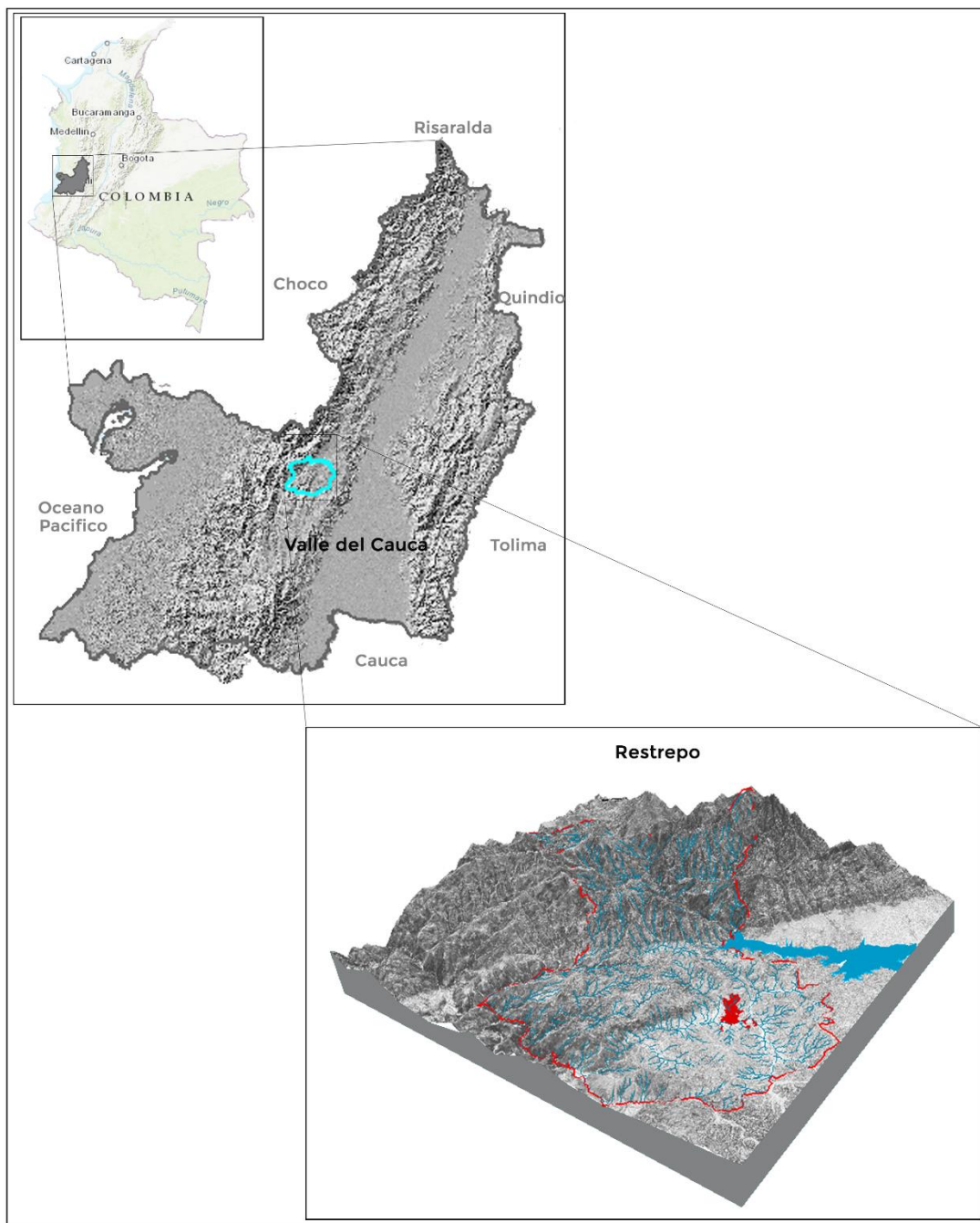


Figura 1. Localización Municipio de Restrepo - Valle del Cauca, Fuente. Elaboración propia a partir de imágenes del IGAC, Google Earth.

## 6. METODOLOGIA

Según el SGC (2017) el estudio básico de la amenaza por movimientos en masa consta de tres etapas: 1. La caracterización geo-ambiental que comprende la cartografía geológica (UGS), geomorfológica, cobertura de la tierra y uso del suelo, clima y sismicidad, así como el inventario de procesos morfodinámicos; 2. El análisis de la susceptibilidad que se realiza a partir de la aplicación de un método estadístico bivariado, estableciendo la relación entre un factor o combinación de factores condicionantes y la posibilidad de que ocurra un movimiento en masa; 3. La caracterización de la amenaza que plantea escenarios de amenaza según las características de cada tipo de proceso (deslizamientos, caídas, flujos y reptaciones).

En la Figura 2. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000. Modificado del SGC (2017). se muestra el marco de referencia para el análisis de la amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000, que es la escala de trabajo para la zona rural del municipio.

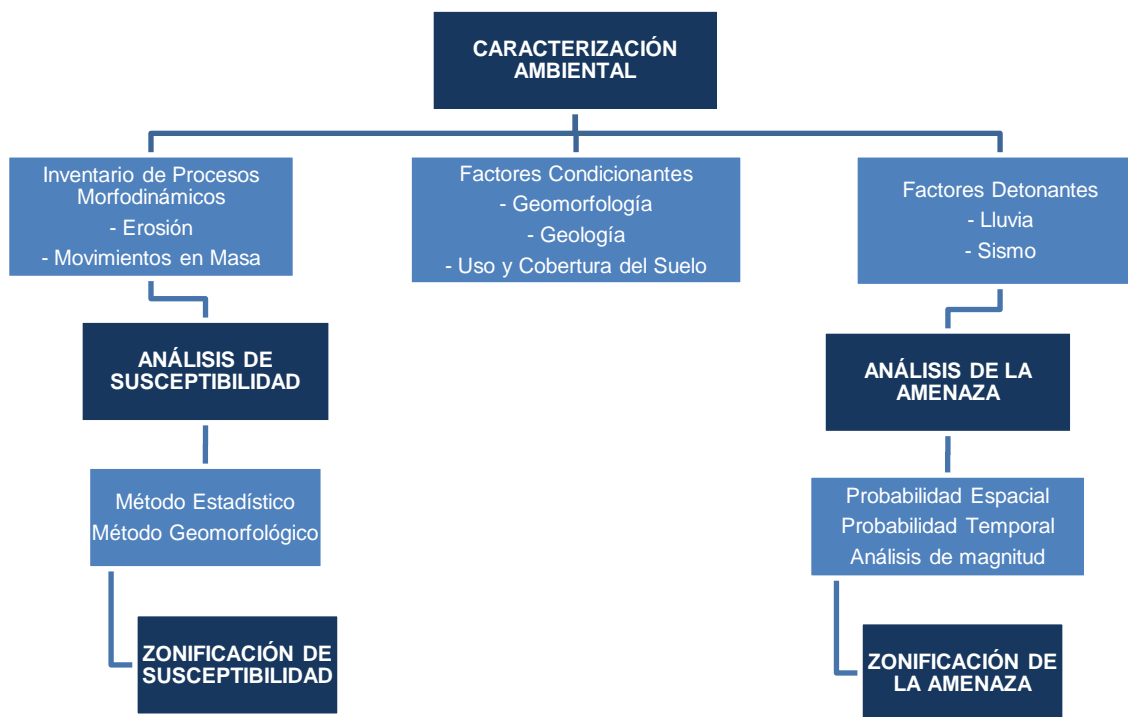


Figura 2. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25000. Modificado del SGC (2017).

## 6.1 Análisis De Información Existente Y Sensores Remotos

La obtención de los mapas geológicos UGS y de subunidades geomorfológicas se sustenta en la cartografía oficial del INGEOMINAS (planchas 260, 261, 279 y 280 a escala 1:100.000), del S.G.C. (2015) a escala 1:250.000.

El uso de aplicaciones de uso libre como Google Earth, Alos Palsar Dem, Y Earthdata de la NASA, la información de la geología a escala 1:100.000 y 1:250.000 se constituyen en herramientas fundamentales para la cartografía preliminar de las UGS, las subunidades geomorfológicas y los procesos morfodinámicos (erosión y movimientos en masa), que es corroborada en campañas de verificación en campo.

## 6.2 Cartografía Base

La cartografía base para la elaboración de los análisis de la amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000, se obtuvo de 7 imágenes de satélite PlanetScope, proporcionada por la CVC, cuyo DEM tiene una resolución de 2,5 m, al igual que imágenes de sombras del software de la NASA Earthdata

**Tabla 1. Listado imágenes PlanetScope del geoportal IGAC, para el perímetro municipal de Restrepo, Valle del Cauca.**

Proyecto	Resolución	Fecha	Título alterno	Código
CVC	3 m	2017	20170919_162252_of3b	0403039000001251
CVC	3 m	2017	20170919_162252_of3b	0403039000001250
CVC	3 m	2017	20170919_162252_of3b	0403039000001249
CVC	3 m	2017	20170919_162252_of3b	0403039000001246
CVC	3 m	2017	20170919_162252_of3b	0403039000001245

CVC	3 m	2017	20170712_144424_1004_1B	0403039000000743
CVC	3 m	2017	20170712_144425_1004_1B	0403039000000744

Fuente: GEOPORTAL IGAC

### 6.3 Modelo De Elevación Digital

El modelo de elevación digital DEM tiene una resolución de 2,5 m y permite la cartografía de las unidades de rocas, suelos y subunidades geomorfológicas en el municipio de Restrepo.

### 6.4 Trabajo De Verificación En Campo

A partir de la información secundaria cartografiada, se realizó una aproximación en campo donde el trabajo se concentró en caracterizar los procesos morfodinámicos cartografiados y aquellos que se registraron como eventos que representan amenaza para sus territorios. Se visitaron las veredas San Salvador, bajo Zabaletas, la Guaira, la vía Pacífico I y el sector de la Palmera, en la vereda río Bravo, Potrerillo, el Aguacate, Román, Playa Rica, Calimita, Italia, Buen Vivir, La Palma, llama, la Soledad, alto del Oso, el Diamante, Agua Linda.

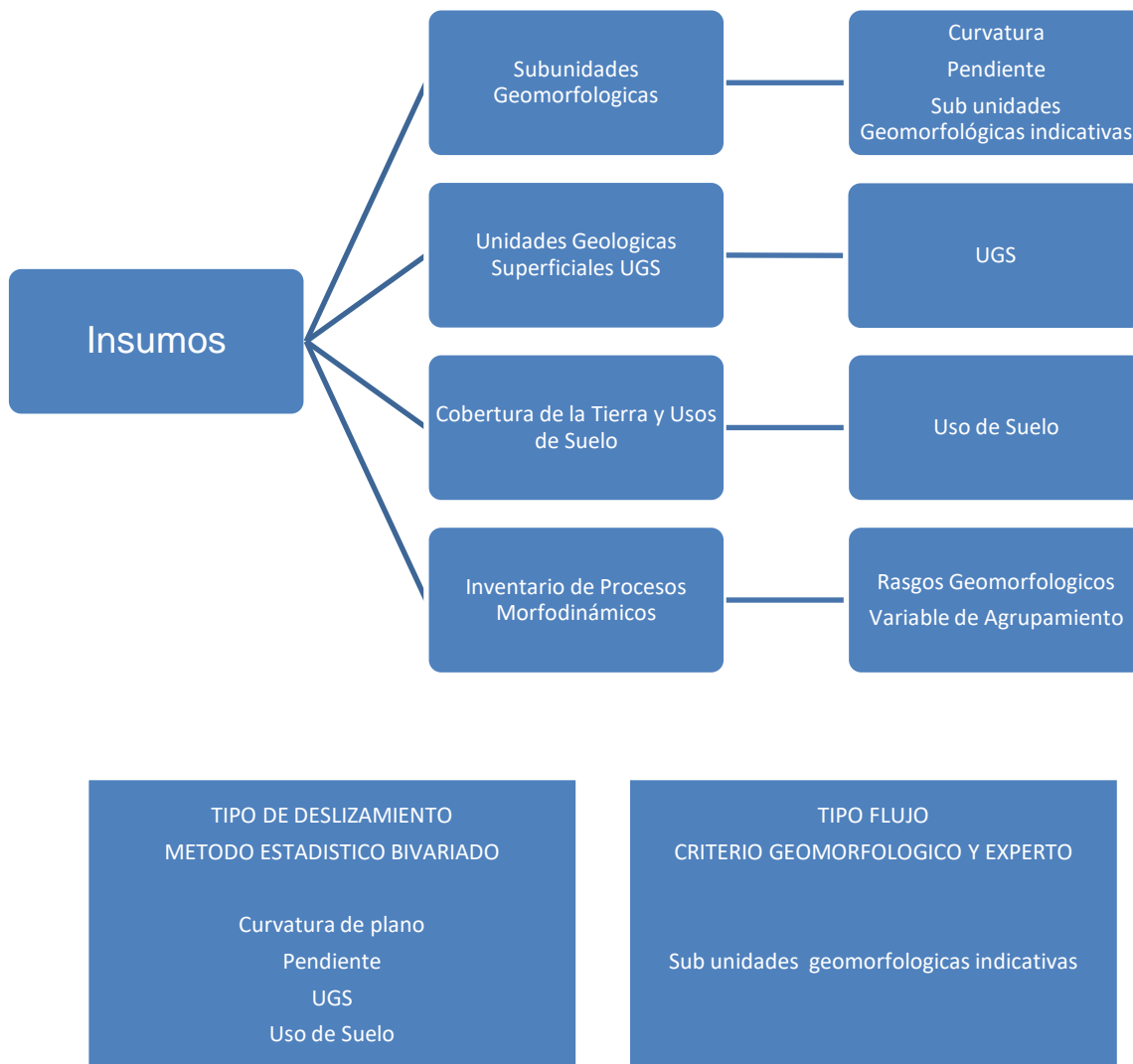
### 6.5 Procesamiento De La Información Y Resultados

Una vez realizada la verificación en campo se procede a analizar la información, para definir los mapas del inventario de procesos morfodinámicos (erosión y movimientos en masa), el UGS y las subunidades geomorfológicas, los cuales, constituyen los insumos básicos de la caracterización geoambiental. Los usos y la cobertura del suelo, se obtiene de información secundaria realizada por parte de la CVC y que fue generada para el departamento del Valle del Cauca a escala 1:25.000, en el año 2017.

Con esta información se procede hacer el cálculo por el método estadístico bivariado según la guía metodológica del servicio geológico colombiano, para la obtener como resultado el mapa de susceptibilidad.

### 6.1. Metodología Para La Zonificación De La Susceptibilidad.

Se estableció la unidad de análisis como el área de la zona rural del municipio de Restrepo, para esto se tuvo en cuenta las variables ya establecidas y cartografiadas anteriormente  
 Figura 3.



**Figura 3. Esquema metodológico para el análisis de la susceptibilidad, aplicado a la unidad de análisis, zona rural del municipio de Restrepo. Fuente. Modificado (SGC, 2017).**

De acuerdo con la metodología propuesta por el servicio geológico colombiano, se realizó el acondicionamiento de la información de tal manera que sea la más óptima para el análisis cada uno de los insumos cumplen con las siguientes características:

- ✓ Todas las capas vectores fueron debidamente corregidas topológicamente.
- ✓ Todas las capas vectores fueron convertidas a raster teniendo en cuenta la resolución espacial la cual de 2,5 dada por el DEM.
- ✓ La capa de Subunidades Geomorfológicas fue rasterizada por subunidad definida
- ✓ La capa de UGS, fue rasterizada por unidad definida
- ✓ La capa de Uso de suelo, fue rasterizada de acuerdo a casa grupo de uso
- ✓ La capa de pendiente se obtuvo a partir del modelo de elevación digital, teniendo en cuenta la clasificación de (van Zuidam, 1986)
- ✓ La capa de curvatura plano se generó a partir del modelo digital de elevación teniendo en cuenta la clasificación de (SGC, 2017)
- ✓ El tamaño del pixel usado para el análisis fue de 2,5 el mismo que el DEM.

Este método se basa en el análisis de patrones de asociación entre los factores condicionantes y las áreas inestables (inventario de procesos morfodinámicos históricos y activos) mediante pesos de importancia para la generación de procesos de inestabilidad.

Para el análisis se combina cada factor de mapeo con la distribución de los movimientos en masa en el mapa y se calculan valores ponderados de densidad de procesos morfodinámicos para cada clase evaluada o factor condicionante, ya sea en unidades de área o en pixeles (SGC, 2017).

Debido a la escala de estudio 1:25.000 es recomendable tener además el criterio experto puesto que esta metodología está sujeta a condiciones de un gran número de procesos inventariados, tanto activos como históricos.

El fundamento matemático según (Bonham, 1994) asume que el deslizamiento **L** ha sucedido en un área **p** veces; si el área total es **q**, entonces la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento es:

$$p(L) = \frac{n(L)}{q} = \frac{p}{q}$$

Donde  $n$  representa el número de veces que se repite  $L$ ; si  $W_i$  representa un factor condicionante donde se tienen clases de  $i = 1 \dots m$  entonces (Bonham, 1994).

$$p(L|w_i) = \frac{p(w_i \cap L)}{p(w_i)}$$

Según Bonham (1994) se expresa la ecuación anterior en función de las proporciones en lugar de la probabilidad, se tiene que:

$$O(L) = \frac{p(L)}{p(L)} = \frac{p(L)}{1-p(L)} = \frac{p}{q-p}$$

$$O(L|w_i) = \frac{p(L|w_i)}{p(L|w_i)}$$

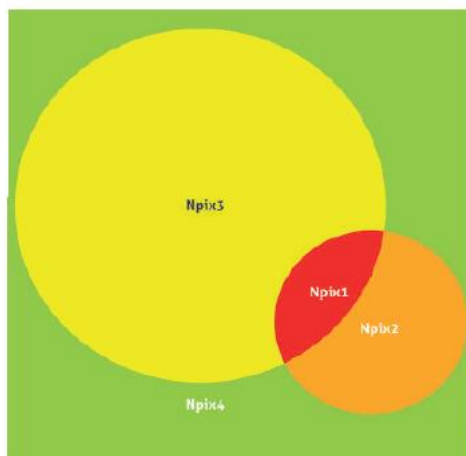
Por lo tanto, se llamará pesos de evidencia a las siguientes ecuaciones:

$$W_i^+ = \ln \frac{p(w_i|L)}{p(w_i)} \quad W_i^- = \ln \frac{p(\bar{w}_i|L)}{p(\bar{w}_i)}$$

El detalle de esta formulación matemática se presenta en (Bonham, 1994). (van Westen, 1993) plantea que en términos de píxeles el área que está compuesta por un número total de píxeles  $N$ .



$$N = N_{pix1} + N_{pix2} + N_{pix3} + N_{pix4}$$



**Figura 4. Representación gráfica de la relación deslizamiento y factor condicionante.**  
Fuente: (SGC, 2017)

Dónde:

**Npix1**: hay presencia del factor condicionante ( $N_{pix3}$ ) en el deslizamiento ( $N_{pix2}$ ). Lo cual es indicativo de una muy alta significancia de ese factor en el deslizamiento.

**Npix2**: no hay presencia del factor condicionante ( $N_{pix3}$ ) en el deslizamiento ( $N_{pix2}$ ). Lo cual es indicativo de una significancia alta por efecto de la presencia del deslizamiento.

**Npix3**: factor condicionante. Lo cual es indicativo de una significancia media por efector del factor que alguna vez contribuyo al deslizamiento.

**Npix4**: no hay deslizamiento ni factor condicionante. Lo cual es indicativo de una significancia baja.

Los pesos se pueden expresar en términos de pixeles como:

**Para el peso positivo:**

$$W_i^+ = \ln \frac{\frac{Npix1}{Npix1 + Npix2}}{\frac{Npix3}{Npix3 + Npix4}} \quad (\text{van Westen, 1993})$$

Donde el peso positivo indica la importancia de la presencia del factor en el deslizamiento de la siguiente forma:

$W_i^+ > 0$ : Positivo, indica que la presencia del factor contribuye a la presencia del deslizamiento, su magnitud indica el grado de correlación directa o el grado de contribución.

$W_i^+ < 0$ : Negativo, indica que la presencia del factor contribuye a la ausencia deslizamiento, su magnitud indica el grado de correlación inversa.

$W_i^+ = 0$ : Indica que el factor no es relevante.

**Para el peso negativo:**

$$W_i^- = \ln \frac{\frac{Npix2}{Npix1 + Npix2}}{\frac{Npix4}{Npix3 + Npix4}} \quad (\text{van Westen, 1993})$$

$W_i^- > 0$ : Positivo, indica que la ausencia del factor contribuye a la presencia del deslizamiento.

$W_i^- < 0$ : Negativo, indica que la ausencia del factor contribuye a la ausencia del deslizamiento.

$W_i^- = 0$ : Indica que el factor no es relevante.

Los pesos de evidencia  $W_i^+$  y  $W_i^-$  se deberán calcular para cada clase del factor.

El contraste o peso final  $W_f$  es igual a:

$$W_f = W_i^+ - W_i^- \quad (\text{van Westen, 1993})$$

**$W_f = 0$ :** Cuando la distribución espacial de los movimientos en masa es independiente del factor considerado.

**$W_f > 0$ :** positivo, cuando existe una asociación positiva (la presencia del factor contribuye a la ocurrencia del movimiento en masa).

**$W_f < 0$ :** Negativo, cuando existe una asociación negativa (la ausencia del factor contribuye a la ocurrencia del movimiento en masa).

La función final de susceptibilidad o LSI (Landslide susceptibility index) corresponde a la sumatoria de cada  $W_f$  calculado para cada factor contribuyente incluido en el análisis:

$$LSI = W_f \text{Pendiente} + W_f \text{Curvatura} + W_f \text{UGS} + W_f \text{Geomorfología} + W_f \text{Uso y cobertura}$$

Esta susceptibilidad resultante de la aplicación del método estadístico bivariado, se lleva a un proceso posterior de análisis y calibración de los resultados con base en las evidencias de campo relacionadas con procesos morfodinámicos activos y/o latentes, pendientes escarpadas que evidencien inestabilidad activa, y demás consideraciones a criterio de profesional, para lograr desarrollar un modelo que represente las condiciones reales del territorio.

## 7. CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL

Comprende la caracterización de los factores condicionantes, los detonantes y el inventario de procesos morfodinámicos (SGC, 2017)

Los factores condicionantes tienen un efecto en la ocurrencia de procesos de erosión y movimientos en masa y agrupan la geología, la geomorfología, la cobertura y el uso de los suelos; mientras que los detonantes son los estímulos externos que modifican las condiciones de estabilidad de las laderas (lluvias intensas, sismos, erupciones volcánicas y/o erosión de cauces); aunque en el análisis se consideran solamente la lluvia y los sismos (SGC, 2017)

De acuerdo con el SGC (2017), el inventario de procesos morfodinámicos contiene los factores causales de los movimientos (condicionantes y detonantes) y su distribución espacial.

La caracterización ambiental representa las causas principales de ocurrencia de movimientos en masa, que comprenden el incremento de los esfuerzos cortantes, los materiales con baja resistencia y la reducción de la resistencia al corte de los materiales.

### 7.1. Inventario De Procesos Morfodinámicos

El inventario de procesos morfodinámicos en el municipio de Restrepo, se clasifica como un inventario geomorfológico, obtenido a partir de la fotointerpretación de las imágenes de satelitales y trabajo de verificación en campo. Se desconoce la fecha de ocurrencia del 98% de los procesos cartografiados y considerados dentro del análisis de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa.

Los movimientos en masa, clasificados como deslizamientos traslacionales y flujos de detritos se representan como polígonos y han sido cartografiados individualmente y cuenta con una base de datos que contiene los atributos sugeridos por el (SGC, 2017)

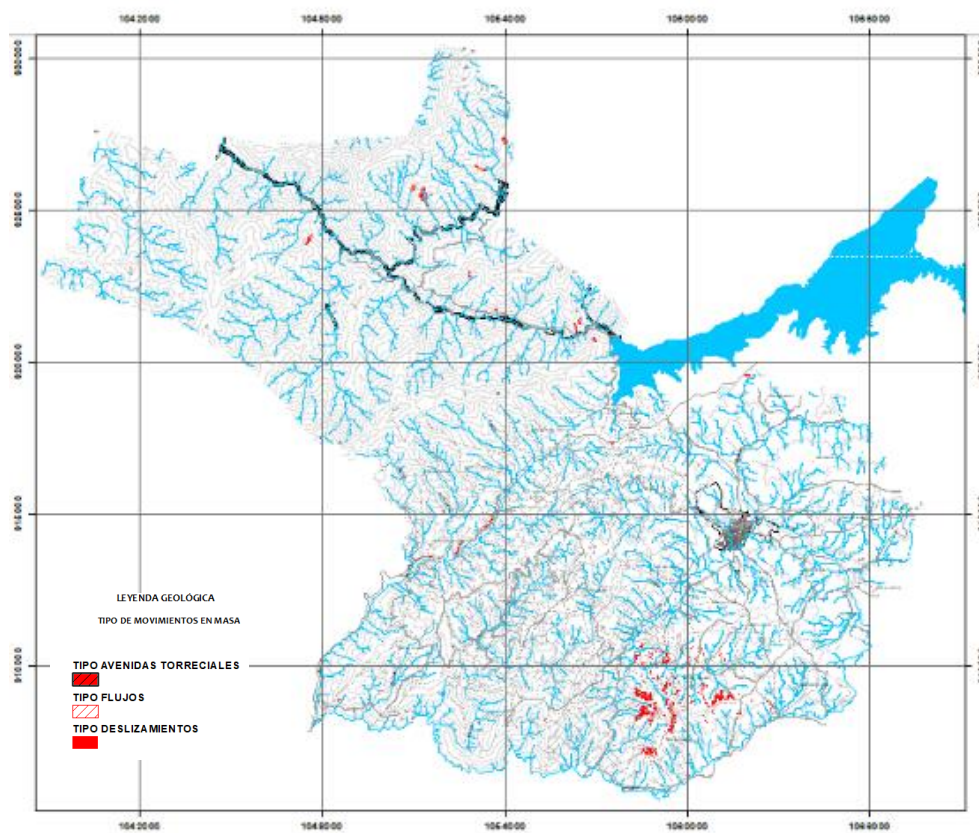
Para alimentar el inventario de movimientos en masa se consultaron fuentes de información como el comité de gestión del riesgo del municipio, consulta a la plataforma *Desinventar* y encuestas a la población. En la página [www.desinventar.org](http://www.desinventar.org) se registran la fecha de seis eventos de deslizamientos, se desconoce la ubicación espacial de los mismos, como se observa en la Tabla 2.

Es así como este recurso constituye la principal fuente de información de este inventario de procesos morfodinámicos. El levantamiento de campo permite caracterizar los movimientos en masa, a partir del diligenciamiento del formato recomendado por el SIMMA.

**Tabla 2. Información sobre eventos de deslizamientos registrados en [www.desinventar.org](http://www.desinventar.org) para el municipio de Restrepo, Valle del Cauca.**

Serie	Fecha	Tipo evento	Sitio	Fuente	Efectos
1968-0004	15/02/1968	Deslizamiento	Río Bravo	BDOSSO	
1978-0172	17/10/1978	Deslizamiento	Finca la Miranda	EL TIEMPO 1978-10-18 Pag 2A	
1996-0451	3/06/1996	Deslizamiento		EL TIEMPO 1996-06-04	500 habitantes del corregimiento El Salvador en la parte oriental del municipio de Restrepo se encuentran aislados como consecuencia de los derrumbes en la vía. Situación similar vivieron unas dos mil familias de los corregimientos El Silencio El Chonta duro San Rosa y Coleburre.
1996-0940	9/11/1996	Deslizamiento	Zabaletas Las Hoyas Los Morenos Río Bravo	DNPAD	11 vías 4 puentes, vehículos, 3 acueductos afectados.
1997-0051	22/01/1997	Deslizamiento	Vía hacia el corregimiento de río Bravo	EL TIEMPO	La vía fue taponada por el derrumbe. 40 familias incomunicadas.
UNGRD-03281	31/10/2013	Deslizamiento		UNGRD	Afectado puente que conduce al municipio de la Cumbre; Pavas; Vijes; Jumbo; y Cali

La interpretación de imágenes de sensores remotos se obtiene a partir de imágenes satelitales de Google Earth con 50 m de resolución e imágenes Planetscope con una resolución de 3 m, que permite obtener información valiosa, en zonas cuyas condiciones de accesibilidad dificultan el levantamiento del inventario en campo. A partir de este análisis y de la verificación en campo de termina el inventario de movimientos en masa, como se muestra en la Figura 5



**Figura 5. Mapa de procesos morfodinámicos, en el municipio de Restrepo Valle del Cauca, Fuente: Elaboración propia**

Los proceso morfodinámicos predominantes son deslizamientos, cuya ocurrencia está directamente relacionada, entre otros factores, al corte de la vía que conduce a buenaventura, tierras malas en el sur del municipio relacionados con la deforestación del terreno, la geomorfología y la dinámica fluvial



En las visitas de campo, se evidenciaron grandes fenómenos que fueron en su primera medida cartografiados con sensores remotos, fenómenos que aún se encuentran activos y representan una amenaza para los habitantes cercanos, así como a los usuarios diarios de la vía hacia el municipio de Buenaventura.



Figura 6. Deslizamientos presentados a lo largo de la vía hacia Buenaventura. Fuente: Elaboración Propia



## 7.2. Cobertura de la tierra y uso del suelo

Un factor importante para la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa es el uso de suelo, ya sea por causas naturales o antrópicas, este es considerado como un factor dentro de la amenaza. Para el caso del municipio de Restrepo este fue adoptado por información ya existente obtenida por el municipio. Para efectos de este trabajo se tomó la información para el análisis de susceptibilidad.

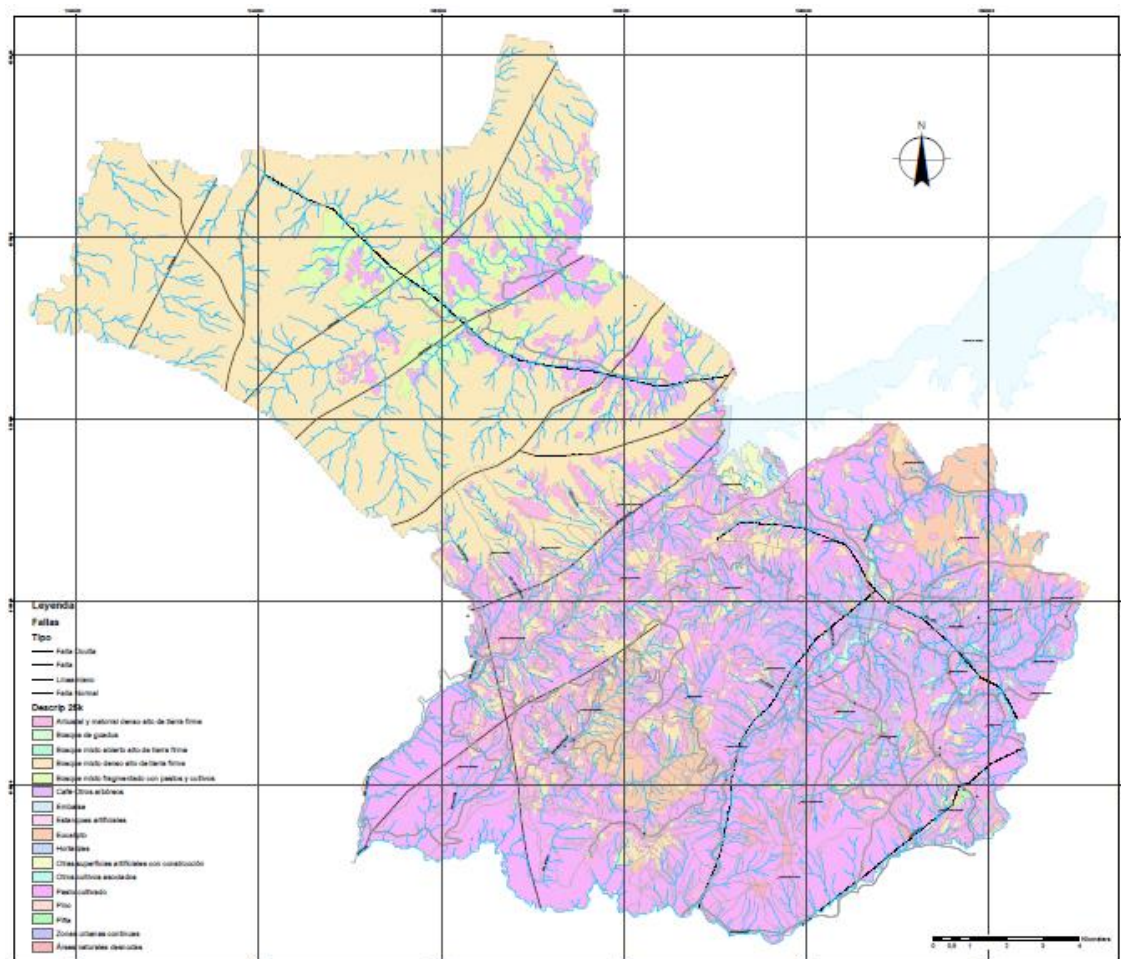


Figura 7. Mapa de Uso de Suelo, Fuente: (CVC, 2019)

### 7.3. Unidades geológicas superficiales, UGS

Según el SGC (2017) las UGS comprenden conjuntos de materiales geológicos expuestos en la superficie del terreno y corresponden a suelos o rocas, clasificados desde el punto de vista ingenieril.

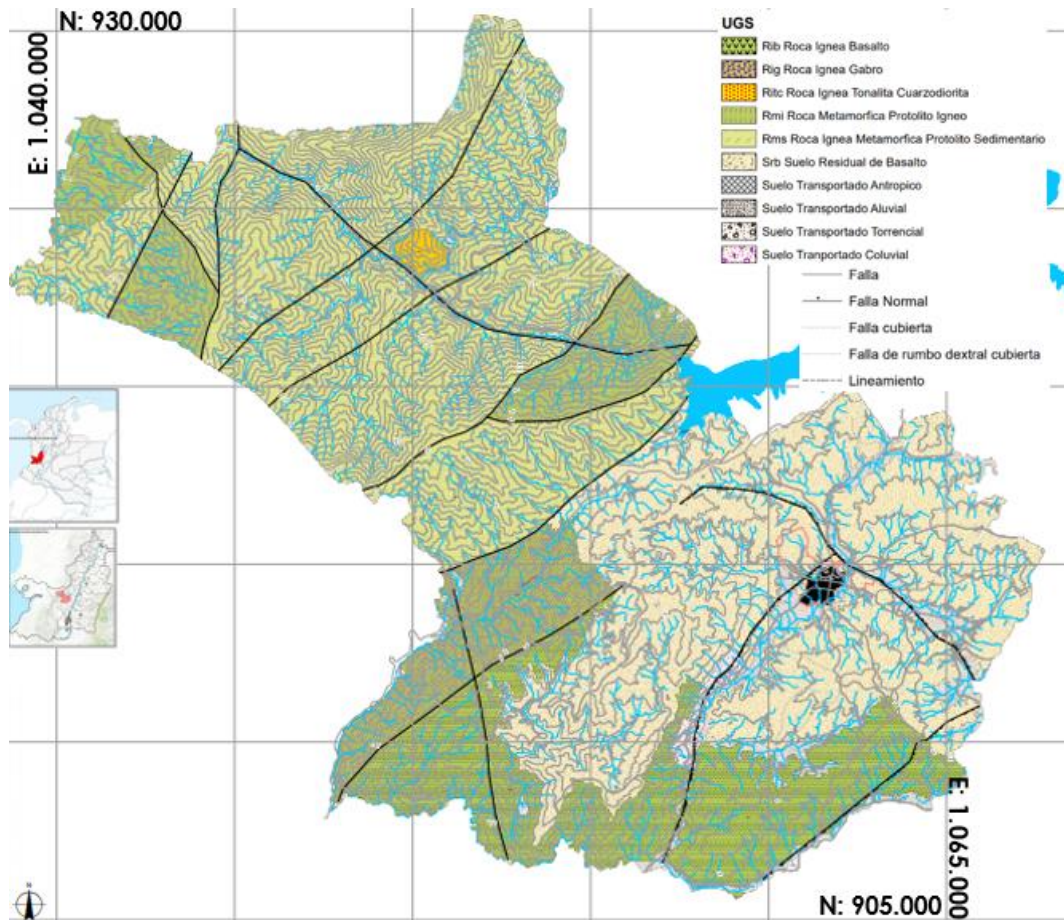
La caracterización de las UGS clasifica y describe las unidades de roca y suelo, cartografiadas a partir del análisis de imágenes de sensores remotos con resolución de 2,5 m, modelos de elevación digital (DEM), cartografía básica a escala 1:25.000, geología regional del SGC (escala 1:100.000) y verificación en campo.

Los materiales rocosos se definen según el origen, la composición mineralógica, el grado de meteorización, la dureza y el índice geológico de resistencia GSI; los suelos se caracterizan por su origen, clasificación genética, textura, estructura, selección, color, tamaño, forma y composición de las partículas, consistencia, resistencia y humedad.

En términos geológicos regionales, el municipio de Restrepo se ubica dentro de la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental PLOCO, ubicado al occidente de la falla Cauca – Almaguer y está conformado por un ensamble de bloques imbricados de rocas plutónicas ultramáficas y máficas, volcánicas básicas y rocas sedimentarias.

Dentro de la PLOCO las rocas más antiguas corresponden a una relación magmática entre rocas ultramáficas, máficas y lavas basálticas y sobre ellas se depositaron y/o interdigitaron las rocas de la secuencia sedimentaria (Nivia, A., 2001).

En el perímetro rural del municipio de Restrepo, se cartografiaron unidades de rocas ígneas blandas e intermedias (Rib – Rig) y de metamorfismo dinámico, impuesto sobre rocas ígneas y sedimentarias (Rmi – Rms); así como suelos in situ, derivados de la meteorización de rocas ígneas (Srb) y transportados de origen aluvial (Stal), torrencial (Stat), coluvial (Stco) y antrópico (Stan), como se observa en la Figura 8.



**Figura 8. Mapa geológico de unidades superficiales del municipio de Restrepo. La escala de trabajo es 1:25.000, Fuente: Elaboración Propia a partir de información secundaria del Servicio Geológico Colombiano**

### **7.3.1. Rocas blandas tipo gabro (Rbg)**

Rocas verdes oscuras a negras de estructura cristalina masiva y textura fanerítica, cristales finos a medios tabulares, prismáticos, planos y elongados, de piroxenos y plagioclasas, localmente serpentina. La meteorización varía entre roca moderadamente descompuesta a totalmente descompuesta. La dureza varía entre moderadamente dura y dura.

La clasificación del macizo rocoso en términos de resistencia, determina que el GSI oscila entre 25 – 45 (mala a regular). Esta unidad de roca se encuentra afectada por diaclasamiento.





**Figura 9. Vista hacia el S, sobre la vía a Loboguerrero. Roca ígnea blanda tipo gabro, muy meteorizada y diaclasada, Fuente: Elaboración Propia**

### **7.3.2. Rocas moderadamente duras tipo basalto (Rmb)**

Rocas verdes oscuras a negras de estructura cristalina masiva y textura afanítica y porfirítica, cristales muy finos a medios planos y elongados de piroxenos y plagioclasas; localmente se observan grietas rellenas de calcita y epidota. Su grado de meteorización es moderada a alta y se observa meteorización esferoidal. La dureza varía entre blanda a dura.

La resistencia GSI del macizo rocoso oscila entre 30 y 55 (calidad mala a regular) y se encuentra afectada por un sistema de fallas conjugadas con dirección N34W/42NE y

N50E/67SE y dos familias de diaclasas orientadas N1W/79SW y N77E/43SE, localizadas en la cantera sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo.



**Figura 10. Vista del afloramiento hacia el NNE.**

Afloramiento en cantera sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo. Nótese el alto grado de fracturamiento del macizo rocoso y la meteorización esferoidal de las rocas ígneas tipo basalto



**Figura 11. Vista afloramiento hacia el NNE.**

Afloramiento en cantera sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo. Nótese el alto grado de fracturamiento del macizo rocoso y la meteorización esferoidal de las rocas ígneas tipo basalto.



### 7.3.3. Rocas moderadamente duras metamórficas de protolito ígneo (Rmm)

Rocas verdes oscuras a negras con metamorfismo dinámico, impuesto sobre rocas de origen ígneo. La estructura de la roca comprende foliación y clivaje de fractura, de textura muy fina, cristales de forma aplanada y elongada, en ocasiones se observan lentes de cuarzo. Esta unidad se encuentra moderadamente a poco meteorizada y su dureza varía entre moderadamente dura y dura.

La clasificación del macizo rocoso es mala a regular, según el GSI que oscila entre 35 y 50, y está afectado por al menos tres sistemas de discontinuidades estructurales, asociadas a sistemas de fallas regionales orientadas N60E/70SE y dos familias de diaclasas orientadas N5E/45NE y N60W/78NE. Marcadores de la cinemática de la falla (estrías y escalones de falla) encontrados sobre estos materiales rocosos, indican que el movimiento es inverso con componente de rumbo.



**Figura 12. Vista del afloramiento hacia el NE. Afloramiento de rocas moderadamente duras de metamorfismo dinámico de protolito ígneo. Fuente, Elaboración propia**

Las rocas desarrollan patrones de diaclasamiento N5E/45NW y N60W/78NE, se observa el plano de una falla (PF) inversa con componente de rumbo N60E/70SE. Localizado sobre la vía que conduce a la Punta, aproximadamente a 4 km de la carretera principal al municipio de Dagua Calima.

#### 7.3.4. Rocas blandas metamórficas de protolito sedimentario (Rbm)

Rocas grises oscuras a negras afectadas por metamorfismo dinámico, sobre rocas de origen sedimentario pelítico. La estructura es pizarrosa, foliada y clivada con textura muy fina a fina, granos de forma aplanada y elongada, localmente se observan lentes de cuarzo. La meteorización de esta unidad oscila entre poco y moderada y su dureza varía entre moderadamente dura y dura.

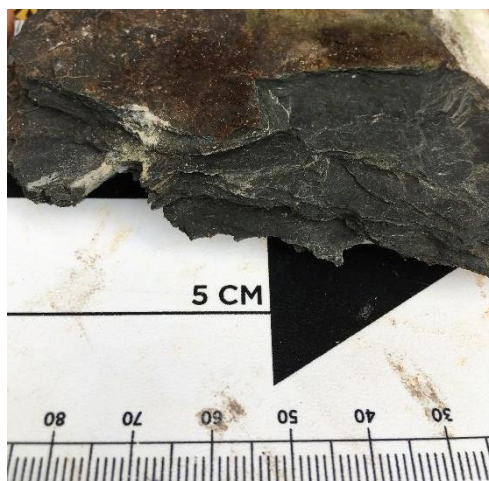
La resistencia GSI, clasifica la calidad del macizo rocoso como mala a regular y oscila entre 30 y 60. Las discontinuidades consisten en pizarrosidad, foliación y clivaje de fractura, dependiendo de la cercanía con el trazo de falla y su orientación oscila entre N49E/12NW y N65E/84SE.



**Figura 13. Vista hacia el S. Afloramiento de rocas de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario. Fuente: Elaboración Propia**

Las rocas desarrollan foliación milonítica N49E/12NW, en el sector denominado la Punta, vereda río Bravo.





**Figura 14. Vista hacia el NE. Afloramiento de rocas de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario. Fuente: Elaboración Propia**

Las rocas desarrollan clivaje de fractura y pizarrosidad orientados CF N67E/78NW, sobre la vía que conduce a la Punta, entre Campo Alegre y el cruce del río Calima, margen derecha

### **7.3.5. Rocas duras ígneas no diferenciadas (Rdin)**

Rocas ígneas intrusivas faneríticas de cristales medianos, compuestos de plagiclasa, cuarzo, hornblenda y biotita. Esta roca se cartografía como una unidad fotogeológica, apoyados en las cartografías temáticas existentes del departamento del Valle del Cauca a



escala 1:100.000 y 1:250.000, la cartografía básica a escala 1:25.000 y el DEM con resolución a 2.5 m y no fue verificada en campo.

### 7.3.6. Suelos residuales de basalto (Srba)

Depósitos originados por la meteorización in situ de rocas ígneas basálticas y consiste en arcillas y limos arcillosos amarillo rojizas a rojas, plásticas, secas, poco a moderadamente consistentes, matriz soportados (15% – 30% fragmentos), con fragmentos subredondeados de basaltos.



**Figura 15. Afloramiento, de suelos residuales de basaltos en zona de adecuación urbana, ubicada en la Carrera 14 Calle 17. Fuente: Elaboración propia**

### 7.3.7. Suelos transportados coluviales (Stco)

Suelos generados a partir de la acumulación de materiales derivados de movimientos en masa como deslizamientos y flujos antiguos; consiste de arcillas y limos arcillosas gris oscuro, ligeramente plásticas. El depósito es matriz soportado, con fragmentos de basalto irregulares subangulares a angulares, cuyos tamaños varían entre gravas y bloques de

hasta 2 m de diámetro, no se observa gradación y se encuentran pobremente seleccionados.



**Figura 16. Vista al S. Afloramiento sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo. Fuente: Elaboración Propia**

Depósito transportado de origen coluvial. Nótese la heterogeneidad de los fragmentos.

### **7.3.8. Suelos transportados aluviales (Stal)**

Se originan por depositación en una cuenca sedimentaria de corrientes aluviales meandriformes de baja pendiente de la quebrada Agua Mona.

Estos depósitos son intercalaciones de niveles de arenas y limos arcillosos. Los niveles arenosos son matriz soportados, matriz de arena fina conglomerática gris, húmeda, compactidad y densidad baja, con granos esféricos, subredondeados, pobremente seleccionada. Los limos arcillosos son abigarrados (grises, amarillos, verdes), plásticos de consistencia media a blanda, húmedos. El nivel freático en estos suelos es somero y se ubicó a 0,5 m de profundidad, en la capa de arenas.



**Figura 17. Calle 4 Carrera 16 F. Fuente: Elaboración Propia.**

Realizada en la llanura de inundación de la quebrada Agua Mona, en el extremo SE del perímetro urbano y de expansión del municipio de Restrepo, Valle. La fotografía superior derecha muestra las arenas y la inferior las arcillas que conforman los suelos transportados.

### **7.3.9. Suelos transportados torrenciales (Stat)**

Suelos transportados por las corrientes fluviales de carácter torrencial de alta pendiente de los ríos Calima, Grande y Bravo, depositados a lo largo de sus cauces, con aporte de materiales derivados de movimientos en masa.

Estos depósitos se caracterizan por ser clasto soportados, la matriz es de arena fina a media, de granos esféricos, subangulares, compacidad y densidad baja seca; los fragmentos varían entre gravas finas a bloques de rocas mayormente ígneas tipo basalto y gabro y rocas sedimentarias pelíticas, con formas angulares a subangulares, irregulares, muy pobremente seleccionados.





**Figura 18. Vista al NW. Depósito transportado de origen coluvial torrencial. Fuente: Elaboración Propia**

Los fragmentos son heterogéneos subangulares a subredondeados. Localizados sobre la vía que conduce del río Calima, hacia el sector la Punta, margen izquierda.



**Figura 19. Cauce Actual Del Río Calima. Fuente: Elaboración Propia**

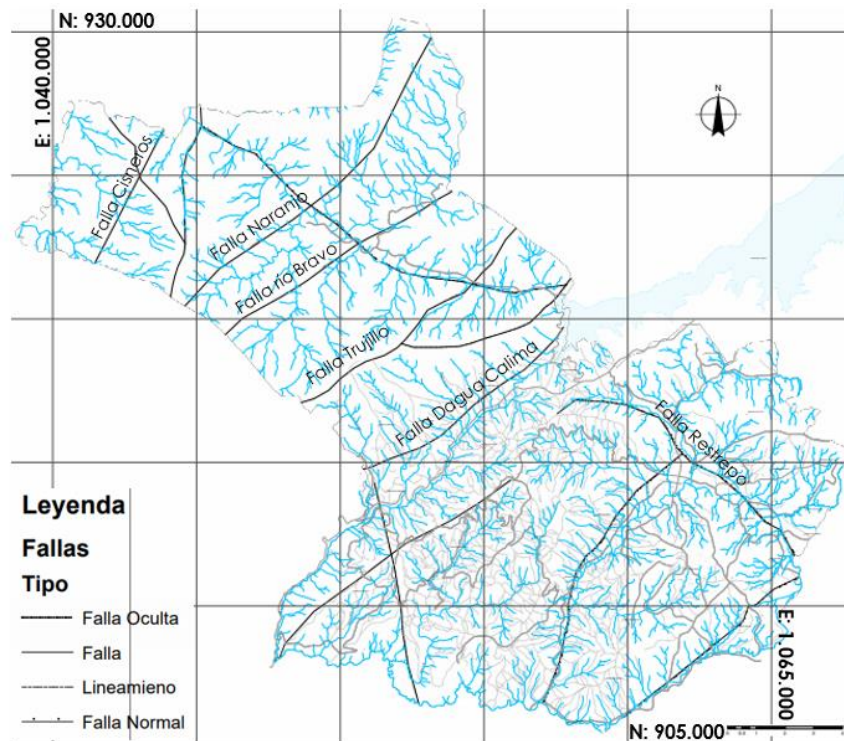
Con Depósitos Transportados Aluviales Compuestos Por Rocas De Diversos Tamaños, Clastosoportados. Localizado en el puente que conduce hacia el sector la Punta, vereda río Bravo.

#### **7.4. Geología estructural**

El estilo estructural del municipio de Restrepo, se caracteriza por una tectónica compresiva regional, con grandes cabalgamientos que afectan las rocas de edad cretácica, con un plegamiento isoclinal a todas las escalas, cortadas por grandes fallas de rumbo con componentes verticales.

En general en el sector Sur del municipio de Restrepo, las rocas están controladas por dos sistemas de fallas. El primer sistema de componente normal dextral, orientado en dirección N50E/67SE, cortadas por un segundo sistema de movimiento dextral, con rumbo N34W/42NE. Se presentan, además, cuatro familias de diaclasas con tendencias sub paralelas a ambos sistemas de fallas

En el sector Norte de Restrepo, se midió un sistema de fallas inversas, con componentes de rumbo, con una orientación N80E/70SE y discontinuidades como foliación, pizarrosidad y clivaje de fractura con rumbos preferenciales N67E/79NW y N49E/12NW, orientadas según los trazos de las fallas regionales NE y tres familias de diaclasas.



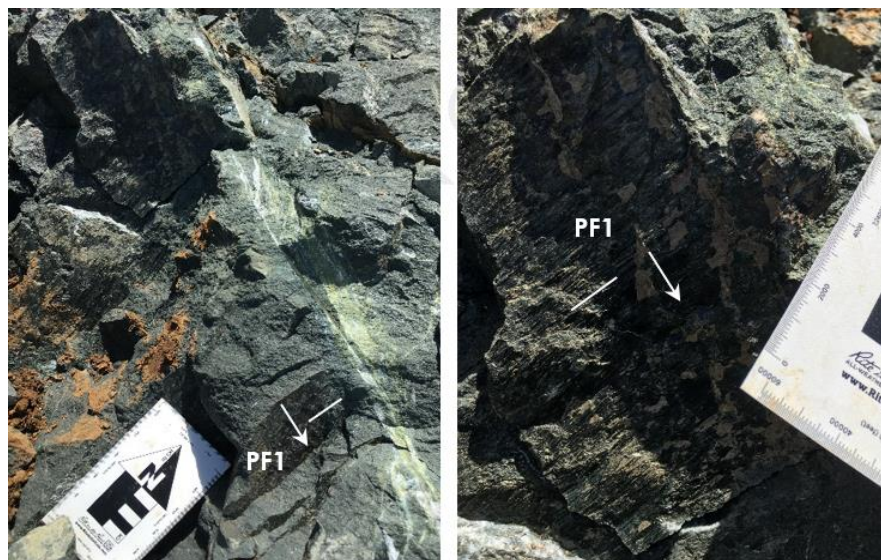
**Figura 20. Mapa estructural del municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración Propia, a partir de información secundaria del Servicio Geológico Colombiano**

#### **7.4.1. Falla Dagua – Calima**

Según (Montoya, 2002) este es el sistema de fallas más antiguo, con una orientación NE y está constituido por numerosas fallas que cortan las diferentes unidades y en ocasiones las ponen en contacto.

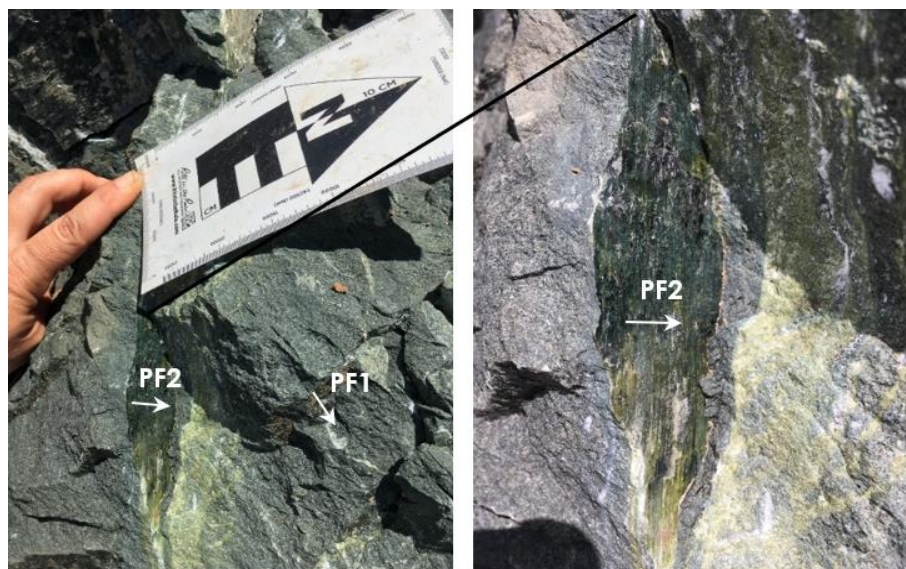
Sistema de fallas con orientación NE, medida en cantera sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo con una orientación de N50E/67SE (Figura 21 y Figura 22) y componente dextral y en la vía que conduce a la Punta, aproximadamente a 4 km de la carretera principal al municipio de Dagua Calima, con orientación N60E/70SE.





**Figura 21. Vista hacia el NW. Rocas ígneas tipo basalto.**

Se observan estrías (línea blanca) sobre el plano de falla N50E/67SE (la flecha blanca indica la dirección del buzamiento). Afloramiento en cantera sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo.



**Figura 22. Vista hacia el NW. Afloramiento en cantera sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda Potrerillo. Rocas ígneas tipo basalto.**



Se observan superficies pulidas en la superficie de falla dextral con dirección N34W/42NE (la flecha blanca indica la dirección del buzamiento).

Las fallas de este sistema de importancia regional son: Dagua - Calima, río Bravo, Naranjo (Barrero, 1979) Cisneros (Aspden, 1984.), río Blanco Este y río Blanco Oeste (Parra, 1984) Diversos autores citados por (Montoya, 2002) reportan que, en los alrededores del lago Calima, la falla produce plegamientos y boudines en las rocas de metamorfismo dinámico y protolito sedimentario.

#### **7.4.2. Falla Río Bravo**

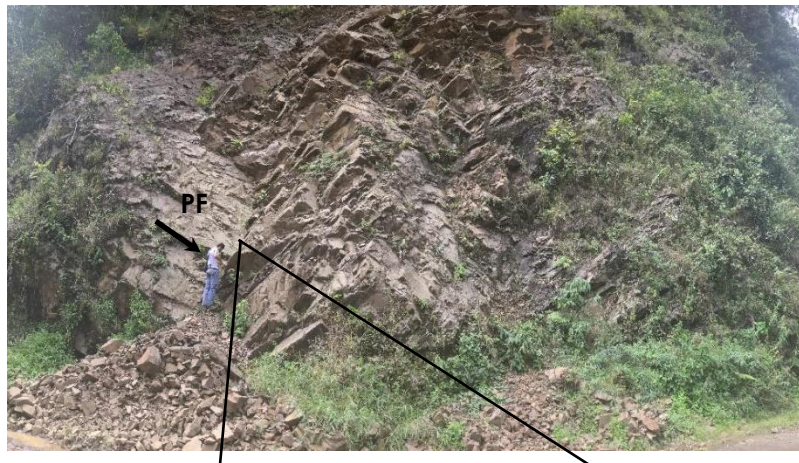
Autores citados por (Montoya, 2002) describen esta falla como una falla con movimiento vertical y pone en contacto rocas metamórficas de protolito ígneo con rocas metamórficas de protolito ígneo.

La orientación de este sistema de fallas, se mide en la vía que conduce a la Punta, aproximadamente a 4 km de la carretera principal al municipio de Dagua Calima, con orientación N60E/70SE; indicadores del movimiento de la falla, como estrías y escalones, sugieren un movimiento inverso, con componente de rumbo.

#### **7.4.3. Falla El Naranjo**

Barrero (1979; citado por Montoya, D., 2002) utiliza este nombre para la falla que pone en contacto a las rocas rocas metamórficas de protolito ígneo con rocas metamórficas de protolito ígneo en la vía Restrepo - vereda Río Bravo.

Las rocas volcánicas cercanas a esta falla presentan fuerte cizallamiento con presencia de venas de cuarzo plegadas, mineralizadas con sulfuros y cuarzo lechoso en forma de augen; además, reportan estrías de falla con buzamiento fuerte al occidente (80°).



**Figura 23. Vista hacia el NE. Afloramiento de rocas de metamorfismo dinámico de protolito ígneo.**

Las rocas desarrollan patrones de diaclasamiento con dirección N5E/45NW y N60W/78NE, se observa el plano de una falla inversa con componente de rumbo N60E/70SE, que genera superficies estriadas (línea blanca). Localizado sobre la vía que conduce a la Punta, aproximadamente a 4 km de la carretera principal al municipio de Dagua Calima.

#### **7.4.4. Falla Cisneros**

Barrero (1979; citado por Montoya, D., 2002), esta falla hace parte del sistema de fallas inversas que afectan la Cordillera Occidental y pone en contacto a las rocas metamórficas de protolito ígneo con rocas metamórficas de protolito ígneo al sur de la vereda Río Bravo.

#### **7.4.5. Falla Restrepo**

Sistema de fallas orientadas N34W/42NE y definidas por indicadores cinemáticos como estrías y escalones de falla, como falla de rumbo dextral. Esta falla se cartografía a partir del modelo de elevación digital DEM, imagen de Google earth e imagen planetscope. Este sistema atraviesa el perímetro urbano del municipio de Restrepo y sigue hacia el NW del área rural en la vereda río Bravo.

#### **7.4.6. Lineamientos orientados NW**

Lineamientos fotogeológicos orientados NW, ubicado en el costado oriental del perímetro municipal de Restrepo, Valle del Cauca y se correlaciona con el sistema de fallas de Restrepo. En cantera ubicada en la vía Restrepo – vereda Potrerillo, se determina que el sistema de fallas NW, corta un sistema de fallas NE relacionado con la falla Calima.

#### **7.4.7. Pizarrosidad, esquistosidad, foliación y clivaje de fractura**

Las unidades rocosas cartografiadas al N del municipio de Restrepo presentan metamorfismo dinámico, representados por discontinuidades estructurales como pizarrosidad, esquistosidad y clivaje de fractura, según su cercanía al núcleo de la falla y orientados NNE a NE, sub paralelas a las estructuras regionales.

## 7.5. Subunidades geomorfológicas

De acuerdo con (Carvajal J. H., 2012) la geomorfología registra la información de las formas del terreno, los materiales que las conforman y los procesos superficiales que las modifican.

Siguiendo a (Carvajal J. H., 2012) la caracterización geomorfológica abarca de mayor a menor escala:

- a) la **geomorfoestructura** (los escudos, los bloques de origen continental, grandes cuencas de sedimentación e intracratónicas, plataformas y cinturones orogénicos) que aplica para escala de trabajo menores a 1:2.500.000.
- b) las **provincias geomorfológicas** o conjunto de regiones con geoformas parecidas, definidas por un macrorelieve y el mismo origen geológico (regiones naturales y terrenos geológicos de Colombia delimitados por megafracturas y suturas definidas o inferidas, para escalas 1:1.000.000 y 1:500.000.
- c) la **región geomorfológica** alude las condiciones físicas, químicas, bióticas y climáticas que originaron las geoformas y aplica para escalas 1:250.000 a 1:500.000.
- d) las **unidades geomorfológicas** son la unidad básica de cartografía geomorfológica y se define como una geoforma individual genéticamente homogénea, generada por erosión o acumulación en un ambiente morfogenético determinado y se emplea en análisis de escala 1:50.000 a 1:100.000.
- e) las **subunidades geomorfológicas** determinan los contrastes morfológicos y morfométricos, relacionando los materiales geológicos y su disposición estructural respecto a la topografía del terreno. La escala de trabajo comprende 1:10.000 a

1:25.000. La nomenclatura se define por su posición o por el proceso geomorfológico dominante en la unidad.

- f) el **componente o elemento geomorfológico** presenta el máximo nivel de detalle de la subdivisión y abarca escales mayores a 1:10.000. describe los rasgos del relieve como: escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas y formas de valle.

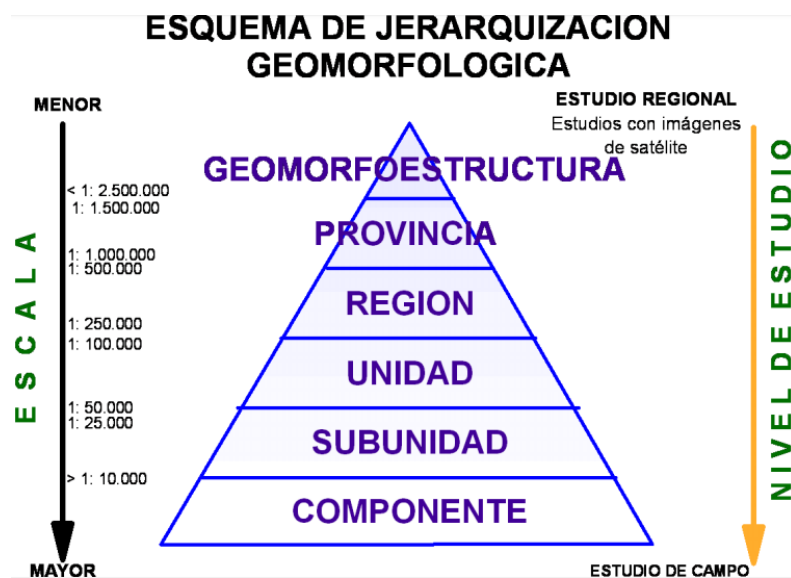


Figura 24. Esquema de jerarquización geomorfológica. Fuente: S.G.C, 2012.

La evaluación de la amenaza por movimientos en masa en la zona rural del municipio de Restrepo, abarca las subunidades geomorfológicas y se realiza a escala 1:25.000.

El mapa generado del área rural del municipio de Restrepo, es un mapa geomorfológico pragmático, enfocado en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, con fines de planificación territorial.

El mapa de subunidades geomorfológicas del municipio de Restrepo, Valle del Cauca, presenta la información sobre las formas del terreno, los materiales que las conforman y los procesos superficiales que las afectan, características importantes para la planificación y el

ordenamiento territorial, debido a que muestra los cambios del territorio, resultado de procesos internos y externos del territorio.

La configuración geomorfológica de la parte norte del municipio se caracteriza porque la mayoría de las subunidades cartografiadas son de origen estructural, marcando la influencia de los sistemas de fallas que la atraviesan. El relieve es montañoso, con pendientes moderadamente inclinadas a escarpadas, con patrones de drenaje subdendrítico a subangular, de alta pendiente, moderada a alta incisión y moderada densidad. Predominan los movimientos en masa tipo flujo de detritos y se observan subunidades asociadas a avenidas torrenciales, tales como conos y lóbulos de flujo indiferenciado, conos de deyección y llanuras aluviales torrenciales.

Hacia el sur, las subunidades tienen origen predominantemente denudativo, con alguna influencia tectónica, generando relieves moderados a ligeramente inclinados, drenaje con patrones dendríticos a sub dendríticos de moderada a baja incisión y alta densidad. En este sector del municipio los procesos de erosión profunda se concentran en la vereda el Aguacate y los movimientos en masa sobre la vía hacia Loboguerrero, en las veredas la Guaira, Zabaletas y bajo Zabaletas.

El mapa de subunidades geomorfológicas del municipio, se presenta en la Figura 25 y se conforma por unidades de origen estructural (cimas estructurales, espolones, lomos y laderas de pendiente y contrapendiente estructural), origen denudacional (colinas, lomas, lomos, escarpes y cimas residuales), origen aluvial (llanuras aluviales, llanuras torrenciales, conos de deyección y cauces actuales), de origen volcánico (domo) y de origen antrópico (superficie de explanación), donde se emplaza el perímetro urbano del municipio de Restrepo, Valle del Cauca.



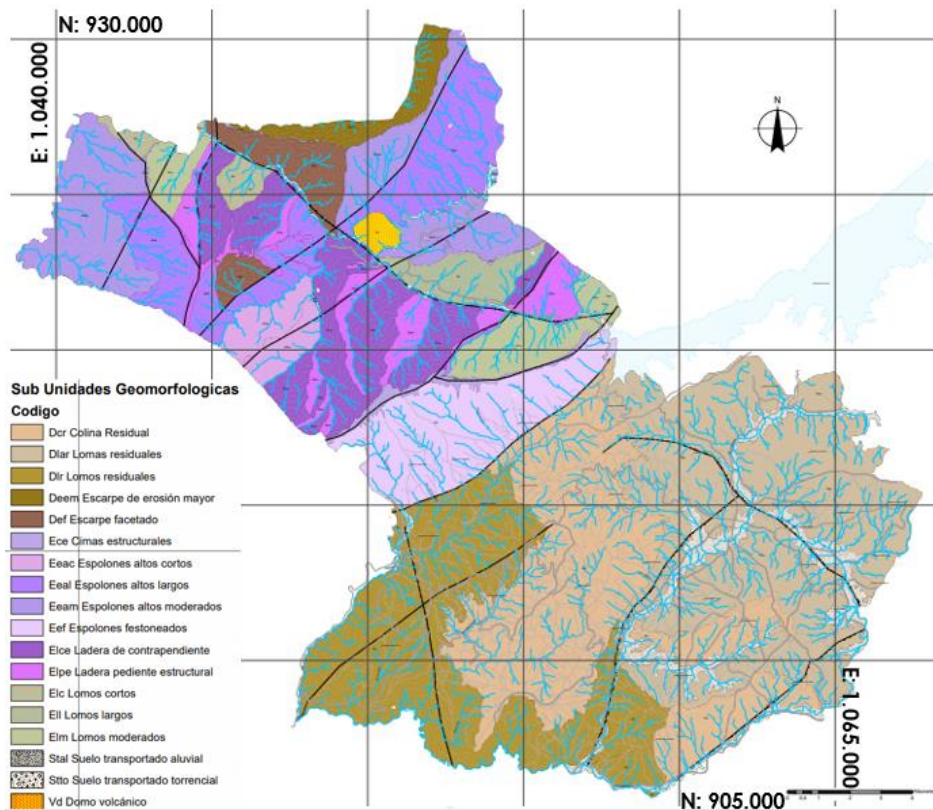


Figura 25. Mapa de subunidades geomorfológicas del municipio de Restrepo, Valle del Cauca.

Fuente: Elaboración Propia

### 7.5.1. Geoformas de origen denudacional D

Las geoformas de origen denudacional del municipio de Restrepo, incluyen las geoformas definidas por procesos de meteorización (suelos residuales) y denudación, así como las que se producen a partir de la acumulación de los sedimentos generados en dichos procesos.



✓ **Planicie colinada denudada (Dpcd)**

Superficie erosiva suavemente ondulada de paisaje colinado (Figura 26), pendientes casi planas a inclinadas (2 a 8°), con laderas cortas a moderadas de forma recta a cóncava, predomina el patrón de drenaje dendrítico de moderada densidad e incisión.

Se originan a partir de la erosión intensa que afecta a macizos rocosos intensamente meteorizados. Abarcan la zona oriental del municipio y sobre esta se configura el perímetro urbano de Restrepo. Los procesos de denudación corresponden a erosión hídrica concentrada en surcos y cárcavas, generando pequeños flujos de detritos sobre los pequeños escarpes que genera la corriente de agua.



**Figura 26. Vista al N. Planicie colinada denudada donde se emplaza el perímetro urbano de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración Propia**

✓ **Colinas residuales (Dcr)**

Geofoma de cimas subredondeadas, amplias de laderas moderadamente largas, convexas a rectas con pendientes moderadamente abruptas a abruptas. Los drenajes configuran un patrón subdendrítico, de moderada incisión y densidad (Figura 27). Configuran el relieve de

las veredas Calimita, Playa Rica, Román, San Pablo, La Palma, Río Grande, el Aguacate y Tres Puertas.

En los sectores en los cuales no hay cobertura vegetal arbórea, los materiales residuales tienen una marcada disposición a desarrollar procesos de erosión hídrica superficial y concentrada, como ocurre en la vereda El Aguacate (Figura 28). Los movimientos en masa son escasos y predominan los deslizamientos planares.



**Figura 27. Vista al N, hacia el sector de Santa Lucía. Colinas residuales en rocas ígneas tipo basalto. Fuente: Elaboración propia**



**Figura 28. Vista al E. Colinas residuales que configuran los terrenos de la vereda el Aguacate, afectados por erosión profunda en surcos y cárcavas. Fuente: Elaboración propia.**

✓ **Lomas residuales (Dlres)**

Las lomas residuales son protuberancias en el terreno con elevaciones menores a 250 m, desde su nivel de base, con forma alomada y alargada de laderas cortas, con formas cóncavas en las cimas y convexas hacia la red de drenaje. El patrón de drenaje es subdendrítico a subparalelo de moderada incisión y densidad, donde las corrientes de drenaje principales son meandriformes de moderada a baja pendiente.

Las pendientes varían entre moderadamente inclinadas a inclinadas generalmente sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa (Figura 29 y Figura 30). Presentan drenaje denso subdendrítico y subparalelo. Configuran los terrenos derivados de la meteorización intensa de rocas ígneas volcánicas tipo basalto, controladas por varios sistemas de discontinuidades estructurales como fallas y diaclasamiento.

Estas geoformas se localizan en las veredas el Aguacate, Buenvivir, Tres Puertas, el Agrado, la Soledad, Santa Rosa, el Diamante, el Alto del Oso, Agua Linda, la Italia, Agua Mona y Madroñal y se configuran sobre suelos residuales de rocas ígneas tipo basalto.





**Figura 29. Vista hacia el SE. Lomas residuales en inmediaciones al sector Las Margaritas, perímetro urbano de Restrepo. Fuente: Elaboración propia.**



**Figura 30. Vista hacia el N, hacia la vereda Agua Linda que se configura sobre lomas residuales, en suelos residuales de basaltos. Fuente: Elaboración propia**

✓ **Lomos residuales (Dlim)**

Se localizan en las veredas la Guaira, Bajo Zabaletas, el Silencio, río Grande en rocas ígneas tipo basalto. Se presentan como sistemas o conjuntos de lomos alargados en dirección perpendicular al drenaje principal; con pendientes que varían entre inclinadas a moderadamente abruptas ( $16^{\circ}$  -  $35^{\circ}$ ).

La red de drenaje configura un patrón subparalelo, de moderada incisión y densidad, sobre rocas ígneas moderadamente duras tipo basalto (Figura 31). Se observan cicatrices de antiguos flujos de detritos y deslizamientos planares, en los sectores donde la cobertura vegetal predominante son los pastos y arbustos medianos. Los procesos de degradación del terreno en esta geoforma, consisten en procesos de erosión profunda tipo cárcavas y movimientos en masa tipo deslizamiento planar.



**Figura 31. Vista al W. Lomos inclinados a moderadamente abruptos, localizados en la vereda Román, sobre rocas ígneas tipo basalto. Fuente: Elaboración propia.**

#### ✓ **Escarpe de Erosión Mayor (Deem)**

En el área de estudio se encuentra esta geoforma configurando la margen izquierda del río Azul, en el límite norte del municipio, sobre rocas metamórficas de protolito sedimentario, pizarras, filitas y milonitas. Esta geoforma se presenta como una ladera abrupta o a desplome, de altura variable que puede formarse por distintas causas: tectónicas por la abrasión, por procesos gravitacionales, de longitud larga hacia la cabecera de los drenajes a corta hacia su desembocadura, de forma cóncava, convexa y recta, con pendiente escarpada a muy escarpada Figura 32.



**Figura 32. Escarpe de erosión mayor, localizado en la margen izquierda del río Azul, al norte del municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth**

#### ✓ Escarpe Faceteado (Def)

Geoforma que se ubica en la vereda río Bravo, en la vertiente izquierda de la quebrada Agua Clara y en la margen derecha del río Calima, al N del municipio, sobre rocas metamórfica de protolito sedimentario.

Esta geoforma se presenta como una superficie triangular o trapezoidal, de base amplia y tope angosto, con laderas de morfología alomada, cóncava de longitud corta a moderadamente larga y pendientes escarpadas a muy escarpadas. El patrón de drenaje es subdendrítico de moderada a alta densidad y moderada incisión y son tributarios al río Calima.



**Figura 33. Escarpe facetado, localizado en la margen derecha del río Calima, al norte del municipio. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth**

✓ **Cono y lóbulo coluvial (Dclc)**

Con forma de lóbulo alomado bajo, los depósitos coluviales se originan de la acumulación de sedimentos provenientes de procesos de erosión y movimientos en masa y se conforman de fragmentos heterogéneos (bloques y gravas) de rocas ígneas tipo basalto y rocas de metamorfismo dinámico, envueltos en matrices limo arcillosas.

Estas geoformas desarrollan patrones de drenaje subparalelo de baja incisión y moderada densidad y se encuentran en la vía que conduce de Restrepo hacia la vereda San Salvador.





**Figura 34. Vista al SSW. Lóbulo coluvial ubicado sobre la vía que conduce de Restrepo a la vereda San Salvador. Fuente: Elaboración propia**

✓ **Cono y lóbulo de deslizamientos (Dcld)**

Generados por procesos de movimientos en masa tipo deslizamiento, formando conos y lóbulos de tierra o fragmentos roca de morfología baja, pendientes irregulares y/o escalonados, formación de grietas y cambio súbito de pendiente.

La cartografía geomorfológica muestra los movimientos en masa mayores a 50 m de longitud, cartografiables a la escala de trabajo. Los procesos de mayor magnitud y frecuencia de ocurrencia, se localizan en el tramo de la vía doble calzada Media Canoa – Loboguerrero y fueron detonados por los cortes de alta pendiente, sobre laderas residuales y rocas muy fracturadas y meteorizadas blandas.

✓ **Cono y lóbulo indiferenciado (Ddi)**

Generados por procesos de movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos de detritos, formando conos y lóbulos de tierra o fragmentos roca de morfología baja. Sus principales

características morfológicas son pendientes irregulares, pendientes escalonados, formación de grietas y cambio súbito de pendiente.

Estas geoformas se cartografían a partir de la interpretación de imágenes de satélite, donde se observan los rasgos geomorfológicos característicos de los procesos de erosión profunda y los movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos. Dentro del mapa se representan los movimientos en masa mayores a 50 m de longitud y que ameritan ser identificados en la susceptibilidad del terreno a la ocurrencia de estos procesos.

### **7.5.2. Geoformas de origen estructural E**

El ambiente estructural corresponde a las zonas comprendidas entre los bloques tectónicos de rocas ígneas y de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario e ígneo, que han perdido su forma original.

La estructura de deformación impuesto por las fallas, favorecen una disección característica de los bloques levantados y plegados. El desarrollo de la foliación y el clivaje en las rocas de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario, favorece la aparición de geoformas de cimas homoclinales y lomos estructurales; mientras que en las rocas metamórficas de protolito ígneo, se generan lomos con pendientes similares y patrones de drenaje en función de los sistemas de foliación, clivajes, diaclasas y fallas geológicas.

#### **✓ Cima estructural (Ece)**

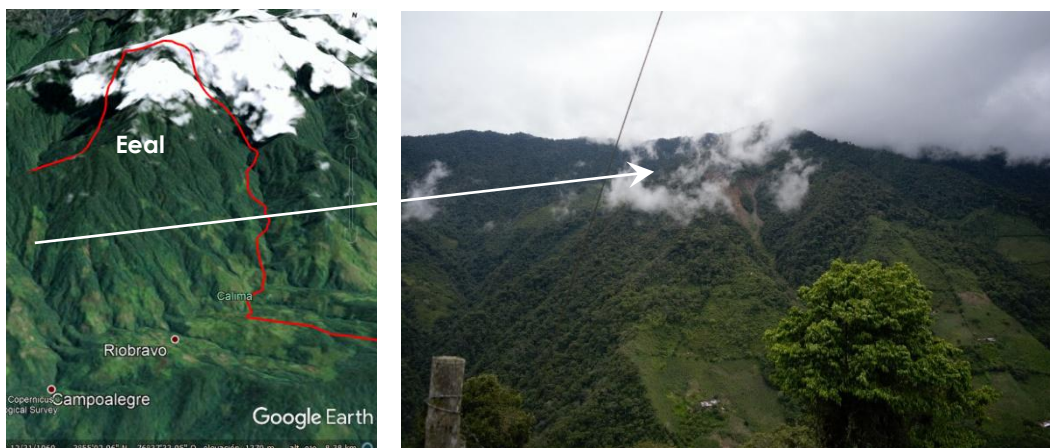
Corresponde a la parte alta de las sierras homoclinales, afectadas por la inclinación y fallamiento en rocas de metamorfismo dinámico de protolito ígneo y sedimentario. La pendiente de esta geoforma oscila entre plano a inclinado. Se cartografían estas geoformas en la vereda Calima – río Bravo, en la parte N del municipio de Restrepo. Estas unidades se cartografiaron en el corregimiento de río Bravo (Figura 35) y en la vereda Munchique o Chocó, en la vereda río Bravo.



**Figura 35.** Cima estructural ubicada en el corregimiento de río Bravo, en la vereda del mismo nombre. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth

✓ **Espolones altos largos (Eeal)**

Los espolones altos largos son geofomas salientes de morfología montañosa y se orientan (NWW) perpendicularmente a la tendencia estructural regional y se configuran en rocas de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario. La longitud de los espolones largos oscila entre 2 y 2,5 km y comprende las cotas 700 a 1300 m.s.n.m.



**Figura 36.** Vista hacia el NW. Espolones altos largos en la vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia, a partir de imágenes de Google Earth

✓ **Espolones altos moderados (Eeam)**

La geofoma se localiza en la vertiente derecha del río Bravo sobre rocas metamórficas blandas de origen sedimentario, constituida por pizarras, filitas y milonitas. Posee una morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región y limitado por drenajes paralelos a subparalelos, laderas de longitud variable, con pendientes reducidas por intensos procesos denudativos.

✓ **Espolones altos cortos (Eeac)**

Se localizan en la vertiente izquierda de la quebrada la Cristalina y la derecha de la quebrada Agua Clara, en la vereda río Bravo y son geofomas de morfología montañosa, orientados (NW) perpendicularmente a la tendencia estructural regional; se configuran en rocas blandas de metamorfismo dinámico de protolito sedimentario.

La longitud de los espolones cortos no supera el kilómetro y su patrón de drenaje configura redes subangulares a subdendríticas de baja densidad y moderada incisión.

✓ **Espolones festoneados (Eef)**

Laderas festoneadas de longitudes moderadas con pendientes abruptas a inclinadas. Están conformados por la alternancia de niveles duros y blandos de materiales sedimentarios con metamorfismo dinámico (pizarras, filitas, milonitas) que se encuentran moderadamente disectados. En la zona de estudio se presentan en la vereda la Belmira, la Albania y alto Zabaletas.



### ✓ **Ladera de pendiente estructural (Elpe)**

Ladera definida por la inclinación de la foliación en favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga de formas rectas a convexas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Se encuentran asociadas con rocas metamórficas de origen sedimentario tipo pizarras, filitas y milonitas.

La disposición estructural de las laderas estructurales presenta una orientación de rumbo N-NE buzando hacia el SE, con inclinaciones moderadas a muy abruptas. Es común la presencia de movimientos en masa tipo flujo de detritos.



**Figura 37. Vista hacia el S. Laderas de pendiente estructural en la vereda río Bravo, vertiente derecha del río Calima.**

### ✓ **Ladera de contrapendiente estructural (Elce)**

Ladera de contrapendiente generalmente denudada por eventos de fallamiento inverso, la cual se encuentra definida por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente. Presentan longitud moderada a larga, de formas cóncava, escalonada a irregular, con

pendientes abruptas a escarpadas. En la zona de estudio se configura en rocas metamórficas de origen sedimentario.

Se ubican hacia el norte del municipio en la vereda río Bravo. La red de drenaje configura patrones subdendríticos a subangulares de moderada densidad y moderada a alta incisión.

✓ **Lomos cortos (Elc)**

Geoforma localizada en la vereda río Bravo, se encuentra sobre rocas metamórficas de origen ígneo y sedimentario. Estos son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor a 250 m y formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal.

✓ **Lomos moderados (Elm)**

Localizados en la vereda río Bravo, se encuentra sobre rocas metamórficas de origen ígneo y sedimentario. Estos son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas y formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal Figura 38



**Figura 38. Vista hacia el NNW. Lomos moderados margen izquierda de la quebrada la Guayacana, en la vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia**

✓ **Lomos largos (EII)**

Geoforma localizada en la vereda río Bravo, se encuentra sobre rocas metamórficas de origen ígneo y sedimentario. Estos son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con longitudes de 2 km aproximadamente y formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal.

**7.5.3. Geoformas de origen aluvial**

Estas morfologías se derivan de la actividad de erosión y sedimentación de las corrientes principales del municipio de Restrepo y se conforman por sus cauces actuales y sus llanuras de inundación.

✓ **Cauce o lecho actual del río (Fcar)**

Canal de forma irregular excavado por corrientes permanentes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Además, comprende cauces intramontanos con valles estrechos en forma de V, ocasionalmente con un control estructural. En zonas semiplanas a planas los cauces son de tipo meandriforme como producto del cambio súbito de la dirección del flujo.

Los principales cauces del municipio, en la zona norte fluyen en dirección SE-NW, se distingue la cuenca del río Calima y sus tributarios en sentido NE - NW. En la zona S, los drenajes principales como la quebrada Agua Mona, que confluye en sentido NE – SW, hasta su confluencia en el río Grande.



**Figura 39. Vista hacia el S del cauce actual del río Calima, vía Restrepo, sector la Punta, vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia.**

✓ **Planicie o llanura de inundación aluvial (Fpia)**

Geoforma plana, de morfología baja y ondulada eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales de baja pendiente. Se incluyen los planos fluviales menores en formas de “U” o “V”. En regiones montañosas donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar un cauce principal meandriforme; se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas que presentan una red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad. Se conforman por intercalaciones de materiales arenas y arcillas depositadas por cauces de baja pendiente de la quebrada Agua Mona y el río Mozanbique.



✓ **Planicie o llanura de inundación torrencial (Fpit)**

Geoforma plana, de morfología baja y ondulada eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales. Se incluyen los planos fluviales menores en formas de "V" y conos coluviales torrenciales menores, localizados en los flancos de los valles intramontanos. Se configuran por materiales granulares tamaño gravas y bloques clastosoportados, producto de la acumulación de material torrencial de quebradas de alta pendiente, en la parte norte del municipio en la vereda río Bravo Figura 40



**Figura 40. Vista hacia el S de la planicie o llanura de inundación torrencial sobre el cauce del río Calima, vía Restrepo – vereda río Bravo. Fuente: Elaboración propia.**

#### **7.5.4. Geoformas de origen antrópico**

Geoformas cuyo origen está relacionado con la actividad constructiva del municipio de Restrepo, Valle del Cauca, que modifica la morfología a manera de cortes y rellenos para urbanización.

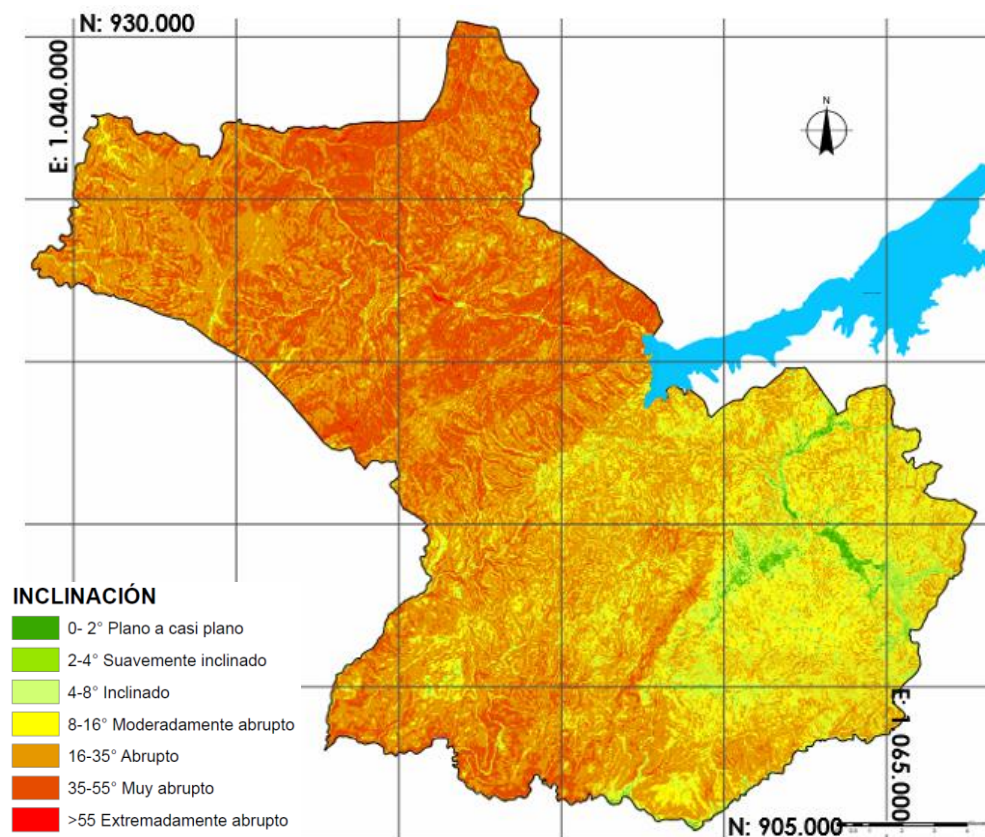
## ✓ Superficie de explanación (Asp)

Geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, con el objetivo de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías, que modifica la morfología natural del terreno.

## 7.6. Morfometría

### 7.6.1. Pendiente del terreno

La pendiente de un terreno se expresa en grados de 0 a 90 y es el ángulo entre la superficie del terreno y la horizontal. El mapa de pendientes representa la influencia de la inclinación de la ladera y su relación con la ocurrencia de movimientos en masa, siendo el principal factor geométrico en el análisis de la susceptibilidad y la amenaza. En la Figura 41 se muestra el mapa de pendientes del municipio de Restrepo, Valle del Cauca el cual se obtuvo por medio del geo procesamiento del modelo de elevación digital con tamaño de pixel 2.5, clasificado de acuerdo a los lineamientos establecidos en la Guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano.



**Figura 41. Mapa de pendientes del municipio de Restrepo, Valle del Cauca. Fuente: Elaboración Propia, a partir del DEM.**

### 7.6.2. Curvatura

El mapa de curvatura determina el grado de concavidad/convexidad del terreno. El análisis propuesto por el SGC, sugiere el uso de la curvatura del plano o curvatura perpendicular a la dirección de la máxima pendiente; relacionándose con los movimientos en masa ya que indica el grado de concentración o dispersión del drenaje superficial. En las zonas cóncavas el flujo se concentra hacia la celda mientras que se dispersa en las convexas. En la figura 42 se observa el mapa de curvatura obtenido mediante el geo procesamiento del mapa de pendientes anteriormente establecido.

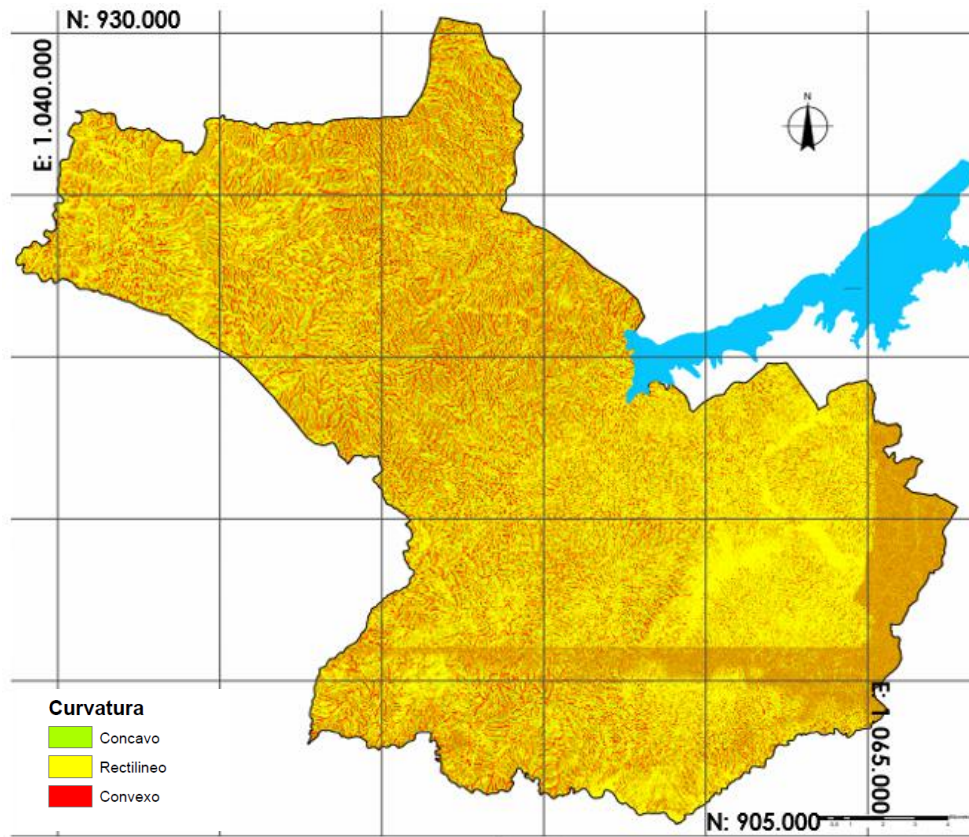


Figura 42. Mapa de curvatura del municipio de Restrepo, Valle del Cauca.



## 8. ANÁLISIS DE LA SUCEPTIBILIDAD

De acuerdo con el SGC (2017) el análisis de susceptibilidad por movimientos en masa puede considerarse el primer paso para la zonificación de la amenaza y la evaluación del riesgo. La susceptibilidad contiene información sobre los tipos de movimientos en masa, áreas más probables para su ocurrencia e incluso áreas posiblemente afectadas.

El SGC (2017) sugiere que existen diferentes métodos para el análisis de la susceptibilidad por movimientos en masa, esto depende de aspectos como los tipos de movimientos en masa, el área de estudio, la información disponible, la escala de análisis, y el conocimiento de los expertos que ejecutan el análisis.

### 8.1. Zonificación de la susceptibilidad a movimientos en masa

Para el caso concreto del municipio de Restrepo- Valle de Cauca, el análisis de la susceptibilidad se realizó a partir de una combinación entre mapeo directo de las geoformas indicativas de inestabilidad y el análisis estadístico de los factores condicionantes. Para ello se realizó el inventario de procesos morfodinámicos, la determinación de las unidades geológicas superficiales, sub unidades geomorfológicas y el uso y cobertura del suelo, generando así la variable con la cual se aplica el método estadístico, de acuerdo con los lineamientos descritos en la guía metodológica.

Además, se elaboró una curva de éxito para validar el ajuste de los resultados y obtener así las categorías finales de susceptibilidad. Para los movimientos en masa tipo flujos, estos fueron integrados a las subunidades geomorfológicas realizando el respectivo análisis.

**Tabla 3. Métodos de análisis para cada tipo de movimientos en masa, presentes en el área de estudio.**

<b>Tipo</b>	<b>Método</b>	<b>Zona de análisis</b>
<b>Deslizamientos</b>	Estadístico- Bivariado (Pesos de evidencia- WofE)	Zonas de Inicio y Depósito
<b>Flujos</b>	Criterios geológicos y geomorfológicos	Zonas de Depósito

**Fuente: (SGC, 2017).**

### **8.1.1. Factores Condicionantes**

#### **✓ Inventario de procesos morfodinámicos**

El insumo base para el análisis de la susceptibilidad, a partir de los procesos georreferenciados existe la capacidad para determinar el área afectada, este inventario se realizó como una recopilación de los eventos activos evidenciados tanto en campo, como con fotografías satelitales y se cartografiaron de acuerdo a los lineamientos de la guía metodológica para movimientos en masa del servicio geológico colombiano

El insumo base para el análisis de la susceptibilidad, a partir de los procesos georreferenciados existe la capacidad para determinar el área afectada, este inventario se realizó como una recopilación de los eventos activos evidenciados tanto en campo, como con fotografías satelitales y se cartografiaron de acuerdo a los lineamientos de la guía metodológica para movimientos en masa del servicio geológico colombiano

#### **✓ Pendiente**

Representa la influencia de la inclinación de la ladera. En términos de movimientos en masa y para una zona con el mismo material, hay mayor susceptibilidad a mayor pendiente del terreno.

La Tabla 4 y Tabla 5 contienen la información de procesamiento estadístico de los datos del factor pendiente

**Tabla 4. Proceso estadístico para la determinación del factor condicionante**

Categoría	Mov	% Mov	Clase	% Clase
0° - 2°	102502	35,9610716	25433816	48,4392125
2° - 4°	22999	8,06880534	11439372	21,7865133
4° - 8°	113290	39,7458567	9915504	18,8842762
8° - 16°	34089	11,959542	3383518	6,44397787
16° - 35°	8147	2,85823545	1202897	2,29094145
35° - 55°	3998	1,40262984	1053499	2,00640997
> 55°	11	0,00385916	78061	0,14866874
<b>Total</b>	<b>285036</b>	<b>100</b>	<b>52506667</b>	<b>100</b>

**Fuente: Elaboración propia**

Dónde:

**Categoría** se presentan las categorías de pendiente en grados.

**Mov** se presenta el número de píxeles con deslizamientos que corresponden a cada clase del factor pendiente.

**% Mov** se presenta el porcentaje de deslizamientos correspondiente a cada clase del factor pendiente.

**Clase** se presenta el número de píxeles correspondiente a cada clase del factor pendiente.

**%Clase** se presenta el porcentaje de cada clase del factor pendiente.

**Tabla 5. Pesos finales para la variable pendiente aplicando el método WofE.**

Categoría	Npix1	Npix2	Npix3	Npix4	Wi+	Wi-	Wf
0° - 2°	102502	182534	25331314	26890317	-0,29927772	0,21805151	-0,51732923
2° - 4°	22999	262037	11416373	40805258	-0,99671651	0,16255608	-1,15927259
4° - 8°	113290	171746	9802214	42419417	0,75022393	-0,29870826	1,04893219
8° - 16°	34089	250947	3349429	48872202	0,62306618	-0,0610857	0,68415188
16° - 35°	8147	276889	1194750	51026881	0,22259411	-0,00585456	0,22844867
35° - 55°	3998	281038	1049501	51172130	-0,35963927	0,00617615	-0,36581542
> 55°	11	285025	78050	52143581	-3,65657307	0,00145712	-3,65803018

**Fuente: Elaboración propia.**

**Npix1** representa el número de pixeles con deslizamientos que corresponden a cada clase del factor pendiente.

**Npix2** representa el Total Mov – Npix1

**Npix3** representa la Clase – Npix1

**Npix4** representa el Total Clase – Npix3

**W<sub>i</sub><sup>+</sup>** se presenta los valores para el peso positivo aplicando WofE.

**W<sub>i</sub><sup>-</sup>** se presenta los valores para el peso negativo aplicando WofE.

**W<sub>f</sub>** se presenta el peso final o contraste.



## ✓ Curvatura

Representa las características de forma del terreno diferenciado las laderas cóncavas, convexas y superficies rectilíneas. La Tabla 6 y Tabla 7 contienen la información de procesamiento estadístico de los datos de este factor condicionante.

**Tabla 6. Procesamiento estadístico para el factor condicionante curvatura.**

Categoría	Mov	% Mov	Clase	% Clase
Cóncavo	128449	45,0641322	23332917	44,4380082
Rectilíneo	36946	12,9618715	7332610	13,9651028
Convexo	119641	41,9739963	21841140	41,596889
<b>Total</b>	<b>285036</b>	<b>100</b>	<b>52506667</b>	<b>100</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 7. Pesos finales para la variable curvatura aplicando el método WofE.**

Categoría	Npix1	Npix2	Npix3	Npix4	Wi+	Wi-	Wf
Cóncavo	128449	156587	23204468	29017163	0,0140684	-0,01139441	0,02546281
Rectilíneo	36946	248090	7295664	44925967	-0,0749415	0,01165693	-0,08659844
Convexo	119641	165395	21721499	30500132	0,00907439	-0,00651315	0,01558754

**Fuente: Elaboración propia.**

## ✓ Unidades geológicas superficiales (UGS)

Representa el origen del material presente en el talud, su grado de meteorización, consolidación y la resistencia al corte de los mismos. Las tablas

Tabla 8 y Tabla 9 contienen la información de procesamiento estadístico de los datos de este factor condicionante.

**Tabla 8. Procesamiento estadístico para el factor condicionante unidades geológicas superficiales.**

Categoría	Mov	% Mov	Clase	% Clase
Rbm	0	0	20262602	38,5905318
Rmm	0	0	3745698	7,13375694
Sbr	36333	12,74681093	15826914	30,142675
Rmb	178079	62,47596795	7289088	13,8822142
Rgb	32652	11,45539511	2911409	5,54483681
Stan	0	0	51819	0,09869032
Stco	0	0	299270	0,56996572
Stal	37972	13,32182601	2119867	4,0373292
<b>Total</b>	<b>285036</b>	<b>100</b>	<b>52506667</b>	<b>100</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla 9. Pesos finales para la variable unidades geológicas superficiales aplicando el método WofE.**

Categoría	Npix1	Npix2	Npix3	Npix4	Wi+	Wi-	Wf
Rbm	0	285036	20262602	31959029	0	0,49104206	-0,49104206
Rmm	0	285036	3745698	48475933	0	0,07442935	-0,07442935
Sbr	36333	248703	15790581	36431050	-0,8638059	0,22371929	-1,08752518
Rmb	178079	106957	7111009	45110622	1,52346443	-0,83380955	2,35727398
Rgb	32652	252384	2878757	49342874	0,73142881	-0,06496031	0,79638913
Stan	0	285036	51819	52169812	0	0,00099278	-0,00099278

Stco	0	285036	299270	51922361	0	0,00574725	-0,00574725
Stal	37972	247064	2081895	50139736	1,20645182	-0,10228511	1,30873692

Fuente: Elaboración propia.

### ✓ Subunidades geomorfológicas

Representa la influencia de las formas del terreno y su proceso de formación, siendo más susceptibles aquellas laderas en estado denudativo o formadas a partir de movimientos en masa antiguos. La Tabla 10 y la Tabla 11 contienen la información de procesamiento estadístico de los datos de este factor condicionante.

Tabla 10. Procesamiento estadístico para el factor condicionante geomorfología.

Categoría	Mov	% Mov	Clase	% Clase
Eeal	0	0	3949455	7,56288063
Eeam	0	0	4031597	7,72017578
Elc	0	0	441853	0,84611206
Eeac	0	0	1036967	1,98570629
Elpe	0	0	1944103	3,72279692
Elce	0	0	3816819	7,30889362
Elm	0	0	1663594	3,18564532
Ece	0	0	118104	0,22615942
Eli	0	0	871145	1,66817083
Eef	0	0	3525953	6,75190922
Fpia	38137	13,3797134	2186024	4,18605569
Fpit	0	0	349367	0,66900899
Dcr	50846	17,8384485	8542937	16,3590198

Dlr	134953	47,3459493	7525248	14,4102293
Dlar	61100	21,4358888	9970101	19,0919212
Def	0	0	1241634	2,37762672
Vd	0	0	210349	0,40280099
Deem	0	0	796320	1,52488713

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Pesos finales para la variable geomorfología aplicando el método WofE.

Categoría	Npix1	Npix2	Npix3	Npix4	Wi+	Wi-	Wf
Eeal	0	285036	3949455	47987079	0	0,07909069	-0,07909069
Eeam	0	285036	4031597	47904937	0	0,08080391	-0,08080391
Elc	0	285036	441853	51494681	0	0,00854395	-0,00854395
Eeac	0	285036	1036967	50899567	0	0,02016806	-0,02016806
Elpe	0	285036	1944103	49992431	0	0,03815086	-0,03815086
Elce	0	285036	3816819	48119715	0	0,0763305	-0,0763305
Elm	0	285036	1663594	50272940	0	0,03255551	-0,03255551
Ece	0	285036	118104	51818430	0	0,0022766	-0,0022766
Eli	0	285036	871145	51065389	0	0,01691552	-0,01691552
Eef	0	285036	3525953	48410581	0	0,07030407	-0,07030407
Fpia	38137	246899	2147887	49788647	1,17410736	-0,10140065	1,27550801
Fpit	0	285036	349367	51587167	0	0,00674953	-0,00674953
Dcr	50846	234190	8492091	43444443	0,08707318	-0,01794321	0,10501639
Dlr	134953	150083	7390295	44546239	1,2021659	-0,48793227	1,69009817
Dlar	61100	223936	9909001	42027533	0,11647532	-0,02955767	0,14603298

Def	0	285036	1241634	50694900	0	0,02419716	-0,02419716
Vd	0	285036	210349	51726185	0	0,00405834	-0,00405834
Deem	0	285036	796320	51140214	0	0,01545132	-0,01545132

Fuente: Elaboración propia.

### ✓ Cobertura y uso del suelo

Representa la contribución de la vegetación en la estabilidad, siendo menos susceptibles a movimientos en masa aquellas laderas con mayor cobertura vegetal y mayor susceptibilidad aquellas que están intervenidas y expuestas a la intemperie. La Tabla 12 y Tabla 13 contienen la información de procesamiento estadístico de los datos de este factor condicionante.

Tabla 12. Procesamiento estadístico para el factor condicionante uso del suelo.

Categoría	Mov	% Mov	Clase	% Clase
BNDALT	7231	2,53656107	22228780	42,3299637
ABDALT	18613	6,52925061	4631127	8,81899223
ASD	81210	28,4876399	274533	0,52278946
PCU	177922	62,4132234	18142904	34,5492856
EUC	0	0	2095065	3,98960381
CF-OAR	0	0	2060142	3,92310042
ESAR	0	0	11178	0,02128611
BG	95	0,03332503	205916	0,39212304
OICC	0	0	202938	0,38645208
PIN	0	0	74655	0,1421645



OCAS	0	0	4175	0,0079504
PINA	0	0	127814	0,24339446
ZUC	0	0	103758	0,19758495
HO	0	0	82849	0,15776823
BNFPNC	0	0	2125888	4,04829964
BNAALT	0	0	2080	0,00396092
EMB	0	0	139307	0,26528043
Total	285071	100	52513109	100

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Pesos finales para la variable de uso del suelo aplicando el método WofE.

Categoría	Npix1	Npix2	Npix3	Npix4	Wi+	Wi-	Wf
BNDALT	7231	277840	22221549	30006489	-2,81980395	0,52851296	-3,3483169
ABDALT	18613	266458	4612514	47615524	-0,30203158	0,024939	-0,32697057
ASD	81210	203861	193323	52034715	4,34331251	-0,3315915	4,67490401
PCU	177922	107149	17964982	34263056	0,59580204	-0,55696609	1,15276813
EUC	0	285071	2095065	50132973	0	0,04094054	-0,04094054
CF-OAR	0	285071	2060142	50167896	0	0,04024418	-0,04024418
ESAR	0	285071	11178	52216860	0	0,00021405	-0,00021405
BG	95	284976	205821	52022217	-2,47024876	0,00361529	-2,47386406
OICC	0	285071	202938	52025100	0	0,00389318	-0,00389318
PIN	0	285071	74655	52153383	0	0,00143043	-0,00143043
OCAS	0	285071	4175	52223863	0	7,9941E-05	-7,9941E-05

PINA	0	285071	127814	52100224	0	0,00245023	-0,00245023
ZUC	0	285071	103758	52124280	0	0,00198861	-0,00198861
HO	0	285071	82849	52145189	0	0,00158755	-0,00158755
BNFPNC	0	285071	2125888	50102150	0	0,04155556	-0,04155556
BNAALT	0	285071	2080	52225958	0	3,9826E-05	-3,9826E-05
EMB	0	285071	139307	52088731	0	0,00267085	-0,00267085

Fuente: Elaboración propia.

## 8.2. Resultados

Una vez obtenidos los pesos finales para cada clase y variable se realiza una suma algebraica para el cálculo de la susceptibilidad como se describe en la siguiente ecuación:

$$LSI = WfPendiente + WfCurvatura + WfUGS + WfGeomorfologia + Wf Uso y cobertura$$

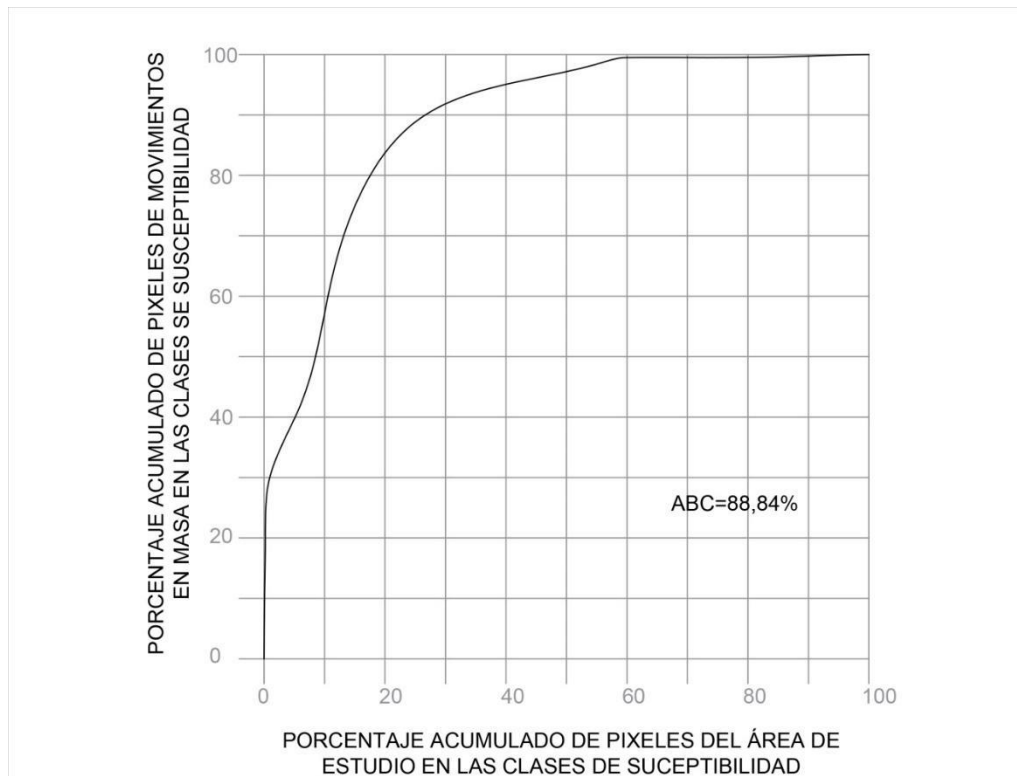
### 8.2.1. Curva de éxito

La curva de éxito mide la bondad de ajuste de la función de susceptibilidad a los movimientos en masa inventariados y para su construcción se deben ordenar los valores de la LSI en orden descendente y dividirlos en percentiles de 100 categorías y su respectiva área acumulada, el porcentaje de área deslizada en cada una de ellas con la muestra usada para el cálculo de la función de susceptibilidad. (Dahal, R. K., y otros, 2008). Esta curva se construyó en términos del área total de la zona de estudio y el área total de los movimientos en masa considerados.

Para la elaboración de la curva de éxito se trazan en el eje X los grupos percentiles del LSI de menor a mayor cada 1%, de forma que a la izquierda se ubique el percentil 1 (susceptible), a la derecha el percentil 100 (no susceptible) y en el eje Y se ubican los

valores porcentuales cada 1% de los movimientos en masa correspondientes con el percentil del LSI (Blahut, J., van Westen, C. J., & Sterlacchini, S, 2010)

El área bajo la curva representa la capacidad de la función para representar la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa, siendo en este caso del 88,84% según el SGC (2017) un porcentaje aceptable de ajuste debe ser superior al 70%, por lo tanto, un área bajo la curva del 88,84% (Figura 43), evidencia una buena calidad de ajuste de los datos, dando confiabilidad a la zonificación de susceptibilidad realizada en este trabajo.



**Figura 43. Curva de éxito. Fuente elaboración propia**

### 8.2.2. Categorización de los resultados de susceptibilidad

Posteriormente a la realización de la curva de éxito y el cálculo del área bajo la curva, es necesario establecer las categorías de susceptibilidad, para esto como lo señala la guía se debe marcar en la ordenada el 74% hasta llegar al punto de intercepción con la curva, en este se debe medir el valor de la abscisa en este punto, este valor es el correspondiente al percentil límite de la susceptibilidad alta; en este trabajo la intercepción en el eje x dio 15,04% correspondiente la representación en rojo.

Para determinar el límite entre susceptibilidad media y baja se hace el mismo procedimiento, pero en la ordenada se marca el 98%; la intercepción de este valor con la curva, marcó en la abscisa 53,47% y corresponde la representación en color amarillo para susceptibilidad media. El resto de la curva representa la susceptibilidad baja y se representa en verde.

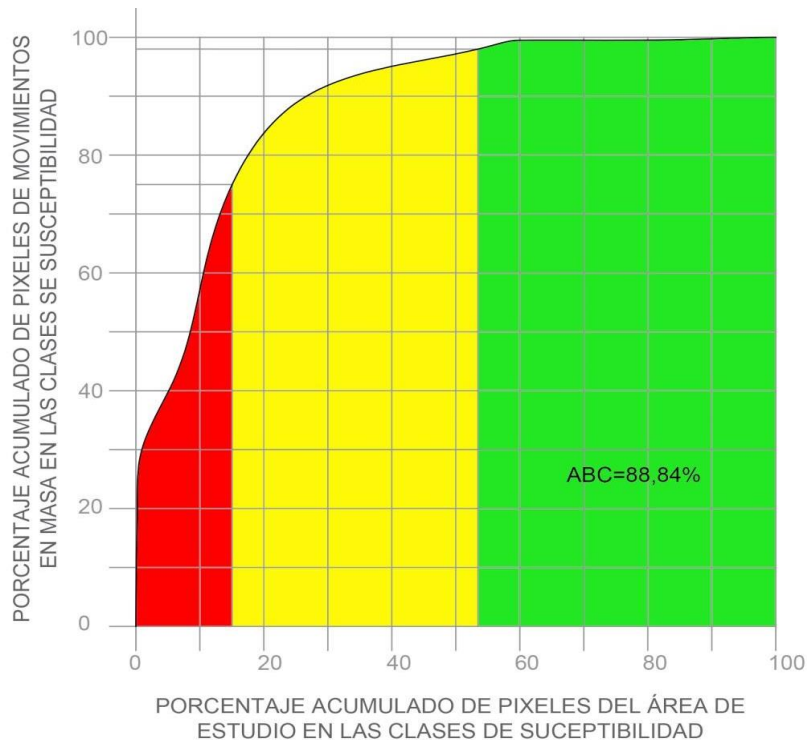


Figura 44. Curva de éxito categorizada.

### 8.2.3. Mapa de susceptibilidad

Una vez establecidos los pesos finales, estos se procesaron con el fin de obtener la sumatoria, y así poder genera el mapa de susceptibilidad en formato raster, el cual posteriormente se clasificó a partir de los datos obtenidos en la curva de éxito en tres categorías, alta, media y baja, según el (SGC, 2017)

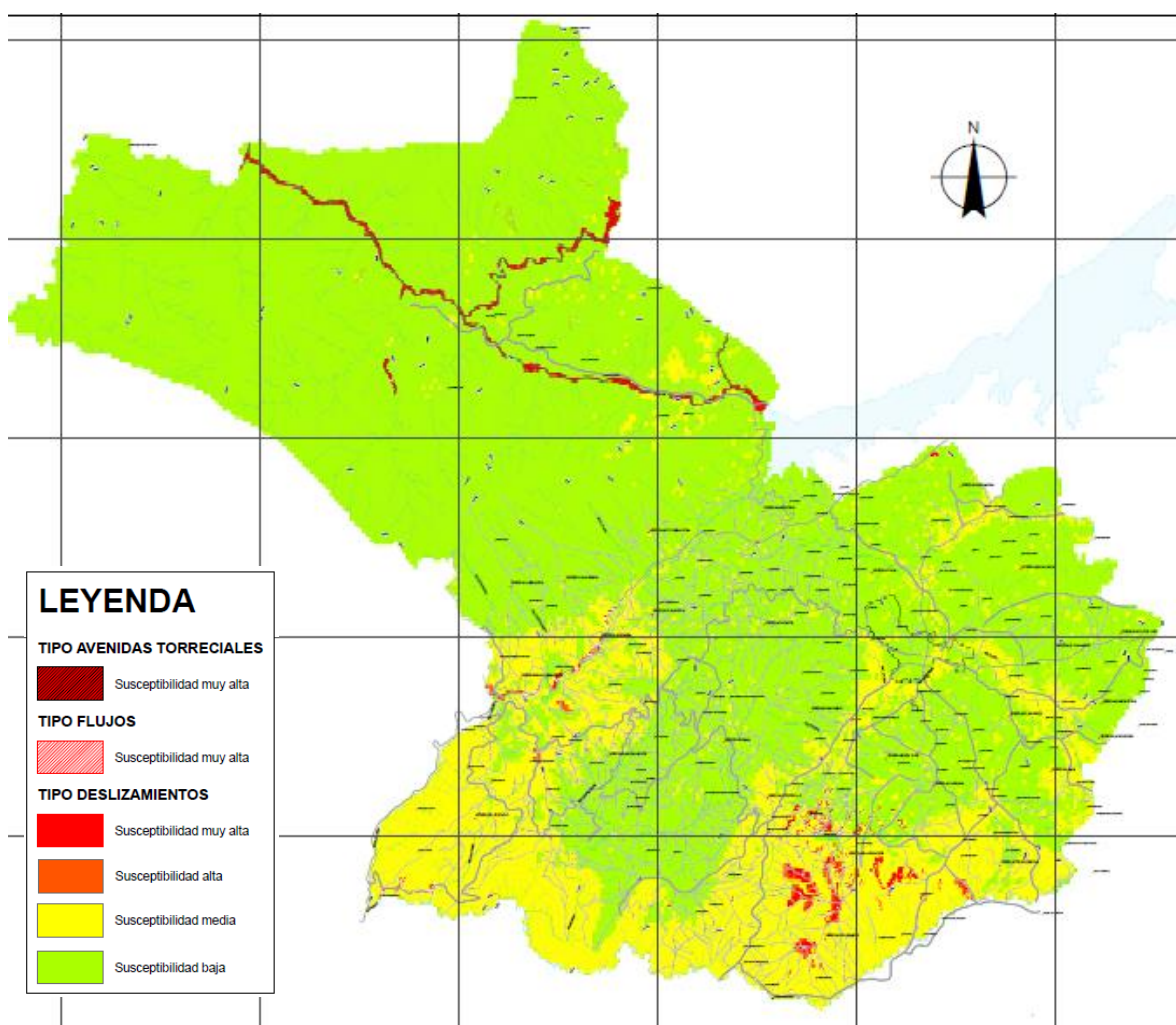


Figura 45. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa.



**Tabla 14. Descripción de las categorías de susceptibilidad.**

Susceptibilidad	Descripción	Área ha	Porcentaje
Muy Alta	Movimientos en masa del inventario de procesos morfo-dinámicos, tipo flujo, avenidas torrenciales, y deslizamientos	410,359872	1,23
Alta	Corresponden laderas con valores de inclinación muy abruptos, y/o zonas de alta erosión por poca o nula cobertura vegetal	116,122088	0,34
Media	Corresponden a laderas con valores de inclinación abruptas a muy abruptas ya geoformas residuales	7904,19461	23,79
Baja	Corresponden a laderas con topografía regular, bajas pendientes y a zonas con pendiente moderadas con buena cobertura boscosa	24792,1787	74,62

**Fuente: Elaboración propia.**

## 9. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

El análisis de amenaza se caracteriza teniendo en cuenta el tipo de movimiento en masa (deslizamiento, flujo y caída), la probabilidad espacial relacionada con la susceptibilidad y la probabilidad temporal expresada normalmente en términos de frecuencia, periodo de retorno o probabilidad de excedencia, (Corominas & Moya, 2008). La probabilidad temporal es sugerida desde diferentes enfoques de acuerdo con el tipo de movimiento, la información disponible y la calidad de la misma. (SGC, 2017). Para el caso de análisis se establecen los criterios con los que cuentan los factores detonantes, para el caso del factor de lluvia este como lo establece la guía cuenta con información multitemporal con la cual se pudo establecer periodos de retorno, a diferencia del factor de sismo, de esta manera se establece una metodología de zonificación como se muestra en la Figura 46.

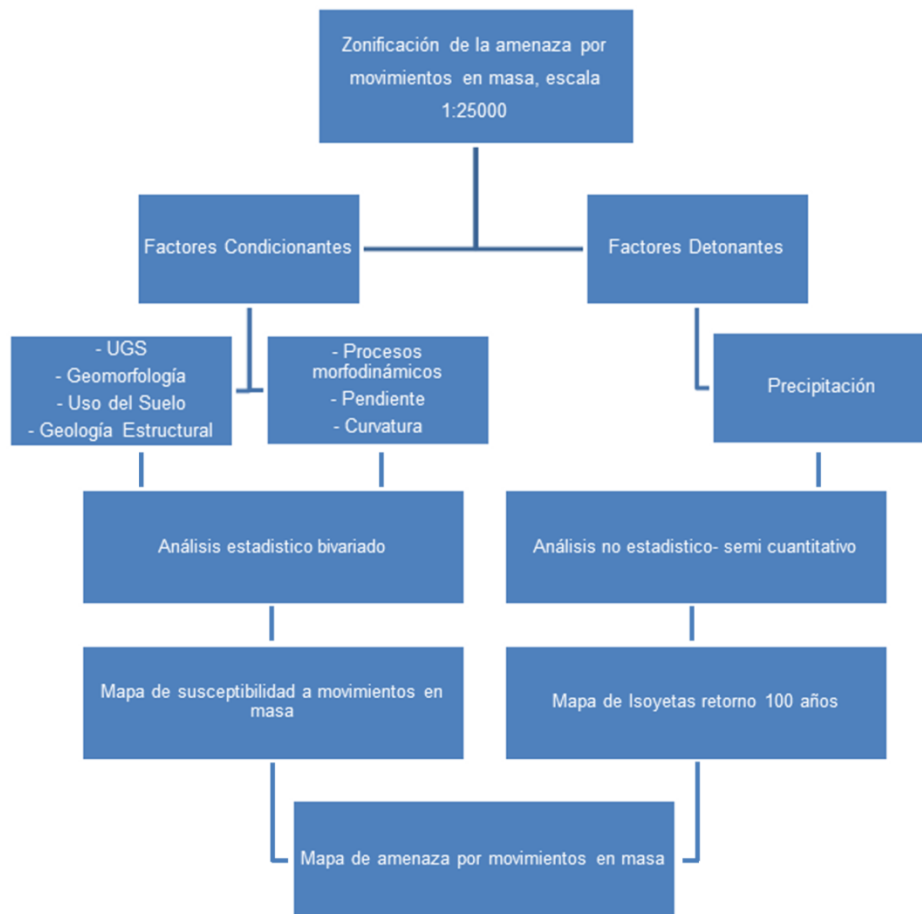


Figura 46. Metodología general de zonificación de la amenaza por movimientos en masa.

Debido a la falta de detalle en la delimitación de zonas de amenaza sísmica en la información reportada, es muy difícil establecer curvas teóricas para establecer periodos de retornos, por lo cual para este trabajo se optó por desarrollar un análisis estadístico para el factor detonante de precipitación, y establecer los límites espaciales de las categorías del mapa de susceptibilidad en el mapa de amenaza como lo propone (van Westen, 1993) y clasificar en 3 categorías, (ver Tabla 15) como lo reglamenta la normativa colombiana (alta, media y baja).

**Tabla 15. Categorías de amenaza a partir de las categorías de susceptibilidad.**

CATEGORIA DE SUSCEPTIBILIDAD	CATEGORIA DE AMENAZA
Muy Alta	Alta
Alta	Alta
Media	Media
Baja	Baja

Fuente: (SGC, 2017)

### 9.1. Detonante De Precipitación

Dada que la información recopilada tanto en términos de precipitaciones y de ocurrencia de los eventos es limitada, la estimación de la probabilidad de excedencia de un umbral mínimo de lluvia que puede detonar un evento, se realiza con base en procesos heurísticos y de cálculo de probabilidades, a través de curvas envolventes con las cuales se definen la función involucrando las lluvias recurrentes de un periodo de retorno determinado en 100 años aplicando en gran parte el proceso propuesto por (Jaiswal, P. & van Westen, C. J., 2009) la información de isoyetas del periodo de retorno de 100 años fue recopilada como información secundaria de propiedad de la CVC y fue utilizada como parte del ejercicio de análisis.

La espacialización de los datos se realizó con el fin de obtener un valor de lluvia máxima diaria, correspondiente a un periodo de retorno de 100 años en cada pixel, los cuales son posteriormente calificados de acuerdo con el rango de precipitaciones. Se le otorgó un valor de susceptibilidad de acuerdo con la Tabla 16, en donde la clasificación de 3 corresponde al índice de susceptibilidad mayor y el 1 índice de susceptibilidad menor. La Figura 47 muestra el mapa de Clasificación de lluvias de acuerdo a los órdenes de susceptibilidad, del municipio de Restrepo, Valle del Cauca.

**Tabla 16. Calificación de la lluvia máxima diaria para un periodo de retorno de 100 años, según su contribución a los movimientos en masa.**

Valores de lluvia máxima diaria (mm)	Clasificación
127-242	1
243-357	2
357-473	3

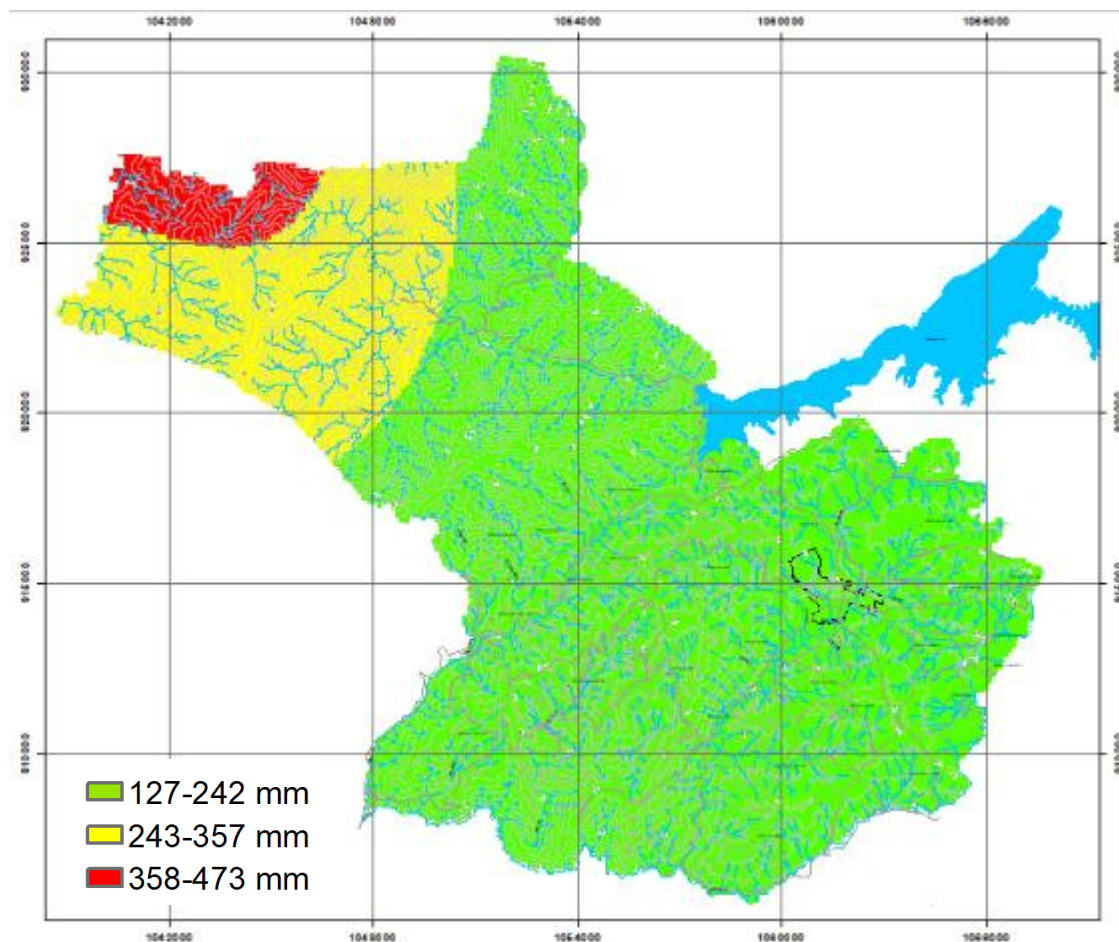


Figura 47. Mapa de clasificación de lluvias en mm, de acuerdo a los órdenes de susceptibilidad.

## 9.2. Mapa de Zonificación de la amenaza por movimientos en masa.

La probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa se define para las tres categorías de amenaza mencionadas anteriormente en la Tabla 15, cada una de estas áreas tiene una probabilidad de que genere un movimiento en masa a partir de la zonificación de susceptibilidad sumado al análisis de los factores detonantes, incluyendo el inventario de movimientos en masa, según el tipo de movimiento analizado y sus características.

De esta manera se presenta el mapa de zonificación de movimientos en masa, teniendo en cuenta que el análisis de flujos y caídas y avenidas torrenciales se caracteriza bajo criterios



geomorfológicos, evidencias de eventos pasados registrados y criterios heurísticos y son incluidos en la zonificación por su importancia, como se muestra en la (Figura 48).

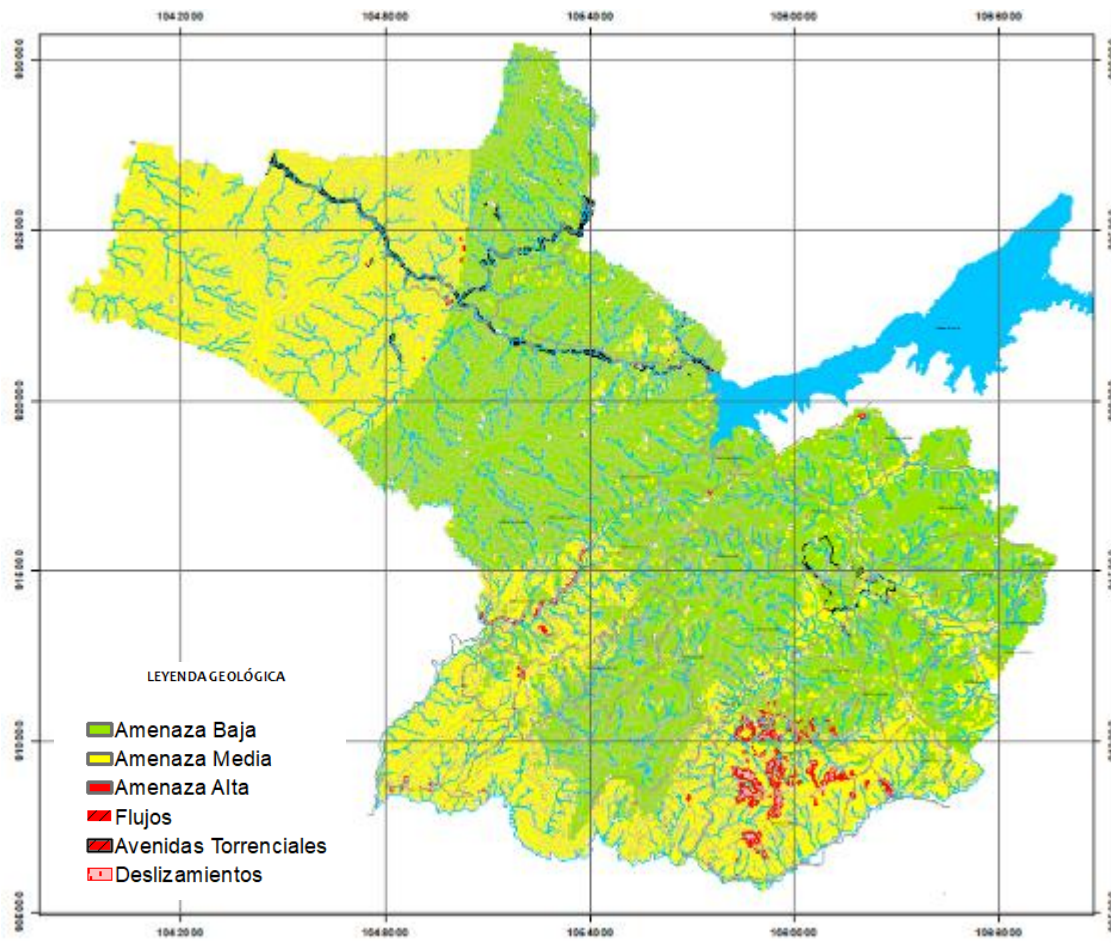


Figura 48. Mapa de amenaza por movimientos en masa. Fuente: Elaboración Propia

La delimitación de las zonas de amenaza permite tener una mayor claridad frente a la categorización de posterior uso del suelo, es así como se hace necesario tener claro a que corresponde cada categoría y sus usos permitidos. Información que se evidencia en la (Tabla 17) con relación al área de ocupación del municipio su porcentaje.

**Tabla 17. Descripción de las categorías de zonificación de amenaza por movimientos en masa, según el SGC**

Amenaza	Descripción	Área ha	Porcentaje
Alta	Zonas inestables donde se presenta la mayor cantidad de procesos morfo-dinámicos activos entre los cuales se presentan erosión, cárcavamiento y movimientos en masa, con evidencia de antiguos deslizamientos, con probabilidad de reactivarse. Usos compatibles: Obras para el control de erosión, recuperación, restauración, bosque protector. Usos incompatibles: Ganadería y agricultura intensiva, deforestación construcción de viviendas, servicios públicos, equipamientos colectivos, minería.	690,947824	2,120390098
Media	Zonas con posible ocurrencia de problemas de inestabilidad, dependiendo de las modificaciones rápidas en las condiciones naturales del terreno, como cambios drásticos en los usos del suelo, aumento en la intensidad de las lluvias o intervenciones antrópicas. Usos compatibles: Sistemas agroforestales, actividades productivas, construcción de viviendas, servicios públicos, equipamientos colectivos todos con estudios detallados.	14394,60635	44,17436414
Baja	Zonas estables, con poca recurrencia de procesos de inestabilidad que mantienen las condiciones naturales de equilibrio. Usos compatibles: Actividades agrícolas tradicionales, construcción de infraestructura, vías de acceso veredal, ecoturismo, recreación.	17500,32823	53,70524576

**Fuente: descripción según él (SGC, 2017), áreas y porcentajes determinadas en el trabajo de zonificación.**

Según la zonificación de la amenaza en el municipio de Restrepo, Valle del Cauca, en las veredas río Bravo, Madroñal, Agua Mona, Alto Zabaletas, la Albania, la Belmira, Italia, Agua

Linda, el Diamante, Calimita, la Guaira, Playa Rica, Alto del Oso, san Salvador, el Agrado, Bajo Zabaletas, santa Rosa, san Pablo, el Silencia, Román, la Palma, Buen Vivir, Tres Puertas, Llama, la Soledad, Potrerillo, el Aguacate y río Grande, se encuentran áreas clasificadas como amenaza media y alta.

**Tabla 18. Relación de áreas y porcentaje de las áreas en amenaza media y alta.**

VEREDA	AREA TOTAL (ha)	AMENAZA MEDIA (ha)	AMENAZA ALTA (ha)	PORCENTAJE (AREA DE AMENAZA)
CALIMA RIO BRAVO	12994,8562	6917,46	231,22	55,01
VEREDA MADROÑAL	1063,986851	21,76	1,05	2,14
VEREDA AGUA MONA	1318,265861	246,51	1,78	18,83
VEREDA ALTO ZABALETAS	846,607118	47,93	NP	5,66
VEREDA LA ALBANIA	428,056841	42,23	NP	9,87
VEREDA LA BELMIRA	851,356726	151,09	NP	17,75
VEREDA ITALIA	261,628047	15,00	NP	5,73
VEREDA AGUA LINDA	770,478698	100,34	NP	13,02
VEREDA EL DIAMANTE	503,06833	83,93	NP	16,68
VEREDA CALIMITA	1237,330476	105,77	NP	8,55
VEREDA LA GUAIRA	402,020832	309,26	10,36	79,50
VEREDA PLAYA RICA	154,966913	100,30	NP	64,72
VEREDA ALTO DEL OSO	336,05895	21,89	NP	6,51
VEREDA SAN SALVADOR	1428,22178	753,48	5,67	53,15

VEREDA EL AGRADO	475,392703	84,82	NP	17,84
VDA. BAJO ZABALETAS	52,074977	46,80	NP	89,86
VEREDA SANTA ROSA	273,668624	127,60	NP	46,63
VEREDA SAN PABLO	795,509294	239,06	NP	30,05
VEREDA EL SILENCIO	1767,39025	1612,17	24,46	92,60
VEREDA ROMAN	1685,481317	399,70	NP	23,71
VEREDA LA PALMA	291,498499	43,42	NP	14,89
VEREDA BUEN VIVIR	348,108836	52,94	NP	15,21
VEREDA TRES PUERTAS	799,668905	513,35	9,13	65,34
VEREDA ILAMA	533,541314	225,61	NP	42,28
VEREDA LA SOLEDAD	51,836165	17,13	NP	33,04
VEREDA POTRERILLO	479,090473	288,39	NP	60,19
VEREDA EL AGUACATE	845,135251	477,93	213,53	81,82
VEREDA RIO GRANDE	1590,582179	1348,75	193,75	96,98

Fuente: Elaboración propia.

## 10. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

El propósito principal que motivó la realización de este trabajo, fue la evaluación y la implementación de la guía metodológica para la zonificación de movimientos en masa en la zona rural del municipio de Restrepo, Valle del Cauca.

El método estadístico bivariado aplicado en la guía es un modelo probabilístico el cual evita la subjetividad de elegir los valores de los pesos como se realiza en los métodos heurísticos, además aplica objetivamente la relación entre procesos activos y factores condicionantes.

Una de las principales desventajas del método es que un análisis matemático no puede

dimensionar las variaciones en la dinámica externa de la tierra, por tal el análisis en la implementación de la guía metodológica para la zonificación de amenazas por movimientos en masa, es imprescindible la articulación del criterio experto en la implementación del método, el cual debe ser realizado por un profesional que tenga el entendimiento de los procesos geológicos y geomorfológicos recurrentes en el entorno y verificar la coherencia de los resultados de las categorías de susceptibilidad calculadas.

Los modelos utilizados en la elaboración de este estudio se realizaron en las herramientas de geoprocésamiento de ArcGIS, de acuerdo a los lineamientos propuestos en la guía, sin embargo, este proceso se hace confuso ya que no se especifica qué herramientas y cómo se deben usar en el momento de articular los resultados. Para este caso, se deja a criterio del profesional el uso de diferentes herramientas que el programa propone y puede llegar a ser dispendioso en el momento de obtener datos incoherentes. Es posible que esto permita que los análisis en general para este tipo de estudios no se implementen con esta guía, al no saber cómo exactamente procesarla en un sistema de información geográfica.

La guía metodológica plantea que el estudio se elabora con datos pluviométricos de lluvias máximas 24 horas antes del fenómeno de remoción en masa. Al no contar con los datos de las fechas de los eventos de remoción, se usaron factores de periodo de retorno de cien (100) años de lluvias diarias máximas, dándonos una ventana de tiempo de estudio lo suficientemente grande para el alcance de este tipo de estudios, se usa como datos secundarios en la elaboración del presente análisis.

Para este caso los resultados obtenidos son coherentes con las características geológicas, geomorfológicas, y de usos de suelos del municipio de Restrepo, Valle del Cauca; sin embargo, para nuestro criterio profesional se deberían tener en cuenta, que la guía no contempla factores importantes como las vías, ya que estas modifican y adicionan factores que podrían ser detonantes para que se produzcan movimientos en masa. Esto se evidencia en la vía que conduce a Buenaventura, donde se encuentran la mayoría de los fenómenos de remoción en masa, y son posteriores a la construcción de la doble calzada.

El uso de sensores remotos para el caso específico de alta resolución 2, 5 en el DEM permitió tener una mayor precisión para la identificación de los factores condicionantes, junto con la realización de las visitas de campo donde se pudo comprobar lo antes cartografiado previamente con estos sensores remotos, pero además nos permitió ampliar el



espectro frente a la afectación de las veredas, la percepción y los saberes que tienen estas comunidades del entorno para así poder ser más precisos en la información determinada.

Podemos concluir entonces que la guía es un insumo muy importante y totalmente aplicable para el análisis de la zonificación de la susceptibilidad si es bien implementado en los sistemas de información geográfica, pero además permite tener herramientas de maniobra si la información frente al tratamiento de los factores detonantes es deficiente, sería de vital importancia que los municipios conocieran la necesidad del registro de datos en tiempo real ya que para ese caso la guía podría implementarse en su totalidad hasta el cálculo de la amenaza por movimientos en masa y tener un conocimiento de la amenaza cada vez más precisa, sin embargo creemos que el ejercicio antes desarrollado es una herramienta eficaz para la implementación de la gestión del riesgo en el municipio.

## 11. CONCLUSIONES

- La determinación de los factores condicionantes y la cartografía de procesos morfodinámicos permitieron implementar el método establecido en la guía metodológica, siendo este un punto importante a la hora del análisis de la validez de la implementación.
- Se estableció como factor detonante el periodo de retorno de la lluvia máxima diaria, lo que permitió determinar y caracterizar las zonas más susceptibles con respecto a los fenómenos amenazantes.
- Se desestimó el factor de sismos al no encontrar información de calidad en el sector que permitiera ser determinante en el análisis de la amenaza.
- En la zona rural la precisión del análisis de estabilidad se representa en una curva de éxito. El área bajo la curva representa la capacidad de la función para representar la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa, siendo la de Restrepo del 88,84%, evidenciando una buena calidad de ajuste de los datos, resultando confiable la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa.
- Según la zonificación de la amenaza en el municipio de Restrepo, Valle del Cauca, en las veredas río Bravo, Madroñal, Agua Mona, Alto Zabaletas, la Albania, la Belmira, Italia, Agua Linda, el Diamante, Calimita, la Guaira, Playa Rica, Alto del Oso, san Salvador, el Agrado, Bajo Zabaletas, santa Rosa, san Pablo, el Silencia, Román, la Palma, Buen Vivir, Tres Puertas, llama, la Soledad, Potrerillo, el Aguacate y río Grande, se encuentran áreas clasificadas como amenaza media y alta.
- La guía metodológica es un insumo muy importante para la zonificación de la amenaza, sin embargo esta necesita de insumos detallados como lo son estaciones pluviométricas y un seguimiento riguroso de los eventos de remoción.

## 12. REFERENCIAS

- Aspden, J. A. (1984.). *The geology of the Western Cordillera, Department of Valle, Colombia (Sheets 261, 278, 279, 280 & 299). .INGEOMINAS Misión Británica (British Geological Survey), Report No. 4 (Inédito). Cali.*
- Barrero, D. (1979). *Geology of the central Western Cordillera, West of Buga and Roldanillo, Colombia. Publicaciones Geológicas Especiales de INGEOMINAS, 4, 75p. .*
- Blahut, J., van Westen, C. J., & Sterlacchini, S. (2010). *Analysis of landslide inventories for accurate prediction of debris-flow source areas. Geomorphology, 19(1), 36-51.*
- Blahut, J., van Westen, C. J., & Sterlacchini, S. . (2010). *Analysis of landslide inventories for accurate prediction of debris-flow source areas. Geomorphology, 19(1), 36-51.*
- Bonham, C. C. (1994). *Geographic Information System for Geoscientists: Modelling with GIS (vol.13). Ottawa: Pergamon Press.*
- Carvajal, J. (2008.). *Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Documento INGEOMINAS, Bogotá, 30p.*
- Carvajal, J. H. (2012). *Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.*
- CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. (2012). Ley 1523: Política nacional de gestión del riesgo de desastres. Bogotá, Colombia.
- Corominas, J., & Moya, J. (2008). *A review of assessing landslide frequency for hazard zoning purposes. Engineering Geology, 102, 193-213.*
- Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., & Paudyal, P. (2008). *Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights of-evidence. Geomorphology, 102(3-4), 496-510.*
- Jaiswal, P., & van Westen, C. J. (2009). *Estimating temporal probability for landslide initiation along transportation routes based on rainfall thresholds. Geomorphology, 112, 96-105.*
- Montoya, D. (2002). *Geología de las planchas 240 Pichimá, 241 Cucurupí,.*
- Mora , & Vahrson . (1984 – 1994). *Metodología De Macrozonificación Para La Determinación De.Amenaza Por Deslizamiento*

Parra, E. C. (1984). *Mapa Geológico de Colombia - Escala 1:100000, Plancha 223 - El Cairo.INGEOMINAS. Bogotá.*

SGC. (2017). *Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1:25000.* Bogota, D.C., Colombia: Servicio Geologico Colombiano.

van Westen, C. (1993). *Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation. ITC Publication No. 15, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede.*

van Zuidam, R. A. (1986). *Aerial photointerpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Map-pin. Tha Hague Publishers.*