

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA
1:25.000 PARA EL MUNICIPIO DE CHINCHINÁ, CALDAS**

DAVID STYMAN RODRÍGUEZ CONTADOR

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2019**

**ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA A ESCALA
1:25.000 PARA EL MUNICIPIO DE CHINCHINÁ, CALDAS**

DAVID STYMAN RODRÍGUEZ CONTADOR

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil

**Directora:
LINA PATRICIA MURCIA CARO
Ingeniera Civil M.Sc.**

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN
BOGOTÁ D.C.
2019**



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.



Sin Obras Derivadas — No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN
Ing. M.Sc. Lina Patricia Murcia Caro

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bogotá D.C., 19 de mayo de 2019

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	13
1.1 ANTECEDENTES.....	13
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	16
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
3. MARCO TEÓRICO.....	20
3.1. GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000	20
3.1.1. CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL.	21
3.1.2. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD.....	22
3.1.2.1. MÉTODO PESOS DE EVIDENCIA (WEIGHT OF EVIDENCE, WofE)	23
3.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA.....	25
3.2. ZONA DE ESTUDIO	27
3.2.1. LOCALIZACIÓN.	27
3.2.2. TOPOGRAFÍA.....	27
3.3.3. ZONAS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA	28
4. ESTADO DEL ARTE	29
5. OBJETIVOS	31
5.1. OBJETIVO GENERAL	31
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
6. ALCANCE Y LIMITACIONES.....	32
6.1. ALCANCE	32
6.2. LIMITACIONES.....	32
7. METODOLOGÍA.....	33
7.1. CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL.....	33
7.1.1. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS.....	33
7.1.2. FACTORES CONDICIONANTES.....	35
7.1.2.1. ALTURA DEL TALUD.....	35

7.1.2.2. COBERTURA.	35
7.1.2.3. CURVATURA.....	38
7.1.2.4. DISTANCIA A DRENAJES.	39
7.1.2.5. DISTANCIA A LA VÍA.	40
7.1.2.6. ELEVACIÓN.	42
7.1.2.7. GEOLOGÍA.	43
7.1.2.8. GEOMORFOLOGÍA.....	45
7.1.2.9. ORIENTACIÓN.	46
7.1.2.10. PENDIENTES.	48
7.1.2.11. SUELOS.	49
7.1.3. FACTORES DETONANTES.....	58
7.1.3.1. PRECIPITACIÓN.	58
7.2. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD	58
7.2.1. HIPÓTESIS DE FALLA.....	58
7.2.2. CURVA DE ÉXITO.....	60
7.3. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA	65
7.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS CATEGORIZADAS.....	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71
ANEXOS.....	74

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Deslizamiento en Villa Tina, Medellín en 1987.	13
Ilustración 2. Deslizamiento de tierra en la antigua vía Manizales – Chinchiná el 16 de mayo de 2017.	14
Ilustración 3. Mapa zonificación de amenazas a escala 1:100.000. Chinchiná, Caldas.....	18
Ilustración 4. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.	20
Ilustración 5. Representación gráfica de la relación deslizamiento (D) y factor condicionante (w).	24
Ilustración 6. Tipos de movimientos en masa.	26
Ilustración 7. Localización geográfica del municipio de Chinchiná.	27
Ilustración 8. Mapa topográfico del municipio de Chinchiná.	28
Ilustración 9. Deslizamientos devastaron aldeas cercanas a Kodari, Nepal en 2015.	29
Ilustración 10. Mapa final de clasificación de riesgo por deslizamiento del suroeste de las colinas del Valle de Katmandú, después del modelo de peso-evidencia. VHH: riesgo muy alto, HH: riesgo alto, MH: riesgo moderado, LH: riesgo bajo, VLH: riesgo muy bajo. Los valores de coordenadas son del sistema UTM.	30
Ilustración 11. Curvatura perpendicular a la dirección de máxima pendiente.	38
Ilustración 12. Direcciones de orientación.	46

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de factores causales de movimientos en masa.	21
Tabla 2. Factores y temáticas para la caracterización geoambiental del área de estudio y zonificación de amenaza por movimientos en masa propuestos en la metodología.	22
Tabla 3. Métodos recomendados para datos basados en la evaluación de susceptibilidad por deslizamientos.....	23
Tabla 4. Relación de deslizamientos (D) y factor condicionante (w).	24
Tabla 5. Matriz de amenazas de remoción en masa basada en la susceptibilidad.	26
Tabla 6. Inventario de deslizamientos del municipio de Chinchiná.....	34
Tabla 7. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Altura del talud.....	35
Tabla 8. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Cobertura.....	37
Tabla 9. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Curvatura.	38
Tabla 10. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Distancia a drenajes.....	40
Tabla 11. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Distancia a la vía.	41
Tabla 12. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Elevación.	42
Tabla 13. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Geología.	44
Tabla 14. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Geomorfología.	46
Tabla 15. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Orientación.	47
Tabla 16. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Pendientes.....	48
Tabla 17. Características perfiles de suelo para Asociación RÍO ARMA - Castilla. Fuente: Adaptado de Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. ..	51
Tabla 18. Características perfiles de suelo para Asociación SAN MARCOS – LA PERLA.	52

Tabla 19. Características perfiles de suelo para Asociación LUTAINA – LA FELISA.	53
Tabla 20. Características perfil de suelo para Consociación CHINCHINÁ (CI).	54
Tabla 21. Características perfil de suelo para Asociación CHINCHINÁ - AZUFRADO.	55
Tabla 22. Características perfil de suelo para Asociación EL CEDRAL - AZUFRADO.	56
Tabla 23. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Suelos.	57
Tabla 24. Pesos de evidencia para el factor detonante: Precipitación media.	58
Tabla 25. Análisis de amenaza por remoción en masa a nivel rural de cada LSI analizado.	65
Tabla 26. Incidencia de amenaza por remoción en masa en las veredas a nivel municipal.	68

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Inventario de deslizamientos registrados en el SIMMA.	76
Anexo B. Mapa de localización de deslizamientos en el municipio de Chinchiná.	82
Anexo C. Mapa de altura del talud del municipio de Chinchiná.	83
Anexo D. Mapa de cobertura del municipio de Chinchiná.	84
Anexo E. Mapa de curvatura del municipio de Chinchiná.	85
Anexo F. Mapa de distancia a drenajes del municipio de Chinchiná.	86
Anexo G. Mapa de distancia a vías del municipio de Chinchiná.	87
Anexo H. Mapa de elevación del municipio de Chinchiná.	88
Anexo I. Mapa de geología del municipio de Chinchiná.	89
Anexo J. Mapa de geomorfología del municipio de Chinchiná.	90
Anexo K. Mapa de orientación del municipio de Chinchiná.	91
Anexo L. Mapa de pendientes del municipio de Chinchiná.	92
Anexo M. Mapa de suelos del municipio de Chinchiná.	93
Anexo N. Mapa de precipitación del municipio de Chinchiná.	94
Anexo O. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 1° Combinación (LSI ₁).	95
Anexo P. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 2° Combinación (LSI ₂).	96
Anexo Q. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 3° Combinación (LSI ₃).	97
Anexo R. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 4° Combinación (LSI _{TOTAL}).	98
Anexo S. Mapa de zonificación de amenazas por movimientos en masa para el municipio de Chinchiná.	99

INTRODUCCIÓN

Colombia posee una geomorfología muy diversa y compleja que se constituye por tres grandes cordilleras: oriental, central y occidental las cuales cubren gran parte del territorio nacional. Así mismo, accidentes geográficos como montañas, sierras, cañones, nevados, cuerpos de agua, entre otros, surgen como consecuencia de esta complejidad geomorfológica y generan las particularidades por las cuales se distingue el territorio colombiano, donde se encuentran una gran cantidad de paisajes únicos en el mundo. Sin embargo, aunque estos paisajes se caracterizan por su singular belleza, en algunos departamentos del país se caracterizan por su capacidad de desprendimiento de material. En este sentido, uno de los desastres con mayor ocurrencia en Colombia es el fenómeno de remoción en masa (desprendimientos y volcamientos, deslizamientos, flujos y reptaciones).

Ante esta realidad el Servicio Geológico Colombiano (SGC), desde hace ya más de tres décadas, viene realizando estudios sistemáticos de los movimientos en masa en Colombia y se ha convertido en un referente para los expertos interesados en el tema, para los estudiantes que quieren profundizar en el conocimiento de estos fenómenos y para los tomadores de decisión que requieren definir acciones con relación a la amenaza y riesgo que generan los movimientos en masa, con el fin de reducir y mitigar sus efectos.¹

Adicionalmente la Dirección de Geoamenazas del SGC, ha promovido y desarrollado investigaciones, zonificaciones y monitoreos en todo el territorio nacional de amenazas de movimientos en masa, sísmica y volcánica, entre otras funciones. Para los movimientos en masa ha estado desarrollando guías metodológicas a diferentes escalas con el fin de caracterizar zonas donde la vulnerabilidad a sucesos de movimientos en masa es alta, sin embargo, se puede aplicar también en zonas donde la vulnerabilidad es media y baja.

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. Una metodología con una escala menor a la existente, (1:100.000), con el fin de tener un mejor conocimiento del territorio y la caracterización de estos movimientos en zonas rurales de municipios, en los cuales se pudiera complementar la información de amenazas y riesgos para la incorporación en el ordenamiento territorial, a través de instrumentos como los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT), Planes Básicos de Ordenamiento Territorial (PBOT) y Planes de Ordenamiento Territorial (POT), entre otros.

Dada entonces la importancia del desarrollo de metodologías que permitan la identificación de lugares susceptibles a sufrir fenómenos de remoción en masa, en

¹ MONTERO OLARTE, Juan. Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

este proyecto se analiza la metodología planteada por el SGC en el año 2017 a través de su implementación en el municipio de Chinchiná (Caldas).

1. ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Los movimientos en masa han marcado la historia de Colombia y más en el último siglo como los siguientes sucesos:

1974 QUEBRADABLANCA: Numerosos vehículos que viajaban entre Bogotá y Villavicencio quedaron atrapados el 28 de Julio a causa del derrumbe de un cerro erosionado. Murieron cerca de 200 personas según cifras no oficiales.

1983 EL GUAVIO: 150 obreros que trabajaban en la represa del Guavio murieron bajo cien metros de tierra. Una brigada de rescate murió al caer la segunda parte del deslizamiento.

1987 MEDELLIN: 199 cadáveres de habitantes del barrio Villa Tina fue el saldo trágico. Un deslizamiento de la ladera arrasó con sus vidas y sus casas. Hoy el lugar es un camposanto.²

Ilustración 1. Deslizamiento en Villa Tina, Medellín en 1987.



Fuente: UNESCO. "Glide slope in Villa Tina, Medellin". {en línea}. 2017. {13 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.unescosost.org/blog/camposanto-villatina-1>

² UNGRD. "Deslizamientos". {en línea}. 2014 {13 septiembre 2018}. Disponible en: <http://gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=140>

El 22 de noviembre de 2017, en horas de la madrugada hubo crecientes en las quebradas de La María Auxiliadora y Guayabal y deslizamientos hacia la vereda El Trébol y El Chuzal, estos generados por las fuertes lluvias dejando a su vez incomunicaciones entre Chinchiná - Manizales y Chinchiná – Pereira.³

Ilustración 2. Deslizamiento de tierra en la antigua vía Manizales – Chinchiná el 16 de mayo de 2017.



Fuente: BC Noticias. “Deslizamiento ocasiona cierre de la antigua vía Manizales – Chinchiná”. {en línea}. 2017. {14 septiembre 2018}. Disponible en: <http://www.bcnoticias.com.co/deslizamiento-ocasiona-cierre-de-la-antigua-via-manizales-chinchina/>

Estos sucesos han generado un impacto negativo dejando un gran número de personas fallecidas y damnificadas, pérdida de productividad según uso del suelo, devaluaciones de propiedades en zonas vulnerables, reubicación de población a otros sitios, incomunicación entre municipios e incluso departamentos, como el cierre de la vía Bogotá – Villavicencio, puntualmente en municipios como Quetame, Guayabetal y Cáqueza dejando incomunicado entre sí a los departamentos de Cundinamarca y Meta afectando la economía de manera directa e indirecta; daños recurrentes en infraestructuras.

Desde esta perspectiva, resulta fundamental la implementación de metodologías que permitan conocer los lugares susceptibles a este tipo de fenómenos. Para ello, los estudios de remoción en masa iniciaron en instituciones como el IDEAM, el SGC

³ RCN Radio. “Fuertes lluvias en Chinchiná dejan vías cerradas y crecientes en quebradas”. {en línea}. 2017. {14 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.rcnradio.com/colombia/eje-cafetero/fuertes-lluvias-chinchina-dejan-vias-cerradas-crecientes-quebradas>

(antes INGEOMINAS) y algunas universidades. El primer inventario nacional de movimientos en masa fue realizado por la Universidad Nacional de Colombia en 1989. A partir de 1997, el SGC viene conformando el catálogo nacional de movimientos en masa, que sirvió de base para la zonificación que se publicó en el 2003 sobre la clasificación regional de amenaza relativa a movimientos en masa en Colombia, donde se establecen cinco categorías de acuerdo con la densidad, frecuencia y recurrencia. Lo último que se desarrolló al respecto fue en el 2010, cuando el SGC y el IDEAM realizaron la actualización del mapa nacional de amenaza relativa por movimientos en masa, a una escala 1:500.000.⁴

A nivel rural estos estudios se han desarrollado con metodologías como el Sistema de Evaluación Semicuantitativo de Estabilidad, SES, propuesta por Ramírez (1988), adaptada por González (1989, 1990 y 1998) y la experiencia del INGEOMINAS. Esta metodología evalúa dos parámetros, los intrínsecos (materiales, relieve, drenaje y vegetación) que sirven como base para determinar la susceptibilidad de las laderas a los fenómenos de remoción en masa, y los detonantes (Erosión, lluvia, sismo y factores antrópicos) para analizar la incidencia con la susceptibilidad de las laderas. A cada parámetro se le asigna un valor cuantitativo para poder determinar posteriormente una Calificación de Estabilidad (CE) con la finalidad de poder realizar una zonificación por amenaza según condiciones de inestabilidad de laderas.⁵

El documento realizado por GEOSUB LTDA en el 2013 para la identificación y caracterización de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para la cabecera urbana municipal de Chinchiná, hace énfasis en puntos críticos de la cabecera municipal en cuanto a deslizamientos e inundaciones y su evaluación diagnosticados en campo. Para llegar a esa identificación y caracterización de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, emplean una metodología con imágenes LiDAR, ortofotos, realizando el método heurístico para establecer la susceptibilidad por remoción en masa, ajustando estos parámetros en una matriz AHP (desarrollada por Goepel) y para representar el estado potencial de estabilidad de la modelación de la matriz emplean el módulo Multi-Criterio (SMCE), teniendo en cuenta durante el desarrollo de este factores detonantes como lluvia.⁶

⁴ BANCO MUNDIAL. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Bogotá. Equilatero, 2012.

⁵ ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO. Documento Técnico Soporte Componente Gestión del Riesgo. Plan de Ordenamiento Territorial. 2015.

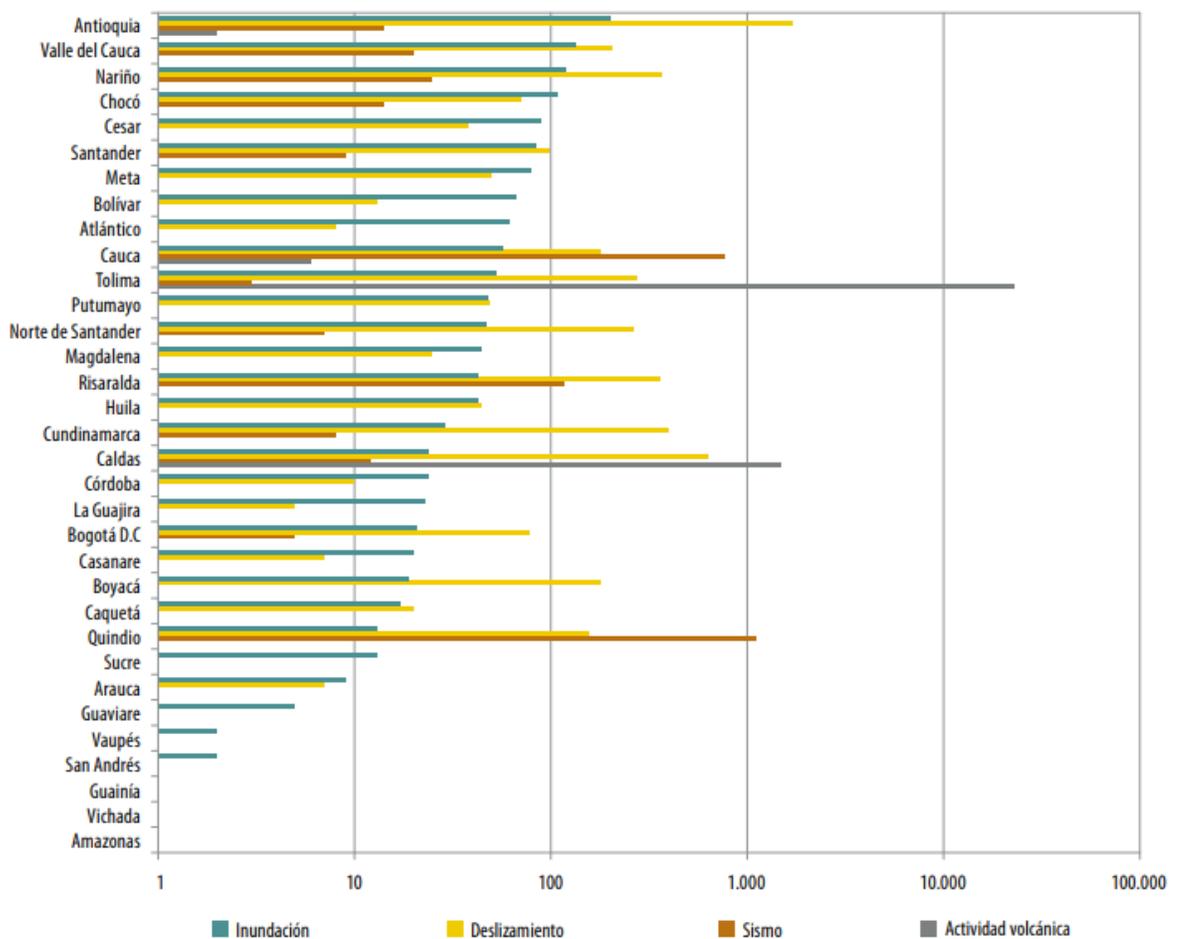
⁶ CORPOCALDAS. Identificar y caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para la cabecera municipal y las áreas de desarrollo rural restringido. 24. Chinchiná. GEOSUB. 2013.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Las condiciones topográficas en Colombia forman un escenario propicio para la ocurrencia de movimientos en masa, situación que se acentúa con los procesos antrópicos que se desarrollan en las zonas montañosas. Los departamentos con mayores pérdidas de vidas acumuladas en los últimos 40 años [redactado en 2011] son Tolima y Caldas, según la base de datos de DesInventar (Corporación OSSO y EAFIT, 2011).⁷

Gráfica 1. Distribución de pérdidas de vidas por departamentos.

Pérdida de vidas (Escala logarítmica)



Fuente: CORPORACIÓN OSSO, UNIVERSIDAD EAFIT. “Base de datos de pérdidas históricas en Colombia (período 1970-2011)”. {en línea} 2011. {15 septiembre 2018}. Disponible en: <http://online.desinventar.org>

⁷ BANCO MUNDIAL, op. cit.

“Las tendencias para el período 1971-2000 de la precipitación total anual han mostrado disminución en unos sectores y aumento en otros. En particular, las disminuciones más significativas en la lluvia total anual se registraron en Atlántico, Arauca, Guaviare, Boyacá y Cundinamarca; mientras que las tasas de aumento se registraron a nivel regional en Quindío, San Andrés, Cesar, Cauca, Vaupés, Guainía, Antioquia, Chocó y Caldas.”⁸ detonante de peso que hace mayor la susceptibilidad de remoción en masa en las regiones donde la precipitación es alta.

En el sector del transporte, las pérdidas directas al patrimonio de la Nación son altas. Según la base de datos de DesInventar (Corporación OSSO-EAFIT, 2011), entre 1970 – 2011 cerca de 75 mil kilómetros de vía han sido afectados, cifra que pudo ser mayor ya que los comités locales y regionales no reportaban frecuentemente los daños.⁹ El 52% de las afectaciones viales a nivel nacional se atribuyen a deslizamientos, de los cuales el 5% corresponden al departamento de Caldas (ver gráfica 2).

Con el fin de evaluar movimientos en masa, se han desarrollado investigaciones, estudios y monitoreos para apoyar la planificación territorial y la gestión del riesgo para los municipios de Colombia, para ello “[...] el Gobierno Nacional ha impulsado la expedición de políticas y estrategias de gestión orientadas a establecer consideraciones técnicas a tener en cuenta para la ejecución de estos estudios tales como la ley 388 de 1997, ley 1523 de 2012, decreto 1640 de 2012, decreto 1807 de 2014 y decreto 1077 de 2015.”¹⁰

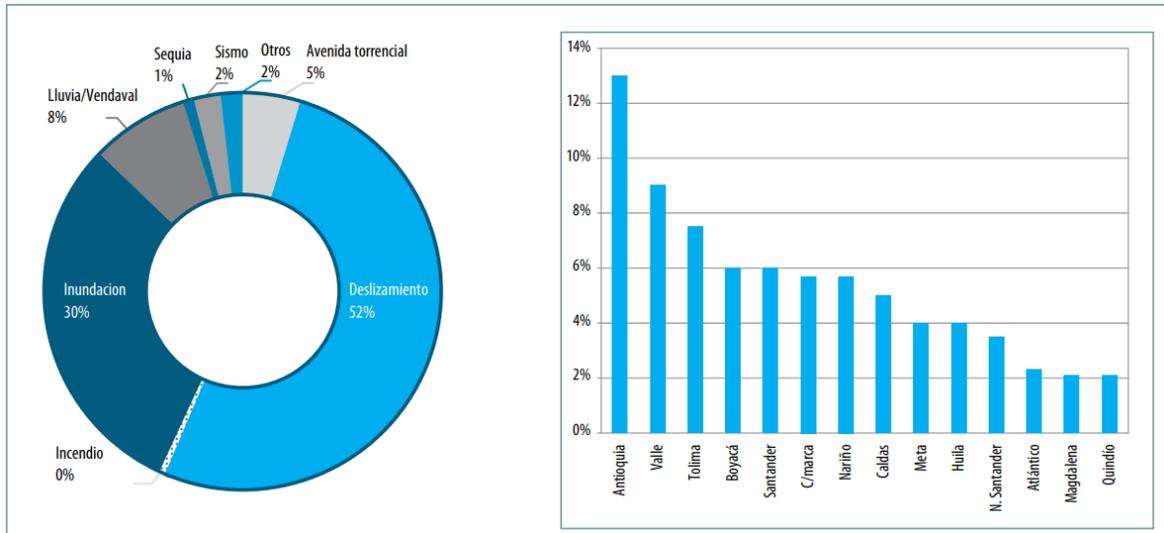
Se debe realizar una zonificación por movimientos en masa en el área rural del municipio a una escala más precisa, ya que la existente es a escala 1:100.000 para el territorio nacional en el SIMMA del SGC y es muy generalizada, a pesar de tener un inventario de movimientos que hubo en esta zona en los últimos años, para ello se plantea realizar una zonificación a escala 1:25.000 con la Guía Metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa del SGC como herramienta para optimizar la información existente a escala 1:100.000 y la metodología realizada por GEOSUB LTDA.

⁸ MAVDT, IDEAM, PNUD, GEF. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá, Colombia: Editorial Scripto Ltda. 2010.

⁹ BANCO MUNDIAL, op. cit.

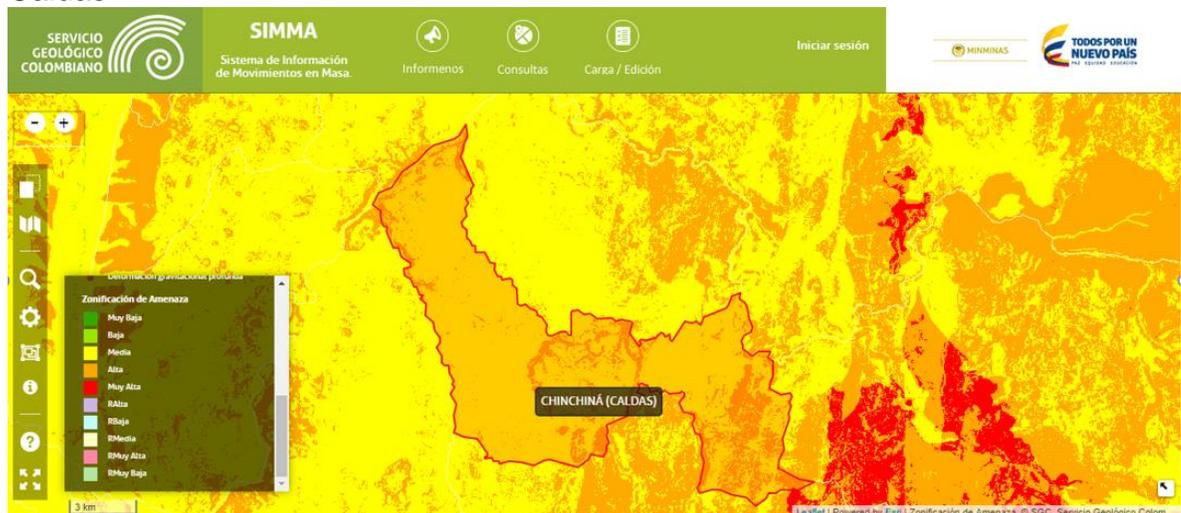
¹⁰ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

Gráfica 2. Distribución de eventos y departamentos con afectación vial, 1970-2011.



Fuente: CORPORACIÓN OSSO, UNIVERSIDAD EAFIT. “Base de datos de pérdidas históricas en Colombia (período 1970-2011)”. {en línea} 2011. {15 septiembre 2018}. Disponible en: <http://online.desinventar.org>

Ilustración 3. Mapa zonificación de amenazas a escala 1:100.000. Chinchiná, Caldas



Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Sistema de Información de Movimientos en Masa. {en línea}. 2018. {15 septiembre 2018}. Disponible en: <http://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/>

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El eje cafetero colombiano (departamentos de Caldas, Quindío y Risaralda), la zona central y occidental presenta una susceptibilidad por movimientos en masa muy alta y alta, con una influencia en los municipios de Aguadas, Aranzazu, Pácora, Salamina, Chinchiná, Manizales, Neira, Palestina, Villamaría, Filadelfia, La Merced, entre otros, esta susceptibilidad se atribuye al sistema de fallas de Romeral y por la acción de la fuerza de gravedad en las altas pendientes.¹¹

Por la mayor susceptibilidad por remoción en masa en esta zona, el Concejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres (CMGRD) expidió en agosto del 2013 el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres para el municipio de Chinchiná. En este plan se evidencia una caracterización general de escenarios de riesgos por deslizamientos, sismos y erupción del Volcán Nevado del Ruíz al igual que programas y acciones para toma de decisiones, optimización del desarrollo municipal y respuesta efectiva frente a desastre y emergencias.

Para todas las cabeceras municipales se requería “identificar y caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para las cabeceras municipales (con excepción de Manizales, La Dorada y Marmato) y las áreas de desarrollo restringido rural de Departamento” por parte de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) quien contrata a GEOSUB LTDA por medio del contrato 292 - 2012.¹²

El enfoque propuesto para evaluar el riesgo en el municipio de Chinchiná parte del concepto general de la gestión del riesgo basado en escenarios. En particular, la metodología propuesta reconoce el riesgo como una variable dinámica en el tiempo que no solo se puede cuantificar basada en eventos históricos, sino que debe incorporar escenarios futuros considerando variables que pueden incrementar el riesgo tales como el cambio y la variabilidad climática y los procesos de deforestación y los cambios de cobertura asociados al desarrollo de actividades económicas.

¹¹ LINCE, L., CASTRO, A., CASTAÑO W., TORRES, F. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en suelo en la región cafetera de Caldas. Revista Cenicafé 68 (1): 73-82. 2017.

¹² CORPOCALDAS. “Informe de Gestión Año 2012 Ejecución del Plan de Acción 2007-2012”. {en línea}. 2013. {14 septiembre 2018}. Disponible en: <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1271/InformedeGestion2012-Final-Def.pdf>

3. MARCO TEÓRICO

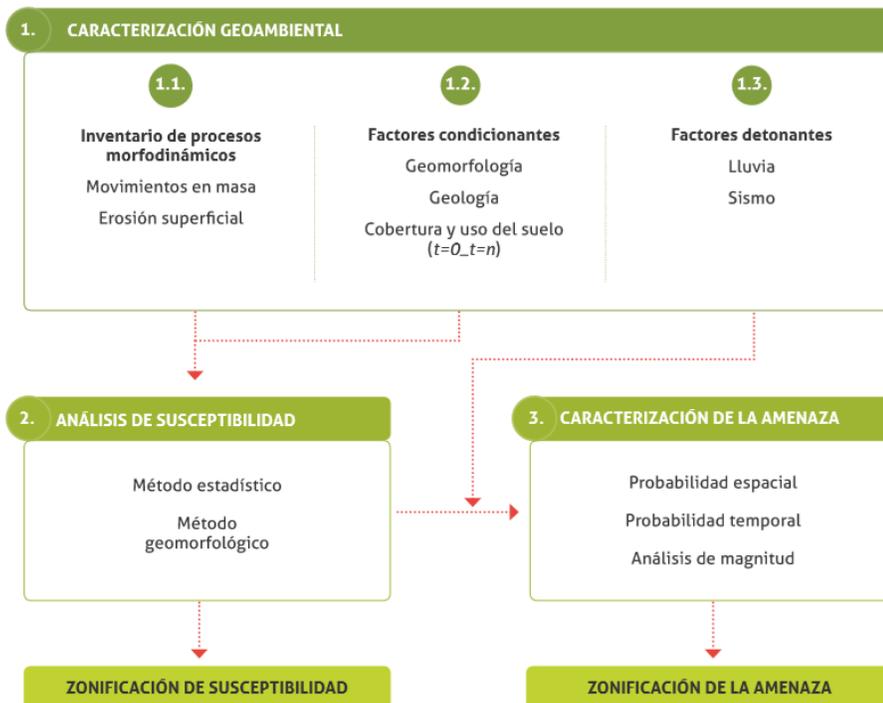
3.1. GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:25.000

Como apoyo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial de los municipios, el Servicio Geológico Colombiano ha elaborado una guía metodológica para realizar zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.

Para analizar amenazas por movimientos en masa es necesario incluir conocimientos sobre geología, geofísica, climatología, hidrología y geotecnia al igual sobre la zona de estudio.

La guía metodológica sugiere realizar dicho análisis en tres etapas: caracterización geoambiental, análisis de susceptibilidad y caracterización de la amenaza.

Ilustración 4. Marco de referencia para el análisis de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.



Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

3.1.1. CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL. Se debe recopilar información de geología, geomorfología, cobertura de tierra y clima para el área de estudio, así como interpretar de manera visual imágenes satelitales, ortofotos y trabajo de campo para identificar sus particularidades y poder generar hipótesis en relación con los factores que condicionan su ocurrencia.

Cruden & Varnes (1996) consideran una lista de factores causales de movimientos en masa como: condiciones geológicas y geomorfológicas, procesos físicos y antrópicos, (ver tabla1).

Tabla 1. Lista de factores causales de movimientos en masa.

CONDICIONES GEOLÓGICAS	CONDICIONES GEOMORFOLÓGICAS
Discontinuidades en macizos o masas de suelo orientadas en la misma dirección de la ladera	Depósitos de material transportado en la base o cresta de la ladera
Discontinuidades estructurales	Erosión costera de laderas
Contraste en permeabilidades y de rigidez	Erosión de márgenes laterales
Materiales cizallados	Erosión fluvial de la base del talud
Materiales colapsables	Erosión glacial de laderas
Materiales fisurados o diaclasados	Erosión subterránea
Materiales meteorizados	Levantamiento tectónico
Materiales plásticos débiles	Levantamiento volcánico
Materiales sensitivos	Rebote glacial
	Remoción de vegetación
PROCESOS FÍSICOS	PROCESOS ANTRÓPICOS
Contracción y expansión de suelos expansivos	Deforestación Minería
Derretimiento súbito de hielo	Desocupar reservorios
Descenso de niveles de inundación o mareas altas	Excavación de laderas
Erupciones volcánicas	Imposición de cargas en el borde de laderas
Periodos de lluvia intensos	Irrigación de laderas
Precipitación prolongada	Rellenos no técnicos
Rompimiento de reservorios	Sistemas de drenaje defectuosos
Sismos	Vibración artificial

Fuente: Adaptado y modificado de CRUDEN, D., VARNES D. Investigation and mitigation. Chapter 3: Landslide types and processes. Special Report - National Research Council 247, National Academy of Sciences. 1996.

Con base en los factores considerados, se debe tener en cuenta los factores y temáticas (ver tabla 2), con el fin de realizar una completa y correcta caracterización geoambiental y obtener un inventario de procesos morfodinámicos.

Tabla 2. Factores y temáticas para la caracterización geoambiental del área de estudio y zonificación de amenaza por movimientos en masa propuestos en la metodología.

FACTOR / TEMÁTICA	CAPAS Y TIPOS DE DATOS
INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS	Inventario de movimientos en masa y erosión
	Actividad de los movimientos en masa
	Distribución
GEOMORFOLOGÍA	Pendiente
	Curvatura
	Morfogénesis
UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES	Tipos de roca
	Meteorización
	Discontinuidades
	Aspectos estructurales
	Fallas
	Tipos de suelo
	Espesor del suelo
	Propiedades geotécnicas
Propiedades hidrológicas	
COBERTURA Y USO DEL SUELO	Cobertura de la tierra
	Uso del suelo actual
	Cambio de la cobertura de la tierra
DETONANTES	Lluvia
	Sismo

Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

3.1.2. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD. En esta etapa se hace la zonificación de la susceptibilidad y la evaluación del riesgo. Una vez se obtenga el inventario de procesos morfodinámicos la metodología propone aplicar un método estadístico bivariado combinado con criterios de campo y subunidades geomorfológicas de la zona de estudio. Con el análisis del inventario de procesos morfodinámicos se puede determinar la relación entre factores condicionantes y la posibilidad de ocurrencia de movimientos en masa.

Existen unos métodos recomendados por Corominas et al. (2013), para realizar un análisis cuantitativo de riesgo de deslizamientos (ver tabla 3).

El método estadístico bivariado que se busca aplicar se denomina “Pesos de Evidencia” el cual se basa en la teoría de probabilidad bayesiana para determinar la posibilidad de ocurrencia de un movimiento en masa dado que existen unos factores condicionantes.

Para el análisis de susceptibilidad por procesos tipo flujo o caída, se propone la definición de subunidades y rasgos geomorfológicos indicativos de susceptibilidad, las cuales pueden ser validadas mediante simulaciones. Una vez obtenida la susceptibilidad del terreno debe ser representada cartográficamente en cuatro clases o categorías (baja, media, alta y muy alta).¹³

Tabla 3. Métodos recomendados para datos basados en la evaluación de susceptibilidad por deslizamientos.

	MÉTODO	REFERENCIAS
Método estadístico bivariado	Modelo Índice de Probabilidad (LRM)	Lee (2005)
	Método Valor de Información	Yin and Yan (1988)
	Método Pesos de Evidencia	van Westen (1993), Bonham-Carter (1994), Suzen and Doyuran (2004)
	Funciones de favorabilidad	Chung and Fabbri (1993), Luzi (1995)
Método estadístico multivariado	Análisis discriminante	Carrara (1983), Gorsevski et al. (2000)
	Regresión Logística	Ohlmacher and Davis (2003), Gorsevski et al. (2006)

Fuente: Adaptado de COROMINAS, J., VAN WESTEN, C., et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2013.

3.1.2.1. MÉTODO PESOS DE EVIDENCIA (WEIGHT OF EVIDENCE, WofE)

El desarrollo matemático planteado por van Westen (1993) consiste en determinar el área de estudio compuesta por un número total de pixeles. Para cada N_{pix} se le atribuyen relaciones mostradas en la Tabla 4, y representadas en la Ilustración 5, donde:

N_{pix1} : Presencia del factor condicionante analizado en el deslizamiento.
Significancia muy alta.

N_{pix2} : Ausencia del factor condicionante analizado en el deslizamiento.
Significancia alta.

N_{pix3} : Ausencia de deslizamiento en el factor condicionante analizado.
Significancia media.

N_{pix4} : Ausencia de factor condicionante analizado y deslizamiento.
Significancia baja.

¹³ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, op. cit.

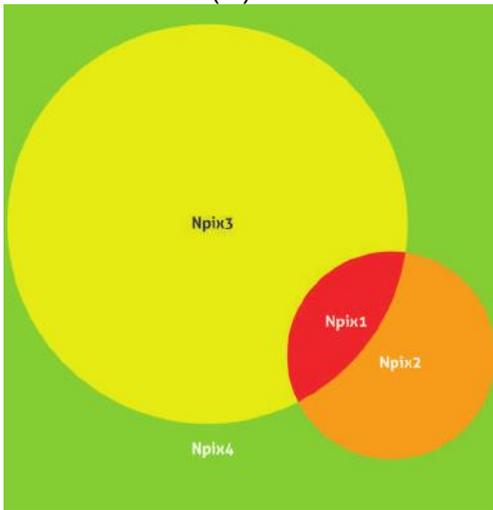
Tabla 4. Relación de deslizamientos (D) y factor condicionante (w).

		w		
		PRESENCIA	AUSENCIA	
D	PRESENCIA	N_{pix1}	N_{pix2}	Área total deslizada
	AUSENCIA	N_{pix3}	N_{pix4}	Área total no deslizada
		Área total con unidad w	Área total sin unidad w	Área total del mapa

w: Factor condicionante con potencialidad de deslizamientos
D: Deslizamientos

Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

Ilustración 5. Representación gráfica de la relación deslizamiento (D) y factor condicionante (w).



Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

Una vez determinados los pixeles del área de estudio, se calcula el Peso positivo (ver ecuación (1)), el Peso negativo (ver ecuación (2)) y el Peso total (ver ecuación (3)).

$$\text{Peso positivo} = \ln \frac{\frac{N_{pix1}}{N_{pix1}+N_{pix2}}}{\frac{N_{pix3}}{N_{pix3}+N_{pix4}}} \quad (1)$$

$$\text{Peso negativo} = \ln \frac{\frac{N_{pix2}}{N_{pix1}+N_{pix2}}}{\frac{N_{pix4}}{N_{pix3}+N_{pix4}}} \quad (2)$$

$$\text{Peso total} = \text{Peso positivo} - \text{Peso negativo} \quad (3)$$

3.1.3. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA. En esta etapa se busca, a pesar de las limitaciones de información, conocer los movimientos en masa detonados por lluvia en la zona de estudio, por lo tanto, se requiere de una aproximación multiamenaza para integrar los diferentes tipos de procesos que pueden ocurrir y la relación con los factores condicionantes y detonantes y probabilidades espaciales temporales y de magnitud, con el fin de definir la probabilidad temporal de ocurrencia de un movimiento en masa.

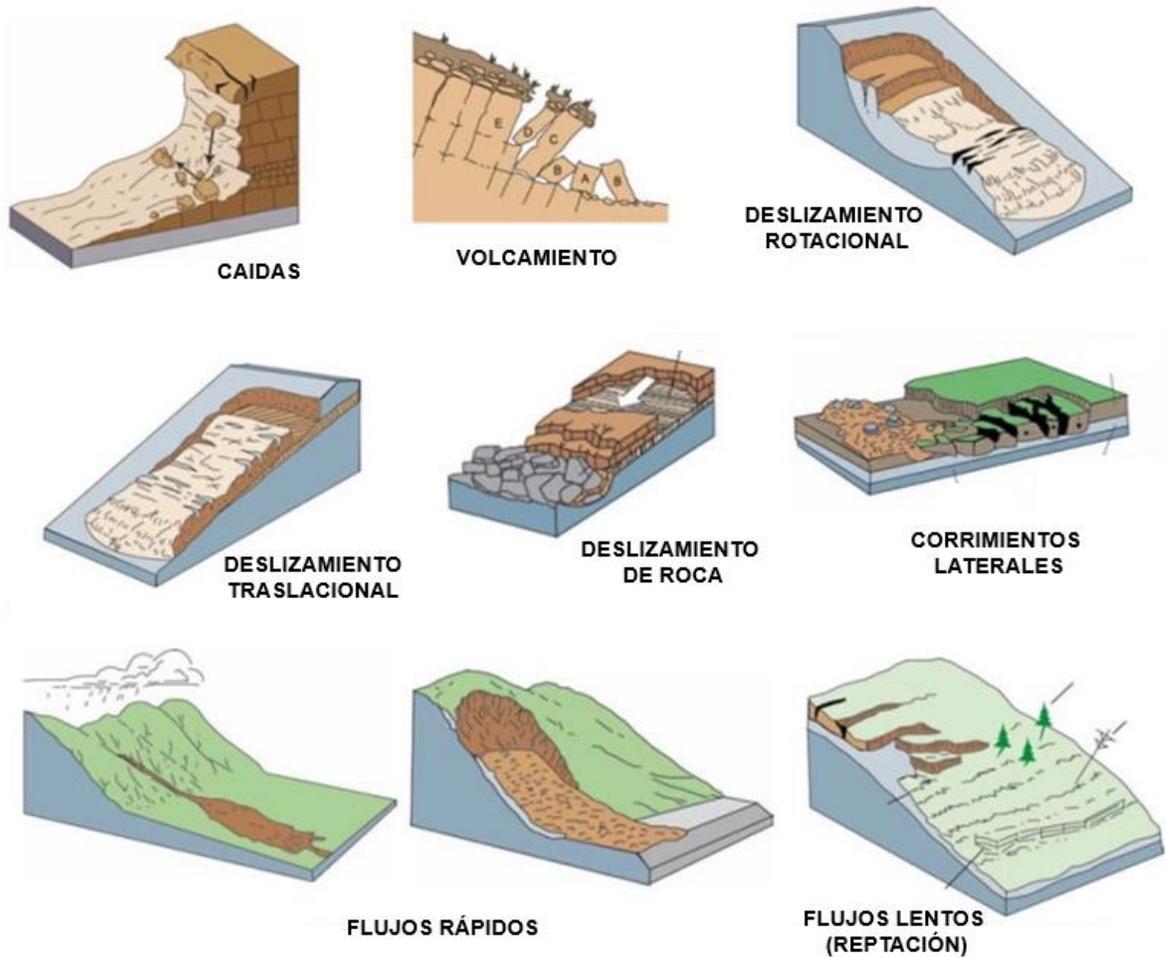
La guía metodológica constituye una primera aproximación para el análisis de la amenaza a escala media con información limitada, propone agrupar los movimientos en masa de acuerdo con los siguientes tipos: deslizamientos rotacional o traslacional en suelo y roca, deslizamientos de profundidad superficial o profunda, caídas o volcamientos en suelos o rocas, flujos y reptaciones, tal y como lo considera Skempton & Hutchinson,¹⁴(ver ilustración 6).

Según el tipo de movimiento, se aplican diferentes criterios de análisis y evaluación. Con los resultados del método estadístico bivariado se analizan las amenazas por deslizamientos y en subunidades geomorfológicas los movimientos tipo flujo y caída. Al final la zonificación de amenaza contiene no solo las categorías de amenaza alta, media y baja (ver tabla 5), sino también, todas aquellas evidencias de inestabilidad que sean identificadas en el inventario de procesos morfodinámicos.¹⁵

¹⁴ SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, op. cit.

¹⁵ Ibid.

Ilustración 6. Tipos de movimientos en masa.



Fuente: Adaptado de SKEMPTON, A. W., & HUTCHINSON, J. N. Stability of natural slopes and embankment foundations. Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1969.

Tabla 5. Matriz de amenazas de remoción en masa basada en la susceptibilidad.

CATEGORÍA DE SUSCEPTIBILIDAD	CATEGORÍA DE AMENAZA
Muy Alta	Alta
Alta	Alta
Media	Media
Baja	Baja

Fuente: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

Ilustración 8. Mapa topográfico del municipio de Chinchiná.



Fuente: TOPOGRAPHIC-MAP. Chinchiná. (s.f.) Disponible en: <http://en-gb.topographic-map.com/places/Chinchin%C3%A1-6814314/>

3.3.3. ZONAS DE RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

- **Movimientos en masa en zona urbana:** La Isla, El Carmen, Panorama, La Frontera, El Porvenir, Los Andes, Nueva Visión, Urb. Juan Pablo II, San Carlos I, Ciudadela del Valle, Minuto de Dios, San Martín, La Esperanza, La Pastoral, Jorge Eliecer Gaitán, Verdum II etapa, Progresar I, Juan XXIII, Viacrucis, Ceballos, La Doctora, Villa Colombia II, El Túnel, Los Mangos, Progresar IV, Mirador II etapa, María Auxiliadora, Carrera 10 (entre calles 10-12 y entre calles 15-16, sector la variante (km 1 vía Chinchiná Manizales), pérdida del soporte para la red de conducción de agua propiedad de EMPOCALDAS.
- **Movimientos en masa en zona rural:** La Estrella, Buenavista, La Cachucha, Guacamayo, Alto De La Mina, Alto y Bajo Chuscal, Altamira, La Floresta, Quiebra De Naranjal, La Ínsula, Los Mangos, El Trébol, Bajo Español, Guayabal, La Esmeralda, La Pradera y San Andrés.¹⁸

¹⁸ CMGRD, op. cit.

4. ESTADO DEL ARTE

La Guía Metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 del SGC está basado en una investigación sobre modelación predictiva de riesgo de deslizamientos inducidos por las lluvias en el Himalaya menor de Nepal basado en peso de la evidencia realizado por la Universidad de Kagawa, Universidad de Tribhuvan y el Departamento de Minas y Geología de Katmandú, Nepal.

Ilustración 9. Deslizamientos devastaron aldeas cercanas a Kodari, Nepal en 2015.



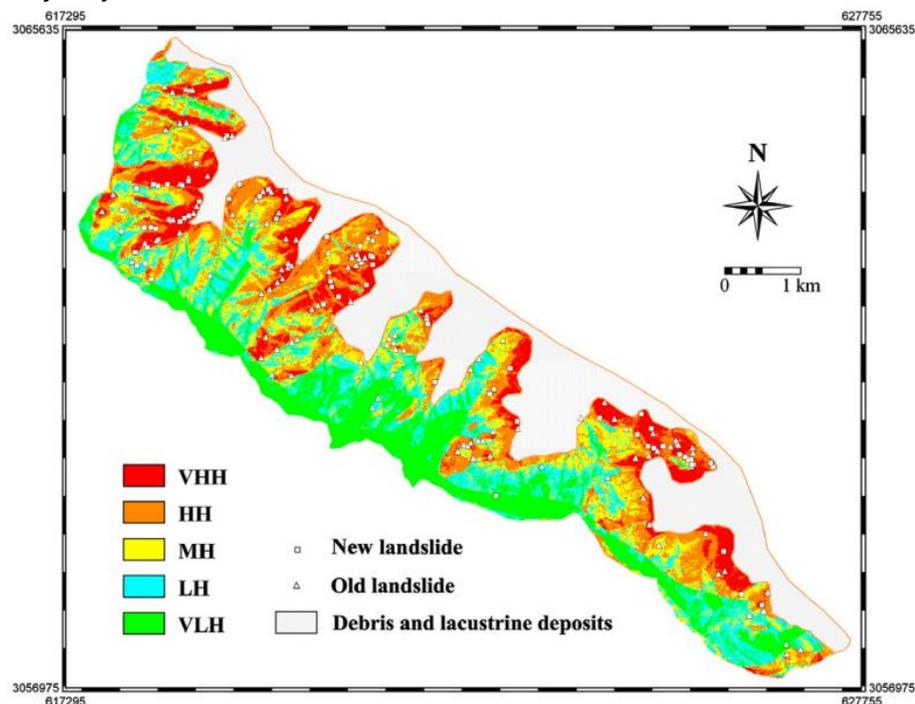
Fuente: NATURE. Landslides devastated villages near Kodari, Nepal. {en línea}. 2016. {15 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.nature.com/news/killer-landslides-the-lasting-legacy-of-nepal-s-quake-1.19803>

El objetivo de esta investigación era evaluar la modelación predictiva de riesgo de deslizamientos inducidos por las lluvias en el Himalaya menor de Nepal con información geográfica con el fin de obtener un mapa de riesgo de deslizamientos en las colinas marginales del suroeste del Valle de Katmandú. Como herramienta de SIG se usaron capas de profundidad del suelo, pendiente, relieve, acumulación de flujo, drenaje, uso de la tierra, geología, precipitación, entre otras. Con base en eventos de deslizamiento ocurridos durante las décadas de los 70, 80 y 90 se utilizó

la probabilidad bayesiana para evaluar deslizamientos de tierra en cada unidad de la celda con respecto a los factores determinantes.¹⁹

La exactitud del mapa fue evaluada por varias técnicas, incluyendo el área bajo la curva, la tasa de éxito y la tasa de predicción. El valor resultante del riesgo de deslizamiento se calculó de los datos anteriores de sucesos de deslizamientos demostrando una exactitud de predicción mayor del 80%. El análisis sugiere que los factores geomorfológicos y los antrópicos jueguen un papel importante para determinar el valor de probabilidad, más que los factores geológicos. Finalmente, después de la rectificación de los valores de peligro de deslizamiento de los nuevos deslizamientos usando los antiguos deslizamientos, se realizó un mapa de riesgo de deslizamiento con una exactitud mayor de 88%.²⁰

Ilustración 10. Mapa final de clasificación de riesgo por deslizamiento del suroeste de las colinas del Valle de Katmandú, después del modelo de peso-evidencia. VHH: riesgo muy alto, HH: riesgo alto, MH: riesgo moderado, LH: riesgo bajo, VLH: riesgo muy bajo. Los valores de coordenadas son del sistema UTM.



Fuente: DAHAL, R. K., HASEGAWA, S., NONOMURA, A., and others. Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. (2008). *Geomorphology*, 102(3-4), 496510.

¹⁹ DAHAL, R. K., HASEGAWA, S., NONOMURA, A., and others. Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. (2008). *Geomorphology*, 102(3-4), 496510.

²⁰ DAHAL, R. K., HASEGAWA, S., NONOMURA, A., and others, op. cit.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

- Realizar la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 para el municipio de Chinchiná, Caldas.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información necesaria para realizar la caracterización geoambiental.
- Realizar un análisis de susceptibilidad y caracterización de amenaza con métodos probabilísticos y herramientas SIG.
- Realizar el mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 para el municipio de Chinchiná, Caldas.

6. ALCANCE Y LIMITACIONES

6.1. ALCANCE

- Evaluar los movimientos en masa en el municipio de Chinchiná realizando una zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 con el método estadístico bivariado de Pesos de Evidencia con base en la investigación sobre modelación predictiva de riesgo de deslizamientos inducidos por las lluvias en el Himalaya menor de Nepal y la guía metodológica creada por el SGC en el 2017.

6.2. LIMITACIONES

- Banco de datos incompletos y no actualizados del Sistema de Información de Movimientos en Masa (SIMMA) del Servicio Geológico Colombiano.
- Recopilación de información exacta y precisa de deslizamientos mediante imágenes satelitales.

7. METODOLOGÍA

Se realiza la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 para el municipio de Chinchiná, Caldas con base en la investigación sobre modelación predictiva de riesgo de deslizamientos inducidos por las lluvias en el Himalaya menor de Nepal y la guía metodológica publicada por el Servicio Geológico Colombiano en las siguientes tres etapas:

7.1. CARACTERIZACIÓN GEOAMBIENTAL

7.1.1. INVENTARIO DE DESLIZAMIENTOS. Se obtiene a partir de catálogo e inventario de deslizamientos del Servicio Geológico Colombiano por medio del SIMMA, y la interpretación de imágenes satelitales (Google Earth). Se encuentra en el SIMMA cuatro eventos registrados detallados en el Anexo A. Se relacionan el inventario de deslizamientos generado las coordenadas (ver tabla 6), y el mapa de localización de estos eventos (ver gráfica 3), identificados con mayor detalle en Anexo B.

Gráfica 3. Mapa de localización de deslizamientos en el municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

Tabla 6. Inventario de deslizamientos del municipio de Chinchiná.

DESGLIZAMIENTO	LATITUD	LONGITUD	DESGLIZAMIENTO	LATITUD	LONGITUD
CHN-01	- 75° 43' 56"	5° 01' 29"	CHN-45	- 75° 37' 25"	4° 59' 24"
CHN-02	- 75° 44' 25"	5° 02' 14"	CHN-46	- 75° 37' 54"	4° 58' 53"
CHN-03	- 75° 44' 08"	5° 03' 11"	CHN-47	- 75° 38' 41"	4° 58' 42"
CHN-04	- 75° 43' 45"	5° 03' 42"	CHN-48	- 75° 38' 48"	4° 57' 48"
CHN-05	- 75° 43' 24"	5° 04' 00"	CHN-49	- 75° 38' 35"	4° 58' 21"
CHN-06	- 75° 42' 49"	5° 04' 11"	CHN-50	- 75° 38' 33"	4° 58' 28"
CHN-07	- 75° 42' 51"	5° 03' 42"	CHN-51	- 75° 37' 21"	4° 58' 54"
CHN-08	- 75° 42' 48"	5° 03' 25"	CHN-52	- 75° 37' 13"	4° 58' 40"
CHN-09	- 75° 42' 45"	5° 03' 39"	CHN-53	- 75° 35' 56"	4° 58' 21"
CHN-10	- 75° 43' 01"	5° 02' 22"	CHN-54	- 75° 36' 14"	4° 58' 19"
CHN-11	- 75° 43' 01"	5° 02' 10"	CHN-55	- 75° 36' 48"	4° 59' 14"
CHN-12	- 75° 43' 03"	5° 01' 58"	CHN-56	- 75° 36' 49"	4° 59' 11"
CHN-13	- 75° 43' 25"	5° 02' 31"	CHN-57	- 75° 35' 45"	4° 57' 40"
CHN-14	- 75° 44' 00"	5° 01' 14"	CHN-58	- 75° 36' 05"	4° 57' 38"
CHN-15	- 75° 43' 45"	5° 01' 15"	CHN-59	- 75° 36' 00"	4° 57' 37"
CHN-16	- 75° 41' 32"	5° 00' 41"	CHN-60	- 75° 35' 53"	4° 57' 43"
CHN-17	- 75° 41' 21"	5° 00' 17"	CHN-61	- 75° 36' 51"	4° 58' 09"
CHN-18	- 75° 41' 13"	5° 00' 15"	CHN-62	- 75° 35' 47"	4° 58' 47"
CHN-19	- 75° 41' 04"	5° 00' 12"	CHN-63	- 75° 35' 27"	4° 58' 40"
CHN-20	- 75° 42' 32"	5° 01' 40"	CHN-64	- 75° 35' 41"	4° 58' 37"
CHN-21	- 75° 42' 33"	4° 59' 30"	CHN-65	- 75° 34' 57"	4° 57' 50"
CHN-22	- 75° 43' 05"	4° 59' 14"	CHN-66	- 75° 35' 11"	4° 57' 43"
CHN-23	- 75° 42' 58"	4° 59' 04"	CHN-67	- 75° 35' 26"	4° 57' 41"
CHN-24	- 75° 41' 45"	4° 59' 28"	CHN-68	- 75° 35' 26"	4° 57' 34"
CHN-25	- 75° 42' 00"	4° 59' 34"	CHN-69	- 75° 35' 48"	4° 57' 09"
CHN-26	- 75° 40' 02"	4° 56' 40"	CHN-70	- 75° 35' 21"	4° 56' 43"
CHN-27	- 75° 41' 41"	4° 57' 10"	CHN-71	- 75° 35' 38"	4° 55' 42"
CHN-28	- 75° 40' 33"	4° 57' 26"	CHN-72	- 75° 35' 41"	4° 55' 39"
CHN-29	- 75° 42' 16"	4° 57' 21"	CHN-73	- 75° 36' 01"	4° 55' 54"
CHN-30	- 75° 42' 22"	4° 57' 32"	CHN-74	- 75° 35' 39"	4° 56' 48"
CHN-31	- 75° 42' 29"	4° 57' 34"	CHN-75	- 75° 35' 31"	4° 57' 25"
CHN-32	- 75° 40' 59"	4° 57' 00"	CHN-76	- 75° 35' 42"	4° 57' 19"
CHN-33	- 75° 41' 49"	4° 57' 41"	CHN-77	- 75° 36' 57"	4° 56' 20"
CHN-34	- 75° 41' 46"	4° 57' 42"	CHN-78	- 75° 35' 51"	4° 56' 55"
CHN-35	- 75° 41' 36"	4° 57' 15"	CHN-79	- 75° 36' 57"	4° 57' 08"
CHN-36	- 75° 41' 01"	4° 59' 01"	CHN-80	- 75° 35' 43"	4° 56' 20"
CHN-37	- 75° 41' 06"	4° 59' 01"	CHN-81	- 75° 35' 20"	4° 56' 46"
CHN-38	- 75° 41' 11"	4° 57' 58"	CHN-82	- 75° 35' 07"	4° 57' 21"
CHN-39	- 75° 41' 14"	4° 58' 08"	CHN-83	- 75° 36' 24"	4° 57' 12"
CHN-40	- 75° 41' 15"	4° 57' 59"	SIMMA-01	- 75° 42' 48"	5° 03' 47"
CHN-41	- 75° 39' 42"	4° 57' 42"	SIMMA-02	- 75° 37' 06"	4° 57' 29"
CHN-42	- 75° 39' 42"	4° 58' 26"	SIMMA-03	- 75° 36' 25"	4° 58' 13"
CHN-43	- 75° 39' 17"	4° 57' 35"	SIMMA-04	- 75° 36' 25"	4° 58' 14"
CHN-44	- 75° 38' 28"	4° 58' 55"			

Fuente: El autor.

7.1.2. FACTORES CONDICIONANTES. Los factores condicionantes tenidos en cuenta para la caracterización geoambiental y análisis de susceptibilidad fueron: altura del talud, cobertura, curvatura (geoforma), distancia a drenajes, distancia a la vía, elevación, geología, geomorfología, orientación, pendientes y suelos.

7.1.2.1. ALTURA DEL TALUD. Este factor se define a partir de la generación de polígonos según la orientación de las pendientes y cercanía entre sí a partir de un DEM de la zona de estudio tomado de la misión satelital Alaska Satellite Facility (ASF) de la NASA y la Universidad de Alaska Fairbanks.²¹ Con la formación de estos polígonos se obtiene la altura del talud según la orientación de la superficie. Se hace la distribución de alturas en 6 intervalos: 0m, 85m, 170m, 255m, 340m y 425m, con los pesos de evidencia (ver tabla 7) y las alturas del talud de la zona de estudio (ver gráfica 4), identificada con mayor detalle en Anexo C.

Tabla 7. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Altura del talud.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	0	0	138	-18,3332244	0,0005140	-18,3337385
2	0-85	23	103980	-1,0926021	0,3495643	-1,4421664
3	85-170	36	80208	0,1012636	-0,0459549	0,1472184
4	170-255	26	47994	0,1295119	-0,0302690	0,1597810
5	255-340	19	28502	0,1210326	-0,0152660	0,1362986
6	340-425	9	9503	1,8766873	-0,2159285	2,0926158

Fuente: El autor.

7.1.2.2. COBERTURA. El mapa de cobertura o uso del suelo (shapefile) suministrado por la Secretaría de Planeación de la Alcaldía Municipal de Chinchiná, con base en la Fase de Zonificación Ambiental del POMCH del Río Chinchiná²² y en el capítulo de Componente Suelo del POMCA del Río Campoalegre²³, permiten identificar veinte diferentes usos de suelo (ver tabla 8). Los usos de suelo que más predominan en este municipio son: cultivo de café a plena exposición ocupando un 37,31% del área total del municipio, cultivo de café con semisombrío ocupando un 18,20% del área total del municipio y mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales ocupando un 16,31% del área total del municipio. Se observa la

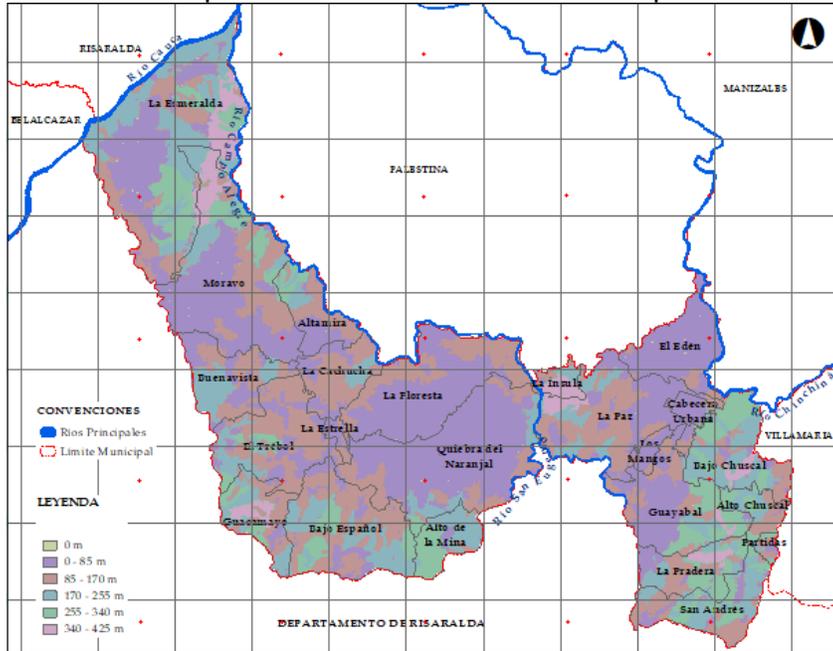
²¹ NASA, UNIVERSITY OF ALASKA FAIRBANKS. Alaska Satellite Facility. {en línea} (s.f.) {02 abril 2019}. Disponible en: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

²² CORPOCALDAS, ASOCARS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Zonificación Ambiental Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Chinchiná. Pereira. Convenio de Asociación 203. 2011.

²³ CORPOCALDAS. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Campoalegre. Pereira. CARDER, 2009.

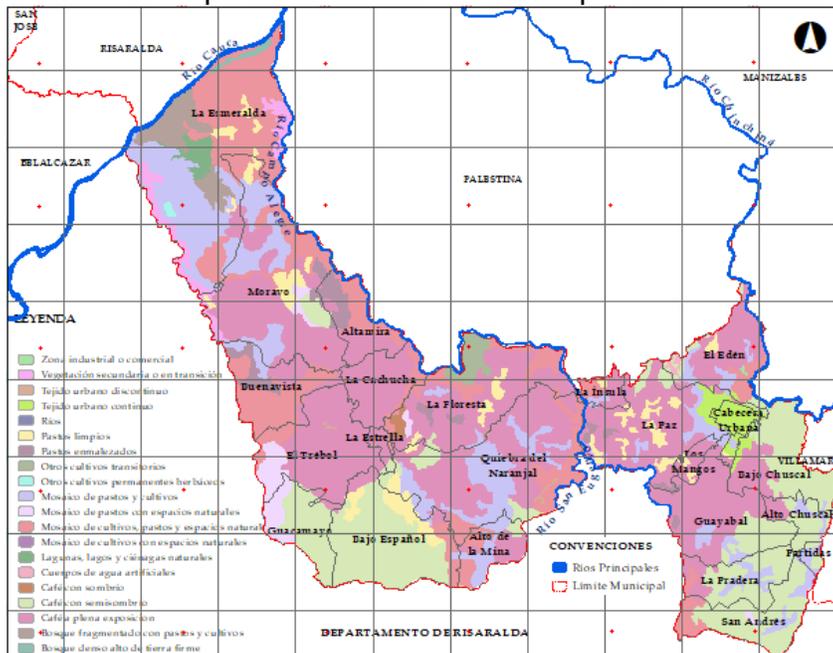
distribución de la cobertura de suelo de la zona de estudio (ver gráfica 5), identificada con mayor detalle en Anexo D.

Gráfica 4. Mapa de altura del talud del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

Gráfica 5. Mapa de cobertura del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

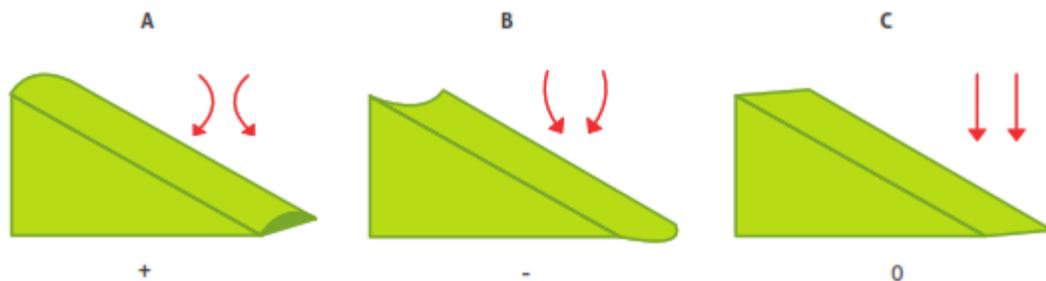
Tabla 8. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Cobertura.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	Ríos	0	1324	-20,5943760	0,0049425	-20,5993185
2	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	1657	-20,8187273	0,0061894	-20,8249168
3	Tejido urbano continuo	1	4079	-1,68822524	0,0124787	-1,7007040
4	Cuerpos de agua artificiales	0	354	-19,2752602	0,0013191	-19,2765793
5	Pastos limpios	6	9612	1,5229157	-0,1381460	1,6610618
6	Café con semisombrío	29	49192	0,2382144	-0,0615627	0,2997772
7	Mosaico de pastos y cultivos	13	35048	0,1375632	-0,0221881	0,1597513
8	Café a plena exposición	21	100850	-0,5087265	0,2137199	-0,7224464
9	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	22	44078	0,2012056	-0,0443122	0,2455179
10	Mosaico de pastos con espacios naturales	0	5109	-21,944722	0,0192081	-21,9639304
11	Vegetación secundaria o en transición	4	4946	-0,2282498	0,0038014	-0,2320512
12	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	1	4997	-1,1017765	0,0125528	-1,1143294
13	Pastos enmalezados	0	5142	-21,951160	0,0193334	-21,9704941
14	Tejido urbano discontinuo	0	289	-19,07239	0,0010768	-19,0734668
15	Zonas industriales o comerciales	0	61	-17,516837	0,0002272	-17,5170643
16	Bosque denso alto de tierra firme	1	585	1,1487383	-0,0046170	1,1533553
17	Otros cultivos permanentes herbáceos	0	207	-18,738682	0,0007711	-18,7394532
18	Otros cultivos transitorios	0	2241	-21,120640	0,0083800	-21,1290208
19	Café con sombrío	2	553	1,2880976	-0,0053049	1,2934026
20	Mosaico de cultivos con espacios naturales	0	3	-14,504575	0,0000112	-14,5045868

Fuente: El autor.

7.1.2.3. CURVATURA. Este factor condicionante indica la forma de las laderas, si son convexas, cóncavas o es un terreno plano. Esta información se genera a partir de un DEM de la zona de estudio tomado de la misión satelital Alaska Satellite Facility (ASF),²⁴ donde se atribuye valores según la forma de la curvatura, si es convexa su valor es positivo, si es cóncava su valor es negativo y si es plano el valor de este es cero. Según Carrara (1983), una curvatura cóncava es más efectiva en la captación de agua de lluvia que es un componente morfológico característico en la potencial generación de movimientos en masa superficiales.²⁵ La distribución es generada automáticamente en 5 clases: Muy cóncavo, Cóncavo, Plano, Convexo y Muy convexo con los pesos de evidencia (ver tabla 9) y en las curvaturas de la superficie de la zona de estudio (ver gráfica 6), identificadas con mayor detalle en Anexo E.

Ilustración 11. Curvatura perpendicular a la dirección de máxima pendiente.



Fuente: ESRI. Función de curvatura {en línea}. 2016 {15 abril 2019}. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>

Tabla 9. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Curvatura.

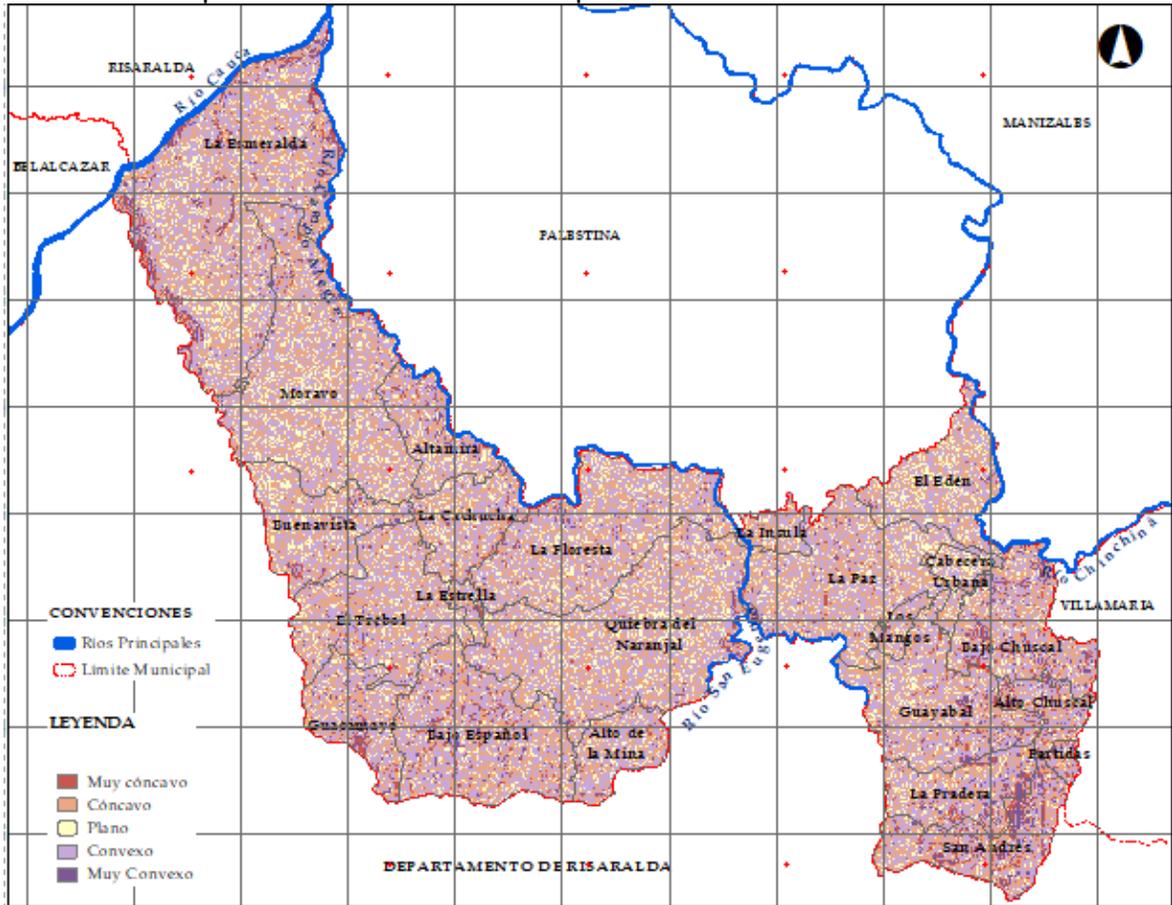
ID	Símbolo	Nº píxeles de deslizamientos	Nº píxeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	Muy cóncavo	27	9957	0,3288054	-0,0149583	0,3437637
2	Cóncavo	68	101377	0,0884655	-0,0570369	0,1455024
3	Plano	44	42227	-0,4167168	0,0613320	-0,4780488
4	Convexo	65	107887	-0,0530551	0,0337577	-0,0868128
5	Muy convexo	26	8900	0,5673586	-0,0261995	0,5935581

Fuente: El autor.

²⁴ NASA, UNIVERSITY OF ALASKA FAIRBANKS, op. cit.

²⁵ CARRARA, A. Multivariate models for landslide hazard evaluation. (1983). Mathematical Geology. 15, 403-426.

Gráfica 6. Mapa de curvatura del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.1.2.4. DISTANCIA A DRENAJES. Los cauces que pasan por el municipio de Chinchiná son los ríos San Eugenio, Campoalegre, Cauca, Chinchiná, San Francisco, y la Quebrada La Estrella. Estos cuerpos de agua se convierten en un factor condicionante muy importante debido a que se generan procesos erosivos en los taludes que hay cerca de la zona ocasionando inestabilidad. Se genera a partir de mapa existente de drenajes (shapefile), suministrado por la Secretaría de Planeación de la Alcaldía Municipal de Chinchiná, un raster con el fin de evaluar las distancias que hay entre taludes y cuerpos de agua.

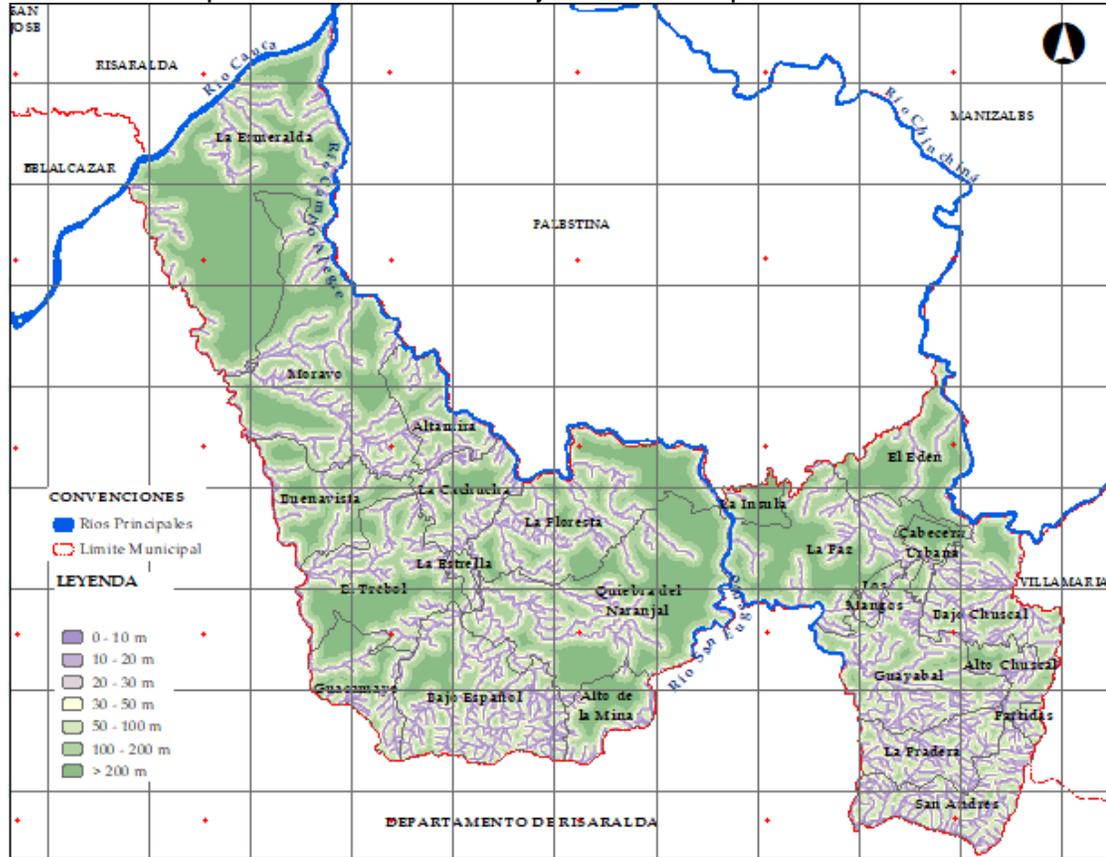
Se hace la distribución de distancias en 7 intervalos: a 10m, 20m, 30m, 255m, 50m, 100m, 200m y mayores de 200m, (ver tabla 10) con los pesos de evidencia y la distancia a drenajes de la zona de estudio (ver gráfica 7), identificadas con mayor detalle en Anexo F.

Tabla 10. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Distancia a drenajes.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	0-10m	24	24015	-0,0819336	0,0076443	-0,0895779
2	10-20m	35	30849	-0,0172423	0,0021997	-0,0194421
3	20-30m	33	11779	0,2743921	-0,0144557	0,2888478
4	30-50m	35	27070	0,0836648	-0,0097513	0,0934161
5	50-100m	43	58423	0,0376654	-0,0106345	0,0482999
6	100-200m	32	56535	0,0980700	-0,0275991	0,1256692
7	>200m	21	61677	-0,2104133	0,0546546	-0,2650679

Fuente: El autor.

Gráfica 7. Mapa de distancia a drenajes del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.1.2.5. DISTANCIA A LA VÍA. Factores antrópicos como la construcción de vías condicionan directa e indirectamente la estabilidad de taludes, para ello se considera este factor condicionante al momento de evaluar amenazas. Se genera un raster a partir de mapa existente de vías que hay dentro del municipio (shapefile),

suministrado por la Secretaría de Planeación de la Alcaldía Municipal de Chinchiná, para evaluar las distancias que hay entre vías y taludes.

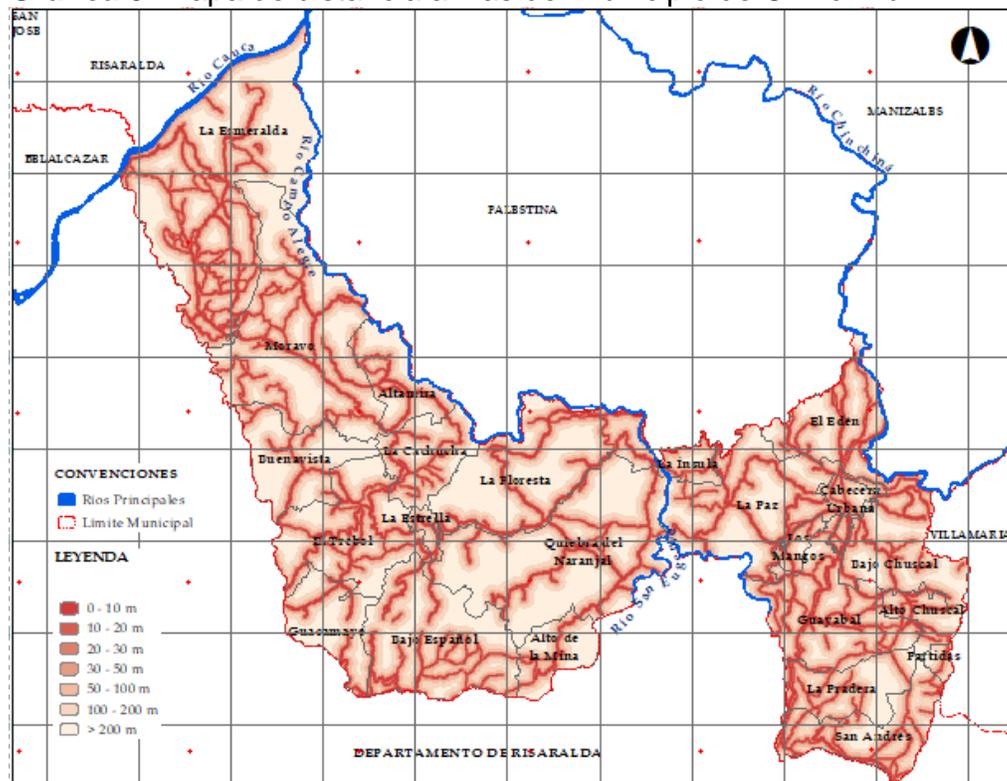
Se hace la distribución de distancias en 7 intervalos: a 10m, 20m, 30m, 255m, 50m, 100m, 200m y mayores de 200m, (ver tabla 11) con los pesos de evidencia y distancia a la vía de la zona de estudio (ver gráfica 8), identificadas con mayor detalle en Anexo G.

Tabla 11. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Distancia a la vía.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	0-10m	16	25257	-0,5029355	0,0400360	-0,5429716
2	10-20m	19	23886	-0,6082979	0,0433591	-0,6516570
3	20-30m	16	8849	-0,4313744	0,0118152	-0,4431896
4	30-50m	22	21265	-0,4916224	0,0327077	-0,5243302
5	50-100m	29	53412	-0,5490484	0,0992903	-0,6483387
6	100-200m	42	65254	-0,0102579	0,0032421	-0,0135000
7	>200m	37	72425	0,5719627	-0,3291289	0,9010916

Fuente: El autor.

Gráfica 8. Mapa de distancia a vías del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.1.2.7. GEOLOGÍA. Dentro del municipio de Chinchiná se encuentran nueve capas geológicas caracterizadas y descritas por INEGOMINAS en memorias explicativas a escala 1:100.000 de la Plancha 205 – Chinchiná y Plancha 206 Manizales en el año 2001. Estas capas están comprendidas entre rocas ígnea, metamórfica y sedimentaria, con alta presencia de flujos de lodo volcánico y Formación Barroso (Roca Ígnea). La composición geológica de cada capa según el Mapa Geológico del Departamento de Caldas²⁷ es:

- **ALUVIONES RECIENTES (Qar):** Depósitos no consolidados de material aluvial y coluvial de poco espesor en los cañones de algunos ríos y quebradas, cubren las rocas más antiguas.
- **COMPLEJO ARQUÍA (Kiea):** Esquistos verdes. Rocas metamórficas de media alta presión y periodotitas serpentinizadas. Edades: K/Ar entre 110 y 130 m.a. Esquistos anfibólicos y anfibolitas localmente con granate y zoisita.
- **COMPLEJO CAJAMARCA (Pes):** Esquistos cuarzo sericíticos, grafitosos, pizarras y filitas localmente con intercalaciones de esquistos cloríticos.
- **FLUJOS DE LODO VOLCÁNICO (Qfl):** Depósitos compuestos principalmente por cenizas, arenas, fragmentos y bloques de rocas volcánicas y metamórficas. Arenas volcánicas bien seleccionadas con clastos de pómez. Localmente presenta intercalaciones de lavas andesíticas.
- **FORMACIÓN AMAGA (Toi):** Miembro Inferior: Conglomerados, areniscas grises y arcillolitas. Oligoceno medio-tardío.
- **FORMACIÓN BARROSO (Kvb):** Diabasas, pillow lavas y piroclastitas parcialmente espilitizadas, localmente intercalaciones de liditas, limonitas y lutitas.
- **FORMACIÓN COMBIA (Tmc):** Material piroclástico, aglomerados, brechas y tobas con algunos flujos de lavas básicas y hacia el techo rocas volcanoclásticas. Edad Mioceno-Plioceno.
- **GABROS (Kdg):** Stock diorítico gabroide de Chinchiná - Santa Rosa. Diorita hornbléndica en parte deformada y orientada con variaciones a gabro hornbléndico piroxénico.
- **GNEIS DE CHINCHINÁ (Pnch):** Compuesto por cuarzo - feldespatos - biotita - sillimanita, ocasionalmente con granate.

²⁷ CALDAS. Ministerio de Minas y Energía. INGEOMINAS. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de CALDAS. 1:250.000. 1990.

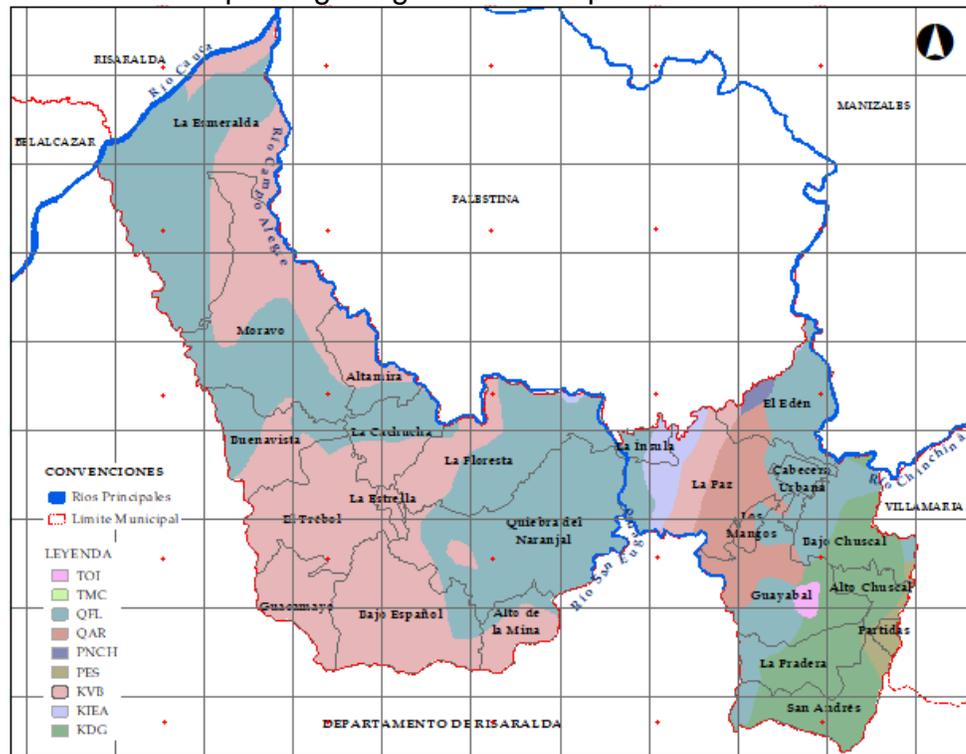
Se genera un raster a partir de mapa existente de geología que hay dentro del municipio (shapefile), suministrado por la Secretaría de Planeación de la Alcaldía Municipal de Chinchiná. Se hace la distribución de acuerdo a las formaciones geológicas relacionadas anteriormente, con los pesos de evidencia (ver tabla 13) y la geología la zona de estudio (ver gráfica 10), identificada con mayor detalle en Anexo I.

Tabla 13. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Geología.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	KVB	747	95253	0,1743640	-0,1091891	0,2835531
2	KIEA	25	4890	-0,2562287	0,0041618	-0,2603905
3	QFL	429	124992	-0,6563925	0,3480993	-1,0044918
4	TMC	0	3	-14,504575	0,0000112	-14,5045868
5	KDG	268	26322	0,4377778	-0,0608276	0,4986054
6	PNCH	0	842	-20,141743	0,0031404	-20,1448837
7	QAR	278	14630	1,0706939	-0,1145796	1,1852735
8	PES	22	2433	0,3179630	-0,0033969	0,3213599
9	TOI	14	962	0,7994202	-0,0043465	0,8037668

Fuente: El autor.

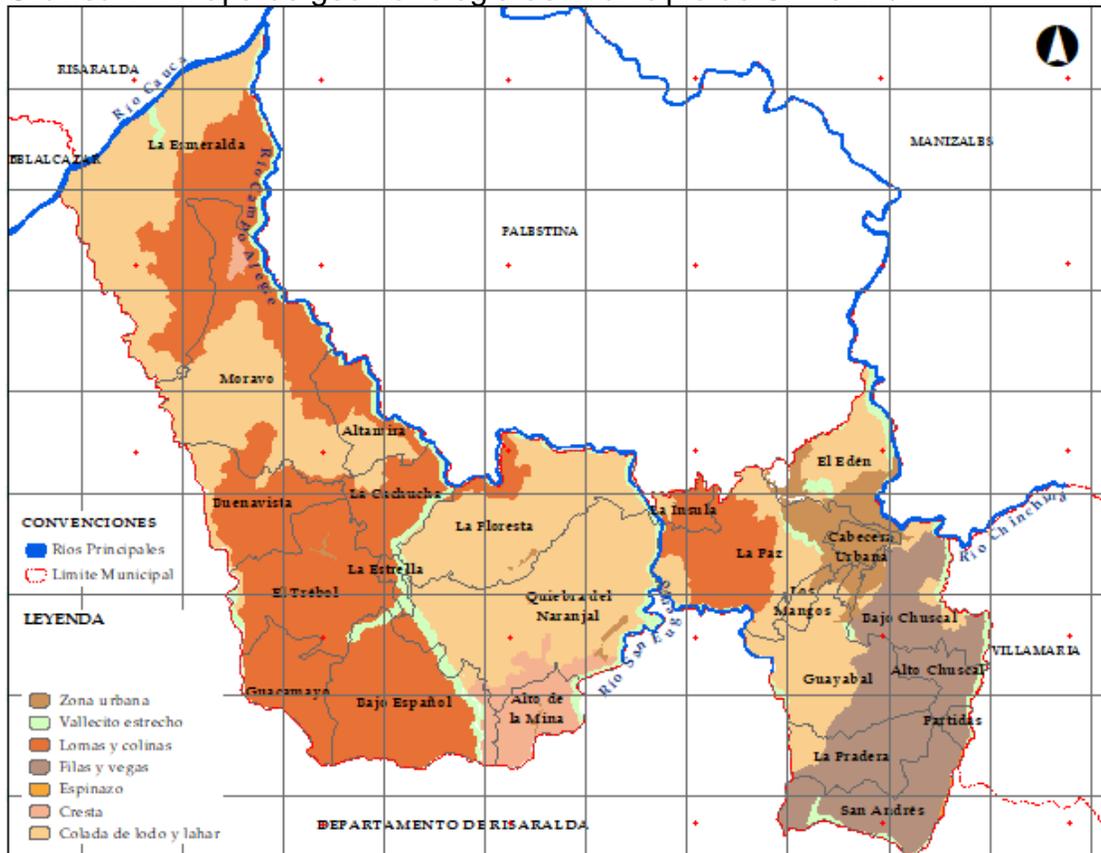
Gráfica 10. Mapa de geología del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.1.2.8. GEOMORFOLOGÍA. El mapa de geomorfología (shapefile) suministrado por la Secretaría de Planeación de la Alcaldía Municipal de Chinchiná, con base en el libro de Geomorfología del Área de Manizales – Chinchiná²⁸ y el Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas 2° Edición,²⁹ permite identificar ocho diferentes unidades de paisaje (ver tabla 14). Las unidades de paisaje que más predominan en este municipio son: colada de lodo y lahar, lomas y colinas. La distribución de la geomorfología de la zona de estudio (ver gráfica 11) es identificada con mayor detalle en Anexo J.

Gráfica 11. Mapa de geomorfología del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

²⁸ FLÓREZ, A. Geomorphology of the Manizales - Chinchina Area, Cordillera Central, Colombia. Tesis Ph. D., University of Amsterdam, Faculty of Mathematics and National Sciences. 1986.

²⁹ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2° Edición. Bogotá. IGAC, 2004.

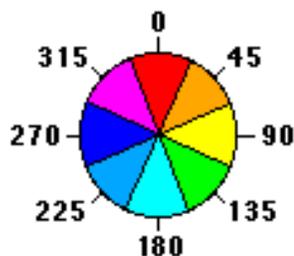
Tabla 14. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Geomorfología.

ID	Símbolo	N° píxeles de deslizamientos	N° píxeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	Filas y vegas	22	33003	0,4989756	-0,0938088	0,5927844
2	Colada de lodo y lahar	22	109209	-0,8025866	0,3194284	-1,1220150
3	Lomas y colinas	33	93288	0,4652505	-0,3715155	0,8367661
4	Espinazo	0	102	-18,030936	0,0003799	-18,0313160
5	Cresta	3	8685	-0,4126641	0,0111866	-0,4238507
6	Vallecito estrecho	5	12479	-1,0826342	0,0316456	-1,1142799
7	Zona urbana	3	10389	-0,1336487	0,0049918	-0,1386406

Fuente: El autor.

7.1.2.9. ORIENTACIÓN. Este factor determina sobre qué orientación se encuentran las pendientes con respecto al norte. Esta información se obtiene a partir del DEM de la región de estudio, a partir del DEM de la zona de estudio tomado de la misión satelital Alaska Satellite Facility (ASF),³⁰ se genera un raster donde se indica la orientación de las pendientes con respecto al Norte dentro del área total del municipio. La distribución es generada automáticamente en 9 clases: Plano, Norte (N), Noreste (NE), Este (E), Sureste (SE), Sur (S), Suroeste (SW), Oeste (W) y Noroeste (NW) con los pesos de evidencia (ver tabla 15), y las orientaciones de las pendientes de la zona de estudio (ver gráfica 12), identificadas con mayor detalle en Anexo K.

Ilustración 12. Direcciones de orientación.



Fuente: ESRI. Cómo funciona Orientación {en línea}. 2016 {15 abril 2019}. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-aspect-works.htm>

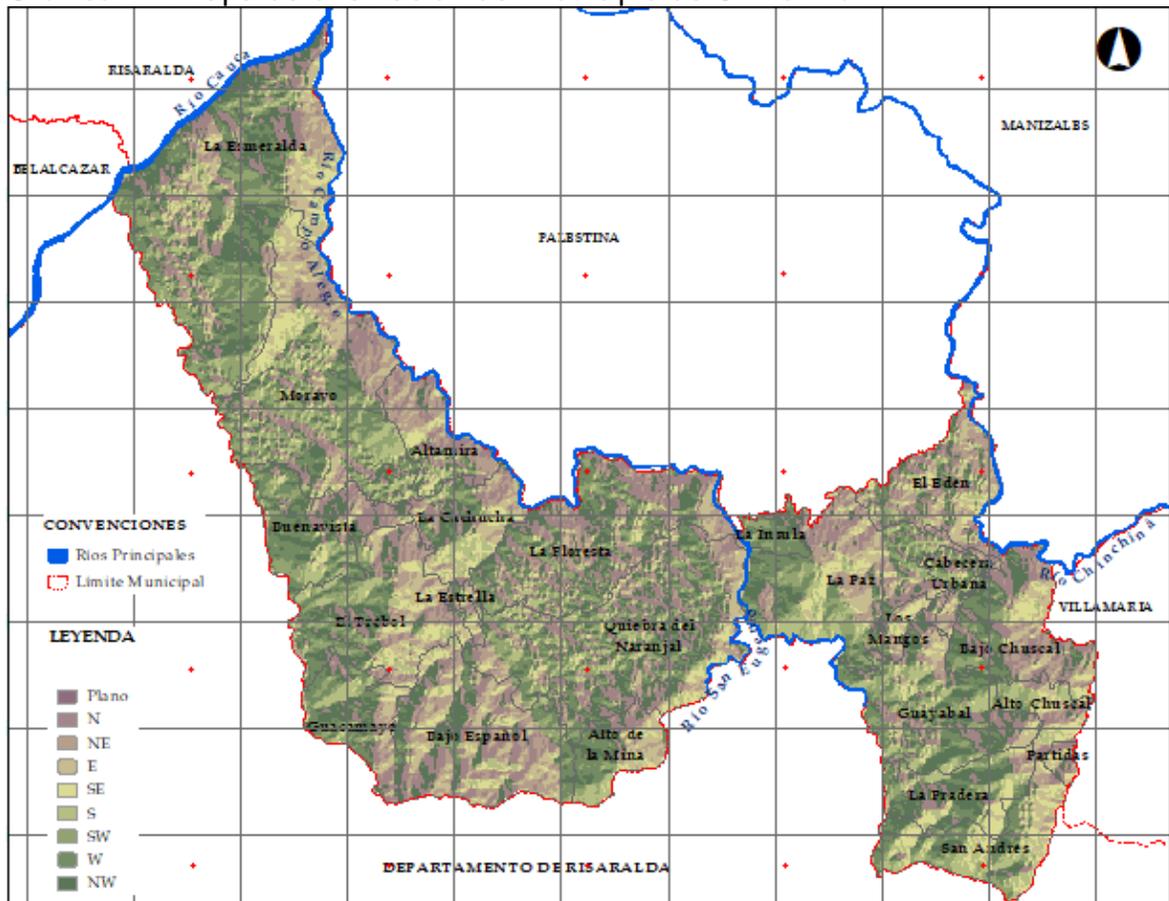
³⁰ NASA, UNIVERSITY OF ALASKA FAIRBANKS, op. cit.

Tabla 15. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Orientación.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	Plano	0	125	-18,2341988	0,0004655	-18,2346644
2	N	26	42996	-0,2598885	0,0424458	-0,3023343
3	NE	23	34084	0,2176434	-0,0356399	0,2532833
4	E	27	28790	0,8139735	-0,1606632	0,9746368
5	SE	19	21758	0,3742026	-0,0403982	0,4146008
6	S	19	23853	0,1356620	-0,0141448	0,1498068
7	SW	22	29075	-0,6643077	0,0570426	-0,7213503
8	W	28	44913	-0,6252363	0,0888859	-0,7141222
9	NW	26	44754	-0,3233713	0,0534765	-0,3768477

Fuente: El autor.

Gráfica 12. Mapa de orientación del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.1.2.10. PENDIENTES. El municipio de Chinchiná se encuentra localizado sobre la vertiente oriental de la Cordillera Central, donde presenta diversidad de pendientes, las pendientes predominantes que hay dentro del área total del municipio son de 0% a 25%. Sin embargo, hay zonas que superan el 25% que son considerables al momento de evaluar amenazas. Esta información fue generada a partir de un DEM de la zona de estudio tomado de la misión satelital Alaska Satellite Facility (ASF).³¹

Según van Zuidam (1986), según la inclinación se atribuyen unos procesos característicos y condiciones del terreno. Pendientes suavemente inclinadas e inclinadas, entre 0° a 10°, son susceptibles a desarrollar procesos erosivos; pendientes moderadamente abruptas, entre 10° a 15°, son susceptibles a erosión y deslizamientos; pendientes abruptas, entre 15° a 35°, son altamente propensas al desarrollo de procesos erosivos; pendientes muy abruptas, entre 35° a 55°, se presentan en afloramientos rocosos con procesos denudacionales intensos y pendientes extremadamente abruptas, mayor a 55°, susceptible a rodamiento de rocas.³²

Se hace la distribución de pendientes en 12 intervalos con los pesos de evidencia (ver tabla 16) y las pendientes del terreno de la zona de estudio (ver gráfica 13), identificadas con mayor detalle en Anexo L.

Tabla 16. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Pendientes.

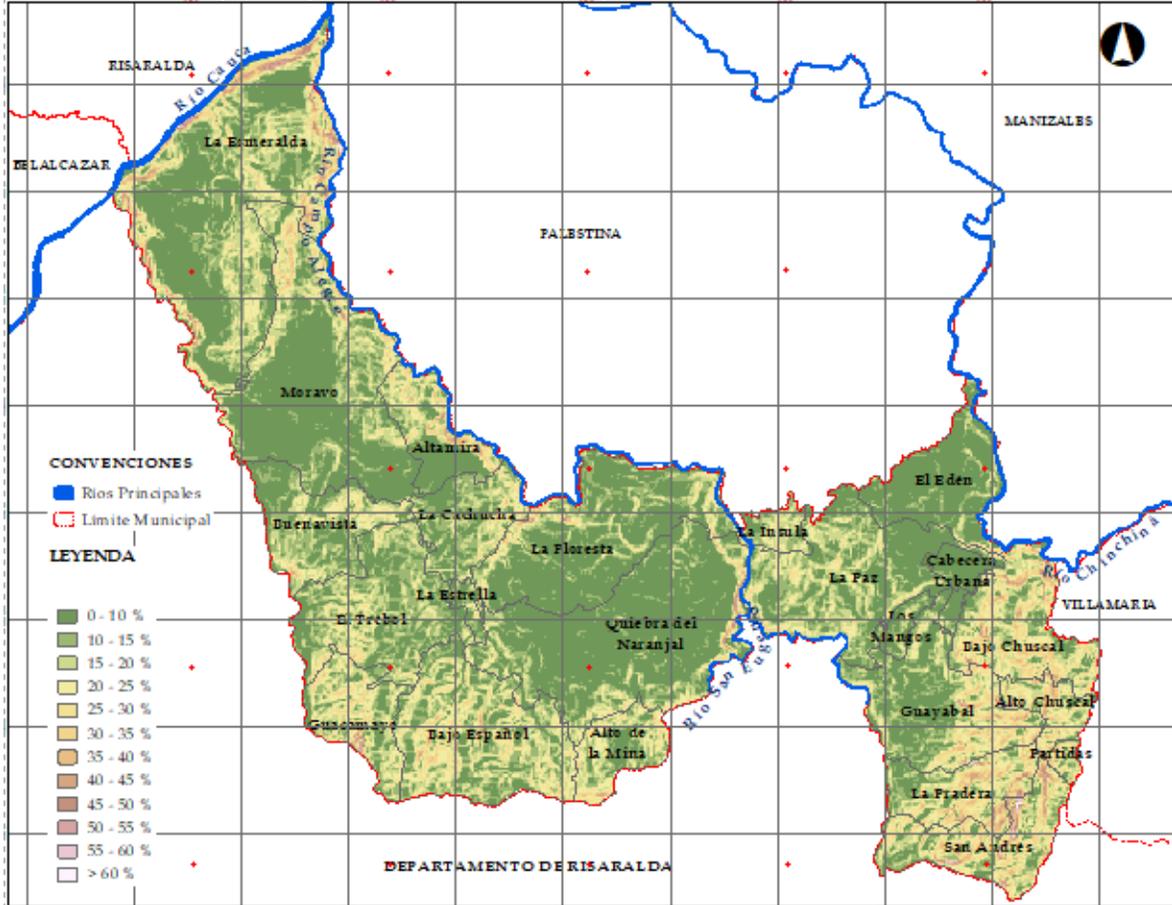
ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	0-10	34	111235	-0,8848403	0,3458859	-1,2307263
2	10 - 15	41	52486	-0,3353411	0,0665349	-0,4018760
3	15-20	44	43905	0,2974910	-0,0693452	0,3668362
4	20-25	47	29977	0,5409951	-0,0932489	0,6342441
5	25-30	38	16997	0,9033834	-0,1025591	1,0059425
6	30-35	20	8488	0,7444409	-0,0362063	0,7806473
7	35-40	12	3983	0,9158463	-0,0224404	0,9382867
8	40-45	10	1932	1,1324391	-0,0150425	1,1474816
9	45-50	2	781	0,3091339	-0,0010475	0,3101815
10	50-55	1	336	-0,7993349	0,0006871	-0,8000220
11	55-60	1	156	-0,0286294	0,0000163	-0,0286458
12	>60	0	72	-17,682551	0,0002681	-17,6828194

Fuente: El autor.

³¹ NASA, UNIVERSITY OF ALASKA FAIRBANKS, op. cit.

³² VAN ZUIDAM, R.A. Aerial Photointerpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. The Hague: Smiths Publishers, 1986.

Gráfica 13. Mapa de pendiente del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.1.2.11. SUELOS. Se contemplan siete tipos de suelo para el municipio de Chinchiná, según mapa existente suministrado por la Secretaría de Planeación de la Alcaldía Municipal de Chinchiná, los cuales se encuentran caracterizados y descritos en el Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas 2° Edición.³³ Los suelos existentes en el municipio son:

- **ASOCIACIÓN RIO ARMA – CASTILLA (RCef2).** Los suelos que constituyen esta asociación están ubicados a lo largo de las vertientes bajas del río Cauca y sus afluentes, en los municipios de Viterbo, Belalcázar, Anserma, Risaralda, Chinchiná, Palestina, Neira, Filadelfia, Riosucio, Marmato, La Merced, Pácora y Aguadas, en alturas entre 600 y 1400 m.s.n.m.

³³ INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, op. cit.

Los perfiles representativos de esta asociación dentro del municipio de Chinchiná son: PC-12, PC-16 y PC-17.

Los suelos de los perfiles representativos PC-12 y PC-16 están limitados en su profundidad efectiva por la presencia de materiales gruesos en el perfil, constituidos especialmente por fragmentos de rocas sedimentarias o ígneas; son de colores pardo a pardo oscuro sobre pardo amarillento. En algunos casos pueden presentar una relación calcio-magnesio, invertida.

Los suelos del perfil representativo PC-17 se originan a partir de materiales sedimentarios y metamórficos. Como en el caso anterior están limitados en su profundidad efectiva por la presencia de abundantes materiales gruesos en la superficie y dentro del suelo. Son de colores pardo a pardo oscuro sobre pardo amarillento y oliva claro.

- **ASOCIACIÓN SAN MARCOS – LA PERLA (SMbc).** Los suelos de esta asociación están ubicados en los niveles más altos de las terrazas de los ríos Cauca y Risaralda, en alturas inferiores a 1.000 m.s.n.m., en los municipios de Viterbo, Risaralda, Belalcázar, Anserma, Chinchiná, Palestina, Neira y Manizales.

Los suelos del conjunto San Marcos se forman a partir de cenizas volcánicas (perfil representativo C-73), son de texturas francas a arcillosas, ligeramente ácidos, contenidos de calcio y magnesio altos y de potasio bajos. Los suelos del conjunto La Perla (perfil representativo RA-57) se forman a partir de sedimentos de color pardo amarillento, son de texturas arcillosas a francas; casi neutros, de contenidos de calcio y magnesio altos a muy altos y de potasio bajos a muy bajos.

- **ASOCIACIÓN LUTAINA – LA FELISA (LUcd1).** Los suelos que conforman esta asociación están ubicados en las vertientes bajas de los ríos, en los municipios de Risaralda, Palestina, Manizales, Neira, Filadelfia, Marmato, La Merced, Pácora y Aguadas. La unidad comprende alturas entre 700 y 1200 m.s.n.m. aproximadamente y limita con la asociación Río Arma – Castilla (RC).

Los suelos que conforman los perfiles representativos B-4 y C-35 son profundos, bien drenados, ácidos a ligeramente ácidos, de contenidos bajos a medios de materia orgánica; capacidad catiónica de cambio media a alta, contenidos de calcio y magnesio medios a altos y de potasio bajos. La disponibilidad de fósforo para las plantas es muy baja. Los suelos del conjunto Lutaina son de texturas arcillosas y colores pardo oscuro sobre pardo amarillento, pardo fuerte y rojo. Los suelos del conjunto La Felisa son de texturas franco arcillosas y franco arcillo arenosas y de colores pardo a pardo oscuro sobre rojo amarillento; presentan una relación calcio – magnesio invertida que puede afectar la producción de los cultivos.

Tabla 17. Características perfiles de suelo para Asociación RÍO ARMA - Castilla. Fuente: Adaptado de Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas.

PERFIL	PC-12	PC-16	PC-17
Altitud	1250 m	850 m	1250 m
Posición geomorfológica	Laderas de montañas	Laderas de montañas	Laderas de montañas
Relieve	Escarpado	Escarpado	Escarpado
Pendiente	Mayor del 50%	Mayor del 50%	Mayor del 50%
Material parental	Sedimentario	Rocas ígneas alteradas	Rocas sedimentarias y metamórficas
Profundidad efectiva	Superficial; limitada por presencia de materiales gruesos en el perfil	Superficial; limitada por presencia de materiales gruesos en el perfil	Superficial a muy superficial, limitada por abundantes fragmentos gruesos (gravilla, cascajo y piedra)
Precipitación promedio anual	1750 mm	1750 mm	1700 mm
Temperatura	21°C	Mayor a 22°C	21°C
Zona vida	Bosque húmedo tropical, transición a bosque seco tropical	Bosque húmedo tropical, transición a bosque seco tropical	Bosque húmedo tropical, transición a bosque seco
Régimen Climático del suelo	Ústico, isotérmico	Ústico, isohipertérmico	Ústico, isotérmico
Drenaje	Externo: rápido; interno: lento; natural: bien drenado	Externo: muy rápido; interno: rápido; natural: excesivo	Externo: muy rápido; interno: rápido; natural: bien a excesivo
Clase y grado de erosión	Hídrica laminar, ligera a moderada	Hídrica, laminar moderada	Hídrica, laminar moderada
Vegetación natural:	Escobo, verbena, guayabo, guadua, gramíneas	Palo de leche, balso, aguacatillo, carbonero, gramíneas naturales	Guadua, carbonero, escobo, gramíneas, rastrojos
Uso actual de la tierra	Ganadería extensiva	Pastoreo extensivo	Ganadería excesiva, cultivos de caña panelera, maíz y en algunos sectores cultivos de café en regular estado
Horizonte diagnóstico	Superficial mólico	Superficial mólico	Superficial ócrico

Fuente: Adaptado de INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2° Edición. Bogotá. IGAC, 2004.

Tabla 18. Características perfiles de suelo para Asociación SAN MARCOS – LA PERLA.

PERFIL :	RA-57	C-73
Altitud	1080 m	1180 m
Posición geomorfológica	Terraza	Terraza
Relieve	Ligeramente ondulado a ondulado	Ondulado
Pendiente	3-7-12%	7-12%
Material parental	Cenizas volcánicas sobre estratos sedimentarios	Capas de cenizas volcánicas sobre estratos sedimentarios
Profundidad efectiva	Profunda	Profunda
Precipitación promedio anual	1700 mm	1750 mm
Temperatura	24°C	21°C
Zona vida	Bosque húmedo tropical, transicional a bosque seco tropical	Bosque húmedo tropical, transicional a bosque seco tropical
Régimen Climático del suelo	Ústico, isohipertérmico	Ústico, isohipertérmico
Drenaje	Externo: rápido; interno: medio; natural: bien drenado	Externo: medio; interno: medio; natural: bien drenado
Clase y grado de erosión	Hídrica laminar ligera	Hídrica laminar, ligera
Vegetación natural:	Destruida	Bosque húmedo tropical, transicional a bosque seco tropical
Uso actual de la tierra	Ganadería (pasto puntero)	Ganadería
Horizonte diagnóstico	Superficial mólico, subsuperficial argílico	Superficial mólico, subsuperficial cámbico

Fuente: Adaptado de INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2° Edición. Bogotá. IGAC, 2004.

Tabla 19. Características perfiles de suelo para Asociación LUTAINA – LA FELISA.

PERFIL	B-4	C-35
Altitud	1200 m	1160 m
Posición geomorfológica	Colinas	Colinas
Relieve	Ondulado	Fuertemente ondulado a quebrado
Pendiente	7-12%	12-25%
Material parental	Arcillas de color pardo fuerte y rojo	Sedimentario
Profundidad efectiva	Profunda	Profunda, puede haber deficiencias en la producción de cultivos por relación calcio – magnesio invertida.
Precipitación promedio anual	1750 mm	1750 mm
Temperatura	22°C	22°C
Zona vida	Bosque húmedo tropical, transición a bosque seco tropical	Bosque húmedo tropical, transición a bosque seco tropical
Drenaje	Externo: rápido; interno: lento; natural: bien drenado	Externo: rápido; interno: lento; natural: bien drenado
Clase y grado de erosión	Hídrica laminar, ligera a moderada	Hídrica laminar, ligera a moderada
Vegetación natural:	Bosque húmedo transición bosque seco tropical	Chiminango, matarratón, cedro
Uso actual de la tierra	Ganadería semi-extensiva	Ganadería, potreros con pastos yaraguá y puntero
Horizonte diagnóstico	Superficial mólico, subsuperficial cámbico	Superficial ócrico, subsuperficial cámbico

Fuente: Adaptado de INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2° Edición. Bogotá. IGAC, 2004.

- **CONSOCIACIÓN CHINCHINÁ (CI).** Los suelos de esta unidad de mapeo están ubicados en sectores de los municipios de Chinchiná, Manizales, Palestina, Villamaría, Neira y Río Sucio, en alturas entre 1200 y 1800 m.s.n.m. Ocupan áreas de relieve ligeramente ondulado a fuertemente quebrado, con pendientes cortas y moderadas de grado 3-7-12-25-50%.

Tabla 20. Características perfil de suelo para Consociación CHINCHINÁ (CI).

PERFIL : PC-5	
Unidad Cartográfica	Consociación Chinchiná (CI)
Descrito por	A. López, P. Díaz
Fecha de descripción	29 de agosto de 1985
Época de descripción	Comienzo de segundo período lluvioso
Altitud	1450 m
Fotografía aérea	M-549: 7218 Faja 5
Posición geomorfológica	Laderas de montaña
Relieve	Fuertemente ondulado a quebrado
Pendiente	7-12-25%
Material parental	Depósitos gruesos de cenizas volcánicas
Profundidad efectiva	Muy profunda
Precipitación promedio anual	2560 mm
Temperatura	21°C
Zona vida	Bosque muy húmedo premontano
Régimen Climático del suelo	Údico, isotérmico
Drenaje	Externo: rápido; interno: medio; natural: bien drenado
Clase y grado de erosión	Hídrica, laminar ligera
Vegetación natural:	En su mayoría destruida; helechos, cardoncillo, ortiga. etc.
Uso actual de la tierra	Cultivos intensivos de café; en menor explotación plátano, frutales y caña de azúcar
Horizonte diagnóstico	Superficial úmbrico, subsuperficial cámbico
Observaciones	Se detecta ligera tixotropía en los horizontes 2, 3 y 4

Fuente: Adaptado de INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2° Edición. Bogotá. IGAC, 2004.

Los suelos del perfil representativo PC-5 se origina a partir de depósitos espesos de cenizas volcánicas y se distinguen por tener las plantaciones de café más tecnificadas del departamento de Caldas. En general, son suelos muy profundos, ricos en materia orgánica, bien drenados y bien aireados, de color negro a pardo muy oscuro en superficie y pardo amarillento en profundidad y texturas franco arenosas. Desde el punto de vista químico son ligeramente ácidos, de una capacidad catiónica de cambio alta a muy alta; contenidos de calcio, magnesio y potasio bajos a muy bajos y disponibilidad muy baja de fósforo asimilable por las plantas. Según las variaciones de las pendientes, se delimitaron las fases Clbc, Clc1, Clcd y Clde.

- **ASOCIACIÓN CHINCHINÁ – AZUFRADO (CL).** Los suelos que integra esta unidad de mapeo están ubicados en los municipios de Aranzazu, Manizales,

Villamaría, Chinchiná y Neira, en áreas de relieve fuertemente quebrado a escarpado y algunos sectores quebrados, dentro del clima medio húmedo. La unidad presenta pendientes largas y empinadas, de grado 12-25-50% y mayores de 50%.

Tabla 21. Características perfil de suelo para Asociación CHINCHINÁ - AZUFRADO.

PERFIL : PC-15	
Época de descripción	Invierno
Altitud	1210 m
Fotografía aérea	M-547: 6713, faja 6
Posición geomorfológica	Laderas de montaña
Relieve	Fuertemente quebrado o escarpado
Pendiente	25-50% y mayores de 50%
Material parental	Rocas metamórficas
Profundidad efectiva	Superficial a moderadamente profunda; limitada por abundantes fragmentos gruesos (gravilla, cascajo y piedra)
Precipitación promedio anual	1695 mm
Temperatura	22°C
Zona vida	Bosque muy húmedo premontano
Régimen Climático del suelo	Údico, isotérmico
Drenaje	Externo: rápido; interno: medio; natural: bien drenado
Clase y grado de erosión	Hídrica, laminar moderada y movimientos en masa
Vegetación natural:	Escobo, lengua de gato, cordoncillo, alcaparro, ortiga
Uso actual de la tierra	Pastoreo extensivo
Horizonte diagnóstico	Superficial ócrico

Fuente: Adaptado de INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2° Edición. Bogotá. IGAC, 2004.

Los suelos del perfil representativo PC-15 evolucionaron a partir de rocas metamórficas y están ubicados en los sectores más pendientes; presentan una secuencia de horizontes AC y un alto contenido de gravillas y fragmentos de rocas metamórficas; son superficiales a moderadamente profundos, bien a excesivamente drenados, de textura francas a franco limosas y colores pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro sobre pardo amarillento. Los análisis químicos indican que son suelos de capacidad de intercambio catiónica mediana. Contenidos de calcio y magnesio bajos a muy altos y de potasio bajos a medios; regular a baja la disponibilidad de fósforo para los cultivos. Estos suelos muestran una mayor acidez y una saturación de bases más baja hacia el oriente de departamento de Caldas.

- **ASOCIACIÓN EL CEDRAL – AZUFRADO (CZ).** Los suelos que integran esta unidad cartográfica están ubicados en los municipios de Salamina, Aranzazu, La Merced, Pácora y Aguadas, dentro del clima medio húmedo. Ocupa áreas de relieve quebrado a escarpado, con pendientes largas y empinadas, de grado 12-25-50% y mayores de 50%.

Tabla 22. Características perfil de suelo para Asociación EL CEDRAL - AZUFRADO.

PERFIL : C-112	
Conjunto	EL CEDRAL (Typic Hapludolls)
Unidad Cartográfica	Asociación Chinchiná – El Cedral (CC)
Altitud	1650 m
Fotografía aérea	M-547: 6717
Posición geomorfológica	Laderas de montaña
Relieve	Fuertemente quebrado
Pendiente	25-50%
Material parental	Rocas metamórficas
Profundidad efectiva	Profunda
Precipitación promedio anual	1990 mm
Temperatura	19°C
Zona vida	Bosque muy húmedo premontano
Régimen Climático del suelo	Údico, isotérmico
Drenaje	Externo: rápido; interno: medio; natural: bien drenado
Clase y grado de erosión	Hídrica, laminar ligera
Vegetación natural:	Bosque húmedo natural
Uso actual de la tierra	Cultivos de café, plátano, caña y ganadería extensiva
Horizonte diagnóstico	Superficial mólico, subsuperficial cámbico

Fuente: Adaptado de INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2° Edición. Bogotá. IGAC, 2004.

Los suelos del perfil representativo C-112 son profundos a moderadamente profundos, bien drenados, de colores pardo muy oscuro a negro en los primeros horizontes y pardo amarillento y amarillo pálido en profundidad; de texturas francas y franco arcillosas sobre arcillosas. Las saturaciones de calcio y magnesio son altas, mientras que la saturación de potasio es baja.

Se hace la distribución de acuerdo a los tipos de suelo relacionados anteriormente con los pesos de evidencia (ver tabla 23), y en la distribución de estos tipos de

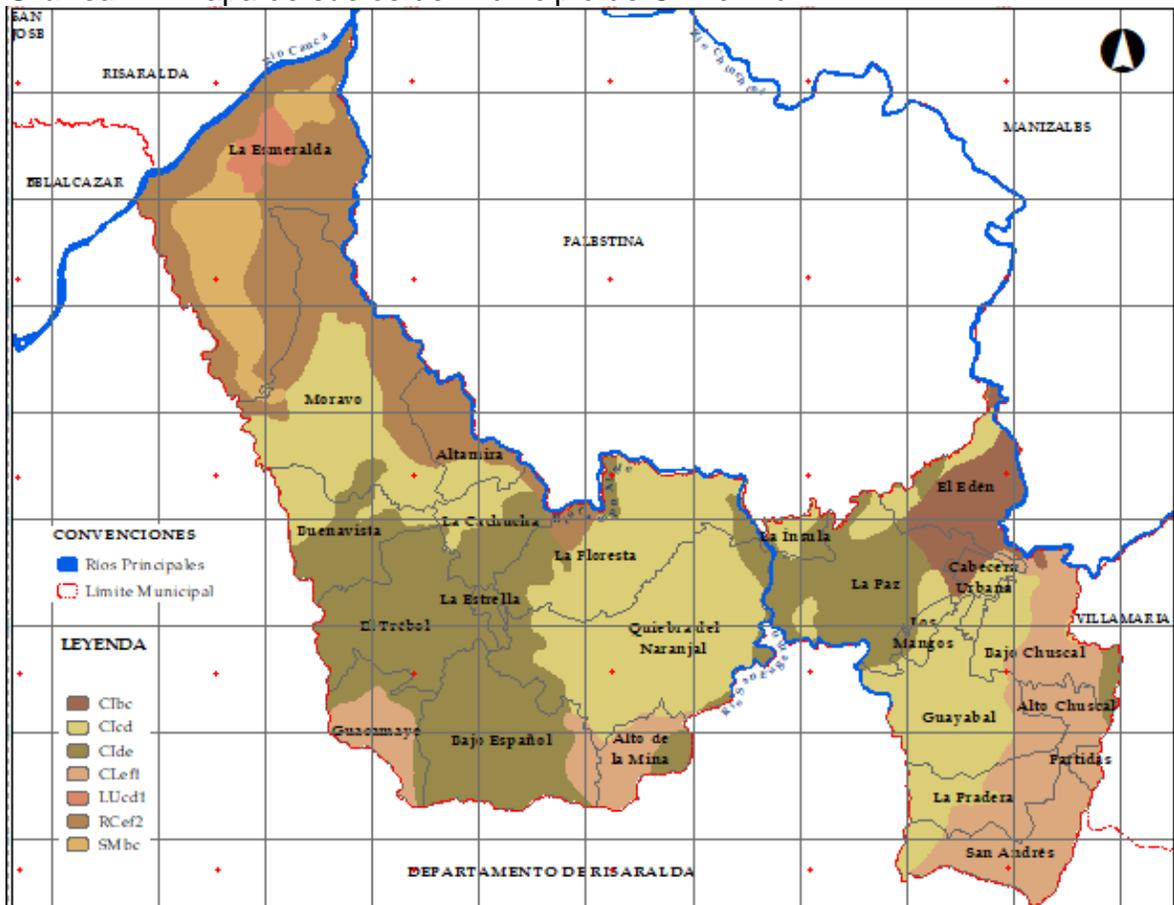
suelo en la zona de estudio (ver gráfica 14), identificados con mayor detalle en Anexo M.

Tabla 23. Pesos de evidencia para el factor condicionante: Suelos.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	RCef2	545	42776	0,6645934	-0,1937044	0,8582978
2	SMbc	21	12333	-1,3590898	0,0350837	-1,3941735
3	LUcd1	0	2686	-21,301771	0,0100524	-21,3118241
4	Clcd	378	91120	-0,4661639	0,1740842	-0,6402481
5	Clde	440	74425	-0,1101254	0,0388879	-0,1490134
6	CLef1	363	36950	0,4016720	-0,0811777	0,4828497
7	Clbc	36	10037	-0,6122039	0,0175554	-0,6297594

Fuente: El autor.

Gráfica 14. Mapa de suelos del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.1.3. FACTORES DETONANTES

7.1.3.1. PRECIPITACIÓN. Según Dahal et al. (2008), la incidencia de la precipitación como detonante de movimientos en masa ha sido involucrada en las evaluaciones de susceptibilidad, por ende, es frecuentemente considerada en el análisis estadístico.³⁴

La información de precipitación promedio anual es tomada del Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas a partir de los perfiles de suelos descritos en el numeral 7.1.2.11. La precipitación promedio anual del municipio es de 2500 mm. Se relaciona la precipitación promedio anual de cada tipo de suelo con los pesos de evidencia (ver tabla 24) y la precipitación presentada en la zona de estudio (ver gráfica 15), identificados con mayor detalle en Anexo N.

Tabla 24. Pesos de evidencia para el factor detonante: Precipitación media.

ID	Símbolo	N° pixeles de deslizamientos	N° pixeles totales del factor	Peso positivo	Peso negativo	Peso total
1	1725	4	12341	-1,3597319	0,0351145	-1,3948465
2	1733	16	42753	0,6651456	-0,1938074	0,8589530
3	1750	0	2682	-21,3002739	0,0100373	-21,3103112
4	2560	40	175589	-0,3063697	0,3997962	-0,7061660
5	2082	21	36964	0,4012969	-0,0811185	0,4824154

Fuente: El autor.

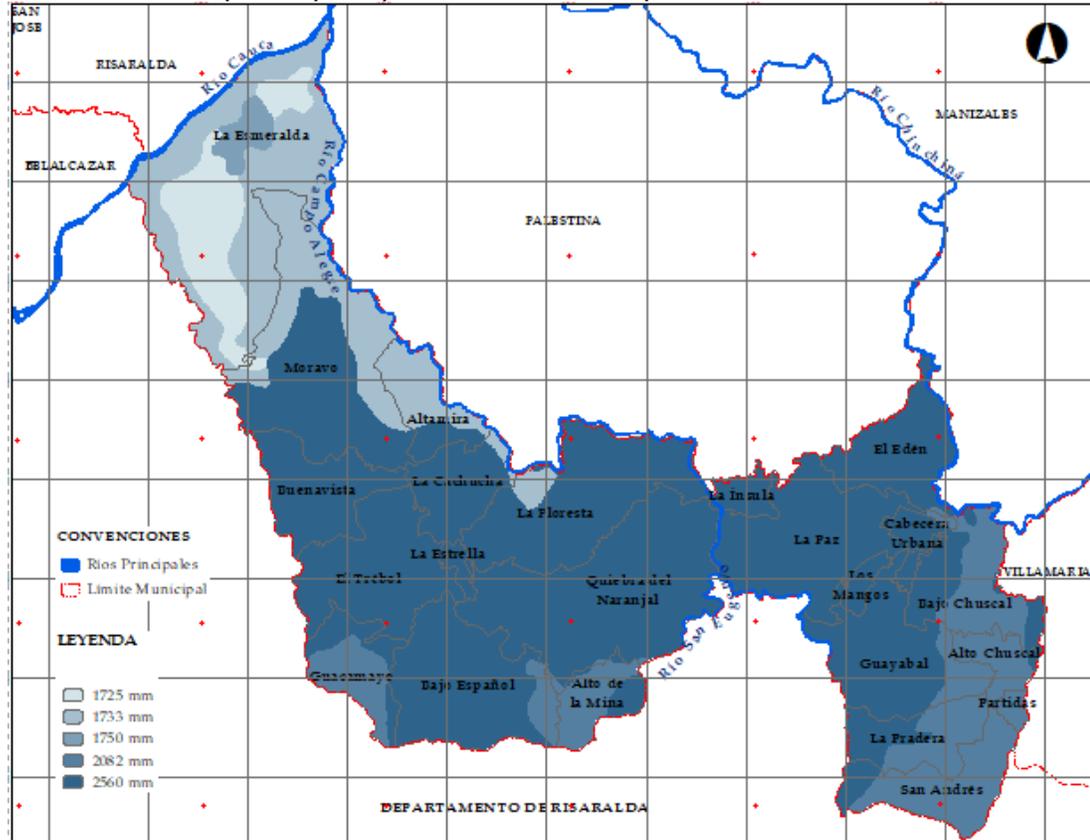
7.2. ANÁLISIS DE SUSCEPTIBILIDAD

Una vez obtenidos los valores de las tablas de peso de evidencia de cada factor condicionante y detonante, se procede a generar un mapa de susceptibilidad. Para ello es necesario realizar una hipótesis de falla, curva de éxito y categorizar la susceptibilidad.

7.2.1. HIPÓTESIS DE FALLA. Para la zona de estudio se determinan cuatro combinaciones de factores condicionantes y detonantes para así poder elaborar la curva de éxito y poder elegir la que mejor resultados genere.

³⁴ DAHAL, R. K., HASEGAWA, S., NONOMURA, A., and others, op. cit.

Gráfica 15. Mapa de precipitación del municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

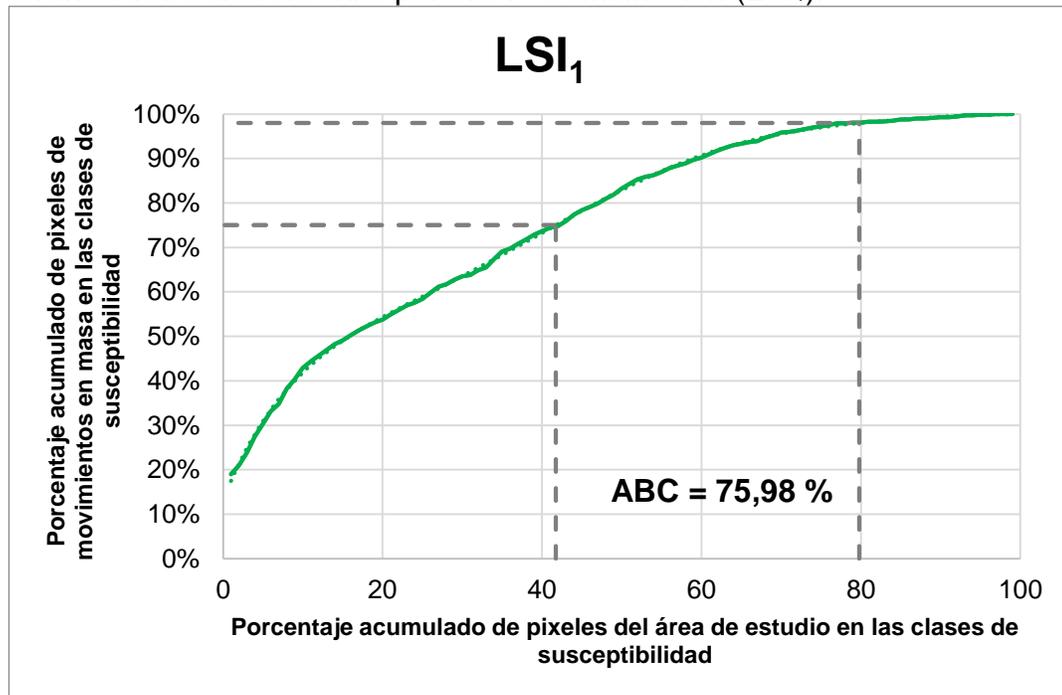
- 1° Combinación: Aspecto, Curvatura, Drenaje, Geología, Pendiente, Precipitación, Taludes y Vías.
- 2° Combinación: Aspecto, Cobertura, Curvatura, Drenaje, Pendiente, Precipitación, Suelos y Vías.
- 3° Combinación: Aspecto, Curvatura, Drenaje, Geomorfología, Pendiente, Precipitación y Vías.
- 4° Combinación: Aspecto, Cobertura, Curvatura, Drenaje, Geología, Geomorfología, Pendiente, Precipitación, Suelos, Taludes y Vías.

Con base a la generación de estas combinaciones se puede obtener la función final de susceptibilidad o LSI (Landslide Susceptibility Index) para cada combinación que corresponde a la sumatoria de los pesos de evidencia totales (ver ecuación 4), para poder generar la curva de éxito.

$$LSI = \text{Peso total}_{\text{Aspecto}} + \text{Peso total}_{\text{Curvatura}} + \dots + \text{Peso total}_{\text{Vías}} \quad (4)$$

7.2.2. CURVA DE ÉXITO. Se evalúa el éxito de la susceptibilidad a los movimientos en masa inventariados por medio de una curva clasificando cada LSI en orden descendente y en percentiles de 100 categorías (Dahal et al., 2008). Con las curvas construidas de cada LSI se evalúa el área bajo la curva, esta definirá la calidad del ajuste de los datos. El porcentaje aceptable de ajuste del área sobre la curva debe ser mayor a 70%.³⁵ Para este estudio, se generan también para cada LSI un mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para así definir con cual LSI realizar la zonificación (ver anexos O,P,Q y R).

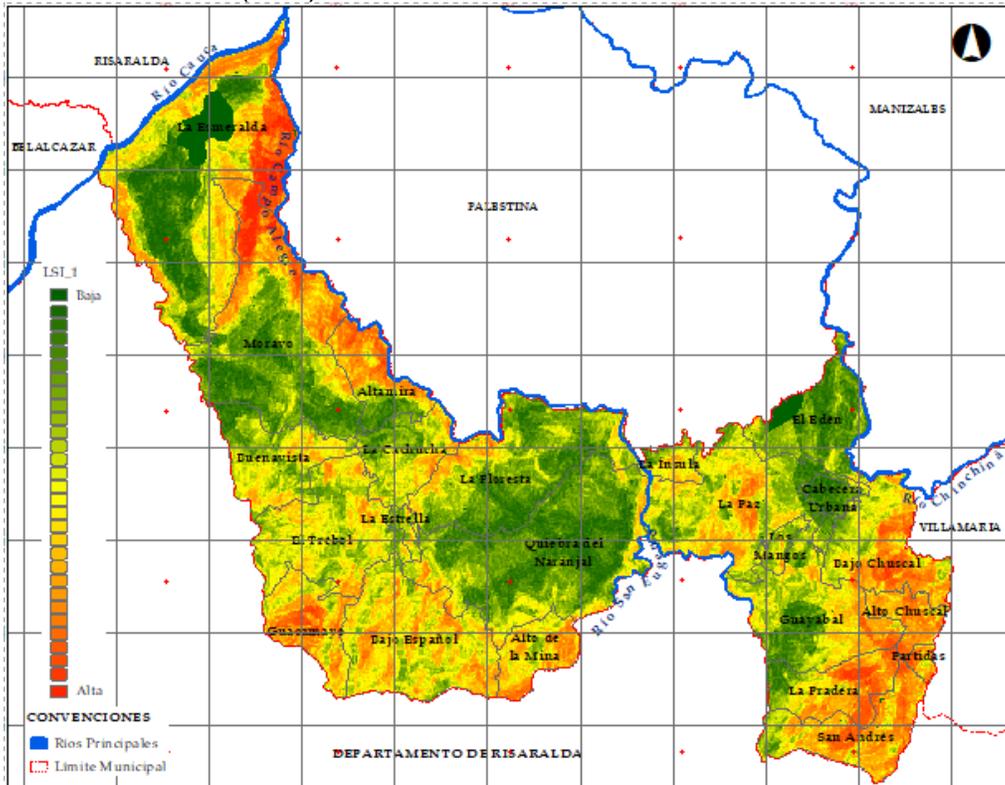
Gráfica 16. Curva de éxito para la 1° Combinación (LSI₁).



Fuente: El autor.

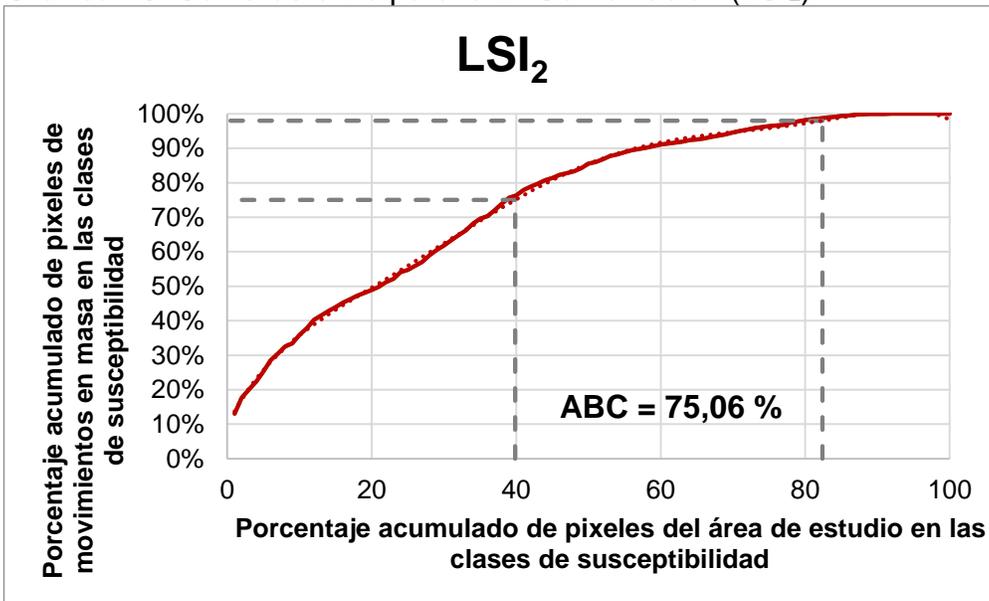
³⁵ DAHAL, R. K., HASEGAWA, S., NONOMURA, A., and others, op. cit.

Gráfica 17. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 1° Combinación (LSI₁).



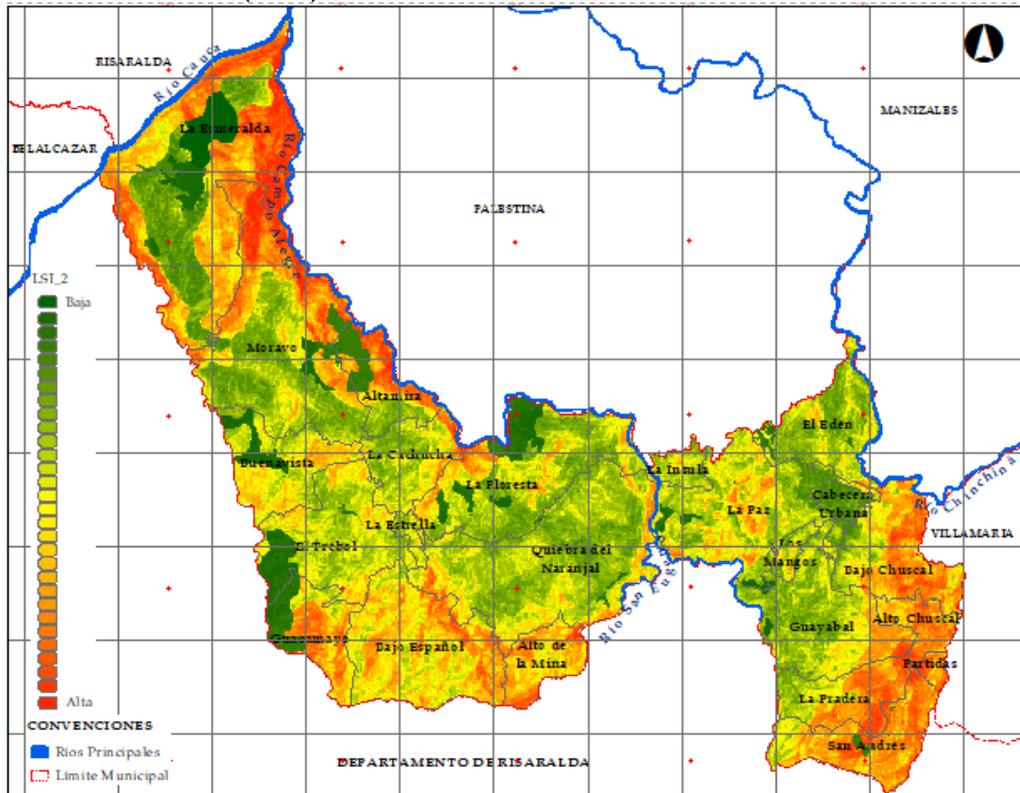
Fuente: El autor.

Gráfica 18. Curva de éxito para la 2° Combinación (LSI₂).



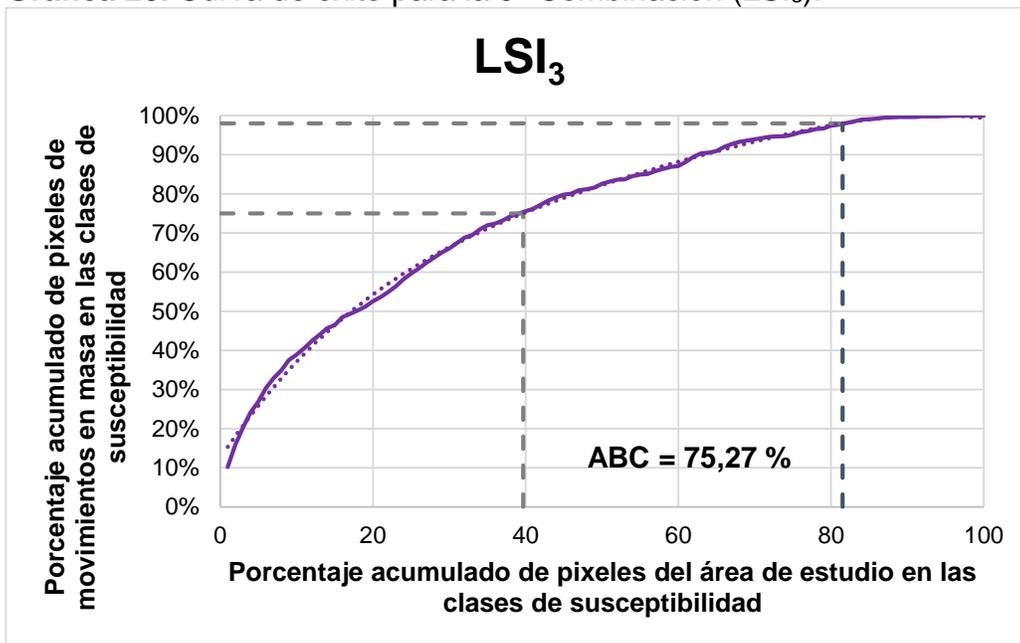
Fuente: El autor.

Gráfica 19. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 2° Combinación (LSI₂).



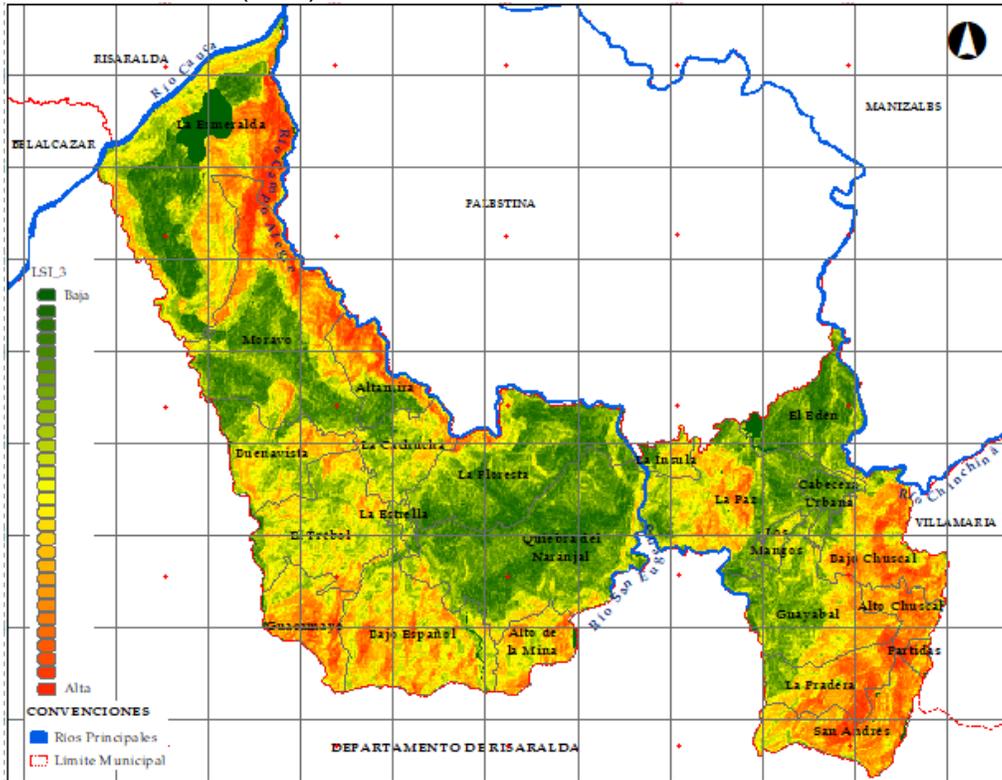
Fuente: El autor.

Gráfica 20. Curva de éxito para la 3° Combinación (LSI₃).



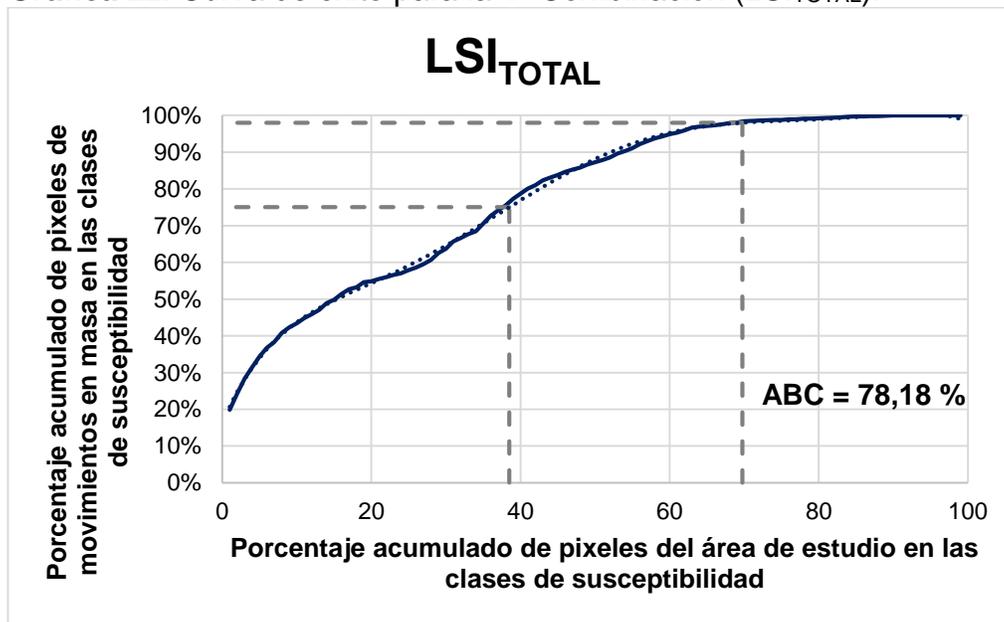
Fuente: El autor.

Gráfica 21. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 3° Combinación (LSI₃).



Fuente: El autor.

Gráfica 22. Curva de éxito para la 4° Combinación (LSI_{TOTAL}).



Fuente: El autor.

Tabla 25. Análisis de amenaza por remoción en masa a nivel rural de cada LSI analizado.

LSI ₁	Nivel de amenaza	Área (Ha)	Porcentaje
	ABC= 75,98%	Baja	2160,37
Media		4113,61	38,03%
Alta		4541,72	41,99%
TOTAL		10815,70	100,00%
LSI ₂	Nivel de amenaza	Área (Ha)	Porcentaje
	ABC= 75,06%	Baja	1948,99
Media		4540,79	41,98%
Alta		4325,92	40,00%
TOTAL		10815,70	100,00%
LSI ₃	Nivel de amenaza	Área (Ha)	Porcentaje
	ABC= 75,27%	Baja	2065,00
Media		4428,51	40,95%
Alta		4322,19	39,96%
TOTAL		10815,70	100,00%
LSI _{TOTAL}	Nivel de amenaza	Área (Ha)	Porcentaje
	ABC= 78,18%	Baja	3239,44
Media		3463,29	32,02%
Alta		4112,97	38,03%
TOTAL		10815,70	100,00%

Fuente: El autor.

Se escoge la 3° Combinación: Aspecto, Curvatura, Drenaje, Geomorfología, Pendiente, Precipitación y Vías, correspondiente al LSI₃ ya que a pesar de que su ABC no es el mayor al de las otras combinaciones generadas, la curva de éxito generada es más semejante al de la línea de tendencia y al comparar el mapa generado por el LSI escogido frente al mapa de inventario de deslizamientos presenta las zonas de nivel de amenaza más acordes.

7.3. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA

Una vez obtenida la curva de éxito sobre la combinación escogida, se genera un mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa debidamente categorizada. Para este estudio, se realiza la categorización basada en van Westen (2013)³⁶:

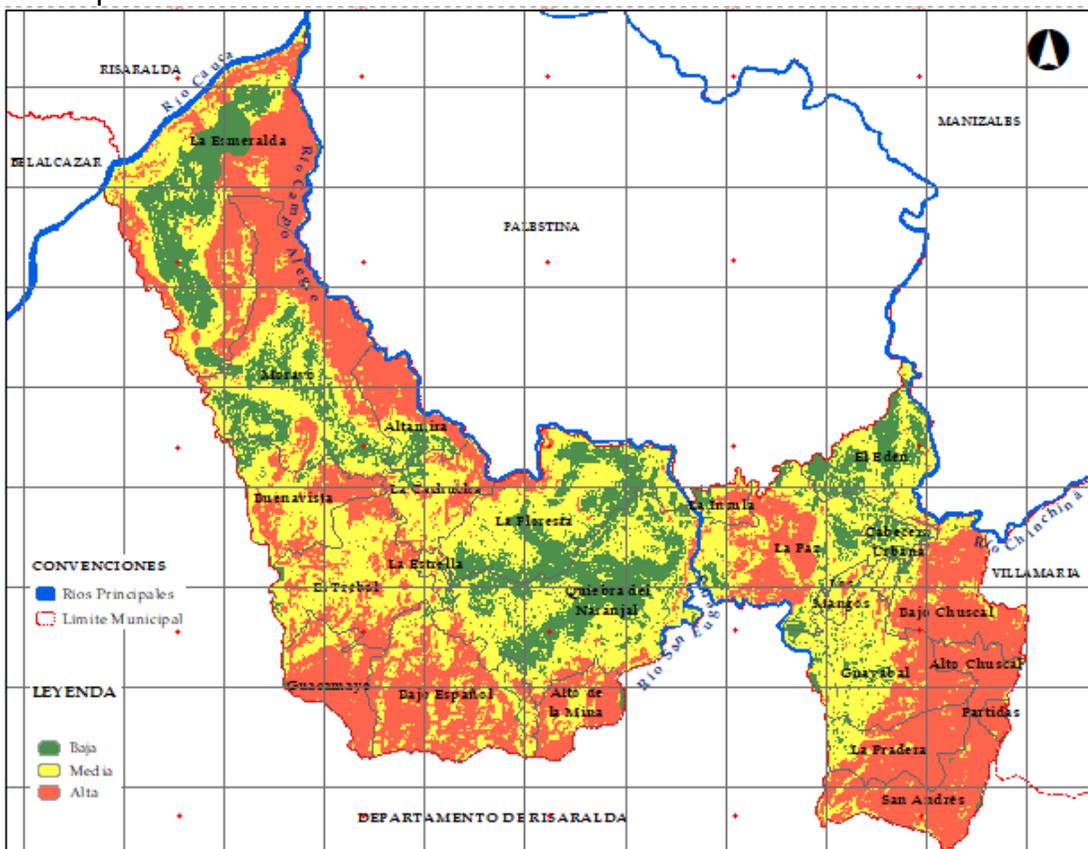
³⁶ VAN WESTEN, C. Guidelines for the generation of 1:50.000 scale landslide inventory, susceptibility maps, and qualitative risk maps, illustrated with case studies of the provinces Thanh Hoa and Nghe An. University of Twente, 2013.

- **Susceptibilidad Alta:** Porcentaje de todos los movimientos en masa > 75%
- **Susceptibilidad Media:** Porcentaje de todos los movimientos en masa hasta máximo 25%
- **Susceptibilidad Baja:** Porcentaje de todos los movimientos en masa < 2%

Como se indica en la guía metodológica del SGC (2017), se deben presentar tres categorías indicadas en la Tabla 24 en el mapa de zonificación de amenazas, además de una leyenda donde se realice una pequeña descripción de la categoría de amenaza y de recomendaciones que se puedan plantear para mitigar la amenaza.

Se genera el mapa de zonificación de amenazas por movimientos en masa a escala 1:25.000 para el municipio de Chinchiná (ver gráfica 24) identificados con mayor detalle en Anexo S.

Gráfica 24. Mapa de zonificación de amenazas por movimientos en masa para el municipio de Chinchiná.



Fuente: El autor.

7.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AMENAZAS CATEGORIZADAS.

- **CATEGORÍA ALTA:** Ocupa el 39,96% de la zona de estudio, cubriendo 2065 Ha del área total de la zona de estudio. Agrupa los movimientos en masa activos del inventario de deslizamientos generados y de las zonas con una susceptibilidad muy alta a detonar deslizamientos debido a la incidencia directa e indirecta de los factores condicionantes y detonantes en la zona. En esta zona se pueden presentar pérdida de vidas humanas, fauna, cultivos y obras civiles por la ocurrencia de deslizamientos.

Las veredas con mayor presencia de amenaza alta a nivel municipal son La Esmeralda, Bajo Español, Moravo, San Andrés y Bajo Chuscal.

- **CATEGORÍA MEDIA:** Ocupa el 40,95% de la zona de estudio, cubriendo 4429 Ha del área total de la zona de estudio. Agrupa las zonas con una susceptibilidad moderada a detonar deslizamientos debido a la incidencia directa e indirecta de los factores condicionantes y detonantes en la zona. En esta zona se pueden presentar daños de cultivos y daños importantes en obras civiles por la ocurrencia de deslizamientos.

Las veredas con mayor presencia de amenaza media a nivel municipal son Quiebra del Naranjal, La Esmeralda, La Floresta, Moravo y La Paz.

- **CATEGORÍA BAJA:** Ocupa el 19,09% de la zona de estudio, cubriendo 4322 Ha del área total de la zona de estudio. Agrupa las zonas con una susceptibilidad baja a detonar deslizamientos debido a la incidencia directa e indirecta de los factores condicionantes y detonantes en la zona. Esta categoría se presenta en zonas con bajas a muy bajas pendientes.

Las veredas con mayor presencia de amenaza baja a nivel municipal son Quiebra del Naranjal, La Esmeralda, La Floresta, Moravo, El Edén.

Se registra la incidencia de amenaza por remoción en masa en las veredas a nivel municipal (ver tabla 26).

Tabla 26. Incidencia de amenaza por remoción en masa en las veredas a nivel municipal.

Vereda	Área (Ha)	Porcentaje Área de Amenaza		
		Baja	Media	Alta
Altamira	273,82	1,96%	1,54%	3,82%
Alto Chuscal	142,95	0,06%	0,15%	3,12%
Alto de la Mina	214,75	0,22%	1,26%	3,57%
Bajo Chuscal	450,92	0,60%	2,10%	7,99%
Bajo Español	729,55	0,69%	5,43%	10,99%
Buenavista	396,86	1,93%	4,67%	3,48%
Cabecera Urbana Chinchiná	68,01	1,59%	0,79%	0,00%
El Edén	400,47	9,10%	4,67%	0,14%
El Trébol	611,14	0,72%	8,31%	5,28%
Guacamayo	300,24	0,28%	1,20%	5,58%
Guayabal	594,66	2,42%	7,73%	4,68%
La Cachucha	300,92	1,03%	3,96%	2,41%
La Esmeralda	1522,85	20,69%	10,65%	14,43%
La Estrella	45,80	0,37%	0,75%	0,12%
La Floresta	803,50	15,14%	9,94%	1,18%
La Ínsula	87,58	0,65%	1,07%	0,62%
La Paz	774,53	5,71%	9,01%	5,96%
La Pradera	310,55	0,37%	1,48%	5,49%
Los Mangos	63,55	0,25%	1,10%	0,23%
Moravo	1133,77	12,63%	9,70%	10,25%
Partidas	40,23	0,06%	0,05%	0,85%
Quiebra del Naranjal	1154,02	23,31%	13,60%	1,63%
San Andrés	395,05	0,20%	0,85%	8,17%

Fuente: El autor.

CONCLUSIONES

- Se realiza la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 para el municipio de Chinchiná, Caldas de manera exitosa, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las combinaciones y curvas de éxito generadas.
- Se recopila y describe satisfactoriamente la información relacionada con el objeto del estudio y se analiza cada uno de los factores planteados para identificar la incidencia de estos en eventos de remoción en masa para el municipio.
- Se presenta la metodología utilizada (Pesos de Evidencia WofE) para el análisis de susceptibilidad validando las hipótesis planteadas mediante curvas de éxito y proceder a caracterizar la susceptibilidad.
- Se realiza el mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 para el municipio de Chinchiná, Caldas como resultado del análisis de los factores condicionantes y detonante y caracterización de susceptibilidad.
- El municipio de Chinchiná, Caldas se encuentra bajo amenaza media-alta según análisis realizado y es concordante con la zonificación a escala 1:100.000 realizada por el SIMMA.
- Alrededor del 40% del área del municipio están en zona de amenaza alta, siendo la situación crítica en las veredas La Esmeralda, Bajo Español, Moravo, San Andrés y Bajo Chuscal., que presentan más del 50 y 90% de su área en amenaza alta, respectivamente.

RECOMENDACIONES

- Para poder generar con mayor exactitud una zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000 para una cuenca hidrográfica, región y/o municipio es importante actualizar y generar constantemente el inventario de deslizamientos y de otros movimientos en masa y publicarlos para interés público, como los que han sido generados en la plataforma del SIMMA del Servicio Geológico Colombiano.
- De la zonificación por movimientos en masa generada, se sugiere ejecutar las recomendaciones, según la categoría de la amenaza, con el fin de mitigarlas y prevenirlas:
 - **Categoría Alta:** Proteger e incrementar la vegetación nativa e impulsar proyectos agrícolas. En caso de que las zonas se encuentren habitadas se recomienda evacuar, condicionar el uso del suelo para construcciones civiles y realizar estudios geotécnicos detallados. En zonas ya construidas es necesario realizar estudios detallados de estabilidad de taludes y adelantar obras de mitigación correspondientes.

Importante mantener un monitoreo permanente en estas zonas, especialmente en épocas de lluvia y en zonas donde se puedan ocasionar represamientos en las cuencas de los ríos.
 - **Categoría Media:** Proteger la vegetación nativa e impulsar proyectos agrícolas. En caso de que las zonas se encuentren habitadas o con uso comercial y/o industrial se recomienda condicionar el uso del suelo para construcciones civiles y realizar estudios geotécnicos detallados.

Importante mantener un monitoreo periódico en estas zonas, y con permanentes en épocas de lluvia y en zonas donde se puedan ocasionar represamientos en las cuencas de los ríos y generar otro tipo de movimientos en masa.
 - **Categoría Baja:** Importante realizar seguimiento preventivo de manera esporádica en estas zonas, y periódico en épocas de lluvia y en zonas donde se puedan ocasionar represamientos en las cuencas de los ríos y generar otro tipo de movimientos en masa.
- Se deben encontrar formas de apoyo de construcción colectiva de los Modelos de Ordenamiento Territorial de tal manera que se garantice la sostenibilidad ambiental y se propenda por el diseño de medidas de mitigación y reducción del riesgo.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA DEL MUNICIPIO DE VILLAVICENCIO. Documento Técnico Soporte Componente Gestión del Riesgo. Plan de Ordenamiento Territorial. 2015.

ALCALDÍA MUNICIPAL DE CHINCHINÁ EN CALDAS. Geografía {en línea}. (s.f.) {15 septiembre 2018}. Disponible en: <http://www.chinchina-caldas.gov.co/municipio/geografia>

BANCO MUNDIAL. Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. Bogotá. Equilatero, 2012.

BC Noticias. “Deslizamiento ocasiona cierre de la antigua vía Manizales – Chinchiná”. {en línea}. 2017. {14 septiembre 2018}. Disponible en: <http://www.bcnoticias.com.co/deslizamiento-ocasiona-cierre-de-la-antigua-via-manizales-chinchina/>

CARRARA, A. Multivariate models for landslide hazard evaluation. (1983). Mathematical Geology. 15, 403-426. 10.1007/BF01031290.

CMGRD. Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres. Municipio de Chinchiná (Caldas). {en línea} 2013. {15 septiembre 2018}. Disponible en: https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/18431/C_hinchin%C3%A1-%28Caldas%29-PMGRD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

COROMINAS, J., VAN WESTEN, C., et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2013. ISSN: 1435-9537.

CORPOCALDAS. Identificar y caracterizar la amenaza, vulnerabilidad y riesgo para la cabecera municipal y las áreas de desarrollo rural restringido. 24. Chinchiná. GEOSUB. 2013.

CORPOCALDAS. “Informe de Gestión Año 2012 Ejecución del Plan de Acción 2007-2012”. {en línea}. 2013. {14 septiembre 2018}. Disponible en: <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1271/InformedeGestion2012-Final-Def.pdf>

CORPOCALDAS. Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Campoalegre. Pereira. CARDER, 2009. ISBN: 978-958-8370-04-0

CORPOCALDAS, ASOCARS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Zonificación Ambiental Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Chinchiná. Pereira. Convenio de Asociación 203. 2011.

CORPORACIÓN OSSO, UNIVERSIDAD EAFIT. "Base de datos de pérdidas históricas en Colombia (período 1970-2011)". {en línea} 2011. {15 septiembre 2018}. Disponible en: <http://online.desinventar.org>

CRUDEN, D., VARNES D. Investigation and mitigation. Chapter 3: Landslide types and processes. Special Report - National Research Council 247, National Academy of Sciences. 1996. ISSN: 0360-859X

DAHAL, R. K., HASEGAWA, S., NONOMURA, A., and others. Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. (2008). Geomorphology, 102(3-4), 496510.

ESRI. Cómo funciona Orientación {en línea}. 2016 {15 abril 2019}. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-aspect-works.htm>

ESRI. Función de curvatura {en línea}. 2016 {15 abril 2019}. Disponible en: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>

FLÓREZ, A. Geomorphology of the Manizales - Chinchina Area, Cordillera Central, Colombia. Tesis Ph. D., University of Amsterdam, Faculty of Mathematics and National Sciences. 1986.

GOOGLE MAPS. Chinchiná, Caldas. (s.f.) Disponible en: <https://www.google.com.co/maps/place/Chinchin%C3%A1,+Caldas/@5.3157689,-75.9300565,9.42z/data=!4m5!3m4!1s0x8e477921931ed337:0x4254c7cf1641346c!8m2!3d4.98273!4d-75.60526>

INGEOMINAS. Ministerio de Minas y Energía. Mapa Geológico Generalizado del Departamento de CALDAS. 1:250.000. 1990.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Estudio General de Suelos del Departamento de Caldas. 2º Edición. Bogotá. IGAC, 2004. ISBN: 958-9067-77-8

LINCE, L., CASTRO, A., CASTAÑO W., TORRES, F. Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa en suelo en la región cafetera de Caldas. Revista Cenicafe 68 (1): 73-82. 2017. ISSN: 0120-0275.

MAVDT, IDEAM, PNUD, GEF. Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Bogotá, Colombia: Editorial Scripto Ltda. 2010.

MONTERO OLARTE, Juan. Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017.

NASA, UNIVERSITY OF ALASKA FAIRBANKS. Alaska Satellite Facility. {en línea} (s.f.) {02 abril 2019}. Disponible en: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

NATURE. Landslides devastated villages near Kodari, Nepal. {en línea}. 2016. {15 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.nature.com/news/killer-landslides-the-lasting-legacy-of-nepal-s-quake-1.19803>

RCN Radio. “Fuertes lluvias en Chinchiná dejan vías cerradas y crecientes en quebradas”. {en línea}. 2017. {14 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.rcnradio.com/colombia/eje-cafetero/fuertes-lluvias-chinchina-dejan-vias-cerradas-crecientes-quebradas>

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:25000. Bogotá. Imprenta Nacional de Colombia, 2017. ISBN: 978-958-59782-2-5

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Sistema de Información de Movimientos en Masa. {en línea}. 2018. {15 septiembre 2018}. Disponible en: <http://simma.sgc.gov.co/#/public/basic/>

SKEMPTON, A. W., & HUTCHINSON, J. N. Stability of natural slopes and embankment foundations. Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. 1969.

TOPOGRAPHIC-MAP. Chinchiná. (s.f.) Disponible en: <http://en-gb.topographic-map.com/places/Chinchin%C3%A1-6814314/>

UNESCO. “Glide slope in Villa Tina, Medellín”. {en línea}. 2017. {13 septiembre 2018}. Disponible en: <https://www.unescosost.org/blog/camposanto-villatina-1>

UNGRD. “Deslizamientos”. {en línea}. 2014 {13 septiembre 2018}. Disponible en: <http://gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=140>

VAN WESTEN, C. Guidelines for the generation of 1:50.000 scale landslide inventory, susceptibility maps, and qualitative risk maps, illustrated with case studies of the provinces Thanh Hoa and Nghe An. University of Twente, 2013.

VAN ZUIDAM, R.A. Aerial Photointerpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. The Hague: Smiths Publishers, 1986.

ANEXOS

Anexo A. Inventario de deslizamientos registrados en el SIMMA.

Anexo B. Mapa de localización de deslizamientos en el municipio de Chinchiná.

Anexo C. Mapa de altura del talud del municipio de Chinchiná.

Anexo D. Mapa de cobertura del municipio de Chinchiná.

Anexo E. Mapa de curvatura del municipio de Chinchiná.

Anexo F. Mapa de distancia a drenajes del municipio de Chinchiná.

Anexo G. Mapa de distancia a vías del municipio de Chinchiná.

Anexo H. Mapa de elevación del municipio de Chinchiná.

Anexo I. Mapa de geología del municipio de Chinchiná.

Anexo J. Mapa de geomorfología del municipio de Chinchiná.

Anexo K. Mapa de orientación del municipio de Chinchiná.

Anexo L. Mapa de pendientes del municipio de Chinchiná.

Anexo M. Mapa de suelos del municipio de Chinchiná.

Anexo N. Mapa de precipitación del municipio de Chinchiná.

Anexo O. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 1° Combinación (LSI_1).

Anexo P. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 2° Combinación (LSI_2).

Anexo Q. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 3° Combinación (LSI_3).

Anexo R. Mapa de clasificación de susceptibilidad por remoción en masa para la 4° Combinación (LSI_{TOTAL}).

Anexo S. Mapa de zonificación de amenazas por movimientos en masa para el municipio de Chinchiná.