

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN
LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA

Presentado por:

GONZALO GARCÍA BARBOSA

ALEJANDRA GRISALES LÓPEZ



MONOGRAFÍA PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE:
ESPECIALISTAS EN PREVENCIÓN, REDUCCIÓN Y ATENCIÓN DE DESASTRES

DIRECTOR: ROGELIO PINEDA MURILLO, PHD.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES - UCM

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Especialización en Prevención, Reducción y Atención de Desastres

2021

Contenido

Resumen.....	10
Introducción	11
1. Planteamiento del problema	13
2. Justificación.....	17
3. Objetivos.....	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos Específicos.....	18
4. Contexto Geográfico.....	19
4.1. Localización	19
4.1.1. Coordenadas geográficas extremas.....	21
4.1.2. Superficie	21
4.1.3. Porcentaje territorial.....	21
4.1.4. Vías de comunicación.....	21
4.1.5. Red vial del departamento de Caldas.....	22
4.2. División Política.....	28
5. Antecedentes.....	30
6. Marco Teórico	33
6.1. Procesos Endógenos Asociados Al Departamento de Caldas	33
6.1.1. Contexto Geológico	34
6.1.2. Relieve	36
6.2. Procesos Exógenos Asociados Al Departamento.....	37
6.2.1. Clima.....	38
6.2.2. Hidrografía.....	40
7. Marco Conceptual.....	42
7.1. Análisis y evaluación del riesgo.....	42
7.2. Conocimiento del riesgo.....	43
7.3. Exposición (elementos expuestos)	43

7.4.	Gestión del riesgo.....	44
7.5.	Mitigación del riesgo.....	45
7.6.	Prevención de riesgo	45
7.7.	Reducción del riesgo	46
8.	Marco Normativo	47
9.	Metodología.....	48
10.	Resultados y discusión.....	50
10.1.	Primera Etapa: Determinación del proceso de degradación existente.....	50
10.1.1.	Erosión	51
10.1.1.1.	Erosión hídrica.....	51
10.1.1.2.	Erosión fluvial	53
10.1.1.3.	Erosión eólica	53
10.1.2.	Movimientos en masa.....	54
10.1.2.1.	Desprendimientos o caídas	55
10.1.2.2.	Vuelcos	56
10.1.2.3.	Deslizamientos.....	56
10.1.2.3.1.	Deslizamientos rotacionales	57
10.1.2.3.2.	Deslizamientos traslacionales.....	57
10.1.2.4.	Reptamientos	58
10.1.2.5.	Propagación lateral	59
10.1.2.6.	Flujos	60
10.1.2.6.1.	Flujos de detritos	61
10.1.2.6.2.	Flujos de tierras	61
10.1.2.7.	Avalanchas.....	61
10.2.	Segunda Etapa: Determinación de las alternativas de intervención	63
10.2.1.	Reconformación	64
10.2.1.1.	Tendido del talud.....	64
10.2.1.2.	Construcción de bermas de suelo y roca en la pata del talud	65
10.2.1.3.	Construcción de trincheras filtrantes	65

10.2.1.4.	Terraceo	66
10.2.2.	Estructuras de contención.....	67
10.2.2.1.	Diques en tierra o roca.....	67
10.2.2.2.	Muro de gaviones	68
10.2.2.3.	Muro de gravedad en concreto	69
10.2.2.4.	Muros de encofrado o de cribas.....	70
10.2.2.5.	Muro de tierra reforzada	71
10.2.2.6.	Muros de concreto reforzado.....	72
10.2.2.7.	Muros anclados.....	72
10.2.3.	Anclajes en suelo y roca.....	73
10.2.3.1.	Anclajes en roca.....	73
10.2.3.2.	Pantallas ancladas	74
10.2.3.3.	Pilotes y caissons.....	74
10.2.4.	Protección de Taludes con revestimientos	75
10.2.4.1.	Revestimientos de taludes con vegetación	75
10.2.4.2.	Revestimientos de taludes con elementos flexibles.....	75
10.2.4.3.	Revestimientos rígidos livianos en taludes.....	75
10.2.4.4.	Revestimientos rígidos pesados en taludes.....	76
10.3.	Tercera Etapa: Proceso de calificación del sitio crítico.....	77
10.3.1.	Categoría de la vía.....	77
10.3.1.1.	Identificación de la carretera	78
10.3.1.2.	Criterios utilizados para la categorización de la red vial.....	78
10.3.1.2.1.	Funcionalidad	79
10.3.1.2.3.	Diseño geométrico de la vía	81
10.3.1.2.4.	Población	81
10.3.2.	Cuantificación del daño.....	82
10.3.2.1.	Daño leve.....	82
10.3.2.2.	Daño moderado.....	83
10.3.2.3.	Daño grave.....	84

10.3.2.4.	Daño severo	85
10.3.3.	Existencia de vía alternas	86
10.3.4.	Existencia de estudios y diseños	87
10.3.5.	Nivel de riesgo	88
10.3.5.1.	Conocimiento del riesgo	89
10.3.5.1.1.	Identificación de escenarios de riesgo	89
10.3.5.1.2.	Comunicación del riesgo	90
10.3.5.1.3.	Monitoreo del riesgo.....	90
10.3.5.1.4.	Análisis y evaluación del riesgo	91
10.3.5.2.	Reducción del riesgo	91
10.3.5.2.1.	Intervención prospectiva del nuevo riesgo	92
10.3.5.2.2.	Intervención correctiva del riesgo existente	93
10.3.5.2.3.	Protección financiera	93
10.3.5.3.	Manejo de desastres.....	94
10.3.6.	Estado de la vía	94
10.3.6.1.	Vía Abierta	95
10.3.6.2.	Vía restringida	96
10.3.6.3.	Vía cerrada.....	97
10.4.	Cuarta Etapa: Creación de un sistema de gestión de sitios críticos.....	98
10.4.1.	Software utilizado en el sistema de gestión de sitios críticos	99
10.4.2.	Hardware utilizado en el sistema de gestión de sitios críticos	100
10.4.3.	Pasos para la creación del sistema de gestión	100
10.4.3.1.	Paso 1. Creación de dominios en la Geodatabase	101
10.4.3.2.	Paso 2. Creación de la capa de sitios críticos	102
10.4.3.3.	Paso 3. Simbología para la capa de puntos.....	103
10.4.3.4.	Paso 4. Cargue de la información en ArcGIS Online.....	104
10.4.3.5.	Descargue aplicación ArcGIS Collector para recopilación de la información 105	
10.4.3.6.	Proceso de calificación del sitio crítico	111

10.4.4.	Componente humano requerido	115
10.4.5.	Método para toma de información en campo.....	118
10.4.6.	Localización geográfica y tipos de coordenadas.....	120
10.4.7.	Sistema de coordenadas utilizado	122
10.4.8.	Sistema de gestión de sitios críticos desarrollado	123
10.4.8.1.	Visualización de sitios críticos en el sistema de gestión	123
10.4.8.2.	Visualización de la información recopilada en el sistema de gestión	127
11.	Conclusiones	128
12.	Recomendaciones	130
13.	Referencias bibliográficas.....	131

Listado de mapas

Mapa 1.	Localización Departamento de Caldas.	20
Mapa 2.	División por subregiones adoptadas por el Departamento administrativo de Planeación.	20
Mapa 3.	División político-administrativa del departamento de Caldas.....	29
Mapa 4.	Mapa geológico del departamento de Caldas.	35
Mapa 5.	Mapa de relieve del departamento de Caldas.	37
Mapa 6.	Mapa de precipitaciones departamento de Caldas.....	39
Mapa 7.	Mapa de temperatura media anual departamento de Caldas.....	40
Mapa 8.	Mapa de cuencas hidrográficas del departamento de Caldas.	41
Mapa 9.	Mapa degradación de suelos por erosión en el departamento de Caldas.....	52
Mapa 10.	Mapa red vial del departamento de Caldas.....	87

Listado de tablas

Tabla 1.	Distribución por competencias de la red vial del departamento de Caldas.	22
Tabla 2.	Distribución de la red vial de primer orden a cargo de la administración departamental de Caldas.....	23

Tabla 3. Distribución de la red vial de segundo orden a cargo de la administración departamental de Caldas.....	23
Tabla 4. Distribución de la red vial de tercer orden a cargo de la administración departamental de Caldas.....	25
Tabla 5. Indicadores de infraestructura vial en el Índice Departamental de competitividad, 2018.	32
Tabla 6. Criterios para categorización de las vías de la Red Vial Nacional.	79
Tabla 7. Requisitos de Hardware para la instalación y procesamiento del ArcGIS Pro-2.4.	100

Listado de figuras

Figura 1. Fotografía caídas o desprendimientos de rocas.....	55
Figura 2. Esquema del vuelco en bloque.....	56
Figura 3. Esquema de un deslizamiento rotacional y sus partes.....	57
Figura 4. Esquema de un deslizamiento por reptamiento.....	58
Figura 5. Esquema casos de propagación lateral.....	59
Figura 6. Movimiento en masa, flujo de lodo provocado por sismo en El Salvador año 2001....	60
Figura 7. Movimiento en masa, avalancha de rocas en el municipio de Mocoa, Putumayo.....	62
Figura 8. Esquema tendido del talud de corte en materiales meteorizados y depósitos en ladera.....	64
Figura 9. Esquema de los componentes de las bermas en el proceso de estabilización por reconformación.....	65
Figura 10. Esquema de la sección transversal de las trincheras filtrantes en el proceso de estabilización.....	66
Figura 11. Esquema de la sección transversal de un proceso de terraceo.....	67
Figura 12. Esquema de una obra de estabilización por un muro de gravedad en roca.....	68
Figura 13. Esquema de los principales componentes de un muro de gaviones.....	69
Figura 14. Esquema de un muro en concreto simple (sin refuerzo).....	70
Figura 15. Esquema de los principales componentes de un muro de encofrado o de cribas.....	71
Figura 16. Esquema de los principales componentes de un muro en tierra reforzada.....	71
Figura 17. Esquema tipos de muro de concreto reforzado.....	72

Figura 18. Esquema de los principales componentes de un muro anclado.....	73
Figura 19. Esquema anclajes en roca.....	73
Figura 20. Esquema sobre la implementación de pilotes y caissons para el control de deslizamientos.....	74
Figura 21. Fotografía proceso erosivo talud inferior en la vía Neira-Aranzazu K8+650.....	83
Figura 22. Fotografía sitio crítico por hundimiento de la estructura de rodadura en la vía Arma-La Pintada, sector Plan Del Oro, municipio de Aguadas, departamento de Caldas.	84
Figura 23. Fotografía aérea fallo de banca en la vía Asia-El Crucero-Las Margaritas, sector El Bosque, municipio de San José, departamento de Caldas.	85
Figura 24. Fotografía aérea sitio crítico en la vía La Lutaima-San Bartolomé-Pácora, sector El Brillante, municipio de Pácora, departamento de Caldas.	86
Figura 25. Esquema proceso de gestión del riesgo.....	88
Figura 26. Fotografía sitio crítico en la vía Aranzazu-Salamina, sector La Unión, municipio de Salamina, departamento de Caldas.	95
Figura 27. Fotografías sitio crítico en la vía Pácora-Aguadas, sector La Blanquita, municipio de Aguadas, departamento de Caldas.....	97
Figura 28. Fotografías sitio crítico en la vía Salamina-La Merced, sector El Faro, municipio de Salamina, departamento de Caldas.	98
Figura 29. Plataforma ArcGIS Online utilizada para el procesamiento de la información	99
Figura 30. Creación de dominios en la Geodatabase de ArcGIS.....	101
Figura 31. Creación de la capa de puntos “sitios críticos” en el sistema de gestión.	102
Figura 32. Simbología utilizada para la capa de puntos “sitios críticos” en el sistema de gestión.	103
Figura 33. Simbología utilizada para la capa de puntos “sitios críticos” en el sistema de gestión	104
Figura 35. Imagen promocional de la especialización en Sistemas de Información Geográfica.	116
Figura 36. Fotografía visita técnica realizada al sitio crítico localizado en la vía Salamina-La Merced, sector El Faro.....	116
Figura 37. Fotografía aérea realizada en visita técnica al sitio crítico localizado en la vía Petaqueros-Manzanares, sector El Buenavista, municipio de Manzanares.	117

Figura 38. Fotografía aérea procesada con un levantamiento en 3D al sitio crítico localizado en la vía Petaqueros-Manzanares, sector Buenavista, municipio de Manzanares.	118
Figura 39. Esquema ArcGIS Collector utilizada para la recopilación de información de campo en el proceso de gestión de sitios críticos.	119
Figura 40. Diagrama explicativo de la proyección UTM.	123
Figura 41. Visualización pantalla general de sitios críticos georreferenciados en el sistema de gestión.	125
Figura 42. Visualización de sitio crítico priorizado en el sistema de gestión con un levantamiento en 3D.	126
Figura 43. Visualización de la información suministrada en el sistema de gestión	127

Resumen

El presente estudio ha sido realizado con la finalidad de generar una herramienta tecnológica denominada “Sistema de gestión de sitios críticos de la red vial del departamento de Caldas”, llámese sitio crítico a todo aquel lugar ubicado en una de las márgenes (o en ambas) de la red vial, que presenta algún tipo de inestabilidad como consecuencia de algún tipo de degradación ocurrido mediante procesos endógenos (geología, relieve, geomorfología) y/o exógenos (vientos, cambios de temperatura, lluvia, etc.).

Los sitios críticos son dinámicos y pueden presentar fenómenos muy variables en temporadas con altas precipitaciones, razón por la cual es de gran importancia que las diferentes herramientas tecnológicas que ayuden a identificar y priorizar cada uno de éstos, sean compartidas y articuladas entre las diferentes entidades territoriales, ya sean de orden nacional, departamental o municipal; logrando así tomar acciones que aporten a los procesos de mitigación del riesgo disminuyendo de igual manera la vulnerabilidad de las personas y de los elementos expuestos.

Este sistema de gestión estará basado bajo la plataforma ArcGIS, que es un sistema de información geográfica que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir este tipo de información; lo que permitirá identificar y caracterizar cada uno de los sitios críticos dándoles finalmente una calificación cualitativa y cuantitativa, que le ayudará a la administración departamental a tomar decisiones atendiendo los niveles de priorización que allí se generen.

Introducción

El departamento de Caldas cuenta con 27 municipios distribuidos en seis subregiones, posee una red vial de aproximadamente 4.955 Km, de los cuales el 36% se encuentran a cargo de la administración departamental, es decir, 1.760 Km. Esta red vial se encuentra trazada sobre una geología y geomorfología de características complejas, caracterizadas por altas pendientes, relieves topográficos abruptos y escarpados, zonas con procesos de meteorización profunda, socavación por corrientes de agua, etc. Lo que favorece en gran medida la ocurrencia o activación de sitios críticos a lo largo y ancho de toda la red vial (*Secretaría de Infraestructura. 2021*).

Uno de los factores detonantes, y el que más frecuencia presenta e influye ante la ocurrencia de un sitio crítico, es el factor Clima, ya que el aumento de las precipitaciones en nuestro departamento provoca saturaciones en las laderas que aumentan los niveles de riesgo para las diferentes personas usuarias de las vías; de igual manera, los procesos erosivos ocasionados por las aguas de escorrentía tienen un aporte importante ante la generación del sitio crítico.

Durante el año 2021, según datos de la Secretaría de Infraestructura de la Gobernación de Caldas, fueron removidos de la red vial aproximadamente 325.000 m³ de material proveniente de deslizamientos, siendo las subregiones Oriente y Norte aquellas más afectadas, con un aporte cada una de 207.478 m³ y 58.204 m³ de material respectivamente.

Los municipios más afectados por la temporada invernal y con mayor afectación por fenómenos de remoción en masa son: Manzanares, 161.284 m³; Salamina, 23.479 m³; Pácora,

23.109 m³; Marulanda, 17.021 m³; Marquetalia, 15.958 m³; Pensilvania, 14.145 m³ y Samaná, 11.033 m³ de material producto de deslizamientos.

Gran parte de estos deslizamientos dejan consigo un sitio crítico que debe ser atendido posteriormente, ya sea con algún tipo de actividad de estabilización con maquinaria amarilla o mediante el diseño y construcción de una obra de estabilización.

Aunque las capacidades económicas de los diferentes entes territoriales en nuestro país han sido demasiado limitadas, el Gobierno de Caldas cuenta con un equipo de profesionales con las capacidades técnicas necesarias para articular de la mejor manera el sistema de gestión propuesto; adicional a esto, esta administración es pionera del proyecto denominado “Combos de Maquinaria”, los cuales están conformados por equipos de maquinaria amarilla que no solamente aportan al mantenimiento de la red vial, sino que también son una herramienta fundamental en la ejecución de actividades iniciales de mitigación del riesgo ante la activación de algún sitio crítico en el departamento.

En vista de lo anterior, se hace necesario contar con un sistema de gestión de sitios críticos que permita a las entidades públicas tomar decisiones para priorizar su atención, evitando así no sólo traumatismos en la conectividad y transitabilidad, sino también realizando actividades de mitigación del riesgo para la población ante la materialización de un fenómeno amenazante.

1. Planteamiento del problema

Una red vial es el conjunto de vías de un país o región; incluyendo los ferrocarriles, las carreteras, los puertos aéreos, marítimos y fluviales. Son el sistema circulatorio por el que transitan bienes y servicios. Esta red es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país, ya que ésta permite satisfacer las necesidades básicas mediante el acceso a la de educación, trabajo, alimentación y salud.

Desde principios de los años noventa la participación del transporte en el Producto Interno Bruto (PIB) del país ha oscilado entre el 5.5%. Desde el punto de vista del PIB del transporte, el que mayor participación presenta es el de transporte terrestre (alrededor del 75%), seguido por el aéreo y por último el marítimo y fluvial.

Según el Ministerio de Transporte y el Banco Mundial en Colombia el transporte doméstico de carga se desarrolla predominantemente por carretera, con una participación cercana al 80%, seguida por el ferrocarril (15%) y las vías fluviales (6%).

De acuerdo con cifras del Ministerio de Transporte, actualmente el país cuenta con cerca de 162.000 km de vías que conforman el total de la red vial nacional. La red primaria está conformada por algo más de 16.000 km (aquella que está a cargo de la nación), 71.000 km correspondientes a la red secundaria (aquella que se encuentra a cargo de los departamentos), y cerca de 60.000 km correspondientes a la red terciaria (aquella que se encuentra a cargo de los municipios). Dada la carencia de recursos por parte de los entes municipales, la nación a través del Instituto Nacional

de Vías (INVIAS), se hizo cargo de cerca de 26.000 km de la red terciaria, mientras que los restantes 35.000 siguen a cargo de los municipios (*Por Gerson Javier Pérez V – 2005*).

La red vial de Colombia se encuentra trazada sobre una geología y geomorfología compleja, debido principalmente a las tres cordilleras que atraviesan su territorio y al complejo de fallas geológicas que se encuentran en él. Además, durante millones de años de historia evolutiva se han acrecionado terrenos de diferentes litologías, para formar el territorio que hoy conocemos. Estas características hacen que las vías cuenten con una complejidad superior en diferentes sectores, lo cual genera la presencia de sitios críticos. Estos sitios son entendidos como aquellas zonas que presentan inestabilidad causada por fallas en sus características mecánicas, las cuales generan deslizamientos y pérdidas de banca que afectan el tránsito normal de vehículos en la zona y generalmente producen pérdidas económicas muy altas y en ocasiones pérdidas humanas.

La red vial del departamento del de Caldas está conformada por una longitud de 4.955 Km de carreteras, de las cuales 19% se encuentra a cargo del Instituto Nacional de Vías INVIAS, el 36% a cargo de la Administración Departamental y el 45% se encuentra a cargo de las diferentes Administraciones Municipales; para el presente trabajo nos enfocaremos en la red vial a cargo de la Administración Departamental, la cual consta de 1.760 Km, de los cuales 256 Km son de primer orden, 585 Km son de segundo orden y 919 Km de tercer orden (*Plan de Desarrollo Departamental 2020-2023*).

Según datos de la gobernación de Caldas, en el departamento se cuenta con aproximadamente 600 sitios críticos localizados en la red vial departamental y actualmente para atender estos sitios

se necesitaría una inversión de alrededor de medio billón de pesos. Sin embargo, esta cifra no cuenta con un sustento técnico que permita definir los datos reales referentes a los recursos necesarios para su intervención y recuperación.

Cabe resaltar que, debido al incremento de las temporadas invernales, y en general a las variaciones del clima como consecuencia del cambio climático, en el departamento de Caldas se ha presentado un incremento de los sitios críticos por la saturación del suelo y la reactivación de procesos de degradación existentes, lo que presenta traumatismos en la conectividad y en la transitabilidad de los habitantes del departamento de Caldas.

Como se mencionó anteriormente, los elementos que favorecen la aparición de sitios críticos en la red vial del departamento son las condiciones geológicas y geomorfológicas de la región. Caldas se encuentra ubicado sobre dos accidentes geográficos muy importantes, el primero de ellos es la Cordillera Occidental y el segundo la Cordillera Central, favoreciendo que gran parte de su red vial se encuentre en sitios de alta pendiente y en terrenos con procesos erosivos activos.

Las variables que se deben definir para la priorización de sitios críticos, de tal forma que las diferentes Administraciones puedan tomar decisiones para su posterior intervención son: Categoría de la vía: según Resolución 5134 del 30 de noviembre de 2016, proceso de degradación existente, calificación del tipo de daño, existencia de vía alternas, nivel de riesgo y alternativas de recuperación.

Actualmente, la administración departamental no cuenta con un sistema de gestión de sitios críticos eficiente, que permita la toma de decisiones de forma oportuna para la disminución del

riesgo y reducción de la vulnerabilidad de la población caldense; por tal razón, se desea implementar un sistema acorde a las necesidades del departamento, el cual contribuya al proceso de mitigación del riesgo y desde el cual se puedan determinar las diferentes alternativas de recuperación, previa realización de los estudios y diseños respectivos.

2. Justificación

El presente proyecto se pretende realizar con el fin de obtener los insumos necesarios para el proceso de caracterización de sitios críticos ubicados en la red vial del departamento de Caldas, de tal modo que la administración departamental y las diferentes administraciones municipales, pueda priorizar cada uno de ellos mediante un sistema de gestión fiable, bajo parámetros y variables cuantitativas, dando una calificación que permita definir su orden de importancia y por ende el grado de afectación para la gestión y obtención de recursos financieros para su intervención y recuperación, favoreciendo el tránsito y transporte de productos agropecuarios e industriales y la conectividad entre los diferentes municipios y centros poblados del departamento.

Este proyecto posee un componente innovador al utilizar sistemas de información geográfica que permitan visualizar de forma más clara la localización, clasificación y priorización de sitios críticos viales que requieren recursos para su intervención y posterior recuperación; además, será una herramienta muy importante para los dirigentes del departamento, los cuales contarán con argumentos sólidos a la hora de gestionar y ejecutar recursos en la rehabilitación de las vías.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Generar un sistema de gestión de sitios críticos ubicados en la red vial del departamento de Caldas mediante el uso e implementación de sistemas de información geográfica, teniendo en cuenta todas aquellas variables o parámetros que permitan calificar cuantitativamente cada uno de ellos, para su priorización en la atención y recuperación.

3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los diferentes procesos de degradación que se pueden presentar en la ocurrencia de un sitio crítico en la red vial departamental.
- Determinar las diferentes alternativas de intervención para la recuperación de sitios críticos de la red vial departamental.
- Aplicar un proceso de calificación cuantitativo y/o cualitativo que permita priorizar los sitios críticos en nivel de importancia.
- Crear un sistema de gestión de sitios críticos viales que permita su priorización para la destinación de recursos que logren su rehabilitación.

4. Contexto Geográfico

4.1. Localización

El Departamento de Caldas está situado en el centro occidente de la república de Colombia, haciendo parte de la región Andina. Es uno de los cinco Departamentos de la Ecorregión del Eje cafetero y el de mayor tamaño del llamado “eje cafetero”, conformado por Caldas, Quindío y Risaralda.

Posee una extensión de 7.888 km² y limita al norte con el departamento de Antioquia y un pequeño límite con el departamento de Boyacá; al occidente con el departamento de Risaralda; por el oriente limita con el departamento de Cundinamarca; y hacia el sur con los departamentos de Tolima y Risaralda.

Su organización territorial comprende seis subregiones como lo son:

- Subregión Centro Sur
- Subregión Norte
- Subregión Alto Occidente
- Subregión Bajo Occidente
- Subregión Alto Oriente
- Subregión Magdalena Caldense

4.1.1. Coordenadas geográficas extremas

04°48'32" y 05°46'53" de latitud Norte

74°37'44" y 75°55'52" de longitud oeste

4.1.2. Superficie

El Departamento de Caldas tiene una extensión de 7.888 kilómetros cuadrados (Km²), ocupando el vigésimo octavo (28) lugar en extensión a nivel nacional.

4.1.3. Porcentaje territorial

El Departamento de Caldas representa el 0.69 % del territorio nacional.

4.1.4. Vías de comunicación

La carretera Nacional atraviesa el departamento y lo comunica con Antioquia y Risaralda; todos los municipios se encuentran conectados por carretera entre sí y con la capital departamental. Sin embargo, los municipios del norte se encuentran mejor comunicados que los municipios del centro oriente, donde la red vial no es densa. Red Vial Nacional del departamento de Caldas:

- Troncal de Occidente 109,47 Km.
- Troncal del Eje Cafetero 66,30 Km.
- Troncal del Magdalena 20,99 Km.
- Transversal Las Animas – Bogotá 110,42 Km.

- Acceso a Manizales 16,70 Km.

4.1.5. Red vial del departamento de Caldas

Según datos de la secretaría de Infraestructura de la Gobernación de Caldas, el departamento de Caldas cuenta con aproximadamente 4.960 Km de red vial distribuidos por competencia como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución por competencias de la red vial del departamento de Caldas.

Competencia	Orden	Pavimentada	Afirmado	Total
Nación	Primer	385	-	385
	Segundo	-	-	-
	Tercer	31	519	550
Departamento	Primer	214	42	256
	Segundo	385	201	585
	Tercer	26	893	919
Municipio	Primer	-	-	-
	Segundo	-	-	-
	Tercer	22	2.239	2.265
Total		1.062	3.894	4.960

Fuente: Secretaría de Infraestructura-Gobernación de Caldas.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, la red vial a cargo de la administración departamental está compuesta por 1.760 Km, distribuidos entre 119 tramos viales caracterizados en vías de primer, segundo y tercer orden, como se muestra en las tablas 2, 3 y 4 (*Secretaría de Infraestructura de Caldas. 2021*).

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Tabla 2. Distribución de la red vial de primer orden a cargo de la administración departamental de Caldas.

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipio	Subregión	Longitud (Km)
3301-T1	Manizales - Neira	Manizales	Centro Sur	18,0
3302-T3	Aguadas - Arma - La Pintada	Aguadas	Norte	41,0
3301-T3	Aranzazu - Salamina	Aranzazu	Norte	21,3
3901	Rio Guarino (Límites Tolima) - Manzanares	Manzanares	Oriente	18,4
3301-T2	Neira - Aranzazu	Neira	Centro Sur	29,5
3302-T2	Pacora - Aguadas	Pácora	Norte	12,7
3902	Manzanares - El Cruce - La Quebra - Pensilvania	Manzanares	Oriente	27,5
3302-T1	Salamina-Pacora	Salamina	Norte	32,2
5004-T1	Asia - El Crucero - Las Margaritas	Viterbo	Occidente Bajo	28,4
50A01	Enea (Acasa) - Termales - El Arbolito	Villamaría	Centro Sur	26,8
Total, Km red vial de primer orden				255.9

Fuente: Secretaría de Infraestructura-Gobernación de Caldas.

Tabla 3. Distribución de la red vial de segundo orden a cargo de la administración departamental de Caldas.

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipios	Subregión	Longitud (Km)
50CL05	Manizales - Quebra de Vélez - La Cabaña - Tres Puertas	Manizales	Centro Sur	22,8
2508CL01	Anserma - Los Encuentros (Límites Risaralda)	Anserma	Occidente Bajo	11,4

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL
DEPARTAMENTO DE CALDAS

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipios	Subregión	Longitud (Km)
2507CL01	Belalcázar - La Alemania - Portugal - El Cairo	Belalcázar	Occidente Bajo	12,6
5004CL03	Belalcázar-San Isidro-La Habana-El Crucero	Belalcázar	Occidente Bajo	7,8
29CL01-1	El Lago - La Estrella - El Trébol (Limite Risaralda)	Chinchiná	Centro Sur	20,4
33CL01-T1	Varsovia - Balmoral - Filadelfia	Filadelfia	Occidente Alto	7,5
33CL01-T2	Filadelfia - La Florida - La Felisa	Filadelfia	Occidente Alto	18,8
5603	La Dorada - Norcasia	La Dorada	Magdalena Caldense	40,7
33CL01-4	La Merced - Buenos Aires - La Felisa	La Merced	Occidente Alto	14,4
5201-T1	(Cruce) Manzanares - Marquetalia	Manzanares	Oriente	21,7
5201-T2	Marquetalia - Victoria	Marquetalia	Oriente	27,0
3901CL04	Marulanda - Alto del Toro - Manzanares (Sector Alto del Toro Manzanares K9+100 al k40+00)	Marulanda	Oriente	38,7
33CL03	Marulanda - San Félix	Marulanda	Oriente	30,4
5602	Norcasia - Florencia - Puente Linda (Límites Antioquia)	Norcasia	Magdalena Caldense	62,7
29CL01-T1	Chinchiná - El Lago - Palestina	Chinchiná	Centro Sur	5,0
29CL01-2	Cartagena - La Merced Alta - Alto Curazao	Palestina	Centro Sur	3,7
29CL01-T2	Palestina - Cartagena - La Plata - La Rochela.	Palestina	Centro Sur	15,4
5004-02	Las Margaritas- Arauca- La Rochela- Tres Puertas	Palestina	Centro Sur	14,7
3902CL01	La Quiebra-Bolivia	Pensilvania	Oriente	2,2
29CL02	(Limite Risaralda) Bonafont - El Mestizo - Riosucio	Riosucio	Occidente Alto	11,3
2304	Riosucio-La Robada-La Palma-Alto Ventanas (Limite Antioquia)	Riosucio	Occidente Alto	30,0
50CL01	Las Margaritas - Risaralda - Cauya	Risaralda	Occidente Bajo	23,3
5004CL04-T2	San José - Risaralda	San José	Occidente Bajo	11,8
33CL09	Salamina - La Palma - La Quiebra - San Félix	Salamina	Norte	25,2
3302CL01	Salamina - El Pedrero - El Yarumo - Llanadas - La Merced	Salamina	Norte	23,5
5201CL04	Cañaverl - Rancho Largo - El Codo - Samaná	Samaná	Magdalena Caldense	27,4
5004CL04-T1	El Crucero - San José	San José	Occidente Bajo	2,8

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL
DEPARTAMENTO DE CALDAS

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipios	Subregión	Longitud (Km)
25CL01	Supia - Media Caral - Hojas Anchas (Lim Antioquia)	Supia	Occidente Alto	16,3
5201-T3	Victoria - Perico	Victoria	Magdalena Caldense	22,1
50CL04	La Esperanza - El Arbolito - Tabacal	Villamaría	Centro Sur	14,2
Total, Km red vial de segundo orden				585.4

Fuente: Secretaría de Infraestructura-Gobernación de Caldas.

Tabla 4. Distribución de la red vial de tercer orden a cargo de la administración departamental de Caldas.

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipios	Zona	Longitud (Km)
2902CL01	La Violeta - La Ye - El Rosario - La Trinidad	Manizales	Centro Sur	8,0
2902CL01-2	La Ye - Queiebra del Billar	Manizales	Centro Sur	4,6
5005CL01	Queiebra del Billar - El Algarrobo - El Chuzo - Malpaso	Manizales	Centro Sur	13,8
50CL05-1	Queiebra de Vélez - Alto Lisboa - Magallanes - La Estrella	Manizales	Centro Sur	28,6
2902CL01-1	El Rosario - Las Pavas	Manizales	Centro Sur	0,9
3302CL05	Coca de Huevo - Mermita - Los Pomos (Límite Antioquia) (sector: Mermita San Rafael K29+300 al K+40+400)	Aguadas	Norte	3,0
2507CL02	Remolinos - La Tesalia - El Cairo	Anserma	Occidente Bajo	4,9
5004CL05	Boquerón - La Palma - La India - La Olleta - Opirama	Anserma	Occidente Bajo	14,9
2507CL03	Chapata - La Loma - El Horro	Anserma	Occidente Bajo	7,1
2508CL02	Partidas - Tabudía - Puente Liberal - Opirama	Anserma	Occidente Bajo	10,9
2508CL03	Partidas - Bellavista - Tamarvía (Sector Partidas Bellavista)	Anserma	Occidente Bajo	2,9
3301CL05	Aranzazu - Muelas - La Felicia	Aranzazu	Norte	18,8
3301CL06	El Cruce - Salón Rojo - La Paila	Aranzazu	Norte	6,5
3301CL07	Alto de la Virgen - La Guaira - El Diamante	Aranzazu	Norte	8,9
3301CL07-1	La Guaira - Curubital	Aranzazu	Norte	16,4
3301CL06-1	Salón Rojo - Alto de Maiba	Aranzazu	Norte	1,0
29CL01-1-1	El Trébol - Alto La Paz - La Esmeralda - Santágueda (K0+000 al K 11+300)	Chinchiná	Centro Sur	10,7

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL
DEPARTAMENTO DE CALDAS

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipios	Zona	Longitud (Km)
29CL04-1	Alto Chuscal - Partidas - Tarapacá	Chinchiná	Centro Sur	14,6
3301CL04	Puerto Samaria - San Luis - Samaria	Filadelfia	Occidente Alto	5,0
33CL01-1	Varsovia - La Marina - Juntas	Filadelfia	Occidente Alto	16,4
33CL01-2	Filadelfia - El Crucero - Morritos - La Mediación	Filadelfia	Occidente Alto	7,5
33CL01-3	Filadelfia-Maiba-El Verso-Llanadas (Sector Filadelfia - Maiba)	Filadelfia	Occidente Alto	17,3
33CL01-3-1	Vuelta de la Empanada - El Tambo	Filadelfia	Occidente Alto	3,1
5603CL01-1	Guarumo-La Agustina	La Dorada	Magdalena Caldense	11,9
3301CL08	Alegrías - El Roblal - La Amoladora - El Yarumo	La Merced	Occidente Alto	15,9
3302CL01-2	La Amoladora - El Limón - Maciegal - La Chuspa	La Merced	Occidente Alto	10,4
25CL01-1	Partidas - San Juan – Cruce (Marmato -El Llano)	Marmato	Occidente Alto	12,8
2508CL10	Marmato - El Llano - La Central (k0+000 al k2+500)	Marmato	Occidente Alto	4,4
3901CL01	Campoalegre - Aguabonita	Manzanares	Oriente	4,8
3901CL02	Campo Alegre - Las Playas - Marquetalia	Manzanares	Oriente	25,7
3901CL03	Llanadas - Las Margaritas - Las Palomas - Las Mercedes	Manzanares	Oriente	16,4
5201CL01	Dos Quebradas - Santa Bárbara - La Italia - Las Mercedes	Manzanares	Oriente	10,7
5201CL02	Planes - El Vergel - San Juan - La Siria	Manzanares	Oriente	8,5
5201CL03	El Gancho - El Rosario - El Palmar - Puerto Leño	Marquetalia	Oriente	11,5
3301CL01	Cruce- Cementos Caldas - La Cristalina - Hojas Anchas - El Páramo (Sector la Cristalina el Páramo k15+450 al 53+800)	Neira	Centro Sur	31,5
3301CL02	Neira-El Jardín	Neira	Centro Sur	4,6
3301CL05-1	Tapias - Trocaderos - Pan de Azúcar - La Felicia (Sector Pan de Azúcar la Felicia) km 8.3 al 18.73	Neira	Centro Sur	9,0
3301CL03	El Descanso - Aguacatal - Tapias - El Rio - Magallanes	Neira	Centro Sur	13,7
33CL01-4-1	La Lutaima - San Bartolomé - Pacora	Pácora	Norte	41,4
33CL01-4-1-1	La Quebra - Castilla	Pácora	Norte	1,5
3302CL04	La Ye - El Tejar - Carboneral - Naranjal - Arma (Sector La Mica Cruce Arma k14+400 al k26+800)	Pácora	Norte	11,0
29CL06	La Manuela - Ventanas - Ventiaderos - Palestina	Palestina	Centro Sur	7,5
29CL01-3	Las Palomas - El Reposo - Los Lobos	Palestina	Centro Sur	6,0

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL
DEPARTAMENTO DE CALDAS

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipios	Zona	Longitud (Km)
5004CL06	La Rochela - El Retiro - Arauca	Palestina	Centro Sur	7,1
3902CL02	Pensilvania - San Daniel - Río Tenerife - Samaná	Pensilvania	Oriente	41,4
3902CL03	Puerto Arenas- Arboleda	Pensilvania	Oriente	25,5
3902CL04	Arboleda - Verdal - Puerto Venus (Límite Antioquia)	Pensilvania	Oriente	10,4
29CL02-1	Bonafont - Pirza - Panesso - La Iberia - Sipirra	Riosucio	Occidente Alto	14,6
2304CL01-1	Partidas - Santa Cecilia - Samaria - El Salado	Riosucio	Occidente Alto	7,4
2304CL01	Partidas-Las Estancias-Lomitas-San Lorenzo	Riosucio	Occidente Alto	17,4
2508CL04	La Central - San Lorenzo	Riosucio	Occidente Alto	3,2
3301CL09-1	La Quebra - Pocitos - Curubital	Salamina	Norte	12,7
3301CL09-2	San Félix - La Samaria - Alto Miranda - San Antonio	Salamina	Norte	12,7
3301CL09-2-1	La Ye - El Retiro (Manantiales)	Salamina	Norte	2,6
3301CL09-2-2	Quebrada San Félix - Guayaquil	Salamina	Norte	3,7
3302CL02	Nudillales - Los Molinos - Cañaveral	Salamina	Norte	6,8
3302CL03	El Peligro - El Águila - La Chuscala - Alto de las Coles (0+000 al K23+000)	Salamina	Norte	12,4
3302CL01-1	El Pedrero - La Chócola - Guayabal	Salamina	Norte	7,2
5603CL01	Santa Bárbara - Los Pomos - La Quinta - La Palma - El Codo	Samaná	Magdalena Caldense	29,8
5004CL02	Morro Azul - Pinares	San José	Occidente Bajo	4,6
5004CL01	San José - El Contento - Los Caminos - Vaticano - Siberia	San José	Occidente Bajo	7,8
2508CL09	El Trébol - La Trina - Gaspar - Guascal	Supia	Occidente Alto	8,0
2508CL08	Dos Quebradas - Brasil - Panesso	Supia	Occidente Alto	5,5
2508CL07	Supia - El Obispo - Alto Obispo - La Quebra	Supia	Occidente Alto	1,5
2508CL07-1	Cruce (Obispo) - Mochilón	Supia	Occidente Alto	1,3
2508CL05	Supia - El Cruce - La Loma - Arcón	Supia	Occidente Alto	8,4
2508CL06	Supia - La Quinta - La Amalia	Supia	Occidente Alto	6,7
2508CL06-1	(Cruce)Taborda - La Divisa - La Torre	Supia	Occidente Alto	4,5
5201CL06	Corrales - La Unión	Victoria	Magdalena Caldense	1,6
5201CL05	Victoria - Purnio - Doña Juana - Vega Grande - Dorada	Victoria	Magdalena Caldense	44,9

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Código De La Vía	Nombre De La Vía	Municipios	Zona	Longitud (Km)
5201CL04-1	Doña Juana Alta - Pradera - Guayanas - Junín - Kilometro 35	Victoria	Magdalena Caldense	38,1
5201CL04-1-1	Pradera - Doña Juana Baja	Victoria	Magdalena Caldense	7,2
29CL04	Villamaría - El Destierro - Antiguo Rio Claro - El Crucero	Villamaría	Centro Sur	20,2
5005CL02	Villamaría - Potosí	Villamaría	Centro Sur	14,0
5005CL01-1	El Parnaso - Montenegro - Playa Larga	Villamaría	Centro Sur	10,2
5003CL01	Viterbo - Canaán - La Alsacia - Las Delicias (Límite Risaralda)	Viterbo	Occidente Bajo	7,4
5003CL01-1	Canaán - El Porvenir - El Palmar - Terminal (Límite Risaralda)	Viterbo	Occidente Bajo	9,1
5003CL02	Viterbo - La Merced - El Socorro - La Linda (Límite Risaralda)	Viterbo	Occidente Bajo	9,9
5003CL02-1	Viterbo - La María - La Florida (Limite Risaralda)	Viterbo	Occidente Bajo	8,3
Total, Km red vial de tercer orden				918.9

Fuente: Secretaría de Infraestructura-Gobernación de Caldas.

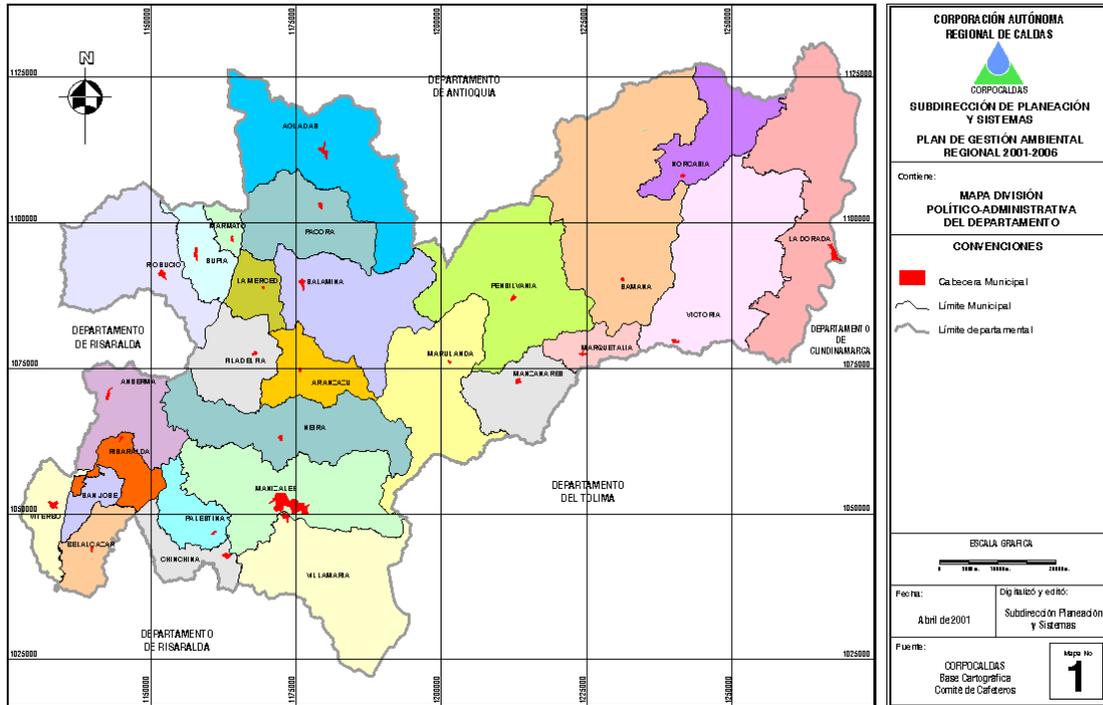
4.2. División Política

Caldas es un departamento mediterráneo situado en el centro occidente de la región andina de Colombia, que se localiza entre las latitudes 05°46'51''N y 04°48'20''N, y las longitudes 74°38'01''W y 75°55'45''W. Cuenta con 27 municipios y una extensión total de 7888 Km².

Los municipios que lo conforman son: Manizales (capital), Aguadas, Anserma, Aranzazu, Belalcázar, Chinchiná, Filadelfia, La Dorada, La Merced, Manzanares, Marmato, Marquetalia, Marulanda, Neira, Norcasia, Pácora, Palestina, Pensilvania, Riosucio, Risaralda, Salamina, Samaná, San José, Supía, Victoria, Villamaría y Viterbo (*Mapas del Departamento de Caldas en Colombia. Por Gonzalo Duque – Escobar. 2008*)

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

Mapa 3. División político-administrativa del departamento de Caldas.



Fuente: CORPOCALDAS en www.corpocaldas.gov.co

5. Antecedentes

La cordillera de Los Andes es una cordillera joven tectónicamente hablando, posee un relieve topográfico abrupto y escarpado; de igual manera, posee una actividad sísmica alta y una gran cantidad de volcanes activos; todo esto sumado a procesos de meteorización profunda, presiones intersticiales de agua, socavación por corrientes de agua, deforestación, etc., permite que se reduzca gradualmente la estabilidad del terreno, llevando a una alta e inusual incidencia de amenazas por movimientos en masa.

Además de grandes eventos de movimientos en masa ocurridos durante siglos en la región Andina, vemos que cientos de pequeños movimientos en masa interrumpen las actividades normales en ciudades cada año, afectando pueblos y gran cantidad de vías, provocando daños y muerte a sus habitantes y causando considerables pérdidas económicas.

En la historia reciente de Colombia, no se cuenta hasta el momento con una base de datos que permita hacer un inventario y valoración de las pérdidas económicas y humanas ocurridas a causa de movimientos en masa detonados por lluvias, los cuales afectan en gran proporción a la red vial primaria, secundaria y terciaria del país.

Estudios realizados han determinado que aproximadamente un 70% de la red vial nacional se ve afectado por la ocurrencia de movimientos en masa que afectan la conectividad y transitabilidad de los usuarios en las diferentes vías. *(Juan Montero Olarte. 2017).*

Por otra parte, y para el caso puntual del departamento de Caldas, no se cuenta con un sistema de gestión de sitios críticos, que permita hacer un seguimiento adecuado a cada uno de ellos, de tal modo que la Administración Departamental y las diferentes Administraciones Locales, puedan llevar a cabo la ejecución de proyectos de intervención para la recuperación de estos.

Con el fin de abordar la deficiencia en el proceso de gestión de sitios críticos ubicados en la red vial del Departamento de Caldas, es necesario evaluar las características propias de las vías del departamento, tales como su categoría (que define el nivel de importancia), longitud, características geológicas y geomorfológicas entre otras.

De igual manera, es necesario evaluar las características demográficas de la población de los diferentes municipios del departamento, ya que esto permite determinar o dar una calificación a un sitio crítico, teniendo en cuenta las necesidades propias de las comunidades en relación con la conectividad vial.

Según el “Plan de Desarrollo del departamento de Caldas 2020-2023”, el departamento ocupó el puesto 14 a nivel Nacional en el campo de infraestructura vial, con un puntaje de 2,83 sobre 10. De acuerdo con los indicadores que lo componen, en la red vial primaria por cada 100 mil habitantes, Caldas ocupa el puesto 19 entre 33 regiones analizadas, con un indicador de 36,54 kilómetros pavimentados por cada 100 mil habitantes. En otros indicadores como la red vial por área, el porcentaje de vías en buen estado y la red vial a cargo del departamento por área, ocupa posiciones privilegiadas 6, 5 y 4, respectivamente.

Tabla 5. Indicadores de infraestructura vial en el Índice Departamental de competitividad, 2018.

Categoría	Indicador	Puntaje (de 0 a 10)	Posición (entre 33)
Infraestructura vial		2,83	14
Red vial primaria por cada 100 mil habitantes (Km pavimentado/100 mil hab.)	36,54	2,46	19
Red vial primaria por área (km pavimentado/km ²)	4,60	0,52	6
Porcentaje de vías primarias en buen estado	89,06%	8,73	5
Red vial a cargo del departamento por cada 100 mil habitantes (Km pavimentado/100 mil hab.)	49,75	1,46	10
Red vial a cargo del departamento por área (km pavimentado/100 km ²)	6,27	0,54	4
Porcentaje de vías a cargo del departamento en buen Estado	32,44%	3,24	16

Fuente: Consejo Privado de Competitividad, 2018.

De los cerca de cinco mil kilómetros que conforman la red vial de Caldas, el departamento y sus municipios cuentan con una gran cantidad de vías terciarias: cerca de cuatro mil kilómetros poseen esas características de tercer orden, correspondientes a los accesos veredales principalmente o alternativas rurales que terminan conectando cabeceras municipales y corregimientos. Son las carreteras más angostas, en promedio más cortas, pero llegan hasta donde están los campesinos y sus actividades productivas; son vitales para la entrada de los insumos requeridos para la producción agrícola y la extracción en condiciones adecuadas de los productos, por tal razón, es indispensable garantizar una conectividad permanente en la red vial mediante la gestión oportuna de los diferentes sitios críticos de la red vial.

Así mismo, la movilidad por estas carreteras es soporte para el desarrollo turístico y en general del territorio rural. Mejorar la conectividad y transitabilidad por las diferentes carreteras del departamento, implica la asignación de recursos muy importantes.

6. Marco Teórico

En este capítulo se presentan conceptos importantes relacionados con el desarrollo de la investigación. Es importante resaltar los procesos que influyen en la dinámica terrestre, los cuales son:

- **Procesos endógenos:** entendidos como aquellos que se originan en el interior de la Tierra debido a las altas temperaturas y presiones que allí se generan, como la geología, el relieve y la geomorfología.
- **Procesos exógenos:** entendidos como aquellos producidos por la acción de los agentes atmosféricos, como el viento, los cambios de temperatura, la lluvia y el hielo; es decir, todos aquellos procesos que se originan en el exterior de la corteza terrestre, como el clima y la hidrología de la zona de estudio.

6.1. Procesos Endógenos Asociados Al Departamento de Caldas

Los procesos endógenos son definidos como aquellos procesos que ocurren al interior de la Tierra, es decir, ocurren en la corteza y el manto; en donde la presión y la temperatura juegan un papel muy importante.

A continuación, se describen algunos de estos procesos que influyen en la dinámica del departamento en referencia a la generación de sitios críticos en la red vial.

6.1.1. Contexto Geológico

El departamento de Caldas se encuentra situado entre dos grandes sistemas montañosos, las cordilleras Central y Occidental de los Andes colombianos. Incluye grandes cuencas estructurales (Magdalena y Cauca), donde se han acumulado secuencias sedimentarias terciarias de gran espesor producto de la erosión y actividad volcánica.

Este territorio se encuentra afectado por grandes sistemas de fallas (Romeral y Palestina) y en él se encuentran las manifestaciones volcánicas más septentrionales de la cadena andina.

El núcleo de la Cordillera Central está conformado por metamórficas paleozoicas del complejo Cajamarca localizadas al Este de la Falla de San Jerónimo límite oriental del sistema Romeral; estas rocas predominan en el flanco oriental y corresponden a metamórficas en facies esquisto verde a anfibolita, intensamente plegadas, falladas y afectadas por eventos térmicos superpuestas hasta el Cretáceo tardío. Secuencias sedimentarias, sedimentario- volcánicas de ambientes neríticos y ofiolíticas del Cretáceo predominan en el flanco occidental. En este mismo sector aflora un pequeño remanente de sedimentos marinos del Jurásico. Intrusivos del Mesozoico y Eoceno, de composición tonalítica- granodiorítica, intruyen las unidades deformadas y metamorizadas regionalmente. Depósitos volcánicos y volcanoclásticos del Pleistoceno cubren las formaciones más antiguas (Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química *INGEOMINAS* 1993).

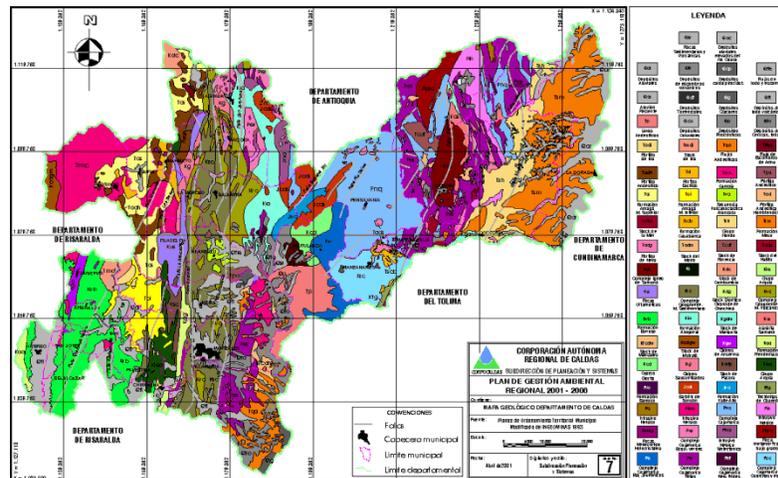
En la Cordillera Occidental afloran toleitas cretácicas generadas en arcos volcánicos inmaduros, localizadas al oeste del sistema de fallas de Romeral, zona a lo largo de la cual se

emplazaron durante el Cretáceo ofiolitas no secuenciales y metamorfitas de media- alta presión. Estas rocas fueron deformadas durante el Cretáceo tardío.

En la depresión del Cauca, intrusivos subvolcánicos de composición andesíticas de edad Mioceno a más jóvenes intruyen sedimentitas terciarias y podrían ser la fuente de depósitos volcanoclásticos que allí se observan. La Cordillera Central está limitada por dos grandes sistemas de fallas: al Este por el de Palestina- Mulato que delimita la depresión geomorfológica del Valle del Magdalena considerada como una fosa a semifosa, y al oeste por el de Romeral que la separa geológicamente de la Cordillera Occidental y delimita la depresión del Cauca.

Los recursos minerales conocidos y explotados están representados por minerales no metálicos: calcáreos, carbón, materiales de construcción y por metales preciosos (oro-plata) base de la actividad minera en el departamento. (<https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=12638>).

Mapa 4. Mapa geológico del departamento de Caldas.



Fuente: CORPOCALDAS

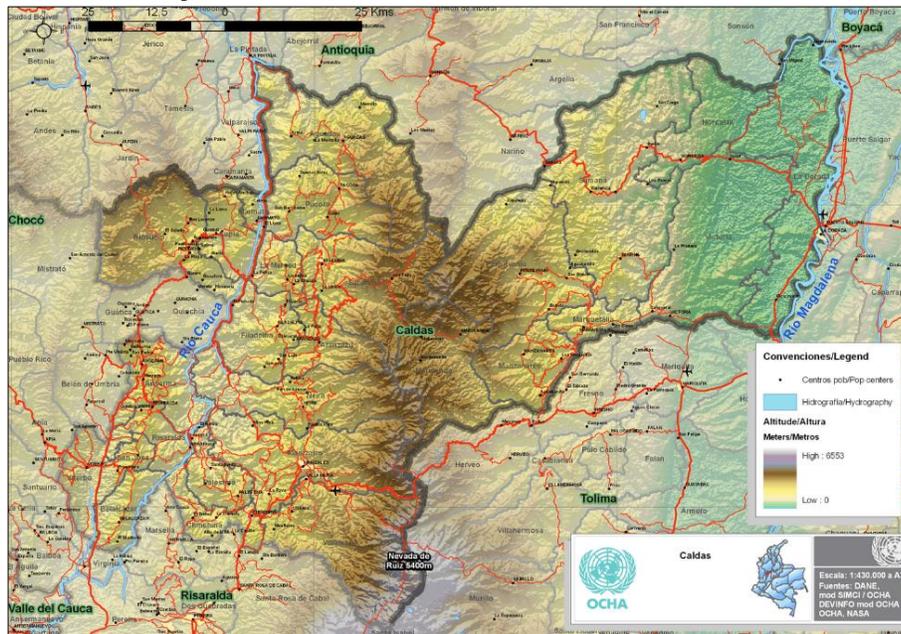
6.1.2. Relieve

Caldas posee, en proporción a su territorio, el relieve más montañoso del país. Indudablemente marcado por una de las mayores alturas de Colombia, el Nevado del Ruiz, con una altura de 5.400 metros sobre el nivel del mar y que posee el Volcán Arenas y el Nevado el Cisne con una altura de 5.200 metros sobre el nivel del mar. Ambos conforman además el Parque nacional natural Los Nevados, compartido con los departamentos de Risaralda, Quindío y Tolima. El Nevado del Ruiz, el rey de Colombia (5400 metros sobre el nivel del mar), descansa imponente y a veces temible, en el territorio cafetero del Departamento de Caldas (*Gobernación de Caldas. 2017*).

El territorio del departamento se ve atravesado en su totalidad por las cordilleras andinas Central y Occidental. La topografía del departamento está dada entre los 5.400 y 170 m.s.n.m. El Nevado del Ruiz el Punto más alto y el municipio de La Dorada el más bajo del departamento, estas alturas también hacen variar grandemente en cuanto a clima y paisajes, no solo hay grandes elevaciones como el de páramo de Letras, y el páramo de San Félix, sino que también se encuentran planicies como las del Valle interandino del Magdalena, también en el Valle del Risaralda y cañones como el del Cauca.

El departamento pertenece además a la subregión Andina del Eje Cafetero con los departamentos de Risaralda, Quindío el Suroeste Antioqueño y el Norte del Valle del Cauca. (<https://caldas.gov.co/index.php/portfolio-2/informacion-general/geografia-de-caldas>)

Mapa 5. Mapa de relieve del departamento de Caldas.



Fuente: <https://godues.wordpress.com/2013/03/31/mapas-de-caldas/>

6.2. Procesos Exógenos Asociados Al Departamento

Los procesos exógenos se producen por la acción de los agentes atmosféricos (como el viento, los cambios de temperatura, la lluvia y el hielo) sobre las rocas; es decir, estos procesos comprenden a aquellos que se originan en el exterior de la corteza terrestre.

En el departamento de Caldas se presentan procesos exógenos como el clima y la hidrografía que son descritos a continuación.

6.2.1. Clima

La temperatura del departamento de Caldas varía de acuerdo con la altitud y el relieve, alterada por los vientos alisios del noreste y del sureste. Sobre el flanco oriental de la cordillera Central se localizan los sectores más lluviosos, entre los 1.200 y 1.600 metros de altura, donde la precipitación supera los 3.000 mm anuales. Los sectores con menos de 1.500 mm anuales se ubican sobre los 3.500 m de altura, en el parque nacional natural de los Nevados, que incluye las máximas alturas del departamento. La distribución de los pisos térmicos es cálida en el 32% del total del departamento, templado 36%, frío 23% y el piso bioclimático de páramo 9%. (*Fuente. CORPOCALDAS*).

El núcleo con mayores precipitaciones se registra en las estribaciones de la cordillera central, a la altura del municipio de Samaná y sus vecindades, en los cuales se alcanzan los 5000 mm anuales. Las menores lluvias se localizan hacia el municipio de Aranzazu y en dirección a los límites con Tolima, en donde caen alrededor de 1500 mm. al año, en promedio En el resto del departamento se registran volúmenes de lluvia entre 2000 y 3000 mm anuales.

El régimen de lluvias es de tipo bimodal, con una temporada seca principal a mitad de año y una segunda, de menor intensidad, en los meses de enero y febrero.

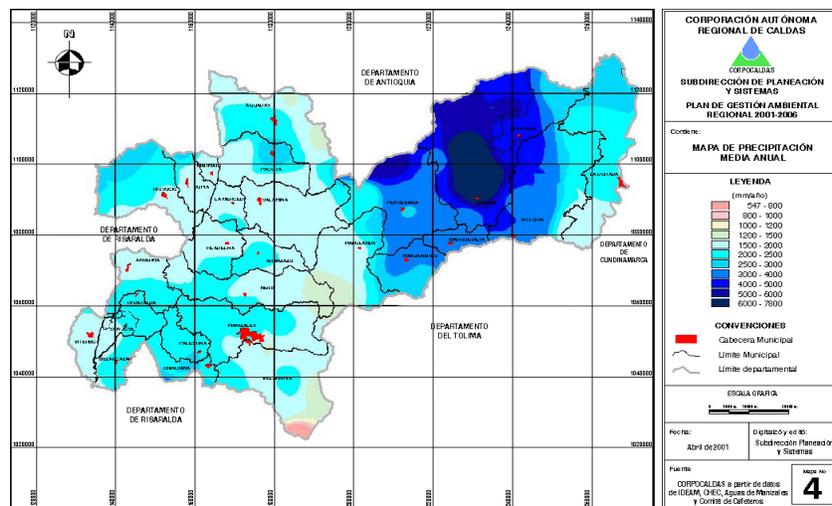
Las cantidades de lluvia presentadas son mayores de marzo a mayo y de septiembre a noviembre.

SISTEMA DE GESTIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE SITIOS CRÍTICOS UBICADOS EN LA RED VIAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS

El número anual de días con lluvia oscila entre 150 y 250, en la mayor parte de la zona montañosa, siendo algo mayor al centro del departamento, en los municipios de Pensilvania y Manzanares. En la margen del río Magdalena, el número de días lluviosos es menor a 150 durante el año.

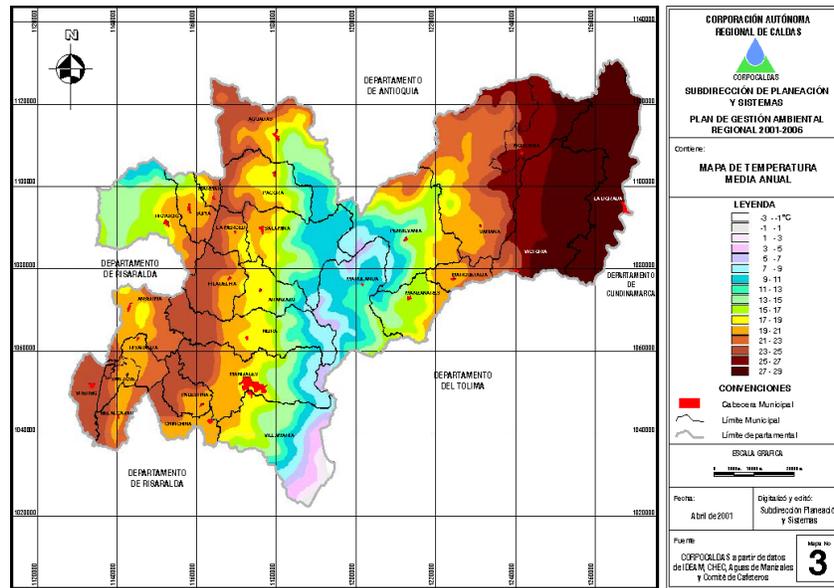
Como consecuencia de los regímenes de precipitación y temperatura, se registra también una gran variedad de climas en el departamento. Los climas cálidos semihúmedos y húmedos se localizan al oriente, en cercanías al río Magdalena. A continuación, aparecen los climas templados húmedos y supe húmedos. En el centro y coincidiendo con las mayores alturas de la cordillera central, aparecen los climas muy fríos y extremadamente fríos, semihúmedos y húmedos. Sobre la cuenca del río Cauca, predominan los climas templados semihúmedos y húmedos. (<https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/caldas/clima.html>).

Mapa 6. Mapa de precipitaciones departamento de Caldas.



Fuente: CORPOCALDAS.

Mapa 7. Mapa de temperatura media anual departamento de Caldas.



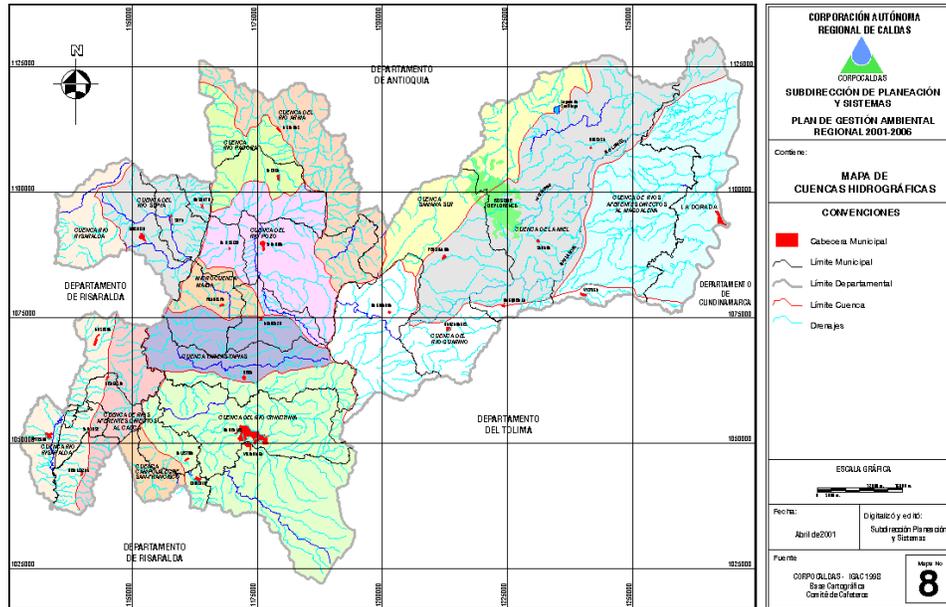
Fuente: CORPOCALDAS.

6.2.2. Hidrografía

La principal red hidrográfica del departamento está representada en los ríos Magdalena y Cauca, vertientes de las 13 cuencas que conforman el departamento, las más importantes de estas son la de los ríos La Miel y Chinchiná, las más grandes respectivamente y a su vez las más ricas hídricamente, otros ríos importantes y cuencas a la vez son el Arma, Guarinó, Samaná Sur, Pácora, Pozo, Tareas, Tapias, Supía, Risaralda, San Francisco y Campo Alegre. La mayoría de los páramos de la cordillera central y unos pocos de las montañas de la cordillera occidental como los ríos Risaralda y Supía. En Caldas también se encuentran embalses o centrales Hidroeléctricas, La Miel I, es la más importante, entre otras se encuentra La Esmeralda en el municipio de Chinchiná, otros espejos de agua, esta vez naturales son la Laguna de San Diego y

la Charca de Guarinocito. (<https://caldas.gov.co/index.php/portfolio-2/informacion-general/geografia-de-caldas>)

Mapa 8. Mapa de cuencas hidrográficas del departamento de Caldas.



Fuente: CORPOCALDAS.

7. Marco Conceptual

La Ley 1523 de 2012 define que “ *La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible*”. Para el presente proyecto, se tomarán siete grandes componentes incluidos en la Ley 1523, los cuales se tendrán en cuenta en el desarrollo del proceso para la generación del sistema de gestión de sitios críticos en el departamento de Caldas, los cuales son:

7.1. Análisis y evaluación del riesgo

“Implica la consideración de las causas y fuentes del riesgo, sus consecuencias y la probabilidad de que dichas consecuencias puedan ocurrir. Es el modelo mediante el cual se relaciona la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, con el fin de determinar los posibles efectos sociales, económicos y ambientales y sus probabilidades. Se estima el valor de los daños y las pérdidas potenciales, y se compara con criterios de seguridad establecidos, con el propósito de definir tipos de intervención y alcance de la reducción del riesgo y preparación para la respuesta y recuperación.”

En este componente se determinarán los diferentes factores (causas y fuentes) que influyen en la ocurrencia de sitios críticos localizados en la red vial del departamento, analizando las diferentes variables que intervienen en el aumento de la amenaza, tales como: características geológicas,

geomorfológicas y geotécnicas de las zonas de estudio, factores de lluvia y saturación del terreno, procesos erosivos, factores antrópicos por uso inadecuado del suelo, etc.

De igual manera, se analizarán los diferentes escenarios de vulnerabilidad basados en la identificación de los tipos de daños esperados basados en fragilidad de los elementos particulares de cada sitio crítico ante los diferentes tipos de amenaza.

7.2. Conocimiento del riesgo

“Es el proceso de la gestión del riesgo compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre”

Teniendo como base este elemento, es indispensable determinar de forma clara las diferentes variables que se tendrán en cuenta en el proceso de evaluación de sitios críticos, con el fin de establecer los posibles escenarios de riesgo en cada caso en particular, de igual manera, el sistema de gestión permite realizar un monitoreo y seguimiento permanente que favorece los procesos de reducción del riesgo de desastres.

7.3. Exposición (elementos expuestos)

“Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza”

Teniendo en cuenta que la red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país, ya que ésta permite satisfacer las necesidades básicas mediante el acceso a la de educación, trabajo, alimentación y salud, etc., es de vital importancia definir el grado de exposición al que puede verse sometido este sector de la infraestructura, ya que dependiendo de su nivel de importancia (categoría de primer, segundo o tercer orden) se puede determinar el grado de afectación al que pueden verse expuestas las diferentes poblaciones usuarias de las vías.

7.4. Gestión del riesgo

“Es el proceso social de planeación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas y acciones permanentes para el conocimiento del riesgo y promoción de una mayor conciencia del mismo, impedir o evitar que se genere, reducirlo o controlarlo cuando ya existe y para prepararse y manejar las situaciones de desastre, así como para la posterior recuperación, entiéndase: rehabilitación y reconstrucción. Estas acciones tienen el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”

El proceso de análisis, evaluación y conocimiento de los sitios críticos de la red vial, permite tomar acciones con el fin de realizar una correcta y oportuna gestión de los mismos, ya que será una herramienta fundamental para los tomadores de decisiones en cuanto a la destinación de recursos económicos para su recuperación, o en caso contrario, permitirá tomar decisiones preventivas para garantizar la seguridad de la población usuaria de las diferentes vías.

7.5. Mitigación del riesgo

“Medidas de intervención prescriptiva o correctiva dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza, cuando sea posible, y la vulnerabilidad existente”

La generación de un sistema de gestión de sitios críticos óptimo y eficiente, permitirá identificar los daños potenciales y las posibles medidas requeridas para reducir el riesgo ante la probable ocurrencia de procesos de movimientos en masa que puedan afectar en mayor o menor medida la infraestructura vial departamental.

Cabe aclarar que las definiciones de las medidas de mitigación del riesgo, no hacen parte del actual proceso de generación del sistema de gestión de sitios críticos, puesto que éstas son el resultado de cada uno de los estudios y diseños particulares que se realicen, sin embargo, se podrían tomar medidas de mitigación de acción rápida, tales como el manejo de aguas de escorrentía, las cuales facilitan los procesos erosivos y de movimientos en masa por saturación y socavación del suelo.

7.6. Prevención de riesgo

“Medidas y acciones de intervención restrictiva o prospectiva dispuestas con anticipación con el fin de evitar que se genere riesgo. Puede enfocarse a evitar o neutralizar la amenaza o la exposición y la vulnerabilidad ante la misma en forma definitiva para impedir que se genere nuevo

riesgo. Los instrumentos esenciales de la prevención son aquellos previstos en la planificación, la inversión pública y el ordenamiento ambiental territorial, que tienen como objetivo reglamentar el uso y la ocupación del suelo de forma segura y sostenible”

El proceso de prevención del riesgo enfocado en un sistema de información tiene gran relevancia, ya que éste facilita la toma de decisiones con el fin de disminuir el nivel de amenaza mediante el conocimiento y evaluación de un sitio crítico; lo que permite destinar recursos de forma eficiente bajo parámetros de planificación de las entidades territoriales.

7.7. Reducción del riesgo

“Es el proceso de la gestión del riesgo, está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera”

Una de las finalidades de la generación e implementación de un sistema de gestión de sitios críticos es “reducir el riesgo”, ya que éste permite identificar, analizar y evaluar el nivel de amenaza existente bajo parámetros de calificación cuantitativos, priorizando el nivel de importancia atendiendo el nivel de riesgo.

8. Marco Normativo

Ley 1523 de 2012, Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. (Congreso de la República, Ley No 1523, 2012).

Ley 1228 de 2008, por la cual se determinan las fajas mínimas de retiro obligatorio o áreas de exclusión, para las carreteras del sistema vial nacional, se crea el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras y se dictan otras disposiciones.

Ley 388 de 1997, Por la cual se modifica la Ley 9 de 1989, y la Ley 2 de 1991 y se dictan otras disposiciones.

Ley 105 de 1993, por la cual se dictan disposiciones básicas sobre el transporte, se redistribuyen competencias y recursos entre la Nación y las Entidades Territoriales, se reglamenta la planeación en el sector transporte y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1200 de 2004, “Por el cual se determinan los Instrumentos de Planificación Ambiental y se adoptan otras disposiciones” (El Plan de Gestión Ambiental Regional - PGAR y Plan de Acción Trienal -PAT). (Ministerio de Ambiente, 2004).

Resolución 4100 de 2004, por la cual se adoptan los límites de pesos y dimensiones en los vehículos de transporte terrestre automotor de carga por carretera, para su operación normal en la red vial a nivel nacional.

Resolución 1860 de 2013, por la cual se adopta la Metodología General para reportar la información que conforma el Sistema Integral Nacional de Información de Carreteras "SINC" y se dictan otras disposiciones.

9. Metodología

Para llevar a cabo la creación de un sistema de gestión de sitios críticos ubicados en la red vial del departamento de Caldas, en el presente trabajo se han planteado cuatro objetivos específicos con el fin de determinar la hoja de ruta que permita obtener los resultados esperados, de tal modo que no sólo la administración departamental pueda utilizar dicha herramienta en el proceso de priorización y posterior gestión de recursos para la intervención de cada uno de ellos, sino que también las diferentes entidades, tanto de orden público como privado, puedan llevar a cabo un monitoreo continuo de cada sitio, y por qué no? participar de forma activa en la planificación y estructuración de proyectos de intervención para la recuperación y mitigación del riesgo, ya que como lo establece la Ley 1523 de 2012 en su ARTÍCULO 2°. DE LA RESPONSABILIDAD:

“La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano. En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entiéndase: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres.

Por su parte, los habitantes del territorio nacional, corresponsables de la gestión del riesgo, actuarán con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades”

Teniendo en cuenta lo anterior, presentamos a continuación las cuatro etapas mediante las cuales se desarrolló el presente trabajo, las cuáles abordaremos de forma detallada con base en el proceso de investigación.

- Primera etapa: Determinación del proceso de degradación existente
- Segunda etapa: Determinación de las alternativas de intervención
- Tercera etapa: Proceso de calificación del sitio crítico
- Cuarta etapa: Creación de un sistema de gestión de sitios críticos

10. Resultados y discusión

10.1. Primera Etapa: Determinación del proceso de degradación existente

Esta primera etapa de la metodología está enfocada en tomar una muestra significativa de la población objetivo (600 sitios críticos), con el fin de determinar los procesos de degradación más comunes que influyen en la generación de sitios críticos en la red vial del departamento de Caldas.

El proceso de degradación existente en el sitio crítico es un factor muy importante, ya que nos permite determinar el mecanismo de detonación del problema y así poder establecer la mejor alternativa de intervención de este.

Para determinar los procesos de degradación que afectan la red vial del departamento de Caldas, es necesario identificar y entender:

- ¿Cuál es la clase de proceso de degradación (Erosión, movimientos en masa) que se presenta en cada caso en particular?
- ¿Cuál es el mecanismo de falla relacionado al movimiento en masa?
- ¿Cuáles son las causas y efectos que se pueden presentar, teniendo en cuenta el grado de afectación de cada sitio crítico?

Todo lo anterior, con el fin de planificar el proceso de prospección, la toma de muestras requeridas para un conocimiento más detallado del sitio, los ensayos de laboratorio; o realizar el diagnóstico más acertado, planteando las diferentes alternativas de solución.

No comprender el proceso, el mecanismo de falla y las causas de un proceso de inestabilidad es un abordaje del problema en forma incierta y una posible solución poco práctica.

Si se identifican adecuadamente los procesos de erosión y los movimientos en masa, con sus mecanismos, causas y posibles tipos de soluciones; se podrán realizar las prácticas más apropiadas al momento de abordar el problema de origen geotécnico e hidráulico, planteando las alternativas de soluciones más eficientes.

10.1.1. Erosión

La degradación de suelo por erosión se refiere a “la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua y/o del viento, que es mediada por el ser humano, y trae consecuencias ambientales, sociales, económicas y culturales” (*IDEAM-UDCA 2015*). La erosión en Colombia es el más importante proceso de degradación de suelos y tierras, debido a su magnitud en el territorio nacional, más del 50% de la superficie tiene algún grado de erosión.

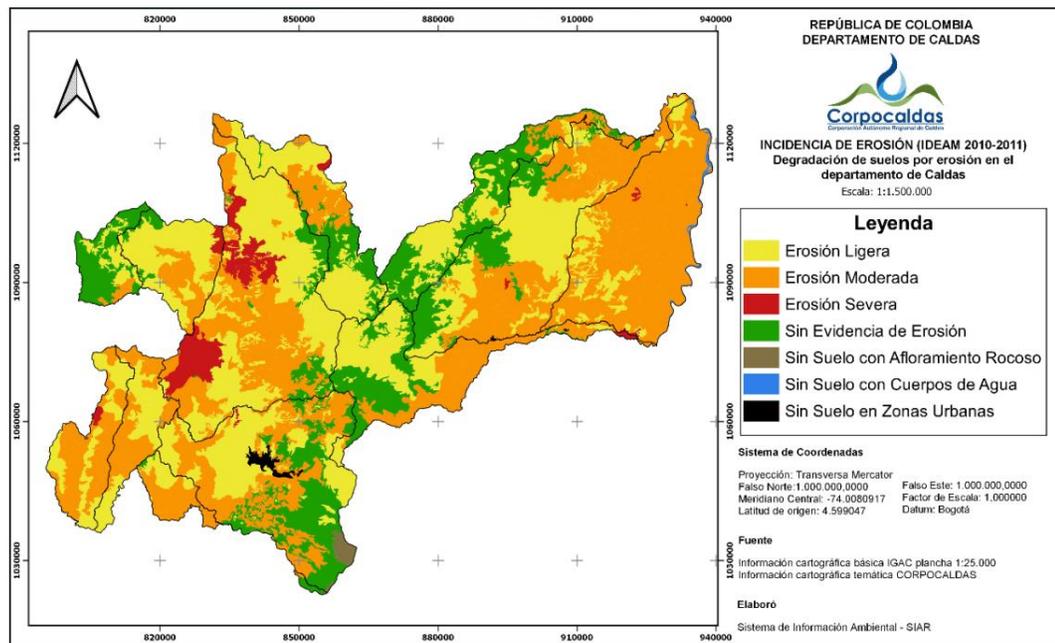
En geotecnia se hace énfasis a los problemas causados por la erosión hídrica, fluvial y eólica que son las más frecuentes y generan problemas en estructuras, los cuales contribuyen en gran medida a la generación de sitios críticos.

10.1.1.1. Erosión hídrica

Ocurre en las laderas y es el resultado del arranque, transporte y depósito de los suelos por la acción de las aguas pluviales y de escorrentía.

La erosión hídrica modela las laderas y taludes gracias a las aguas lluvias y de escorrentía que se generan durante las precipitaciones. Estos procesos suceden en equilibrio cuando la vegetación es natural o se realizan obras y prácticas de control de erosión en terrenos sometidos a actividades antrópicas. En laderas y taludes sin prácticas estos procesos se ven acelerados y ocasionan problemas inestabilizando laderas y taludes (Carlos Enrique Escobar Potes. 2020)

Mapa 9. Mapa degradación de suelos por erosión en el departamento de Caldas.



Fuente CORPOCALDAS. Fuente: Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia (IDEAM & MADS & U.D.C.A, 2015).

10.1.1.2. Erosión fluvial

Es lineal y afecta los cursos de agua. Es el arranque, transporte y depósito de los materiales que conforman el lecho de un cauce. Las manifestaciones son los procesos de socavación de fondo y socavación lateral.

Se trata de la erosión producida por el agua encauzada, debido a su circulación por drenajes naturales de quebradas y ríos. Consiste en la movilización y el desalojo de suelo del canal, la erosión lateral y la socavación en el fondo (*Carlos Enrique Escobar Potes. 2020*).

Desde el punto de vista de la evolución morfológica, Keown et al (1977), señalan tres mecanismos de erosión en canales:

- a) Ensanchamiento, debido al desgaste o proceso erosivo producido por el incremento del flujo y/o de las descargas de sedimentos.
- b) Profundización por degradación en el fondo causada por el incremento del flujo, aumentos en la velocidad del flujo o cambios de la pendiente.
- c) Cambios en la sinuosidad del cauce, por pérdida de materiales en las orillas y la evolución de los meandros.

10.1.1.3. Erosión eólica

Es el modelado del suelo por la acción del viento, cuando arranca, transporta y deposita los suelos finos, desprovistos de vegetación.

Se relaciona con el arrastre y depósito de partículas tamaño limo y arena fina por acción del viento y opera principalmente en regiones donde la vegetación es escasa, como los desiertos cálidos y fríos, y zonas de arenas costeras.

Los vientos contribuyen al secado del suelo cuando este está desprovisto de vegetación, y los suelos arcillosos de cenizas volcánicas sometidos a secado por el calor del sol y la acción de los vientos pierden su plasticidad hasta convertirse en suelos altamente erodables.

El secado es más intenso en los taludes viales muy pendientes, protegidos con pastos, sometidos a podas sucesivas donde se retira todo el follaje y quedan desprovistos de vegetación.

La vegetación protectora del suelo es disipadora de la energía del viento y controla las temperaturas que acceden al suelo, conservando la humedad, la plasticidad del suelo y su estabilidad (*Carlos Enrique Escobar Potes. 2020*).

10.1.2. Movimientos en masa

Los movimientos en masa, también conocidos como deslizamientos, derrumbes, movimientos de remoción en masa y volcanes; entre otras denominaciones, son en términos generales el desplazamiento de suelo, roca y/o tierras laderas abajo por acción de la fuerza de gravedad. Los movimientos en masa se pueden clasificar en:

- Desprendimientos o caídas
- Vuelcos
- Deslizamientos: rotacionales y traslacionales

- Reptamientos
- Propagación lateral
- Flujos: de detritos y de tierras
- Avalanchas

10.1.2.1. Desprendimientos o caídas

Los desprendimientos o caídas son Movimientos en Masa que se presentan en taludes de alta pendiente que se encuentran muy fracturados, son movimientos que ocurren de manera rápida (Carlos Enrique Escobar Potes. 2020).

Figura 1. Fotografía caídas o desprendimientos de rocas.

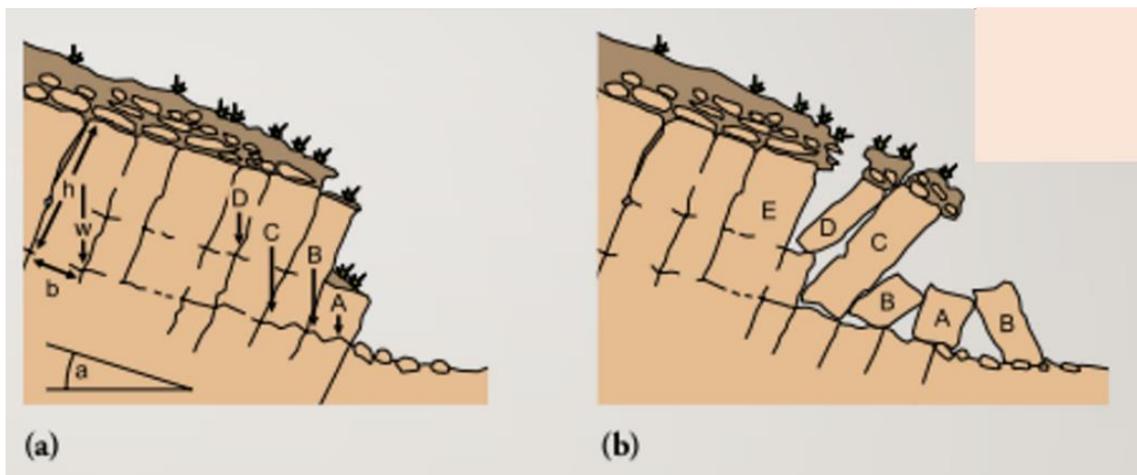


Fuente: Evaluación Geológica Geotécnica De Movimientos De Masa Que Afectan A Obras De Ingeniería Civil Ing. Pedro Isique Piasa Consultores S.A.

10.1.2.2. Vuelcos

Es la rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera, de una masa del suelo o roca alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. Los mecanismos detonantes son la fuerza de gravedad y las fuerzas ejercidas por el terreno adyacente o por fluidos en las grietas (Carlos Enrique Escobar Potes. 2020).

Figura 2. Esquema del vuelco en bloque.



Fuente: De Freitas y Waters, 1973 en Varnes, 1976.

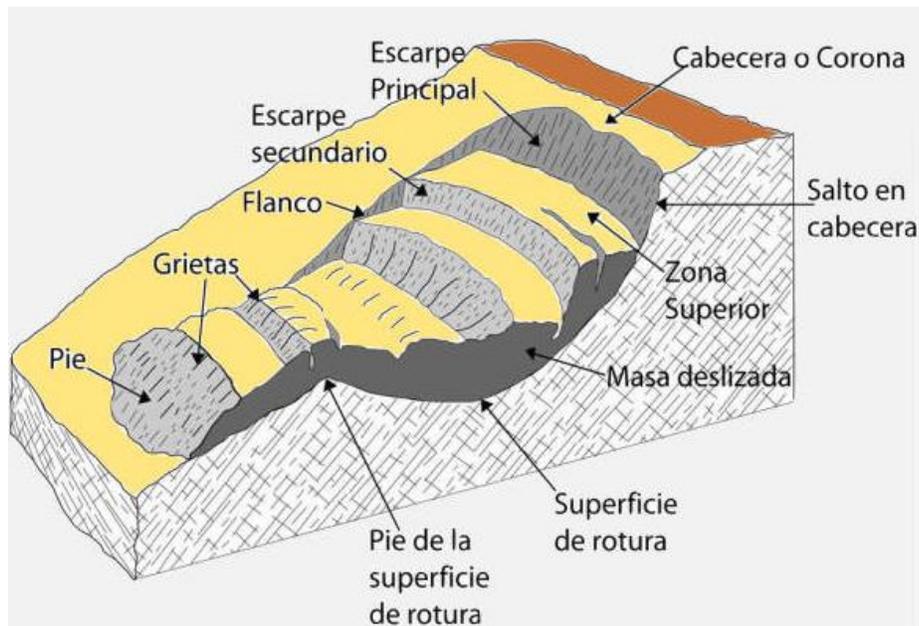
10.1.2.3. Deslizamientos

Son movimientos ladera abajo de masas de suelo o roca sobre una o varias superficies de rotura, o zonas relativamente delgadas con intensa deformación de corte, en los que se preserva a grandes rasgos la forma de masa desplazada. Dependiendo de la superficie de falla, los deslizamientos se pueden clasificar en rotacionales y traslacionales (Carlos Enrique Escobar Potes. 2020).

10.1.2.3.1. Deslizamientos rotacionales

El terreno en movimiento experimenta un giro a lo largo de una superficie de rotura curvilínea y cóncava, y según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada (Carlos Enrique Escobar Potes. 2020).

Figura 3. Esquema de un deslizamiento rotacional y sus partes.



Fuente: <https://geologiaweb.com/riesgos-naturales/deslizamientos/>

10.1.2.3.2. Deslizamientos traslacionales

Los deslizamientos traslacionales pueden generarse en suelos y rocas, la rotura se da a través de una o varias superficies de falla que son planas y se orientan a favor del talud.

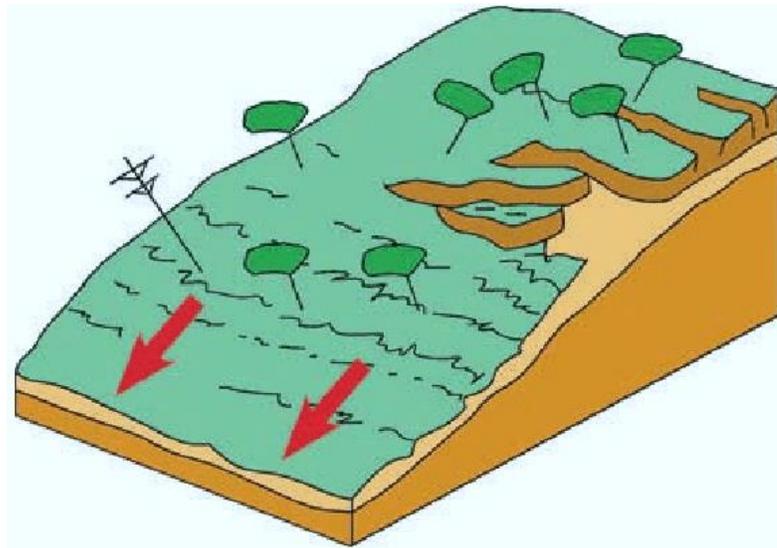
Teniendo en cuenta las características de la superficie de falla, en los deslizamientos traslacionales la masa que se desliza lo hace con mayor rapidez que aquella de los deslizamientos rotacionales (*Carlos Enrique Escobar Potes. 2020*).

10.1.2.4. Reptamientos

Es un tipo de movimiento en masa sumamente lento (unos pocos centímetros por año), el cual está asociado a una deformación continua de terrenos no consolidados o relativamente sueltos.

Los reptamientos se presentan generalmente en grandes extensiones de terreno y es difícil de controlar; se asocia con zonas deforestadas o intervenidas de manera inadecuada (*Carlos Enrique Escobar Potes. 2020*).

Figura 4. Esquema de un deslizamiento por reptamiento.

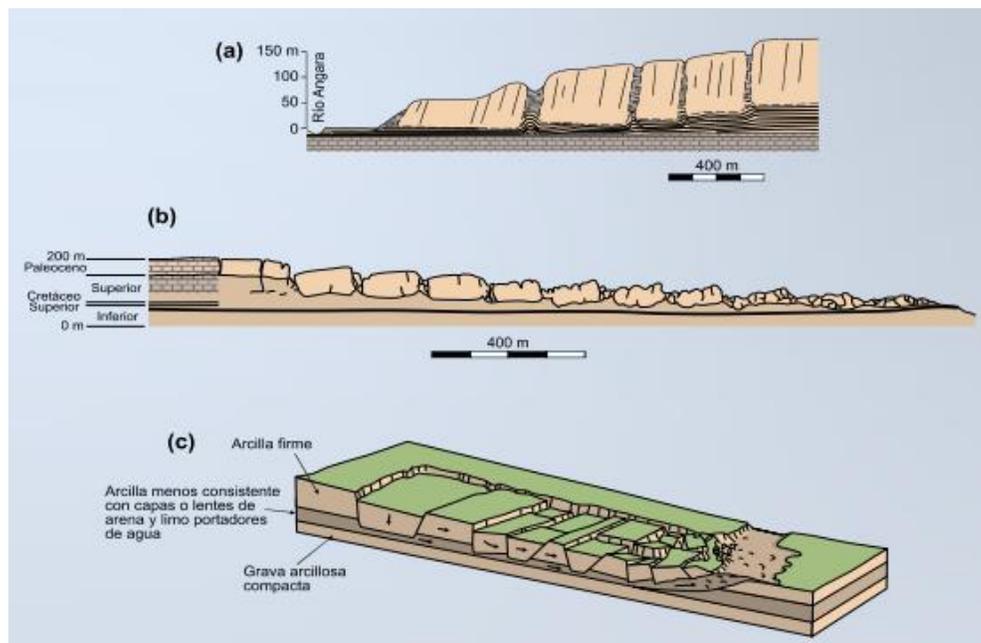


Fuente: <https://www.researchgate.net/>

10.1.2.5. Propagación lateral

En la propagación lateral la masa presenta un desplazamiento predominado por una deformación interna del material. La mayoría de los deslizamientos y los flujos involucran algún grado de expansión. Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo. (Pedro Isique Piasa Consultores S.A. 2007).

Figura 5. Esquema casos de propagación lateral.



Fuente: Cruden & Varnes 1996.

10.1.2.6. Flujos

Son movimientos espacialmente continuos con superficies de corte efímeras y estrechamente espaciadas, las cuales por lo general no se preservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada se asemeja a la de un líquido viscoso (Clasificación de movimientos en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia - Servicio Geológico Colombiano) (Carlos Enrique Escobar Potes. 2020).

Figura 6. Movimiento en masa, flujo de lodo provocado por sismo en El Salvador año 2001.



Fuente: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ElSalvadorslide.jpg>

Los flujos se pueden clasificar en:

10.1.2.6.1. Flujos de detritos

Los cuales afectan fragmentos de roca de diferente tamaño embebidos en matriz fina, que se movilizan en forma rápida a muy rápida, dependiendo de la pendiente del terreno y del contenido de humedad.

10.1.2.6.2. Flujos de tierras

Los cuales involucran materiales generalmente finos, y teniendo en cuenta que poseen características físicas de carácter más viscoso, poseen velocidades más lentas que los flujos de detritos.

10.1.2.7. Avalanchas

Las avalanchas de rocas y detritos transportan enormes cantidades de rocas y detritos y por sus características físicas, se desplazan con velocidades muy altas generalmente por cauces naturales.

Figura 7. Movimiento en masa, avalancha de rocas en el municipio de Mocoa, Putumayo.



Fuente: <https://www.elcolombiano.com/colombia/tragedias-por-inundaciones-y-avalanchas-en-colombia>

La enorme velocidad que alcanzan las avalanchas de rocas y detritos (aproximadamente 250 km/h y más) y el gran volumen de material que se desplaza, se atribuye a la fluidificación de las masas involucradas en estos procesos, debido a bolsas de aire que quedan atrapadas entre los fragmentos, favoreciendo una acción de dispersión de las partículas más finas entre los bloques mayores, y provocando un mecanismo de flotación o empuje de los materiales, que reduce la presión efectiva ejercida por los granos y proporciona al mismo tiempo un colchón de aire hacia la base de la zona en movimiento (Carlos Enrique Escobar Potes. 2020).

10.2. Segunda Etapa: Determinación de las alternativas de intervención

Esta sección consistirá en revisar y analizar información relacionada a cada uno de los sitios críticos, determinando las particularidades de cada uno de ellos, con el fin de establecer cuáles son las alternativas de recuperación para cada sitio.

El sistema de gestión de sitios críticos será una herramienta que permita tomar decisiones para buscar la mejor alternativa de intervención en cada sitio crítico, ya sea esta una alternativa definitiva o transitoria y a corto, mediano o largo plazo.

Una de las finalidades del sistema de gestión, es lograr garantizar en la medida de las posibilidades una conectividad y transitabilidad permanente para los usuarios de las vías del departamento de Caldas.

Algunas de las alternativas de intervención pueden ser ejecutadas de manera rápida y con recursos que pueden estar a disposición de la administración departamental, tales como la ejecución de actividades de estabilización con maquinaria amarilla (remoción de deslizamientos, terraceo, ampliaciones de banca); sin embargo, algunos de los sitios críticos requieren de la elaboración de estudios detallados que permitan determinar el tipo de obra necesaria para su recuperación, la cual puede variar presupuestalmente dependiendo del tipo de sitio a intervenir.

Si el sitio crítico requiere de la elaboración de estudios y diseños de obras de estabilización, el sistema permitirá priorizarlo para que la actual o futuras administraciones del departamento lo prioricen de acuerdo con las necesidades propias del sitio y a la disponibilidad presupuestal

existente. A continuación, se describirán algunas de las obras de estabilización que eventualmente los equipos de estudios y diseños podrían proponer para la recuperación de los sitios críticos

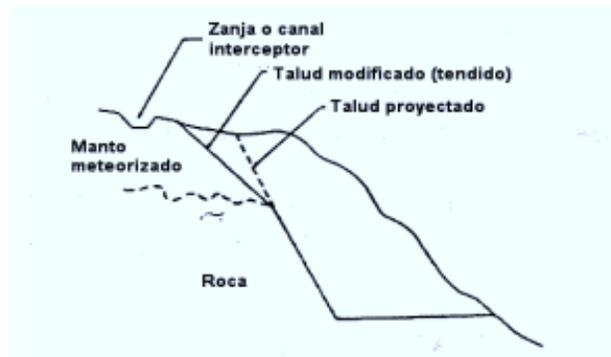
10.2.1. Reconformación

Este tipo de estabilización de taludes comprende técnicas de cambios en la geometría del talud, todo esto teniendo en cuenta que, en muchos casos, las inestabilidades pueden deberse a la incapacidad del terreno para soportar cargas inducidas tales como las gravitacionales y sísmicas entre otras. Algunas de las técnicas de reconformación de los taludes son:

10.2.1.1. Tendido del talud

Este método es utilizado para solucionar afectaciones por deslizamientos pequeños, los cuales presentan afectaciones en materiales más meteorizados, cabe aclarar, que este método de reconformación puede ser más eficiente, siempre y cuando se tomen medidas de protección de los materiales que quedan expuestos después del proceso (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Figura 8. Esquema tendido del talud de corte en materiales meteorizados y depósitos en ladera.



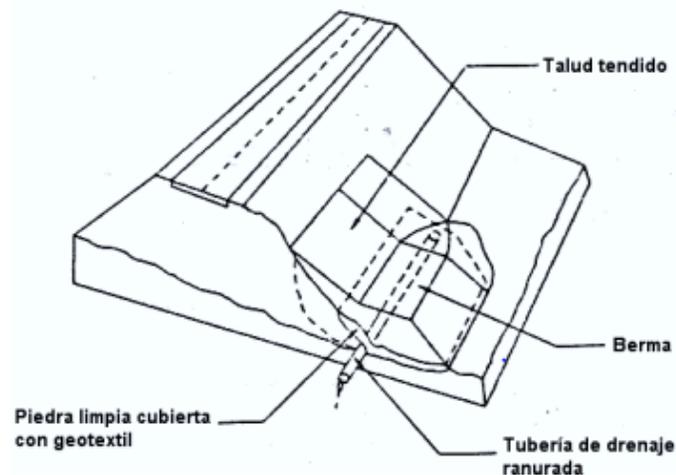
Fuente: García López, Manuel. *Manual de estabilidad de taludes*, Instituto Nacional de Vías. 1996.

10.2.1.2. Construcción de bermas de suelo y roca en la pata del talud

Este tipo de reconfiguración consiste en proporcionar un contrapeso en la pata del talud fallado en el sitio crítico, suelen ser más efectivos para la atención y recuperación de deslizamientos rotacionales.

Una de las ventajas de implementar bermas, es que éstas permiten reducir el volumen y la velocidad del agua de escorrentía de la cara del talud fallado, lo que disminuye la generación de procesos erosivos a causa de dichas aguas (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Figura 9. Esquema de los componentes de las bermas en el proceso de estabilización por reconfiguración.



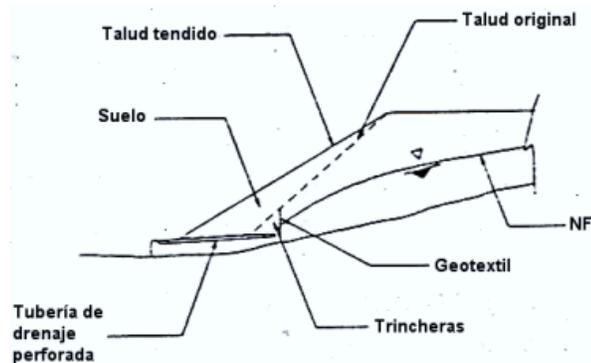
Fuente: García López, Manuel. *Manual de estabilidad de taludes*, Instituto Nacional de Vías. 1996.

10.2.1.3. Construcción de trincheras filtrantes

La construcción de este tipo de obras permite mejorar las condiciones de estabilidad del talud afectado y consiste en la excavación de zanjas colectoras cubiertas con geotextil y rellenas

con material filtrante (roca no degradable con espesores máximos de 0.6 m.) (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Figura 10. Esquema de la sección transversal de las trincheras filtrantes en el proceso de estabilización

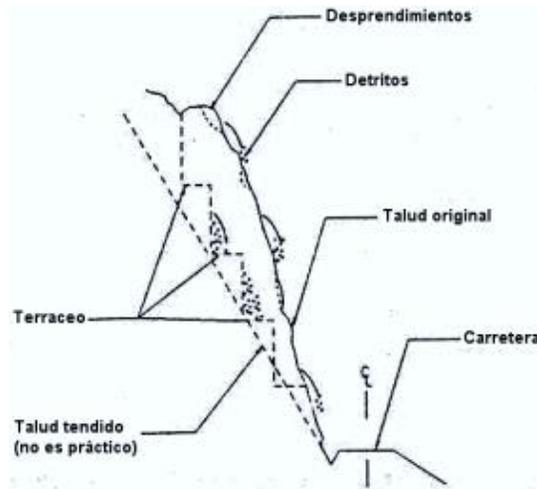


Fuente: García López, Manuel. *Manual de estabilidad de taludes*, Instituto Nacional de Vías. 1996.

10.2.1.4. Terraceo

Este tipo de actividad es empleado generalmente sobre taludes de altas pendientes y ayudan a controlar los procesos erosivos y a retener los detritos provenientes de deslizamientos de pequeña magnitud. Es de vital importancia garantizar que este tipo de reconfiguración garantice que las aguas de escorrentía sean conducidas hacia afuera del sitio crítico (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Figura 11. Esquema de la sección transversal de un proceso de terraceo.



Fuente: García López, Manuel. Manual de estabilidad de taludes, Instituto Nacional de Vías. 1996.

10.2.2. Estructuras de contención

Las obras de contención se utilizan para corregir las fallas por problemas de inestabilidad mediante el incremento de las fuerzas resistentes.

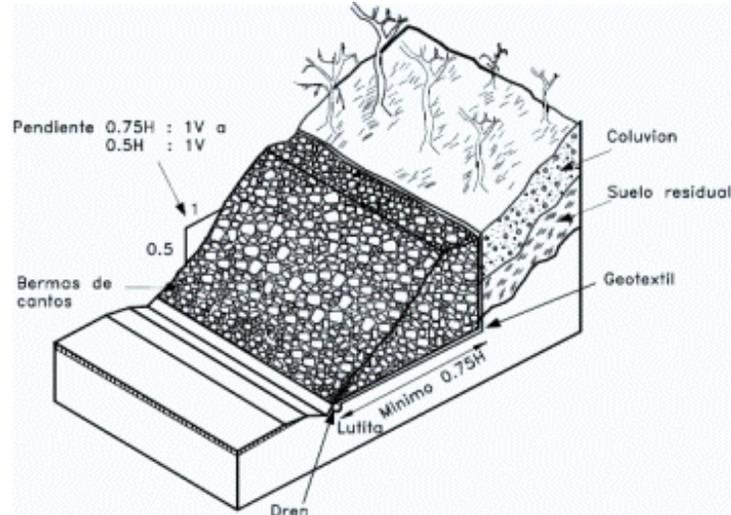
Estas obras deben complementarse con la elaboración de filtros que permitan el correcto manejo de aguas y deben ser cimentadas de tal modo que no haya posibilidad de remoción de suelo de la fundación. (INSTITUTO Nacional de Vías. 2006).

10.2.2.1. Diques en tierra o roca

Este tipo de estructuras ayudan a soportar las presiones de tierra mediante su propio peso. Según García (1996), se pueden conformar taludes con inclinaciones cercanas a 1:1 si es utilizado un material de relleno con roca no degradable; sin embargo, si el material utilizado para el relleno

está conformado por una mezcla de suelo y roca, las inclinaciones no pueden ser superiores al 2H:1V. (INSTITUTO Nacional de Vías. 2006).

Figura 12. Esquema de una obra de estabilización por un muro de gravedad en roca.



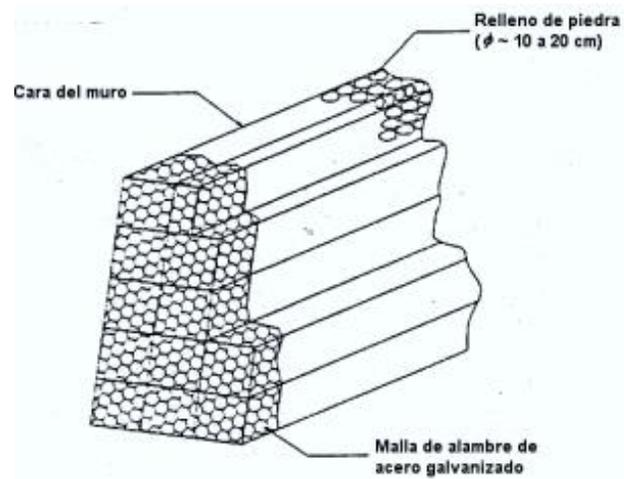
Fuente: Suárez D, J. deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia 1998.

10.2.2.2. Muro de gaviones

Este tipo de estructura de contención consiste en la conformación de elementos con forma paralelepípeda con malla de alambre galvanizado, los cuales se rellenan con roca dura y tienen un comportamiento flexible, de tal modo que pueda soportar grandes deformaciones sin perder su capacidad estructural. (INSTITUTO Nacional de Vías. 2006).

Las estructuras de contención conformadas por gaviones son efectivas en problemas donde son predominantes los procesos erosivos, y pueden complementar los diseños de bermas y taludes contiguos a ríos y corrientes (García 1996).

Figura 13. Esquema de los principales componentes de un muro de gaviones.



Fuente: García López, Manuel. *Manual de estabilidad de taludes*, Instituto Nacional de Vías. 1996.

10.2.2.3. Muro de gravedad en concreto

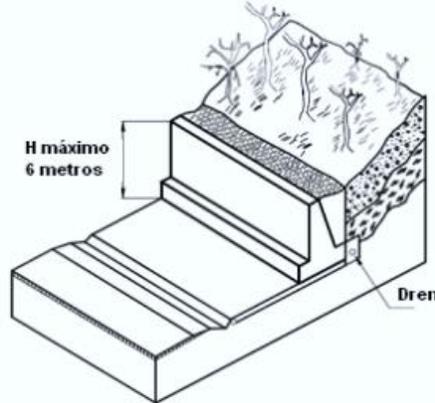
Son estructuras de concreto o concreto con piedra relativamente grandes y robustas, trabajan por gravedad y su implementación no está recomendada para alturas superiores a los 6 metros, ya que se vuelven inviables económicamente y a que el incremento en los esfuerzos de flexión generados no puede ser resistidos por la masa de concreto simple (sin refuerzo) como tal.

Para este tipo de estructuras es importante garantizar un sistema de drenaje que permita disminuir las presiones de agua, de igual manera, deben ser construidas juntas de contracción o expansión a distancias que no superen en ningún caso los 20 metros.

Un tipo de muro de gravedad empleado comúnmente es el muro de concreto ciclópeo, el cual posee una mezcla de concreto con cantos o bloques de piedra dura (60% de concreto y 40%

de volumen de piedra), en este tipo de muro puede emplearse en ocasiones algún tipo de refuerzo con varillas de acero de tal modo que se incremente la resistencia interna de la estructura. (INSTITUTO Nacional de Vías. 2006).

Figura 14. Esquema de un muro en concreto simple (sin refuerzo).



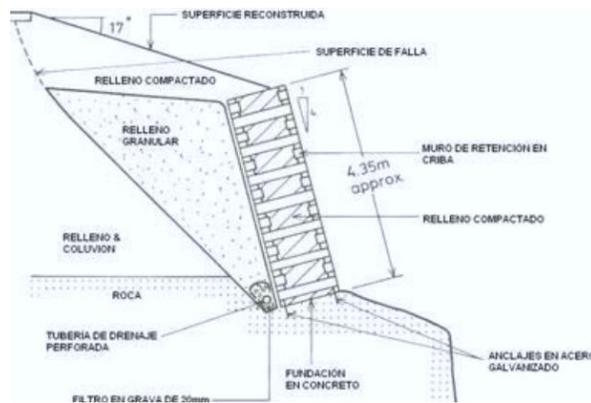
Fuente: Suárez D, J. deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia 1998.

10.2.2.4. Muros de encofrado o de cribas

Este tipo de estructuras son apropiadas para reparar pequeños deslizamientos (hasta 6 metros de altura) y permiten prevenir la socavación ocasionada en la pata del talud fallado. Consiste en la conformación de celdas llenas con suelo o roca, unidas de tal forma que permitan obtener resistencia y peso como un muro de gravedad.

Una característica importante de este tipo de estructura de contención es que permite asentamientos diferenciales de gran importancia. (INSTITUTO Nacional de Vías. 2006).

Figura 15. Esquema de los principales componentes de un muro de encofrado o de cribas.

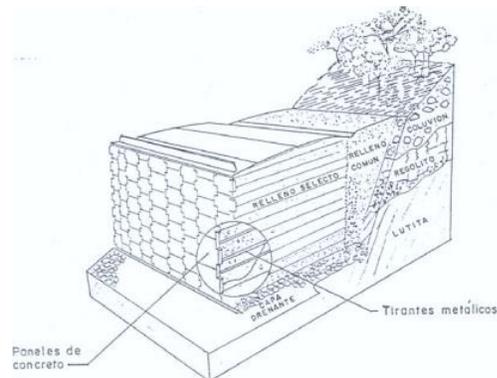


Fuente: Rodríguez Pineda, Carlos Eduardo. Apuntes curso de estabilidad de taludes. Maestría en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia 2006.

10.2.2.5. Muro de tierra reforzada

Este tipo de obra de contención se ejecuta alternando las capas de suelo y el material de refuerzo (capas de bandas metálicas o geosintéticos que sostienen elementos prefabricados que constituyen la cara de la estructura) (INSTITUTO Nacional de Vías. 2006).

Figura 16. Esquema de los principales componentes de un muro en tierra reforzada.

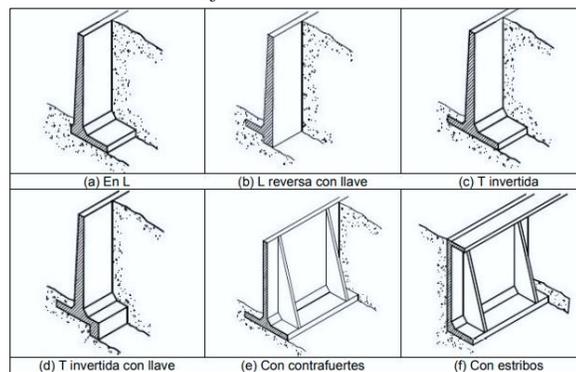


Fuente: García López, Manuel. Manual de estabilidad de taludes, Instituto Nacional de Vías. 1996.

10.2.2.6. Muros de concreto reforzado

Este tipo de estructuras resisten los movimientos debidos a la presión de la tierra sobre el muro y se encuentra cimentado sobre una superficie que está por fuera de la masa del sitio crítico. Los muros de concreto reforzado deben poseer un sistema de drenaje detrás de la pared vertical, o un sistema de lloraderos o salidas de agua que permita disminuir las presiones del terreno sobre la estructura (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Figura 17. Esquema tipos de muro de concreto reforzado.

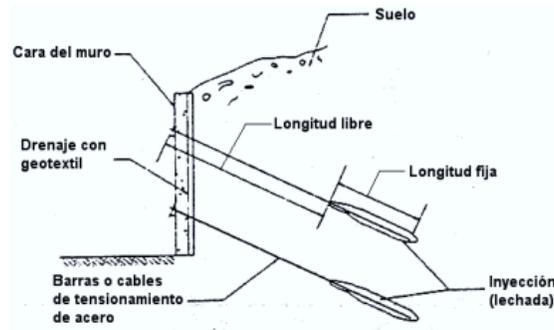


Fuente: Suárez D, J. deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia 1998.

10.2.2.7. Muros anclados

Los anclajes de tierra son elementos estructurales introducidos en la masa de suelo o roca lo que permite restringir el movimiento del muro de contención (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Figura 18. Esquema de los principales componentes de un muro anclado.



Fuente: García López, Manuel. Manual de estabilidad de taludes, Instituto Nacional de Vías. 1996.

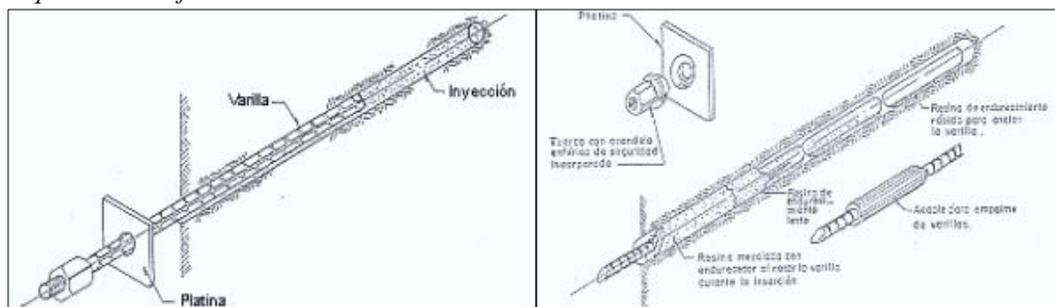
10.2.3. Anclajes en suelo y roca

Este sistema hace relación a los anclajes o tensores que pueden ser utilizados solos o en combinación con las estructuras mencionadas anteriormente.

10.2.3.1. Anclajes en roca

Es empleado para controlar los deslizamientos de matrices rocosas. Pueden utilizarse anclajes pasivos tales como pernos en roca inyectados en toda su longitud.

Figura 19. Esquema anclajes en roca.



Fuente: García López, Manuel. Manual de estabilidad de taludes, Instituto Nacional de Vías. 1996.

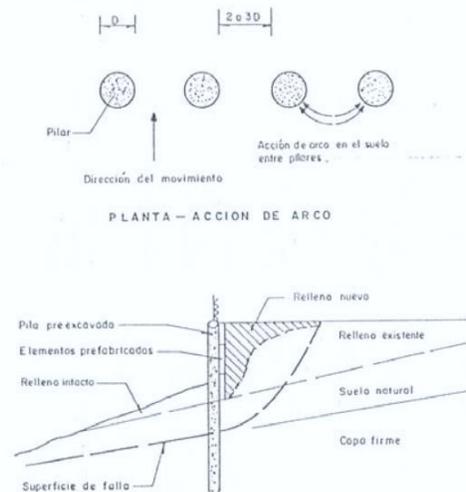
10.2.3.2. Pantallas ancladas

Las pantallas ancladas son estructuras de contención vaciadas directamente sobre la cara del talud, las cuales obtienen su capacidad de soporte mediante una serie de cables o barras pre o postensadas, las cuales se introducen en perforaciones realizadas previamente y ancladas en terreno firme detrás de la superficie de falla (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

10.2.3.3. Pilotes y caissons

Este sistema puede ser utilizado para deslizamientos con características poco profundas, para esto los pilotes deben ser hincados de forma continua o poco espaciados y deben estar cimentados sobre suelo firme (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Figura 20. Esquema sobre la implementación de pilotes y caissons para el control de deslizamientos.



Fuente: García López, Manuel. *Manual de estabilidad de taludes*, Instituto Nacional de Vías. 1996.

10.2.4. Protección de Taludes con revestimientos

Otro sistema utilizado para la protección de taludes es mediante el uso de geotextiles o capas de material granular entre el terreno natural y el revestimiento, sin embargo, se debe tener en cuenta que se deben evitar la generación de presiones hidrostáticas ocasionadas en la masa de suelo mediante la ejecución de obras de desagües en la base del talud (*INSTITUTO Nacional de Vías. 2006*).

Los tipos de revestimientos utilizados son:

10.2.4.1. Revestimientos de taludes con vegetación

La vegetación para utilizar en este tipo de revestimiento debe ser fijada con geomallas mientras que el proceso de germinación o generación de raíces se efectúa.

10.2.4.2. Revestimientos de taludes con elementos flexibles

Este tipo de revestimiento se emplea generalmente para contrarrestar la caída de rocas. Están formados con mallas metálicas las cuales se anclan con pernos en el macizo rocoso que se desea proteger, también pueden ser insertadas varillas en las discontinuidades del talud.

10.2.4.3. Revestimientos rígidos livianos en taludes

Para los revestimientos rígidos livianos son colocadas mallas metálicas en la cara principal del talud la cual va seguida de un proceso de aplicación de concreto lanzado, es de tener en cuenta,

que el talud debe tener una superficie alisada lo más uniforme posible o de manera escalonada para que el anclaje de la malla sea más efectivo.

10.2.4.4. Revestimientos rígidos pesados en taludes

Incluye los entramados de concreto prefabricado o fundidos en el sitio, los bloques de concreto y las pantallas de concreto.

10.3. Tercera Etapa: Proceso de calificación del sitio crítico

El proceso de calificación de cada sitio crítico estará enfocado en la aplicación de parámetros cualitativos y cuantitativos para cada uno de ellos, atendiendo los conceptos de profesionales especializados (geólogos, ingenieros civiles especializados en estructuras, geotecnia, hidráulicos, en gestión del riesgo, etc.)

A continuación, se explicarán cada una de las variables tenidas en cuenta durante el proceso de calificación en el sistema de gestión de sitios críticos:

10.3.1. Categoría de la vía

La red vial del departamento de Caldas se encuentra categorizada según Resolución 5134 del 30 de noviembre de 2016.

Este proceso de categorización se da con el fin de reordenar el Sistema Nacional de Carreteras o Red Vial Nacional de carreteras en todas y cada una de las entidades territoriales, ya sea la red de carreteras a cargo de la nación, la red vial departamental y la red vial municipal.

La variable que define la categoría de la vía tiene un peso bastante importante en el proceso de calificación del sitio crítico en el sistema de gestión, ya que esta tiene intrínsecamente elementos que pueden definir la prioridad de atención requerida del sitio.

La categorización de la red vial, permiten cuantificar el nivel de importancia de cada tramo vial atendiendo parámetros tales como:

10.3.1.1. Identificación de la carretera

Por medio de la cual se conoce cuál es la vía categorizada, lo que permite determinar si forma parte de una troncal o transversal, igualmente se debe verificar si forma parte de la red del Plan Vial Regional de algún departamento. Lo anterior permitirá que se identifique si la vía ya se encuentra clasificada, permitirá verificar que el tramo o segmento categorizado efectivamente tiene continuidad en una red y que no se están tomando segmentos de diferentes vías.

En la identificación de la vía se indica cuál es la finalidad de la vía, o sea para qué se utiliza. Puede ser para el transporte de pasajeros y carga, transporte de mercados, turismo, o cualquier otra finalidad. Igualmente se debe determinar si pasan rutas de transporte de pasajeros, si son municipales o intermunicipales y su origen y destino.

10.3.1.2. Criterios utilizados para la categorización de la red vial

La Resolución 5134 del 30 de noviembre de 2016, estableció los criterios (Funcionalidad, TPD, diseño geométrico y población) para la categorización de la red vial.

Tabla 6. Criterios para categorización de las vías de la Red Vial Nacional.

CATEGORÍA	FUNCIONALIDAD	TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO		DISEÑO GEOMÉTRICO	POBLACIÓN	
		Límite Inferior	Límite Superior			
PONDERACIÓN	40	20		20	20	
1	VÍAS DE PRIMER ORDEN	Permite la comunicación a nivel Nacional, conectando capitales de departamento, fronteras, puertos y zonas de producción(*)	700Veh/día	≥ 700 Veh/día	Calzada doble Calzada sencilla \geq a 7,30 m	Población de Capitales de departamento, pasos de frontera y/o puertos
2	VÍAS DE SEGUNDO ORDEN	Permite la comunicación entre dos o más municipios o con una vía de primer orden	150Veh/día	< 700 Veh/día	Calzada sencilla $<$ a 7.30 m	Cabeceras municipales con más de 15.000 habitantes
3	VÍAS DE TERCER ORDEN	Permite la comunicación entre dos o más veredas de un municipio o con una vía de segundo orden	≥ 1 Veh/día	< 150 Veh /día	Calzada sencilla \leq a 6.00 m	Cabeceras municipales con menos de 15.000 habitantes

Fuente: Resolución 5134 del 30 de noviembre de 2016.

10.3.1.2.1. Funcionalidad

Para la clasificación de las vías, prima el criterio de funcionalidad. Cuando la vía se ubica en alguna de las tres categorías (de Primer Orden, de Segundo Orden o de Tercer Orden).

Las vías de primer orden son aquellas que cumplan con la función de integrar las principales zonas de producción y consumo del país, y de este con los demás países, que comuniquen con los puertos y aeropuertos de nivel nacional e internacional y que su construcción y/o mejoramiento se haya realizado por compromiso del Gobierno a través de convenios o pactos internacionales.

El volumen de tránsito sea igual o superior a 700 vehículos diarios, estén construidas en doble calzada o calzada sencilla, esta última mayor o igual a 7,3 m de ancho. La población corresponderá a la de ciudades capitales de departamento o de poblaciones fronterizas y/o puertos y las demás especificaciones geométricas corresponden a las de carreteras primarias del Manual de Diseño Geométrico de 2008 de INVIAS o el que se encuentre vigente (*guía para realizar la categorización de la red vial nacional- Ministerio de Transporte*).

Las vías de segundo orden son aquellas cuya función permita la comunicación entre dos o más municipios o con una vía de primer orden, su volumen de tránsito sea igual o superior a 150 vehículos por día y menor de 700 vehículos por día, que estén construidas en calzada sencilla cuyo ancho sea menor de 7,30 m y la población servida en cabecera municipal corresponda a una cantidad superior a 15.000 habitantes. Las demás especificaciones geométricas corresponden a las de carreteras secundarias del Manual de Diseño Geométrico de 2008 de INVIAS o el que se encuentre vigente (*guía para realizar la categorización de la red vial nacional- Ministerio de Transporte*).

Las vías de tercer orden son aquellas cuya función es permitir la comunicación entre dos o más veredas de un municipio o con una vía de segundo orden, su volumen de tránsito sea inferior a 150 vehículos por día, cuando las mismas estén construidas en calzada sencilla con ancho menor o igual a seis metros y la población servida en cabecera municipal sea inferior a 15.000 habitantes. Las demás especificaciones geométricas corresponden a las de carreteras terciarias del Manual de

Diseño Geométrico de 2008 de INVIAS o el que se encuentre vigente (*guía para realizar la categorización de la red vial nacional- Ministerio de Transporte*).

10.3.1.2.2. Tránsito promedio diario

Otro criterio importante a tener en cuenta en la categoría de la vía es el del tránsito promedio diario – TPD, el cual es definido como el “promedio diario, obtenido de un conteo de una semana, de los vehículos que pasan por una sección de la vía” (*Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito*).

10.3.1.2.3. Diseño geométrico de la vía

El diseño geométrico ha involucrado dos variables, la primera si es de calzada sencilla o si es de calzada doble y la segunda el ancho de la calzada, lo que quiere decir que las vías de calzadas dobles y anchos iguales o superiores a 7,3 metros tienen un mayor nivel de importancia al momento de categorizar la red vial.

10.3.1.2.4. Población

Un último criterio utilizado para el proceso de categorización de la red vial definido por el Ministerio de Transporte es el factor población, el cual define que las vías que conectan cabeceras municipales con poblaciones altas tendrán un nivel de importancia mucho mayor que aquellas que conectan centros poblados con densidades poblacionales bajas. El criterio de población se califica teniendo en cuenta las poblaciones más cercanas a la carretera.

10.3.2. Cuantificación del daño

La calificación del tipo de daño está dada de manera cuantitativa por profesional especializado, de tal modo que se le pueda asignar posteriormente una calificación que permita priorizar la futura intervención de la vía.

Podemos encontrar cuatro tipos de calificaciones dependiendo del tipo de daño existente:

- Daño leve
- Daño moderado
- Daño grave
- Daño severo

10.3.2.1. Daño leve

Este tipo de daño corresponde a afectaciones de menor consideración, en donde no se encuentra comprometida la estabilidad de la vía y por consiguiente la afectación en la transitabilidad de los usuarios es menor.

Figura 21. Fotografía proceso erosivo talud inferior en la vía Neira-Aranzazu K8+650.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.3.2.2. Daño moderado

En el tipo de daño moderado se pueden presentar afectaciones de mayor consideración que en el leve, sin embargo, si se presenta alguna alteración en la transitabilidad de los usuarios de la vía, ésta puede ser corregida de manera rápida con algún tipo de intervención con maquinaria amarilla, de igual manera, los tipos de daño moderado podrían requerir de la realización de estudios y diseños fase 3 necesarios para la posterior intervención de la vía.

Figura 22. Fotografía sitio crítico por hundimiento de la estructura de rodadura en la vía Arma-La Pintada, sector Plan Del Oro, municipio de Aguadas, departamento de Caldas.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.3.2.3. Daño grave

El tipo de daño grave implica afectaciones importantes en la estructura de la vía, puede presentar cierres totales o parciales, para su recuperación se requiere de la realización de estudios y diseños fase 3 que permitan determinar la alternativa a implementar. Generalmente son intervenciones de grandes cuantías de dinero, lo que implica que las administraciones territoriales presenten proyectos ante entidades nacionales para su intervención.

Figura 23. Fotografía aérea fallo de banca en la vía Asia-El Crucero-Las Margaritas, sector El Bosque, municipio de San José, departamento de Caldas.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.3.2.4. Daño severo

Los sitios críticos catalogados con daños severos son aquellos en donde en ocasiones la mejor alternativa de intervención puede contemplar la realización de trazados nuevos de las vías, ya que los costos de intervención suelen ser demasiado elevados.

En muchas ocasiones las diferentes comunidades afectadas por este tipo de problema deben aprender a convivir con ellos, ya que las administraciones territoriales o no cuentan con los recursos económicos para su intervención o no tienen la capacidad de gestión de recursos ante entidades de orden nacional.

Figura 24. Fotografía aérea sitio crítico en la vía La Lutaima-San Bartolomé-Pácora, sector El Brillante, municipio de Pácora, departamento de Caldas.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.3.3. Existencia de vías alternas

Para el proceso de calificación del sitio crítico, un parámetro importante a la hora de priorizar la atención de éste es la determinación de la existencia o no de vías alternas, ya que se debe garantizar una transitabilidad y conectividad permanente entre las diferentes comunidades de los centros poblados y cabeceras municipales.

El que exista una vía alterna genera para la entidad territorial un tiempo de espera mientras se hacen los diferentes procesos de contratación, tanto de las consultorías para la elaboración de

de recuperación del mismo, sin embargo, se debe tener en cuenta que la administración territorial ha realizado durante los últimos años algunos estudios y diseños que pueden estar o no actualizados a las necesidades propias de cada sector; esto implica que al momento de generar el sistema de gestión de sitios críticos, se deba hacer un barrido y posterior cargue de los estudios y diseños existentes, los cuales son requisito indispensable para presentar cualquier tipo de proyecto ante entidades de orden nacional.

10.3.5. Nivel de riesgo

Para determinar el nivel del riesgo presente en el sitio crítico objeto del análisis, se debe realizar un abordaje integral dentro del marco de la gestión del riesgo definido en la Ley 1523 de 2012. Dicho abordaje contempla tres componentes o procesos que determinan una aproximación a los factores de riesgo y a las medidas necesarias para su gestión.

Figura 25. Esquema proceso de gestión del riesgo.



Fuente: Ley 1523 de 2012.

10.3.5.1. Conocimiento del riesgo

Es un elemento fundamental que permite analizar cada uno de los componentes del proceso de activación o generación del sitio crítico, al igual que las medidas que se deben adoptar para tomar las mejores decisiones en cuanto al manejo que se le debe dar a dicho problema.

Para el conocimiento del riesgo, se deben considerar cuatro componentes principales que son: La Identificación del riesgo, la comunicación del riesgo, el monitoreo del riesgo y el análisis y evaluación del riesgo; todos estos aspectos enfocados en el proceso de generación de un sistema de gestión de sitios críticos.

10.3.5.1.1. Identificación de escenarios de riesgo

El conocimiento del riesgo en el proceso de la generación de un sistema de gestión de sitios críticos en el departamento de Caldas implica primero que todo identificar los diferentes escenarios de riesgo como consecuencia del proceso de inestabilidad existente. Generalmente dichos escenarios conllevan traumatismos por problemas en la transitabilidad de los usuarios por las vías departamentales, sin embargo, en algunas ocasiones se pueden generar riesgos para la seguridad, el bienestar y calidad de vida de las personas residentes en las márgenes de las diferentes vías y por tal razón, los elementos expuestos pueden verse afectados por la materialización de un fenómeno amenazante.

Por otra parte, el proceso de conocimiento del riesgo implica de igual manera, conocer los diferentes tipos de amenaza existente, como factor detonante dentro de un proceso de inestabilidad,

que para el caso en estudio generalmente puede ocasionarse por eventos de origen natural, tales como: sismos, actividad volcánica, procesos erosivos, temporales, avenidas torrenciales, movimientos en masa, etc.

10.3.5.1.2. Comunicación del riesgo

Con respecto al proceso de comunicación del riesgo, el sistema de gestión de sitios críticos es una herramienta fundamental, no solo para priorizar la atención y ayudar en la toma de decisiones a la administración territorial, sino que también permite compartir información en tiempo real a las diferentes comunidades, entidades municipales, entidades de orden nacional y entidades privadas; de tal modo que se tome consciencia para la toma de acciones ya sea de forma individual o de forma colectiva, con el fin de reducir en la medida de las posibilidades el grado de exposición y el grado de vulnerabilidad frente a un fenómeno amenazante.

10.3.5.1.3. Monitoreo del riesgo

El sistema de gestión de sitios críticos permite realizar un monitoreo continuo que determina la variabilidad del sitio como consecuencia de la dinámica del fenómeno amenazante, todo esto siempre y cuando la entidad departamental cuente con las capacidades técnicas y de profesional especializado que se encargue de suministrar información correcta y oportuna, realizando así un análisis de las condiciones del riesgo en cada sector.

10.3.5.1.4. Análisis y evaluación del riesgo

Finalmente, el proceso de conocimiento del riesgo contempla el análisis y evaluación del riesgo, para el caso del sistema de gestión de sitios críticos, se hace necesario evaluar las causas y las fuentes de generación del riesgo, al igual que las consecuencias que se pueden presentar con la materialización del fenómeno amenazante.

El sistema de gestión de sitios críticos permite relacionar la amenaza y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, lo que ayuda a determinar las diferentes afectaciones ya sea de carácter social y/o económico y/o ambiental (Ley 1523 de 2012).

10.3.5.2. Reducción del riesgo

El proceso de gestión de reducción del riesgo, visto desde el enfoque de un sistema de gestión de sitios críticos, cobra gran importancia debido a que éste le permitirá a la administración territorial tomar decisiones de forma oportuna, reduciendo las condiciones de riesgo por medio de actividades que reduzcan las condiciones de amenaza y de elementos expuestos, lo que conlleva a una reducción significativa de la vulnerabilidad de las personas usuarias de la red vial departamental.

A continuación, se realizará una evaluación del proceso de reducción del riesgo, mediante el análisis de sus tres subprocesos: intervención prospectiva de nuevo riesgo, la intervención correctiva del riesgo existente y la protección financiera.

10.3.5.2.1. Intervención prospectiva del nuevo riesgo

El sistema de gestión de sitios críticos permitirá tomar decisiones para la priorización de la intervención de cada uno de ellos, realizando un análisis integral que contempla diversos factores atendiendo las necesidades propias de la vía y de la población de cada una de las subregiones del departamento.

Un factor predominante en la priorización del sitio crítico es el componente presupuestal, ya que las diferentes entidades territoriales de nuestro país cuentan con recursos limitados que no alcanzan a suplir todas las necesidades de la red vial, de ahí la necesidad de optimizar dichos recursos de tal manera que se puedan ejecutar obras de infraestructura resultado de un estudio de alternativas, buscando así aquella más eficiente y ejecutándola de forma oportuna, reduciendo finalmente la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante la materialización de un fenómeno amenazante.

El sistema de gestión de sitios críticos es una herramienta que permite recopilar varios elementos requeridos para llevar a cabo la intervención prospectiva en el marco de la gestión del riesgo de desastres, tales como: el ordenamiento territorial, la planificación sectorial, la regulación y las especificaciones técnicas, los estudios de pre-factibilidad y diseño adecuados, el control y seguimiento y en general todos aquellos mecanismos que contribuyan de manera anticipada a la localización, construcción y funcionamiento seguro de la infraestructura, los bienes y la población (Ley 1523 de 2012).

10.3.5.2.2. Intervención correctiva del riesgo existente

Para la intervención correctiva del riesgo existente, es necesaria la toma de decisiones en cuanto al tipo de actividad u obra a ejecutar en el sitio crítico, lo que permitirá reducir la vulnerabilidad de los elementos expuestos mediante obras de mitigación.

Dependiendo de la causa o generación del sitio crítico y de las evaluaciones técnicas pertinentes por profesionales especializados, o de la realización de estudios y diseños detallados del sitio, se pueden determinar cuáles pueden ser las medidas de intervención del sitio crítico, pudiendo ser desde una actividad de fácil ejecución (actividades para el manejo de aguas, actividades de conformación con maquinaria amarilla, etc.), hasta la ejecución de obras que pueden costar miles de millones de pesos (obras de estabilización, ejecución de obras para nuevos trazados de vías, etc.)

10.3.5.2.3. Protección financiera

Aunque este componente no se encuentra inmerso en el sistema de gestión de sitios críticos, es de gran importancia que la administración territorial cuente con mecanismos financieros que permitan disminuir la vulnerabilidad fiscal del territorio y aumentar su nivel de resiliencia.

Considerando a la red vial como un elemento fundamental para el desarrollo y crecimiento del territorio, porque posibilita el transporte de las personas y las cargas, además de permitir satisfacer necesidades básicas de educación, trabajo, alimentación y salud; es de vital importancia

garantizar los recursos financieros necesarios para permitir una transitabilidad y conectividad permanente en todo el territorio.

10.3.5.3. Manejo de desastres

El proceso de gestión del manejo de desastres contempla dos subprocesos: preparación para la respuesta a emergencias, la preparación para la recuperación.

El sistema de gestión de sitios críticos es una herramienta tecnológica que permite recopilar información para el análisis y priorización de cada uno de éstos, y por tal razón, enmarcado dentro de un proceso de manejo de desastres, es de gran importancia ya que dicha información permitiría realizar una evaluación detallada de los elementos expuestos y de la vulnerabilidad de los mismos, permitiendo así a la administración territorial la toma de acciones de mitigación del riesgo ante emergencias.

10.3.6. Estado de la vía

Este componente hace referencia al estado que presenta la vía en cuanto a condiciones de transitabilidad y conectividad. En el sistema de gestión de sitios críticos existen tres componentes para tener en cuenta que son: La vía se encuentra abierta, la vía se encuentra restringida, la vía se encuentra cerrada.

10.3.6.1. Vía Abierta

El estado de vía abierta hace referencia a que, a pesar de la existencia del sitio crítico en determinado sector, y de la generación de algún tipo de riesgo para los elementos expuestos, la vía se encuentra abierta y en condiciones de transitabilidad, claro está, que dependiendo de la dinámica del fenómeno amenazante, este estado puede variar en cualquier momento, más aún teniendo en cuenta el aumento en las precipitaciones, ya que son un factor detonante o de gran influencia en dicha variabilidad.

En la fotografía 26 se puede observar la existencia de un sitio crítico localizado en la vía Aranzazu-Salamina, sector La Unión; se puede observar que, a pesar de la existencia de este problema, la vía se encuentra abierta y transitable, sin embargo, existe un riesgo probable de que se presente un aumento en el proceso erosivo que contribuya a la generación de deslizamientos y en casos extremos a la pérdida de banca en dicho sector.

Figura 26. Fotografía sitio crítico en la vía Aranzazu-Salamina, sector La Unión, municipio de Salamina, departamento de Caldas.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.3.6.2. Vía restringida

El estado de vía restringida hace referencia a que, a pesar de la existencia del sitio crítico en determinado sector, y de la generación de algún tipo de riesgo para los elementos expuestos, la vía se encuentra parcialmente abierta y en condiciones de transitabilidad de forma restringida.

En algunas ocasiones, las vías restringidas pueden darse con respecto a la afectación por una pérdida de banca parcial, lo que impide el tránsito normal en ambos sentidos, obligando a tomar medidas en cuanto a la priorización de transitabilidad por sentido en dicho sector.

Otras veces, las vías pueden verse restringidas como consecuencia de la generación de algún tipo de Resolución de restricción vehicular expedido por la entidad territorial competente, especificando allí la problemática existente, el tipo de medida adoptada (restricción de cierres temporales en horarios determinados, restricción en el paso máximo permitido en la vía, etc.) para salvaguardar la integridad física de los usuarios de las vías y la temporalidad del acto resolutorio.

En la figura 27 se puede observar la existencia de un sitio crítico localizado en la vía Pácora-Aguadas, sector La Blanquita; allí se evidencia una restricción vehicular como consecuencia de la pérdida de banca parcial en dicho sector.

Figura 27. Fotografías sitio crítico en la vía Pácora-Aguadas, sector La Blanquita, municipio de Aguadas, departamento de Caldas.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.3.6.3. Vía cerrada

El estado de vía cerrada, como su nombre lo dice, hace referencia a aquellas vías que por las características del sitio crítico se presenta un cierre total en dicho sector, ya sea por una pérdida de banca total, por un deslizamiento de grandes proporciones o porque las condiciones de seguridad son tan mínimas debido a la dinámica del proceso, que la administración territorial puede optar por restringirla totalmente mediante resolución de carácter jurídico.

En la figura 28 se puede observar la existencia de un sitio crítico localizado en la vía Salamina-La Merced, sector El Faro; allí se evidencia una restricción vehicular total como consecuencia de un deslizamiento de tierra de grandes proporciones en dicho sector.

Figura 28. Fotografías sitio crítico en la vía Salamina-La Merced, sector El Faro, municipio de Salamina, departamento de Caldas.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.4. Cuarta Etapa: Creación de un sistema de gestión de sitios críticos

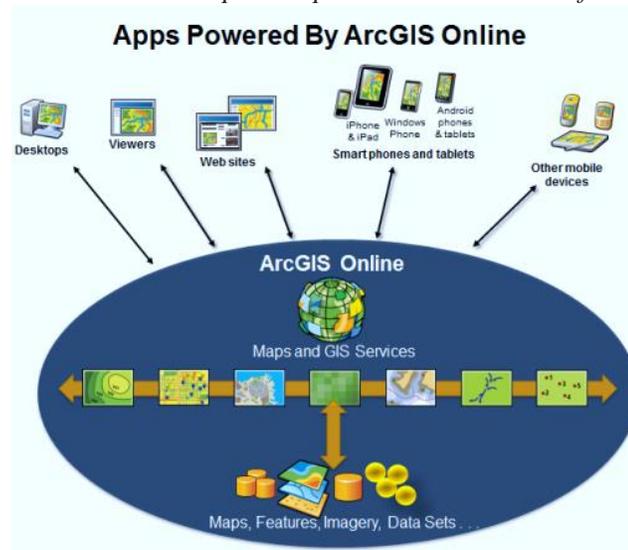
El sistema de gestión de sitios críticos está basado bajo la plataforma ArcGIS, que es un sistema de información geográfica que permite recopilar, organizar, administrar, analizar,

compartir y distribuir este tipo de información. Este sistema de gestión está compuesto de varios elementos que permiten que la información sea recopilada, suministrada y procesada de forma correcta. Algunos de estos elementos son: de carácter tecnológico (software y hardware); y de carácter humano, que se encargan de recopilar, suministrar y procesar la información propia de cada sitio crítico (profesional especialista en SIG; geólogos; profesionales en ingeniería civil; y profesionales especializados en geotecnia, estructuras, gestión del riesgo, etc.)

10.4.1. Software utilizado en el sistema de gestión de sitios críticos

El software utilizado en la generación del sistema de gestión de sitios críticos está basado bajo la plataforma ArcGIS Online, ArcGIS Pro-2.4 y Collector de ArcGIS; plataformas que serán utilizadas para el proceso de procesamiento de la información de los sitios críticos en estudio.

Figura 29. Plataforma ArcGIS Online utilizada para el procesamiento de la información



Fuente: <https://resources.arcgis.com/es>

10.4.2. Hardware utilizado en el sistema de gestión de sitios críticos

A continuación, se relacionan los requisitos de hardware que se deben tener en cuenta para la instalación y procesamiento del ArcGIS Pro-2.4.

Tabla 7. Requisitos de Hardware para la instalación y procesamiento del ArcGIS Pro-2.4.

Elemento	Compatible y recomendado
Velocidad de CPU	Mínimo: 2 núcleos, hiperproceso*
	Recomendado: 4 núcleos
	Óptima: 10 núcleos
Plataforma	x64 con extensiones SSE2
Memoria/RAM	Mínimo: 4 GB
	Recomendado: 8 GB
	Óptima: 16 GB o más
Propiedades de visualización	Profundidad de color de 24 bits Consulte también Requisitos del adaptador de video/gráficos .
Resolución de pantalla	1024x768 o superior a tamaño normal
Caché de visualización	La caché de visualización temporal de ArcGIS Pro puede consumir hasta 32 GB de espacio, si los hay, en la ubicación seleccionada por el usuario. De manera predeterminada, la caché de visualización se escribe en el perfil del usuario.**
Almacenamiento	Mínimo: 32 GB de espacio libre
	Recomendado: 32 GB o más de espacio libre en una unidad de estado sólido (SSD)

Fuente: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/2.6/get-started/arcgis-pro-system-requirements-2-4-0.htm>

10.4.3. Pasos para la creación del sistema de gestión

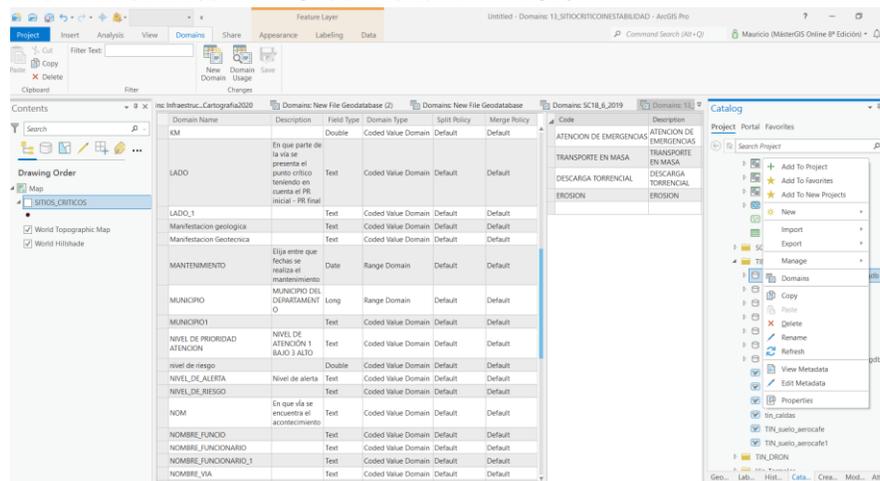
El sistema de gestión de sitios críticos debe contemplar todas las variables necesarias para la priorización de cada uno de ellos, a continuación, se describirá de forma resumida cada uno de los pasos a seguir, de tal modo, que tanto las calificaciones cuantitativas como cualitativas de los profesionales involucrados, pueda suministrarse de forma correcta.

10.4.3.1. Paso 1. Creación de dominios en la Geodatabase

En este punto es necesario crear los dominios en la Geodatabase de ArcGIS, en donde ubicamos nuestra capa de sitios críticos, para ello vamos agregando los dominios que necesitamos para unificar respuestas y que la toma de datos en campo se haga de forma más rápida y eficiente.

La Geodatabase de ArcGIS es la estructura de datos nativa para ArcGIS y es el formato de datos principal que se utiliza para la edición y administración de datos. Mientras ArcGIS trabaja con información geográfica en numerosos formatos de archivo del sistema de información geográfica (SIG), está diseñado para trabajar con las capacidades de la Geodatabase y sacarles provecho. Las Geodatabases tienen diversos tamaños, distinto número de usuarios, pueden ir desde pequeñas bases de datos de un solo usuario generadas en archivos hasta Geodatabase de grupos de trabajo más grandes, departamentos o Geodatabases corporativas a las que acceden muchos usuarios (<https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/.htm>).

Figura 30. Creación de dominios en la Geodatabase de ArcGIS



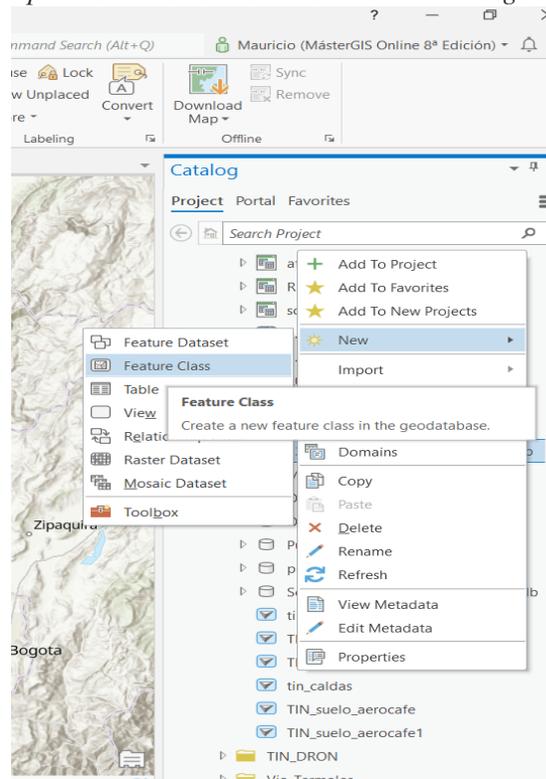
Fuente: Elaboración propia.

10.4.3.2. Paso 2. Creación de la capa de sitios críticos

Durante este paso, se crea la capa (puntos) de sitios críticos, dándole al programa un sistema de coordenadas en formato WGS-84 Transverse Mercator, la nombramos “sitios críticos” y le agregamos todas las filas de la información que vamos a recolectar y el dominio correspondiente.

Previo a la creación de la capa de sitios críticos, se debe tener en cuenta el cargue de las capas de los municipios del departamento de Caldas y la capa de la red vial departamental según resolución 5134 del 30 de noviembre de 2016.

Figura 31. Creación de la capa de puntos “sitios críticos” en el sistema de gestión.



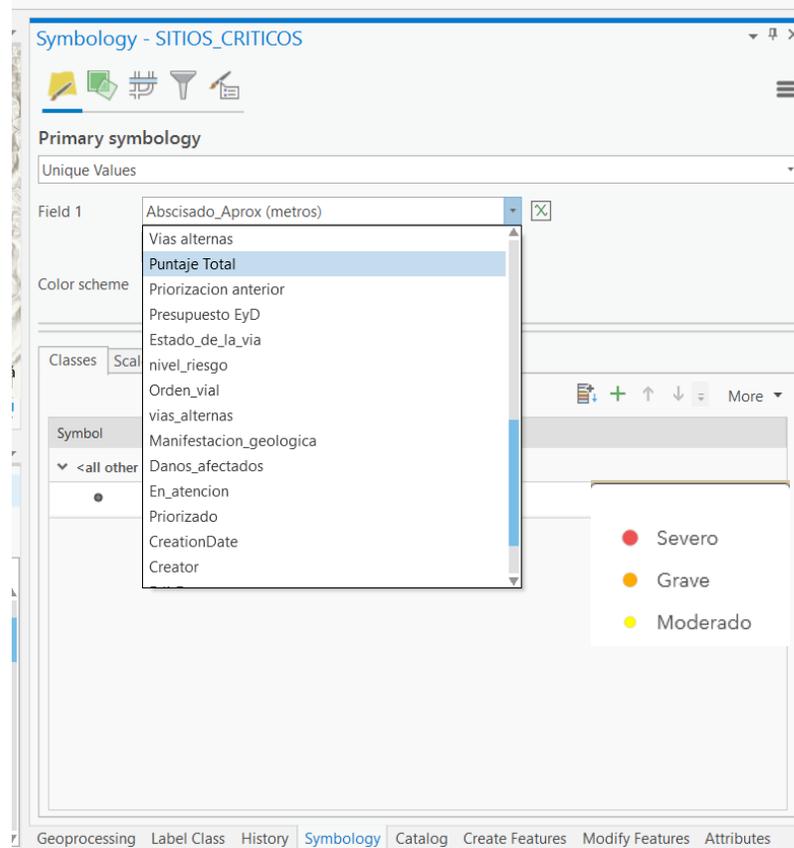
Fuente: Elaboración propia.

10.4.3.3. Paso 3. Simbología para la capa de puntos

A continuación, se hace necesario crear la simbología a la capa de puntos para expresar la gravedad de los sitios críticos (utilizamos expresión de símbolo únicos y utilizamos las siguientes variables: (Leve, Moderado, Grave y Severo)).

Este tipo de designación para cada uno de los sitios críticos debe ser dada atendiendo el criterio del profesional especializado encargado de realizar el levantamiento de este.

Figura 32. Simbología utilizada para la capa de puntos “sitios críticos” en el sistema de gestión.



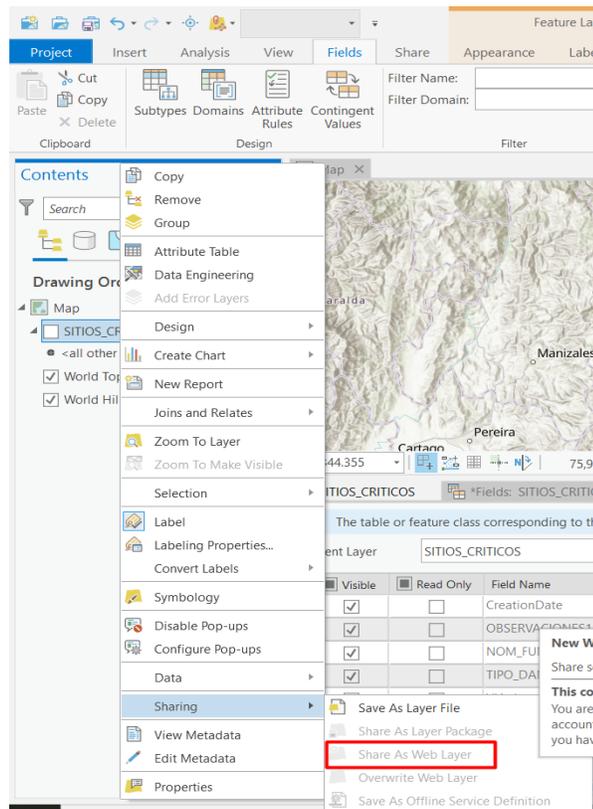
Fuente: Elaboración propia.

10.4.3.4. Paso 4. Cargue de la información en ArcGIS Online

Luego de realizar los pasos anteriores, se procede a compartir las capas en ArcGIS Online con el fin de que se pueda visualizar posteriormente por el usuario de la información.

Para poder visualizar la información, es necesario ingresar a la página de ArcGIS Online, introducir un usuario y contraseña y posteriormente abrir un mapa nuevo para agregar la capa que se acaba de crear. Dentro del mapa buscamos la capa de sitios críticos y guardamos con el nombre de “Sitios críticos de las vías en Caldas”.

Figura 33. Simbología utilizada para la capa de puntos “sitios críticos” en el sistema de gestión



Fuente: Elaboración propia.

10.4.3.5. Descargue aplicación ArcGIS Collector para recopilación de la información

Con el fin de poder contar con una herramienta fácil de usar y que contemple los requerimientos técnicos necesarios para la toma de información, el sistema de gestión contempla para esta actividad la utilización de la aplicación ArcGIS Collector, la cual se puede descargar de forma fácil de la siguiente manera:

Paso 1. Ingresa a Play Store de Android o a App Store de IOS



Paso 2. En la barra de búsqueda escribe: Collector, aplicación que se debe descargar e instalar.



Paso 3. Abrir la aplicación Collector.



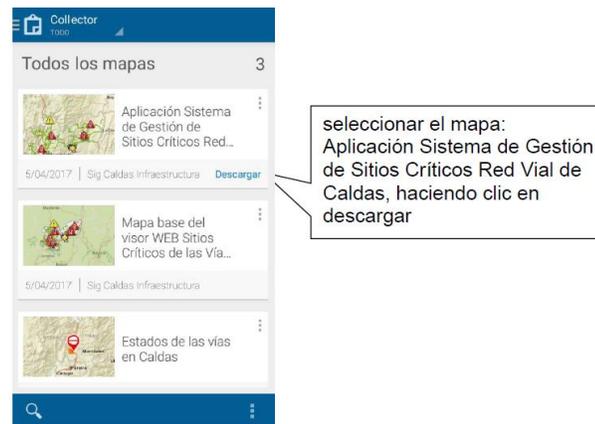
Paso 4. Iniciar sesión en la aplicación descargada



Paso 5. Ingresar el nombre de usuario y la contraseña para el inicio de sesión.



Paso 6. Luego de Iniciar sesión, la aplicación mostrará todos los mapas disponibles, en nuestro caso seleccionaremos el que se encuentra resaltado en la imagen de abajo y le damos clic en descargar.



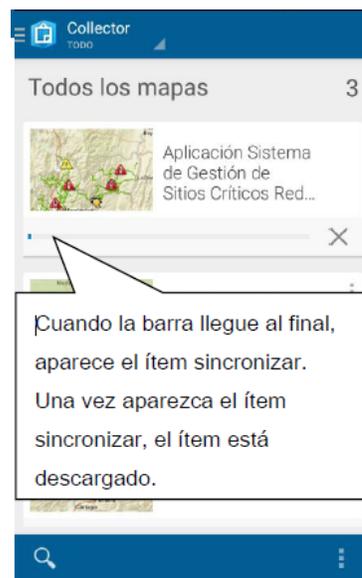
Paso 7. Luego vemos algo similar a lo que se ilustra en la imagen inferior, lo primero que hacemos es seleccionar el área de trabajo, luego le damos en el ítem elegir detalle del mapa.



Paso 8. Seleccionamos el detalle del mapa y le damos descargar.



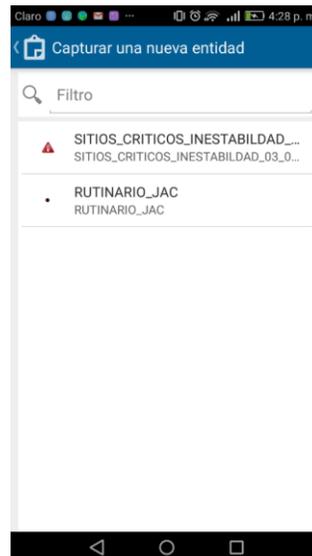
Paso 9. Después de darle descargar podemos ver una barra de progreso, cuando esta barra llegue al final, nuestra área seleccionada del mapa está descargada en el dispositivo, esto nos permite trabajar en el mapa aun cuando no tengamos conexión a internet.



Paso 10. Abrimos el mapa tocando la imagen de éste. Automáticamente la aplicación usa el GPS del teléfono móvil y nos empieza a ubicar en el lugar donde nos encontramos, cuando el icono de la parte inferior izquierda se torna de rojo a verde estamos listo para capturar datos.



Paso 11. Luego de haber seleccionado en el paso anterior el icono de +, empezamos a capturar los datos según sea el caso.



Paso 12. Al final de la lista de datos le damos en el centro de la pantalla en adjuntos, en el icono de gancho clip y tomamos la foto del tramo.



Paso 13. Luego le damos clic en la parte superior de la pantalla y de esta manera ya hemos almacenado en el teléfono la información.



Paso 14. Por último, le damos sincronizar, esta acción permite que los datos almacenados en el teléfono se consoliden online y el supervisor pueda ver y verificar los datos que hemos tomado.

Nota: Podemos sincronizar cuando tengamos buena conexión a internet, ya sea conexión móvil de datos del teléfono o wifi.



10.4.3.6. Proceso de calificación del sitio crítico

Antes de realizar el proceso de calificación del sitio crítico, es necesaria la recopilación de información que ayude a identificar de la forma más detallada cada uno de ellos.

Entre esta información podemos encontrar la siguiente:

- Tipo de manifestación geológica: deformaciones estructurales, grietas, hundimientos, cambios de forma
- Tipo de evento presentado: proceso erosivo, transporte en masa, movimiento en masa, avenida torrencial.
- Lugar en donde se presentan los daños: puente, taludes, rasante, banca.

Luego de recopilar la información anterior, se hace necesario evaluar otros aspectos que aportan una calificación cuantitativa a cada sitio, lo que ayudará a determinar finalmente la prioridad en la atención, estos aspectos son:

- Estado de la vía: si la vía se encuentra abierta, se asignará una calificación de 0 (cero) puntos; si se encuentra restringida, una calificación de 20 (veinte) puntos y si la vía se encuentra cerrada, una calificación de 50 (cincuenta) puntos.
- Nivel de riesgo: en este aspecto se pueden presentar tres niveles que comprometen en mayor o en menor medida no solamente la estabilidad de la vía, sino también la integridad de los usuarios que transitan por ella.

Si se presenta un riesgo alto, se asignarán 50 (cincuenta) puntos de calificación; si se presenta un riesgo medio, se asignarán 20 (veinte) puntos de calificación y si se presenta un riesgo bajo, se asignarán 10 (diez) puntos de calificación

- Orden de la vía: este aspecto es fundamental para el proceso de calificación, todo esto teniendo en cuenta que para el proceso de categorización vial se definieron aspectos

relevantes tales como la funcionalidad de la vía, el tránsito promedio diario, el diseño geométrico y la población beneficiada por esta.

Con base en lo anterior, si el sitio crítico se encuentra sobre una vía de orden primario, se le asignarán 50 (cincuenta) puntos de calificación; si el sitio crítico se encuentra sobre una vía de orden secundario, se le asignarán 20 (veinte) puntos de calificación y si el sitio crítico se encuentra sobre la red vial de orden terciario, se le asignarán 10 (diez) puntos de calificación.

- Vías alternas: otro punto fundamental que puede determinar la priorización del sitio crítico es la existencia o no de vías alternas, ya que éstas pueden permitir, aunque haya una interrupción total en el sitio de estudio, una conectividad y transitabilidad permanente entre centro poblados.

Si existen vías alternas, se le asignará una calificación de 10 (diez) puntos y si no existen vías alternas se le asignarán 20 (veinte) puntos.

- Tipo de daño: por último, otro aspecto al que se le debe realizar una calificación cuantitativa es el tipo de daño presentado en el sitio crítico.

Si el tipo de daño considerado por el profesional evaluador del sitio corresponde a un daño leve, se le asignarán 10 (diez) puntos; si el tipo de daño es catalogado con moderado, entonces se le asignarán 30 (treinta) puntos; si corresponde a un tipo de daño grave, se asignarán 40 (cuarenta) puntos y si finalmente el tipo de daño es de magnitud severa, entonces se asignarán 50 (puntos).

Figura 34. Recopilación de datos para el proceso de calificación de sitios críticos

Colector Sitios Críticos

Nombre de la persona que hace el reporte*
-Seleccione-

Fecha de reporte*
10/01/2022

Seleccione una zona para iniciar

Norte Occidente Bajo Occidente Alto
 Oriente Magdalena Caldense Centro Sur

Esta es una pregunta necesaria

Seleccione el Municipio para iniciar reporte*
-Seleccione-

selección de vía que quiere reportar*
-Seleccione-

Punto

Buscar dirección o lugar

Abscisa Aprox (metros)
En Metros

Observaciones

X Largo

Calificación Sitio Crítico

Manifestación Geológica*
-Seleccione-

Seleccione el Tipo de evento*
-Seleccione-

Talud y lado de la vía*
-Seleccione-

Dónde se presentan los daños*
-Seleccione-

Estado de la vía*
-Seleccione-
Abierta 0
Restringida 20
Cerrada 50

Nivel de Riesgo*
-Seleccione-
Alto 50
Medio 20
Bajo 10

Tiene estudios y diseños o concepto de otra entidad?
 Tiene estudios y diseños
 Tiene concepto de otras entidades
 Necesita Estudios y diseños

Valor del Presupuesto*
\$

The image shows a mobile application interface for 'Ordenar Vial'. It features several sections with radio button options:

- Ordenar Vial:** Three options: 'Primaria 50', 'Secundaria 20', and 'Terciaria 10'.
- ¿Hay vías alternas?:** Two options: 'Existen alternas 10' and 'No existen alternas 20'.
- Calificación tipo de Daño:** Four options: 'Daño severo 50', 'Tumba de Daño 40', 'Daño moderado 30', and 'Daño leve 10'.
- Puntaje Total:** A text input field containing the number '0'.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta las calificaciones relacionadas anteriormente, los rangos mínimos y máximos de calificación se encuentran entre 40 puntos y 220 puntos, queriendo decir, que aquellos sitios críticos que se encuentren con una calificación por encima de los 93 puntos (media geométrica), podrían requerir una atención lo más pronta posible.

10.4.4. Componente humano requerido

Con respecto al componente humano, que hace referencia al equipo profesional encargado de recopilar la información, suministrarla y procesarla tenemos:

- Profesional en SIG: es la persona encargada del diseño de la plataforma, atendiendo las necesidades propias del sistema de gestión que se quiere implementar.

Figura 35. Imagen promocional de la especialización en Sistemas de Información Geográfica.



Fuente: Universidad de Manizales.

- Profesionales en Geología y/o en ingeniería civil: son las personas encargadas de recopilar información de campo para la caracterización de los sitios críticos, deben tener la capacidad suficiente para realizar un análisis detallado sobre la identificación de la vía, los procesos de degradación existentes, la cuantificación del tipo de daño, el nivel de riesgo que se presenta, el estado de la vía y por último, debe tener la capacidad de realizar las recomendaciones pertinentes sobre las medidas de mitigación iniciales y las posibles alternativas de intervención para la recuperación final del sitio.

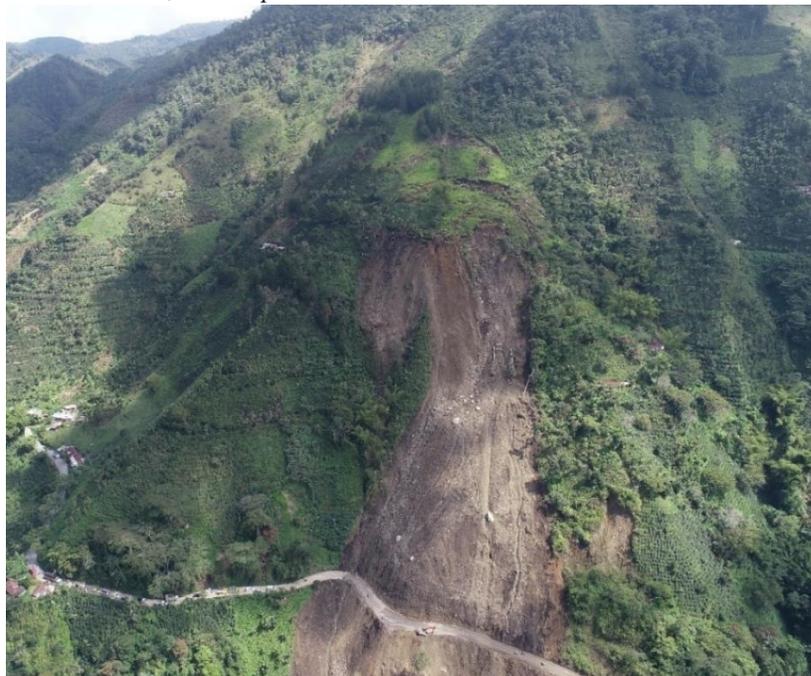
Figura 36. Fotografía visita técnica realizada al sitio crítico localizado en la vía Salamina-La Merced, sector El Faro.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

Como herramienta para la toma de decisiones, en ocasiones es necesario realizar levantamientos topográficos (ya sea de precisión o mediante sobrevuelos con dron), de tal modo que se pueda tener una visión más amplia de los procesos de degradación que se están presentando, esto permite determinar la existencia de grietas de tensión en las coronas de los deslizamientos, afloramientos de agua que puedan magnificar el proceso erosivo existente, factores antrópicos como usos incorrectos del suelo (sobrepastoreo, mal manejo de aguas, cultivos que favorecen los procesos de degradación, etc.); de igual manera sirven para realizar un monitoreo constante al sitio crítico determinando la variación en los movimientos del terreno mediante la superposición de varios levantamientos realizados en el mismo sitio.

Figura 37. Fotografía aérea realizada en visita técnica al sitio crítico localizado en la vía Petaqueros-Manzanares, sector El Buenavista, municipio de Manzanares.



Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

Figura 38. Fotografía aérea procesada con un levantamiento en 3D al sitio crítico localizado en la vía Petaqueros-Manzanares, sector Buenavista, municipio de Manzanares.



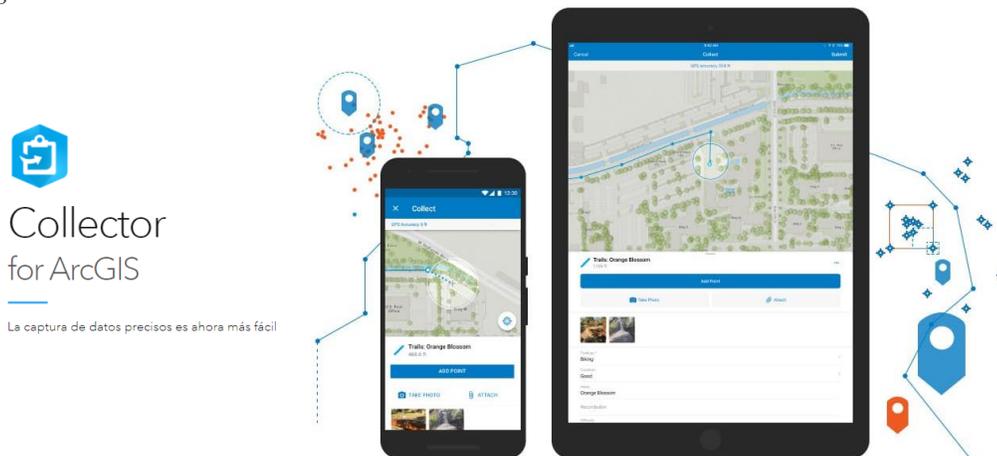
Fuente: Secretaría de Infraestructura 2021.

10.4.5. Método para toma de información en campo

Teniendo en cuenta los diferentes parámetros que ayudarán a identificar y caracterizar cada sitio crítico, se requiere que el equipo profesional recopile y suministre dicha información luego de visitas de campo, para esto se dispone de una herramienta tecnológica que es el ArcGIS Collector, la cual es una aplicación móvil de recolección de datos, que facilita capturar datos con precisión para su posterior procesamiento en la oficina.

El personal de campo usa mapas web en sus dispositivos móviles para capturar y editar datos y una ventaja importante es que ArcGIS Collector funciona aun estando desconectado de internet y se integra sin problemas con ArcGIS.

Figura 39. Esquema ArcGIS Collector utilizada para la recopilación de información de campo en el proceso de gestión de sitios críticos.



Fuente: <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/collector-for-arcgis/overview>

Una característica fundamental a la hora de la toma de información en campo es la precisión, ya que esta es un factor importante que define uno de los aspectos fundamentales del sitio crítico en estudio.

Para lo anterior, la aplicación móvil ArcGIS Collector permite articular de forma eficiente sus requerimientos técnicos con el Sistema de Posicionamiento Global GPS (o Global Positioning System, por sus siglas en inglés), el cual permite determinar la posición de cualquier objeto o sitio con una gran precisión.

El sistema GPS está compuesto por tres componentes fundamentales:

119

- La red de satélites: Cubren toda la superficie de la tierra repartidos en 6 planos con 4 satélites en cada uno (para un total de 24 satélites). Se alimentan gracias a los paneles solares que los constituyen. Tienen una vida útil media de 7 años y medio y se encuentran a una altitud de 20.200 km sobre el nivel del mar.
- Estaciones terrestres: Se intercomunican con los satélites para mantener operativa la estructura.
- Terminales receptores: Más conocidas como Unidades GPS, permiten conocer la posición en la que se encuentran.

La fiabilidad de la señal obtenida por un receptor varía en torno a una serie de parámetros; las nubes, montañas o edificios presentan un problema ineludible que puede reducir la precisión de la señal considerablemente. En condiciones favorables (7, 8 o 9 satélites visibles), se obtienen altísimas precisiones de hasta 2 metros, con una probabilidad superior al 95%. *(Antonio Ariza Guerrero, Javier Doria Dulanto, Isamu Takebe Heras. 2008-2009)*

La recopilación de la información de campo, que determina la calificación final del sitio crítico, se almacena en la aplicación ArcGIS Collector, y los niveles de calificación a suministrar allí están dados con base en el proceso de calificación del sitio crítico explicado anteriormente.

10.4.6. Localización geográfica y tipos de coordenadas

La localización geográfica de un punto se puede realizar detallando uno de estos dos

parámetros:

- Coordenadas geográficas en formato Longitud-Latitud.

Las coordenadas geográficas son una forma de designar un punto sobre la superficie terrestre teniendo en cuenta dos medidas: longitud y latitud.

Estas medidas representan la distancia en grados, minutos y segundos con respecto al meridiano de Greenwich en el caso de la longitud, y con respecto al ecuador en el caso de la latitud.

- Coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator).

De igual manera, con el fin de representar un punto en un mapa con sus valores de coordenadas, es necesario emplear un modelo matemático conocido como Datum.

La Tierra no es esférica, ni siquiera es un cuerpo regular achatado por los polos. Esta irregularidad hace que cada país, o incluso cada región, escoja el modelo de cuerpo (definible matemáticamente) que más se ajuste a la forma de la tierra en su territorio. Este cuerpo suele ser un elipsoide.

Cada datum está compuesto por un elipsoide y un punto llamado "Fundamental" en el que el elipsoide y la tierra son tangentes. De este punto se han de especificar longitud, latitud y el acimut de una dirección desde él establecida.

En el punto Fundamental, las verticales de elipsoide y tierra coinciden. También coinciden las coordenadas astronómicas (las del elipsoide) y las geodésicas (las de la tierra).

Definido el Datum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues se tienen unos parámetros de referencia (*Antonio Ariza Guerrero, Javier Doria Dulanto, Isamu Takebe Heras. 2008-2009*).

10.4.7. Sistema de coordenadas utilizado

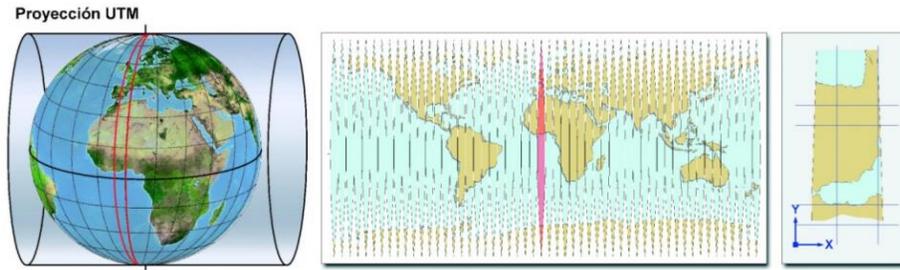
El sistema de coordenadas a utilizar durante el cargue de la información en la plataforma ArcGIS, es el sistema WGS-84 Transverse Mercator. Éste es un sistema de coordenadas geocéntrico global, el cual fue adoptado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para el posicionamiento GPS.

La proyección cartográfica permite representar una superficie esférica como la Tierra en una lámina de papel plana; esta proyección es una representación sistemática de los paralelos y meridianos de una superficie tridimensional en una superficie bidimensional. Dado que una superficie plana no puede ajustarse a una esfera sin estirarse o encogerse tampoco es posible representar atributos de un globo en un mapa sin causar distorsiones.

Existen diversas proyecciones y cada una de ellas trata de minimizar las distorsiones, Las proyecciones que se utilizan en la actualidad se han derivado a partir de modelos matemáticos del globo terrestre y todas ellas comparten la misma característica: mostrar la posición correcta de las líneas de longitud y latitud del Planeta. Dado que no hay forma de eliminar los errores al trasladar una superficie curva (Tierra) a una superficie plana (mapa) ninguna proyección es geoméricamente perfecta.

Proyección UTM (Universal Transverse Mercator) Para calcular distancias de un punto geográfico a otro dadas sus longitudes y latitudes, debemos llevar a cabo una conversión a coordenadas UTM. La proyección UTM (Universal Transverse Mercator) tiene su origen en el desarrollo cilíndrico conforme de Gauss.

Figura 40. Diagrama explicativo de la proyección UTM.



Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/WGS84>

10.4.8. Sistema de gestión de sitios críticos desarrollado

Luego del desarrollo del sistema de gestión de sitios críticos, bajo la plataforma ArcGIS Online, ArcGIS Pro-2.4 y el Collector de ArcGIS, se muestra a continuación el resultado final en donde se detallan los diferentes sitios críticos identificados y cargados bajo este software, lo que servirá como un insumo importante para su diagnóstico inicial y la posterior toma de decisiones.

10.4.8.1. Visualización de sitios críticos en el sistema de gestión

Los mapas en ArcGIS Online son alimentados con la información suministrada en el ArcGIS Collector, para que posteriormente la administración departamental pueda administrarla, priorizándola bajo los parámetros establecidos anteriormente.

Cabe aclarar que este sistema de gestión viene siendo perfeccionado con el fin de actualizar la información actual levantada por la Secretaría de Infraestructura, de tal modo que luego de hacer un barrido completo a lo largo de la red vial del departamento, el número actual manifestado por la Gobernación de Caldas sobre la existencia de cerca de 600 sitios críticos pueda variar en mayor o en menor medida.

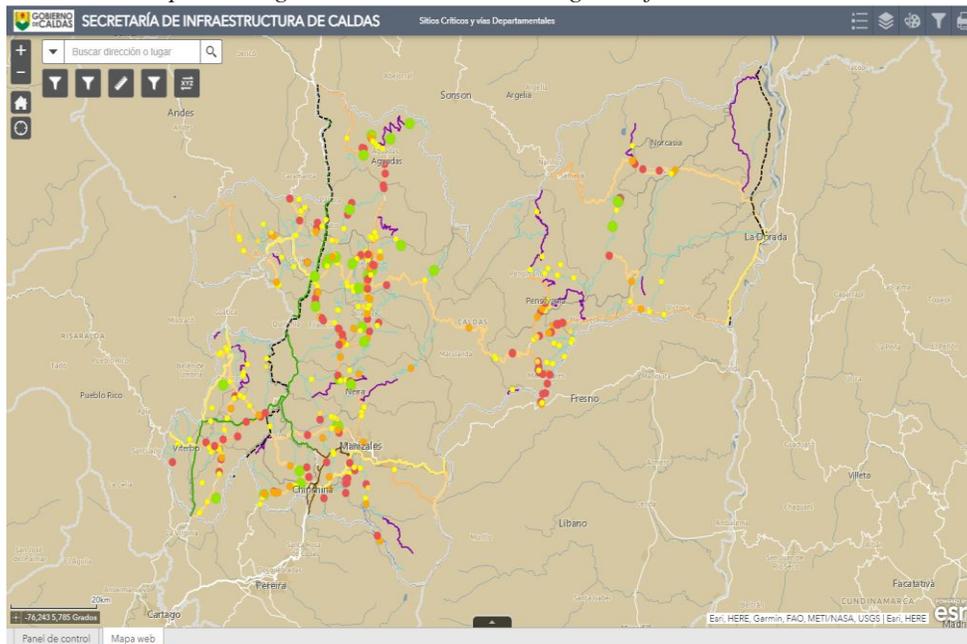
La página para la visualización del sitio crítico permite establecer toda aquella información relevante que sirva como insumo para su priorización, por ejemplo:

- Profesional que realiza el cargue de la información
- Localización del sitio
- Proceso de degradación existente
- Tipo de daño sobre la vía
- Estado actual de la vía
- Nivel de riesgo
- Si existen o no vías alternas en caso de cierre total del sitio
- Si requiere o no la realización de estudios y diseños detallados
- Presupuesto aproximado de intervención
- Calificación total del sitio crítico que define su priorización
- Registro fotográfico del sitio crítico
- Levantamiento mediante sobrevuelo con dron con una visualización en 3D (en algunos casos)

En la figura 36 se pueden visualizar los sitios críticos priorizados dependiendo su gravedad e incidencia en la transitabilidad y conectividad de la red vial.

En color verde aquellos sitios críticos de daño leve, en color amarillo los sitios críticos considerados de daño moderado, en color naranja aquellos con daño grave y finalmente los de color rojo que son considerados con un daño severo.

Figura 41. Visualización pantalla general de sitios críticos georreferenciados en el sistema de gestión.



Fuente: Secretaría de Infraestructura de Caldas.

Adicional a lo anterior, el sistema permite referenciar aquellos sitios críticos que por su magnitud o por su importancia estratégica en cuanto a su localización, se hace necesario destacarlos entre los demás.

A estos sitios críticos por lo general, además de las diferentes visitas técnicas de profesionales especializados, se le realizaron levantamientos topográficos o sobrevuelos con drones de alta precisión, de tal manera que se pueda generar una información mucho más detallada que permita conocer más a fondo el proceso de degradación existente y las consecuencias que acarrea sobre la vía.

Figura 42. Visualización de sitio crítico priorizado en el sistema de gestión con un levantamiento en 3D



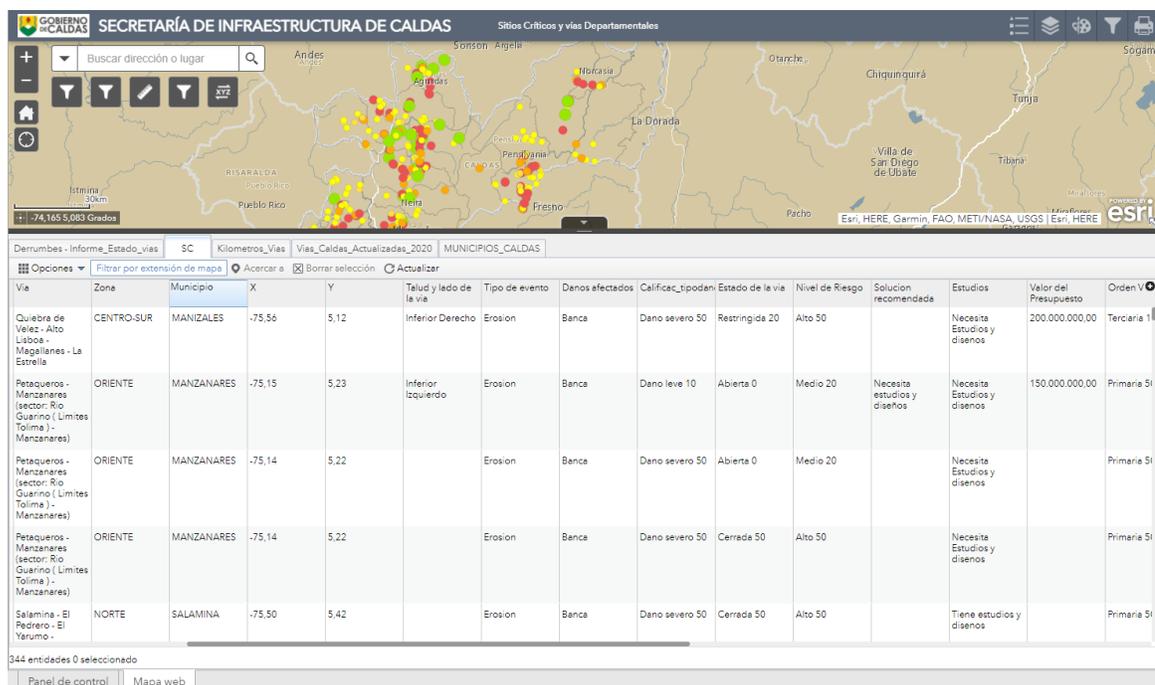
Fuente: Secretaría de Infraestructura de Caldas

10.4.8.2. Visualización de la información recopilada en el sistema de gestión

Con el fin de poder visualizar toda la información recopilada de cada uno de los sitios críticos, el sistema tiene la facilidad de filtrar la información de la forma en que se requiera, ya sea por cada uno de los 27 municipios del departamento de Caldas, por la calificación final de cada uno de ellos, por el tipo de daño presentado, por el orden de vía, etc.

Esta forma de ver la información es de gran importancia a la hora de generar informes que requieran de forma particular una de estas variables.

Figura 43. Visualización de la información suministrada en el sistema de gestión



Fuente: Secretaría de Infraestructura de Caldas

11. Conclusiones

- Teniendo en cuenta que el transporte por vía terrestre corresponde a aproximadamente el 80% del transporte de carga total, se hace necesaria la inversión de recursos, tanto económicos como técnicos, para garantizar el libre desarrollo de este.
- El departamento de Caldas cuenta con una longitud de 4.955 Km de red vial, por tal razón, es importante que las diferentes entidades, tanto de orden nacional, departamental como municipal, cuenten con las herramientas tecnológicas necesarias para monitorear el estado de cada una de las vías.
- La topografía y geomorfología del departamento de Caldas, lo hace generalmente susceptible a procesos de inestabilidad, lo que afecta en mayor o menor medida la transitabilidad y conectividad entre los diferentes centros poblados y cabeceras municipales.
- Actualmente en el departamento de Caldas se pueden encontrar cerca de 600 sitios críticos, sin embargo, se debe realizar un análisis detallado de cada sitio, de tal forma que se pueda actualizar la base de datos, determinando con las variables expuestas en el presente trabajo la prioridad de atención para cada uno de estos.
- Uno de los factores detonantes para la aparición de un proceso de inestabilidad en un sitio crítico, es el alto índice de precipitaciones que se presentan en las diferentes subregiones del departamento.

- Es importante que se articulen los procesos de gestión del riesgo de desastres con los procesos de seguimiento a los diferentes sitios críticos del departamento, de tal forma que se pueda tener una visión integral que busque minimizar los efectos de la materialización de un fenómeno amenazante, disminuyendo la vulnerabilidad y el riesgo de la población del departamento.
- El sistema de gestión de sitios críticos permite determinar en algunos casos el tipo de intervención que se puede realizar, optimizando así los recursos públicos que son demasiado limitados para las entidades territoriales.
- Para asegurar el objetivo general que tiene la generación de un sistema de gestión de sitios críticos, se debe contar con el personal profesional idóneo, el cual será el encargado de realizar no solamente las visitas de campo y los conceptos técnicos, sino también el encargado de suministrar la información y las calificaciones respectivas para cada sitio.

12. Recomendaciones

- La entidad territorial debe conformar un equipo de profesionales que se encargue de realizar las visitas de campo, recopilación de la información y suministro de esta en el sistema de gestión de sitios críticos.
- Se debe capacitar el equipo de profesionales, de tal modo que tengan una visión más amplia articulada en el marco del proceso de la gestión del riesgo de desastres.
- Teniendo en cuenta que el proceso de tomas de datos de campo conlleva el uso de herramientas tecnológicas, la entidad territorial debe suministrar los equipos necesarios con las especificaciones técnicas requeridas para dicho proceso.
- La finalidad del sistema de gestión de sitios críticos es brindar la información necesaria que sirva como insumo para el proceso de priorización de estos, posterior a esto, se deben buscar los recursos económicos para la ejecución de obras de mitigación.
- El sistema de gestión debe ser actualizado constantemente, de tal modo que se pueda tener una información clara, oportuna y eficiente para cada proceso de inestabilidad.
- La determinación de medidas iniciales de intervención de un sitio crítico, tales como actividades de reconfiguración de la banca o de terrajeo, debe ser una medida tomada por profesionales especializados, ya que adicional a esto, existen muchas otras alternativas de recuperación del sitio.

13. Referencias bibliográficas

Ley 1523 de 2012. Ley Sistema Nacional de Gestión del Riesgo. 2012. Presidencia de la República de Colombia.

Terminología sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Fenómenos Amenazantes. 2017. Comité Nacional Para El Conocimiento Del Riesgo. Comisión Nacional Técnica Asesora para el Conocimiento del Riesgo. Bogotá D.C.

Hydroclimatología del Departamento de Caldas, Manizales 2014, Fernando Alfonso González Lozano.

Plan Departamental De Extensión Agropecuaria Departamento De Caldas. 2019. Gaceta oficial Gobernación de Caldas.

Plan de Desarrollo del departamento de Caldas 2020-2023. “Unidos es Posible” Gobernación de Caldas.

La infraestructura del transporte vial y la movilización de carga en Colombia. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional y Urbana. V-2005. Por Gerson Javier Pérez.

División por subregiones adoptadas por el Departamento administrativo de Planeación. 2017. Secretaría de Planeación Caldas.

División político-administrativa del departamento de Caldas.
<http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1508/2017/03-09/01>.

Análisis de estabilidad del talud y obras de contención necesarias para el diseño y construcción de una vía de orden secundario en el municipio de Dabeiba – Antioquia. 2019. Astrid Liliana Hernández Chaverra & Yeny Alexandra Tamayo Ruiz.

Indicadores de infraestructura vial en el Índice Departamental de competitividad. 2018. Consejo Privado de Competitividad.

Estudio nacional de la degradación de suelos por erosión en Colombia (IDEAM & MADS & U.D.C.A, 2015). CORPOCALDAS.

Mapas del Departamento de Caldas en Colombia. 2008. Blog Gonzalo Duque – Escobar

Clasificación de movimiento en masa y su distribución en terrenos geológicos de Colombia. 2017. Juan Montero Olarte.

Evaluación Geológica Geotécnica De Movimientos De Masa Que Afectan A Obras De Ingeniería Civil. 2007. Ing. Pedro Isique Piasa Consultores S.A.

Mapa geológico generalizado para el departamento de Caldas. 1993. Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química (INGEOMINAS).

Geografía de Caldas. 2017. <https://caldas.gov.co/index.php/portfolio-2/informacion-general/geografia-de-caldas>

Clima del departamento de Caldas. 2019. <https://www.todacolombia.com/departamentos-de-colombia/caldas/clima.html>

Deslizamientos de tierra y sus tipos. Riesgos Naturales. <https://geologiaweb.com/riesgos-naturales/deslizamientos/>

Manual de estabilidad de taludes, Instituto Nacional de Vías. 1996. García López, Manuel.

Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia 1998. Suárez D, J.

Apuntes curso de estabilidad de taludes. Maestría en geotecnia. Universidad Nacional de Colombia. 2006. Rodríguez Pineda, Carlos Eduardo.

Estudio e investigación del estado actual de las obras de la Red Nacional de Carreteras. Manual para la inspección visual de obras de estabilización. 2003. Instituto Nacional de Vías INVIAS. Bogotá D.C.

Cartilla Movimientos en masa. Alcaldía de Medellín, Tecnológico de Antioquia. Aníbal Gaviria Correa-alcalde.

Los procesos de degradación, tipología, desarrollo de los eventos, investigación de detalle. Inventario de procesos denudativos en la red vial de Caldas. 2020. Carlos Enrique Escobar Potes.

Manual De Geología Para Ingenieros. Movimientos masales. 2017. Gonzalo Duque Escobar. Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales.

Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa. Dirección de Geoamenazas Grupo de Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa. 2017. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C.

Guía Metodológica Para Estudios De Amenaza, Vulnerabilidad Y Riesgo Por Movimientos En Masa. Dirección de Geoamenazas Grupo de Evaluación de Amenaza por Movimientos en Masa. 2016. Servicio Geológico Colombiano. Bogotá D.C.

Sistema de navegación GPS por mapas gráficos. Proyecto de Sistemas Informáticos Facultad de Informática. 2008-2009. Antonio Ariza Guerrero, Javier Doria Dulanto, Isamu Takebe Heras.

Universidad Complutense de Madrid. Información general sobre las Geodatabases. 2019. <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/what-is-a-geodatabase.htm>

ArcGIS (2008). Geographical Information Systems ArcGIS. Enviromental Research Informations Sytems –ESRI-. NewYork, USA.