

**ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA
CUENCA DEL RIO PATÍA – DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

YEIDY SAMIRA MEDINA QUIRA



**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2017**

**ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD A DESLIZAMIENTOS DE TIERRA EN LA
CUENCA DEL RIO PATÍA – DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

YEIDY SAMIRA MEDINA QUIRA

Trabajo de Grado presentado como opción parcial para optar
al título de Especialista en Información Geográfica

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA
MANIZALES
2017**

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo lo dedico con todo mi amor y agradecimiento, a Dios, por darme la oportunidad de crecer profesionalmente y hacer realidad mis sueños, a mis padres Celmira Quirá y Neftaly Medina, mis tesoros y motivación, por su amor y apoyo incondicional durante toda mi vida, a mis hermanos Wilmer Medina y Yony Farith Medina porque juntos nos apoyamos para ir construyendo nuestros sueños, a Juan Pablo Ibáñez por su amor y paciencia en el transcurso de este proyecto, a las instituciones públicas quienes suministraron la bases temáticas del estudio, a mis compañeros de clase con quienes nos apoyamos continuamente en la academia y a la Universidad de Manizales por permitirme hacer parte de ella.

CONTENIDO

	Pág.
1	ÁREA PROBLEMÁTICA..... 13
1.1	DESCRIPCIÓN..... 13
1.2	DELIMITACIÓN..... 14
2	OBJETIVOS 17
2.1	OBJETIVO GENERAL..... 17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 17
3	JUSTIFICACIÓN 18
4	MARCO TEÓRICO 19
4.1	DESLIZAMIENTOS Y SU CLASIFICACIÓN 19
4.1.1	Tipología de los deslizamientos de tierra..... 19
4.1.2	Causas desencadenantes de los movimientos de laderas..... 20
4.2	MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO..... 21
4.3	LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN ESTUDIOS DE DESLIZAMIENTOS..... 22
4.4	LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA CARTOGRAFÍA DE SUSCEPTIBILIDAD 23
4.5	EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO –EEM 24
5	METODOLOGÍA..... 25
5.1	TIPO DE TRABAJO..... 25
5.2	FASE I – ESTUDIO PRELIMINAR..... 25
5.2.1	Metodología empleada 25
5.2.2	Método de zonificación..... 25
5.2.3	Recopilación de la información 26
5.3	FASE II - PLANIFICACIÓN Y DISEÑO 26
5.4	FASE III - REALIZACIÓN 29
5.4.1	Información temática básica 29
5.4.2	Definición y parametrización de variables..... 29
5.4.3	Procesamiento de la información..... 50
5.5	FASE IV - VALIDACIÓN 51
6	RESULTADOS 52
6.1	Descripción de los rangos de susceptibilidad 55

7	CONCLUSIONES	57
8	RECOMENDACIONES.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1 Mapa ubicación de la Cuenca Río Patía.....	15
Figura No. 2 Uso de SIG para el análisis heurístico de susceptibilidad por movimientos en masa.....	27
Figura No. 3 Mapa de geología.....	35
Figura No. 4 Proximidad de deslizamientos al trazo de fallas geológicas	39
Figura No. 5 Mapa geomorfológico	44
Figura No. 6 Mapa de pendientes.....	45
Figura No. 7 Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo.	46
Figura No. 8 Precipitación media anual	49
Figura No. 9 Modelo de susceptibilidad – Model builder	51
Figura No. 10 Susceptibilidad por factores intrínsecos del terreno.....	52
Figura No. 11 Susceptibilidad por factores de disparo	53
Figura No. 12 Mapa de zonificación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en de la Cuenca del río Patía	54

Pág.

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1 Grados de susceptibilidad	27
Tabla No. 2 Peso porcentual de los parámetros	28
Tabla No. 3 Calificación de los depósitos	35
Tabla No. 4 Valoración del parámetro geología	37
Tabla No. 5 Calificación proximidad a fallas geológicas.....	40
Tabla No. 6 Calificación del parámetro geomorfología.....	40
Tabla No. 7 Valores de peso asignados al parámetro de pendiente	44
Tabla No. 8 Clasificación de cobertura vegetal	46
Tabla No. 9 Estaciones meteorológicas.....	48
Tabla No. 10 Calificación de la variable Precipitación	50
Tabla No. 11 Áreas (has) susceptibles a deslizamientos	55

Pág.

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Inventario deslizamientos de tierra SIMMA.....	61
Anexo B Mapa de ubicación de los deslizamientos de tierra del SIMMA	87
Anexo C Mapa de ubicación de los deslizamientos de tierra de CRC	87

Pág.

GLOSARIO

Deslizamiento: Los deslizamientos, como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento, pendiente abajo, de los materiales que componen la ladera bajo la influencia de la gravedad y pueden ser disparados por lluvias, sismos y actividad humana.

Sistema de información geográfico –SIG: Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG's son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

Zonificación: Varnes (1984) define zonificación como la división de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza por deslizamientos u otros movimientos en masa en las laderas.

Susceptibilidad de deslizamiento: evaluación cuantitativa o cualitativa de una región en la que existen o pueden existir deslizamientos. Esta evaluación considera la clasificación, volumen (o área) y distribución espacial de los movimientos en masa; también puede incluir una descripción de la velocidad e intensidad de los movimientos potenciales o existentes. Aunque se espera que los movimientos en masa ocurran con más frecuencia en la mayoría de las zonas susceptibles, en los análisis de susceptibilidad, no se tiene en cuenta el tiempo de recurrencia. La susceptibilidad a movimientos en masa incluye movimientos en masa originados en la zona de estudio o pueden tener su fuente fuera de esta ella, pero pueden viajar de regreso hacia o desde ésta área. Fell, *et al.* (2008)

Inventario y catálogo de movimientos en masa: Base de datos que contenga información de localización, clasificación, volumen, actividad, fecha de ocurrencia y otras características de los movimientos en masa en un área. Fell, *et al.* (2008)

Cuenca hidrográfica: La cuenca hidrográfica se define como una unidad territorial en la cual el agua que cae por precipitación se reúne y escurre a un punto común o que fluye toda al mismo río, lago, o mar. En esta área viven seres humanos, animales y plantas, todos ellos relacionados. También se define como una unidad fisiográfica conformada por la reunión de un sistema de cursos de ríos de agua definidos por el relieve.

Evaluación Espacial Multicriterio (EEM): La Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones, mediante la descripción, ordenación, jerarquización y selección de alternativas de acuerdo a ciertos postulados, los cuales a su vez dependen de los objetivos planteados (Gómez y Baredo, 2005).

RESUMEN

El presente estudio consiste en la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra de la Cuenca del río Patía, ubicada geográficamente al sur del Departamento del Cauca, entre los flancos occidental de la cordillera Central y el oriental de la cordillera Occidental. El documento se centra en el estudio de la susceptibilidad del terreno a sufrir deslizamientos de tierra a escala 1:100.000, donde se tiene en cuenta factores intrínsecos del terreno y desencadenantes que inciden en la generación de los eventos.

Para obtener la zonificación se aplican técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio –EEM incorporando variables como la cobertura vegetal y uso del suelo, pendientes, precipitación, geología, geomorfología, zonas de influencia de fallas y eventos de deslizamientos georeferenciados. Así mismo, se detalla el proceso de producción del mapa de susceptibilidad usando herramientas fundamentales en análisis espacial como los sistemas de información geográfica –SIG, los cuales de manera digital permiten evaluar, combinar, homogenizar y analizar los variables para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica.

En consecuencia, el estudio contribuye a la identificación de áreas potencialmente susceptibles y no se involucrará un período de tiempo durante el cual hayan ocurrido deslizamientos; de esta manera se obtiene una sectorización de las zonas potenciales a sufrir este fenómeno, con base a las condiciones intrínsecas del terreno y los factores detonantes.

PALABRAS CLAVES: deslizamientos, susceptibilidad a deslizamientos, evaluación multicriterio, sistemas de información geográfica.

ABSTRACT

The present study consists of the zoning of landslide susceptibility of the Patía river basin, located geographically to the south of the Department of Cauca, between the western sides of the Central mountain range and the eastern side of the Western mountain range. The document is focused on the study of the susceptibility of land landslides at a scale of 1: 100,000, which takes into account intrinsic land factors and triggers that influence the generation of events.

In order to obtain zoning, Multicriteria Spatial Assessment techniques are applied, (EME) incorporating variables such as vegetation cover and land use, slopes, precipitation, geology, geomorphology, fault zones and georeferenced landslide events. Likewise, the process of production of the susceptibility map is detailed using spatial analysis tools such as geographic information systems (GIS), which in a digital way allow to evaluate, combine, homogenize and analyze the variables to define the different degrees of susceptibility, Expressing the results in a cartographic form.

Consequently, the study contributes to the identification of potentially susceptible areas and will not involve a period of time during which landslides have occurred; In this way a sectorization of the potential zones to suffer this phenomenon is obtained, based on the intrinsic conditions of the land and the detonating factors

KEY WORDS: Landslides, susceptibility to landslides, multicriteria evaluation, geographic information systems.

INTRODUCCIÓN

Colombia en los últimos 30 años, ha sido uno de los países más vulnerables a desastres naturales en América. Un informe presentado en septiembre de 2008 por la Dirección Nacional de Planeación (DNP) revela que en promedio cada año ocurren 597 desastres en Colombia, superando a Perú (585), México (241) y Argentina (213). (Vanguardia, 2009). Los desastres naturales han dejado huella en la mente de los colombianos por el dolor y la impotencia ante un fenómeno que no se puede controlar cuando las condiciones están dadas para que se presenten.

El evento natural que ha generado más daños en los países en vía de desarrollo, han sido los deslizamientos de tierra, los cuales ocasionan más catástrofes que cualquier otro tipo de desastre natural, Guzzetti et al. (1999). Éste tipo de eventos y desastres se han incrementado a causa de la mayor exposición de la población, los cambios en el uso del suelo y el cambio climático. Reparar los daños resulta costoso, además de irreparable, por esta razón se ha empezado a desarrollar conocimiento de los eventos, sistemas de alerta temprana, estrategias de prevención del riesgo y restricciones en el uso del suelo con el propósito de reducir o evitar la pérdida de vidas humanas y de bienes.

Desde las instituciones educativas se ha intentado aportar al conocimiento de este tipo de eventos, por ejemplo, evaluando la distribución espacial de la susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y el riesgo a fin de aportarle a la sociedad herramientas de soporte para la prevención y mitigación. Para tal fin, se ha desarrollado una zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra de tal manera que se pueda constituir en una adecuada y rentable herramienta de decisión en la planificación del territorio de la Cuenca del Rio Patía ubicada en el Departamento del Cauca.

El presente estudio se desarrolla a una escala regional, que a pesar de sus limitaciones por precisión o escala detallada, es útil como herramienta informativa con la cual se pueden definir políticas nacionales o regionales que contribuyan a la defensa del medio ambiente, conservación y recuperación de ecosistemas. Para obtener la susceptibilidad del suelo se utilizan herramientas de los sistemas de información geográfica –SIG que cuentan con un gran desarrollo de técnicas de análisis y avance en la elaboración de mapas de susceptibilidad, aumentando el grado de objetividad. Complementando la aplicación SIG, se aplica una metodología heurística, que parte del conocimiento de expertos, teniendo en cuenta la escala de trabajo y la limitación en la obtención de la información espacial. En ese sentido, la zonificación de la susceptibilidad identifica las áreas en las cuales se esperarían deslizamientos de tierra, a partir de la aplicación de factores intrínsecos del terreno y detonantes a la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa.

1 ÁREA PROBLEMÁTICA

1.1 DESCRIPCIÓN

Los deslizamientos de tierra son fenómenos naturales que han provocado grandes daños materiales y lo más importante pérdidas humanas. El 18 por ciento de los colombianos están potencialmente amenazados por los deslizamientos, debido a que las autoridades territoriales no han controlado la construcción de viviendas en laderas y rondas de ríos. Así lo expresan expertos del Banco Mundial, quienes aclaran que no hay desastres naturales, sino simplemente desastres que se producen por una amenaza natural (un sismo, una creciente de un río o un deslizamiento), unida a un territorio vulnerable o situado en zonas de alto riesgo. En total, 353 municipios se localizan en zonas de amenaza alta y muy alta de deslizamientos, y en los cuales se concentra el 8 de la población nacional. (El Tiempo, 2015)

Los deslizamientos son potenciales en la región Andina, en la cual se ubica el Departamento del Cauca y a su vez la Cuenca del río Patía. Por su parte, dos de los tres ramales de la cordillera de los andes atraviesan la Cuenca. Se tiene la cordillera central que se extiende desde el Nudo de Almaguer o Macizo Colombiano y la cordillera occidental que se extiende desde el Nudo de los Pastos en el Departamento de Nariño y que atraviesa la Cuenca del Patía en los municipios de El Tambo, Balboa y El Bordo (Patía) del Departamento del Cauca.

Los deslizamientos de tierra presentes en la cuenca del río Patía se ubican principalmente sobre la ladera oriental de la cordillera occidental y la ladera occidental de la cordillera central, donde adicionalmente se presentan los mayores niveles de precipitación.

Las geoformas de la cuenca son muy diversas, con relieves ondulados, quebrados y escarpados con altitudes que fluctúan entre los 550 sobre el río Patía y 4.000 m.s.n.m en el cráter del volcán Sotará.

Los deslizamientos que se presentan en la Cuenca pueden considerarse como eventos socio-naturales. Por un lado encontramos que se presentan por la composición de capas gruesas de formaciones de origen volcánico, suelos inconsolidados en pendientes abruptas, la presencia de fallas geológicas, condiciones climáticas variable, y por elementos agudizados por la acción antrópica como la explotación minera sin implementación de planes de manejo ambiental, deforestación, prácticas de manejo de suelos o usos inadecuado como uso de pastos en las zonas de laderas que sumado a la erosión causada por el pisoteo de ganado aumentan el riesgo a deslizamientos. Estas actividades han ido incrementándose desde la parte baja de las montañas hasta las zonas más altas. En ese sentido, es de resaltar que los principales detonantes de los deslizamientos de tierra son la precipitación y las pendientes abruptas, que hoy en día con la intervención del hombre su intensidad y grado se ha incrementado. Es importante también tener en cuenta que la Cuenca del Río Patía es considerada como uno de los ecosistemas más deteriorados del Departamento principalmente por su estado de desertización. En consecuencia, los deslizamientos de tierra han provocado daños

materiales como deterioro de carreteras, líneas eléctricas y telefónicas, viviendas, sistemas de drenajes, bosques y áreas agrícolas, puentes, produciendo pérdidas económicas y vidas humanas.

Desafortunadamente son pocos los estudios de deslizamientos de tierra desarrollados en la Cuenca del río Patía, a pesar de que en su territorio se han presentado múltiples eventos que han originado graves consecuencias.

1.2 DELIMITACIÓN

El estudio consiste en la zonificación de áreas susceptibles del fenómeno natural de deslizamientos de tierra específicamente en la Cuenca del río Patía, la cual se encuentra ubicada geográficamente al sur occidente del Departamento del Cauca, entre los flancos oriental de la cordillera Occidental y el occidental de la cordillera Central. Se sitúa entre los 1°40" y 2°25" de latitud Norte y entre los 76°40" y 77°10" de longitud al Oeste del meridiano de Greenwich. La Cuenca del Río Patía tiene un área de 535,315 hectáreas y en ella se localizan aproximadamente 221.083 habitantes que representan el 20.2% de la población del Departamento. Éste corredor biológico es importante por cuanto conecta dos ecosistemas estratégicos de interés nacional y mundial, como son, el Macizo Colombiano y el Choco Biogeográfico (CRC, 1996).

En el Departamento del Cauca la cuenca está conformada por los municipios de Balboa, Bolívar, Mercaderes, Patía y Sucre (valle del Patía); Almaguer, La Sierra, La Vega, Rosas, San Sebastián, Sotará y Timbío (Cordillera Central); Bolívar, Florencia, Mercaderes, San Sebastián y Sucre (Cordillera Centro-Oriental); Argelia, Balboa, El Tambo y Patía (Cordillera Occidental); y El Tambo y Timbío.

Los principales ríos que conforman el Patía tienen su origen en la Cordillera Central en un sector ubicado entre el volcán Sotará y la región de Paletará en el punto denominado El Salado. El nombre de río Patía se le otorga después de la afluencia entre los ríos Timbío y Quilcacé en el municipio de Rosas (FERNÁNDEZ & FERNÁNDEZ, 1992). Otros ríos importantes que fluyen hacia el río Patía son: Esmita, Guachicono, San Jorge, Sambingo, Hato Viejo, Mayo, Juanambú y Guáitara. La vegetación natural de la cuenca se halla altamente perturbada por actividades agrícolas y ganaderas, las quemas, el leñateo; en la parte baja del valle del Patía, la vegetación dominante es de forma herbácea sobre los demás hábitos de crecimiento (RAMÍREZ-PADILLA & MACÍAS-PINTO, 2009), mientras que hacia la cordillera, la vegetación es variada con remanentes de bosque andino, pero con una fuerte intervención antropogénica.

La identificación de zonas susceptibles a deslizamientos de tierra se desarrolla a escala 1:100.000 aplicando técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) incorporando variables como la cobertura vegetal y uso del suelo, pendientes, precipitación, geología, geomorfología, Zonas de influencia de fallas y eventos de deslizamientos georeferenciados. En consecuencia, el estudio contribuirá a la identificación de áreas potencialmente susceptibles y no se involucrará un período de tiempo durante el cual hayan ocurrido deslizamientos; de esta manera se obtendrá una sectorización de las zonas potenciales a sufrir este fenómeno teniendo en cuenta condiciones intrínsecas del terreno y factores detonantes que inciden en la generación de los eventos.

Figura No. 1 Mapa ubicación de la Cuenca Río Patía



Fuente: elaboración propia

1.1 FORMULACIÓN

De acuerdo a la problemáticas planteadas y las consecuencias que han generado los deslizamientos de tierra se pretende a través de la interrelación de datos espaciales como la cobertura vegetal y uso del suelo, pendientes, precipitación, geología, geomorfología, Zonas de influencia de fallas y eventos de deslizamientos georeferenciados, realizar una Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) para delimitar las

zonas susceptibles por deslizamientos de tierra y así generar una zonificación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra.

En consecuencia se plantea dar respuesta a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las zonas susceptibles a deslizamientos en la Cuenca del Río Patía ubicada en el Departamento del Cauca?

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las zonas susceptibles a deslizamientos de tierra en la Cuenca del río Patía del Departamento del Cauca a partir de la implementación de técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) y la aplicación de herramientas de Sistemas de Información Geográfica –SIG.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar y analizar las distintas variables necesarias para la evaluación de la susceptibilidad por deslizamiento.
- Aplicar técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) para analizar e integrar las variables que caracterizan la susceptibilidad por deslizamientos.
- Validar mediante visitas de campo las zonas expuestas a susceptibilidad por deslizamiento.
- Realizar recomendaciones que contribuyan a la mitigación de deslizamientos y prevención de desastres.

3 JUSTIFICACIÓN

Los deslizamientos de tierra son fenómenos naturales que requieren estudios debido a que su impacto genera consecuencias como pérdidas humanas, materiales y económicas. Con el incremento de la población a nivel urbano y rural, ha surgido la necesidad de incrementar la construcción de viviendas, las cuales en muchas ocasiones se han realizado sin tener en cuenta estudios físicos de estabilidad de los suelos, grado de las pendientes, geología, uso del suelo, entre otras, que den pautas claras sobre los rangos de susceptibilidad. Así mismo, la construcción de carreteras ha conllevado una considerable cantidad de cortes que han desestabilizado los suelos generando deslizamientos continuos en las épocas de lluvias intensas.

La importancia de este estudio radica en primer lugar, a que permitirá crear un diagnóstico para alertar a las comunidades asentadas en las zonas que se definan como susceptibles a deslizamientos de tierra, para que éstas adopten medidas de prevención y se puedan evitar hechos lamentables.

En segundo lugar, se constituirá en un insumo importante para las autoridades territoriales y gubernamentales debido a que tendrían una herramienta técnica para crear normas de uso del suelo y así definir las áreas que son seguras para vivir y ejecutar proyectos de desarrollo social y económico. Así mismo, se convertirá en una herramienta de gran importancia para los gestores de riesgo de desastres municipales para que planten estrategias de mitigación y prevención a desastres y tengan un insumo base para priorizar la implementación de estudios geotécnicos.

De la misma manera, se podrá dar a conocer a las entidades gestoras del riesgo de desastres, el potencial que tienen las tecnologías de la información geográfica en los análisis de los fenómenos naturales que han impactado negativamente a la sociedad.

4 MARCO TEÓRICO

4.1 DESLIZAMIENTOS Y SU CLASIFICACIÓN

Desde el punto de vista conceptual, se parte de las definiciones que del fenómeno de deslizamientos se han publicado. En este sentido están las definiciones dadas por:

Sharpe (1938), que define los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa relativamente seca de tierra, roca o ambas.

Según Lomtadze (1977), es una masa de roca que se ha deslizado o desliza cuesta abajo por la vertiente o talud al efecto de la fuerza de gravedad, presión hidrodinámica, fuerzas sísmicas, etc.

Crozier (1986), define un deslizamiento como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierras o rocas sin la ayuda del agua como agente de transporte. A pesar que el término deslizamiento, se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida, en la presente investigación se utiliza de forma genérica para cualquier tipo de rotura.

4.1.1 Tipología de los deslizamientos de tierra

La variedad de fenómenos incluidos como movimientos de ladera (landslides en inglés) es grande y su clasificación compleja. Diferentes autores (Varnes, 1978; Cruden y Varnes, 1996; Corominas y Yagüe, 1997) clasifican los movimientos de ladera según el tipo de movimiento y la naturaleza de los materiales inestabilizados (es decir, roca o suelo). El tipo de movimiento se refiere a los mecanismos internos de desplazamiento vertiente abajo de la masa inestabilizada (Highland y Bobrowsky, 2008). Los tipos de mecanismos principales son la caída (o desprendimiento), el vuelco, el deslizamiento, la expansión lateral y los flujos. También puede haber una combinación de varios tipos de mecanismos, entonces se denomina con el nombre de “movimiento complejo”.

- **Desprendimiento o caídas:** Un desprendimiento (rockfall en inglés) es una masa rocosa, o de tierra, que se separa de una vertiente casi vertical y cae libremente a través del aire. La masa inestabilizada impacta en el terreno fragmentándose en porciones más pequeñas que siguen una trayectoria particular. Los volúmenes de los desprendimientos son extremadamente variables, desde las frecuentes caídas de bloques de pocos metros cúbicos, hasta la caída de grandes partes de una montaña que se manifiestan en casos muy excepcionales (Copons, 2007).
- **Vuelcos:** Los vuelcos (topple en inglés) son columnas rocosas, o de tierras, que muestran un movimiento de rotación hacia delante y hacia el exterior de una ladera alrededor de un eje situado por debajo de su centro de gravedad. Los vuelcos se producen principalmente en escarpes en donde existen fracturas verticales en el terreno que son las causantes de separar las columnas rocosas, o de tierras, susceptibles al vuelco. Las velocidades son, en su inicio, lentas pero

suelen acelerarse hasta ser extremadamente rápidas. Los efectos destructivos son similares a los desprendimientos.

- **Deslizamientos:** Un deslizamiento (slide en inglés) es el movimiento de una porción de terreno a través de una superficie de rotura neta con la preservación general de la estructura interna original. Se puede diferenciar dos tipos de deslizamientos: los deslizamientos rotacionales en donde la superficie de rotura es circular, a modo de cuchara; y los deslizamientos traslacionales donde la superficie de rotura es totalmente plana. Los deslizamientos son especialmente frecuentes en laderas inclinadas, entre 20 y 50 grados, y con formaciones geológicas poco resistentes y cohesivas (lutitas arcillosas, margas, etc.). También son frecuentes en laderas formadas por rocas estratificadas con intercalaciones de capas delgadas de arcillas o lignitos. Es también la inestabilidad más frecuente en terraplenes antrópicos. Las velocidades son desde extremadamente lentas (menos de un centímetro por año) hasta moderadamente rápidas (varios metros por día). Suelen causar importante daños materiales en urbanizaciones y tramos de la red viaria, pero su efecto mortal suele ser bajo.
- **Flujos:** Un flujo (flow en inglés) es un movimiento continuo, similar a un líquido viscoso, que no preserva la estructura interna original del material desplazado sino que adopta la morfología de la vertiente por la que discurre. Existen diferentes tipos de flujos (Corominas y Yagüe 1997; Highland y Bobrowsky, 2008). La colada fangosa (earthflow en inglés) tiene lugar en materiales finos y cohesivos como son los limos y las arcillas. Se generan en vertientes moderadamente inclinadas, entre 20 y 50 grados, y sus velocidades son relativamente rápidas siendo normalmente del orden de metros/día hasta kilómetros/hora. Sus dimensiones son muy variables desde metros cuadrados hasta varios kilómetros cuadrados.

4.1.2 Causas desencadenantes de los movimientos de laderas

La estabilidad de las laderas está condicionada por la acción simultánea de una serie de factores. Desde un punto de vista físico, los deslizamientos se producen como consecuencia de los desequilibrios existentes entre las fuerzas que actúan sobre un volumen de terreno. Los factores que influyen en la estabilidad de las laderas se pueden separar en dos grandes grupos (Ferrer, 1987): factores internos y externos, y adicionalmente los desencadenantes.

Los factores internos, condicionan las diferentes tipologías de deslizamiento, los mecanismos y modelos de rotura. Dentro de ellos se encuentran características intrínsecas, relativas a las propiedades del material y a su resistencia y las características extrínsecas relacionadas con la morfología y condiciones ambientales de la ladera, como son las características del substrato geológico y la pendiente

Los factores externos actúan sobre el material y dan lugar a modificaciones en las condiciones iniciales de las laderas, provocando o desencadenando las roturas debido a las variaciones que ejercen en el estado de equilibrio. Tres tipos de acciones se incluyen: la infiltración de agua en el terreno, las vibraciones y las modificaciones antrópicas (Keefe, 1984).

Finalmente, existen los factores detonantes que son los encargados de desencadenar finalmente el movimiento de ladera, y puede tener diferentes causas, tales como geológicas, geomorfológicas, físicas y humanas; pero solo un agente detonante (Wieczorek, 1996). Existen diferentes factores desencadenantes, pero los más relevantes son las lluvias intensas, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas, o rápido socavamiento basal el agua, los procesos erosivos y las acciones antrópicas.

4.2 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD DEL TERRENO

En el tratamiento del riesgo de los movimientos de ladera se suele utilizar el concepto de susceptibilidad (Aristizabal y Yokota, 2006), que hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos (Santacana, 2001), por tanto, requiere del reconocimiento de los factores condicionantes y desencadenantes que concurren (Ayala-Carcedo, 2002).

El primer paso en la evaluación del riesgo consiste en la estimación de la peligrosidad a roturas de laderas y ésta, a su vez, se evalúa determinando los siguientes aspectos (Varnes, 1984; Corominas, 1987; Hartlén y Viberg, 1988):

1. Evaluar la susceptibilidad de la ladera a las roturas por deslizamientos.
2. Determinar el comportamiento del deslizamiento (movilidad y dimensiones del mismo).
3. Establecer la potencialidad del fenómeno (probabilidad de ocurrencia).

El término susceptibilidad hace referencia a la predisposición del terreno a la ocurrencia de deslizamientos y no implica el aspecto temporal del fenómeno (Santacana, 2001).

Para evaluar el grado de susceptibilidad del terreno frente a los deslizamientos existen diversas aproximaciones, basadas la mayor parte de ellas, en la determinación de los factores que influyen en la aparición de las roturas. En general, estos factores se combinan para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica mediante los mapas de susceptibilidad (Hansen, 1984; Hartlén y Viberg, 1988; Corominas, 1987 y 1992; Van Westen, 1993 y 1994; Carrara et al., 1995; y Leroi, 1996). Existen cuatro procedimientos utilizados en la evaluación y confección de mapas de susceptibilidad del terreno: métodos determinísticos, heurísticos, probabilísticos y métodos geomorfológicos.

Los métodos determinísticos se utilizan para el estudio de la estabilidad de una ladera o talud concreto. Se fundamentan en métodos basados en el equilibrio límite o en modelos numéricos. Estos métodos muestran un grado de fiabilidad alto si los datos son correctos. Su principal inconveniente es su baja idoneidad para zonificaciones rápidas y de extensas áreas (Van Westen, 1993). El método más usual se aplica para deslizamientos traslacionales utilizando el modelo de talud infinito (Ward et al, 1982; Brass et al, 1989; Murphy y Vita-Finzi, 1991, Okimura y Kawatani, 1986).

Los métodos heurísticos se basan en el conocimiento a priori de los factores que producen inestabilidad en el área de estudio. Los factores son ordenados y ponderados según su importancia asumida o esperada en la formación de deslizamientos (Carrara et

al., 1995). El principal inconveniente radica en que en la mayor parte de los casos, el conocimiento disponible entre los factores ambientales que pueden causar inestabilidad y los deslizamientos es inadecuado y subjetivo, dependiendo de la experiencia del experto. Un procedimiento de este tipo es el análisis cualitativo basado ISSN 0258 979 Minería y Geología v.22, n.2, 2006 10 en combinación de mapas de factores (Lucini, 1973; Stevenson, 1977; Bosi, 1984). El análisis heurístico introduce un grado de subjetividad que imposibilita comparar documentos producidos por diferentes autores.

Los métodos probabilísticos se basan en las relaciones observadas entre cada factor y la distribución de deslizamientos actual y pasada (Carrara et al., 1995). Se utilizan cuando se dispone de abundante información, tanto cualitativa como cuantitativa, aplicándose los modelos estadísticos que pueden ser univariantes y multivariantes. La principal ventaja es la objetividad del método. El costo de la adquisición de algunos factores relacionados con la inestabilidad de laderas es el principal inconveniente. Dentro de este grupo se encuentran los métodos estadísticos y el análisis de frecuencia de deslizamientos. Son métodos indirectos cuyos resultados se pueden extrapolar a zonas distintas para estimar la susceptibilidad, con condiciones geológicas y climáticas homogéneas. Los métodos estadísticos univariantes se dividen en dos grupos: los que utilizan el análisis condicional y los que no lo utilizan. El análisis condicional, trata de evaluar la relación probabilística entre diversos factores relevantes para las condiciones de inestabilidad y las ocurrencias de deslizamientos. Se basan en la superposición de uno o más factores con el mapa de distribución de deslizamientos, para obtener una probabilidad condicionada de cada factor a la presencia o ausencia de deslizamientos (Chung y Fabbri, 1993; Chung y Leclerc, 1994). Los resultados se interpretan en términos de probabilidad según el teorema de Bayes (Morgan, 1968; Chung y Leclerc, 1994), certeza (Heckerman, 1986; Luzi y Fabbri, 1995), según conjuntos difusos (Zadeh, 1965, 1978; MahdaviFar, 2000) o según plausibilidad (Shafer, 1976). Los métodos estadísticos multivariantes estudian la interacción y dependencia de un conjunto de factores que actúan simultáneamente en la ocurrencia de deslizamientos, para establecer la implicación que tienen cada uno de ellos. Las técnicas estadísticas más utilizadas son la regresión múltiple y el análisis discriminante (Jones et al., 1961; Neuland, 1976; Carrara, 1983 a y b; Mulder, 1991; Mora y Vahrson, 1994; Baeza, 1994; Irigaray, 1995; Chung et al., 1995; Dhakal et al., 2000).

Los métodos geomorfológicos se basan en la determinación de condiciones de inestabilidad de ladera mediante técnicas geomorfológicas, cartografía y zonificación. La principal ventaja es la validez y detalle del análisis y mapa resultantes, si se realizan por un buen experto. El inconveniente de estos métodos es el alto grado de subjetividad dependiente de la experiencia del autor. La elaboración de estos mapas exige conocer la morfología y tipología de movimientos (Hansen, 1984; Hansen y Frank, 1991).

4.3 LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN ESTUDIOS DE DESLIZAMIENTOS

La automatización de los bancos de datos y la enorme capacidad de procesamiento de los ordenadores, han posibilitado la aplicación de técnicas estadísticas para explorar las interrelaciones entre los factores y para evaluar su contribución relativa a la rotura, especialmente cuando hay mucha información y el área de estudio es grande. Además, la utilización habitual de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) ha supuesto un gran

desarrollo de las técnicas de análisis, aprovechando las capacidades de esta herramienta. En conjunto, todo ello ha supuesto un gran avance en la elaboración de mapas de amenaza, aumentando el grado de objetividad.

Las primeras aplicaciones de los SIG a la cartografía de amenazas datan de finales de los setenta (Carrara et al. 1977; Newman et al., 1978). Durante los años ochenta su uso se incrementó mucho debido al desarrollo de sistemas comerciales y a las altas capacidades de los ordenadores personales.

Por último, en los años noventa se han convertido en una herramienta imprescindible. Estudios acerca de las potencialidades del uso de los SIG para la cartografía de amenazas debidas a movimientos de terreno se pueden encontrar en van Westen (1993), Carrara et al. (1990, 1995). Van Westen (1992a) y Soeters y van Westen (1996) hacen una revisión del uso de los Sistemas de Información Geográfica y de la teledetección para la cartografía de amenazas a distintas escalas, concluyendo que los métodos estadísticos son recomendables a escalas intermedias (1:25.000). Ahora bien, como dicen Carrara et al. (1995), "las aplicaciones de sistemas de información geográfica no han cambiado de forma importante la naturaleza de los datos utilizados para evaluar las amenazas debidas a deslizamientos; la mejora más importante ha consistido en el uso de parámetros morfométricos derivados de modelos digitales de terreno. De cualquier forma, en la mayoría de los casos su exactitud no ha sido suficientemente evaluada".

4.4 LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA CARTOGRAFÍA DE SUSCEPTIBILIDAD

Las primeras aplicaciones con prototipos de SIG en zonificación de peligrosidad susceptible a deslizamientos datan de los años 70 (Newman et al., 1978, Carrara et al., 1978; Huma y Radulescu, 1978 y Radbruch-Hall et al, 1979). En ellas se utilizaba el análisis cualitativo, combinando factores, y el estadístico multivariante. Durante los años 80 el desarrollo comercial de los sistemas SIG, así como la mayor disponibilidad de los ordenadores personales incrementó el uso de los SIG en los análisis de susceptibilidad. Ejemplos de análisis cualitativo se encuentran en Stakenborg (1986), Brabb (1984) y Brabb et al. (1989), y ejemplos de análisis estadístico multivariante se pueden encontrar en Carrara (1983, 1988) y Bernknopf et al (1988). En los años 90, con la oferta comercial y la ampliación de las capacidades de los SIG, han aumentado las aplicaciones sobre el análisis de susceptibilidad a los deslizamientos (Kingsbury et al., 1992; Alzate y Escobar, 1992; Lopez y Zink, 1991; Choubey y Litoria, 1990; Carrara et al 1990, 1991; Chacon et al., 1992). En 1993 Van Westen publicó un manual completo sobre la aplicación de un SIG en la zonificación de inestabilidad de laderas.

Los mapas de susceptibilidad responden a una necesidad, la de evaluar la propensión de las zonas no movidas o afectadas a presentar problemas. Esto es justamente lo que les diferencia de los mapas geomorfológicos, que representan básicamente las zonas movidas con todos sus atributos (Ayala Carcedo, 1992).

Ya desde la década de 1960 (Valentini, 1967) han ido apareciendo sucesivamente diversos tipos de mapas y métodos sencillos de Análisis de la Susceptibilidad (Brabb *et al.*, 1972 p.e., en base al % de superficie movida en cada unidad), que desde comienzos

de la década de 1970 empezaron a realizarse con la ayuda de sistemas informáticos (Thomas. 1974).

A partir de 1990 aproximadamente, la utilización de Sistemas de Información Geográfica (SIG), una herramienta que permitió el proceso integrado de la información, ha posibilitado la incorporación de tratamientos más sofisticados de los datos y posibilitado una confección más rápida y barata de los mapas a pesar del escaso carácter “amigable” de alguno de los sistemas más utilizados, lo cual se traducirá probablemente en un incremento significativo de su producción en las próximas décadas. (ESPAÑA, 2003)

4.5 EVALUACIÓN ESPACIAL MULTICRITERIO –EEM

La Evaluación Espacial Multicriterio (EEM) se define como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones, mediante la descripción, ordenación, jerarquización y selección de alternativas de acuerdo a ciertos postulados, los cuales a su vez dependen de los objetivos planteados (Gómez y Baredo, 2005).

La Evaluación MultiCriterio (EMC), es una metodología recomendable para los estudios de susceptibilidad a deslizamientos de tierra debido a que permite al usuario la manipulación de distintas coberturas cartográficas relativas al problema planteado y finalmente la obtención de un resultado satisfactorio en corto tiempo. Así mismo, se encuentra integrada a la tecnología de los SIG, permitiendo automatizar muchos de sus métodos. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) facilita llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005).

Éste utiliza una estructura jerarquizada de criterios (los factores del terreno) junto con la comparación de criterios por parejas para establecer pesos. Con este método se crea primero una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido por el número de factores de inestabilidad. A cada elemento de la matriz se le asigna un valor que representa la importancia relativa del factor de su fila con respecto al de su columna en cuanto a posible inestabilidad (Hervas, 2001).

El procedimiento de las jerarquías analíticas da mayor preponderancia al peso establecido en los criterios sobre los valores asignados a las alternativas en el proceso de toma de decisiones (Barredo, 1996). Esto significa que el índice de susceptibilidad obtenido depende fundamentalmente del peso asignado a los factores (evaluado mediante la razón de consistencia), y en menor medida de la asignación de pesos a cada clase dentro de un factor, por lo que la subjetividad y ausencia de control inherentes a éste último proceso no influye sobremanera en el cálculo del índice final (Hervas, 2001).

5 METODOLOGÍA

5.1 TIPO DE TRABAJO

Este estudio es una investigación de tipo explicativa que pretende conducir a un sentido de comprensión o entendimiento del porque se presentan deslizamientos de tierra. Apunta a la identificación de las causas de los deslizamientos. Por lo tanto, están orientados a la comprobación de hipótesis causales de tercer grado; esto es, identificación y análisis de las causales (variables independientes) y sus resultados, los que se expresan en hechos verificables (variables dependientes).

Los estudios de este tipo implican esfuerzos del investigador y una gran capacidad de análisis, síntesis e interpretación. Asimismo, debe señalar las razones por las cuales el estudio puede considerarse explicativo. Su realización supone el ánimo de contribuir al desarrollo del conocimiento científico".

Para definir este tipo de estudio como una investigación explicativa se tuvo en cuenta que diera respuesta a los siguientes interrogantes:

- Las hipótesis que se ha planteado están construidas con variables que a su vez contienen otras variables?
- Las hipótesis que se ha planteado establecen la manera como una determinada característica u ocurrencia es determinada por otra?
- Los resultados del trabajo pueden constituirse en un aporte al modelo teórico de la explicación de hechos y fenómenos que puedan generalizarse a partir del problema de investigación? (Vásquez, 2005).

5.2 FASE I – ESTUDIO PRELIMINAR

Como etapa inicial se hace el estudio del método y la metodología a implementar para obtener la zonificación de la susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la Cuenca del Rio Patía, entre ellos se hizo la selección del método de zonificación y la metodología a emplear para obtener el resultado esperado.

5.2.1 Metodología empleada

Para desarrollar los objetivos planteados se ejecuta el estudio en cuatro fases que engloban el proceso que se debe recorrer para obtener un estudio confiable de la zonificación de áreas susceptibles a deslizamientos de tierra. Se estructura una metodología basada en las variables a intervenir, las cuales dependerán de la disponibilidad de la información, la zona de estudio, lo eventos de deslizamientos presentados y las condiciones técnicas.

5.2.2 Método de zonificación

La selección del método de zonificación más adecuada dependió de factores como la disponibilidad y calidad de la información, los resultados planteados, escala de la zonificación, etc. Teniendo en cuenta que la escala de estudio es pequeña, la

susceptibilidad se evaluó con un método básico como el análisis heurístico, el cual permite obtener una zonificación preliminar de susceptibilidad.

El método Heurístico se basa en la asignación subjetiva de pesos o valores a los factores relevantes y a las subclases para obtener una suma de susceptibilidad a amenaza relativa. Se pueden realizar dos tipos de análisis heurísticos, mediante el análisis geomorfológico y mapa de combinación cualitativo. Por la disponibilidad de la información de la zona de estudio se optó por el método basado en combinación de mapas cualitativos, en estos mapas se asignan pesos en una serie de mapas de parámetros. Las condiciones del terreno de un gran número de sitios se suman de acuerdo con estos pesos para obtener valores de susceptibilidad que se puedan agrupar en clases. En ese sentido, el análisis heurístico requiere un grado de subjetividad, lo cual no permite realizar una comparación de estudios realizados por diferentes autores de cualquier área de estudio.

5.2.3 Recopilación de la información

Esta etapa se constituye en la puerta exploratoria y de análisis de requerimientos de información relacionada con la susceptibilidad de deslizamientos de tierra. Para desarrollar esta fase se consultan y obtienen mapas temáticos, estudios físicos de la zona de estudio, sensores remotos y eventos de deslizamientos en la zona.

Así mismo, se realizó la delimitación del área de estudio, delimitando los municipios que corresponden al Departamento del Cauca.

5.3 FASE II - PLANIFICACIÓN Y DISEÑO

Para la generación del mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra se aplicó un enfoque heurístico, en el cual se emplearon variables cualitativas y cuantitativas, dentro de las cualitativas se encuentra la geología, geomorfología, fallas y cobertura de la tierra y dentro de las variables cuantitativas se utilizó la pendiente que se deriva del modelo digital de elevación (DEM) y la precipitación que se crea a partir de una interpolación.

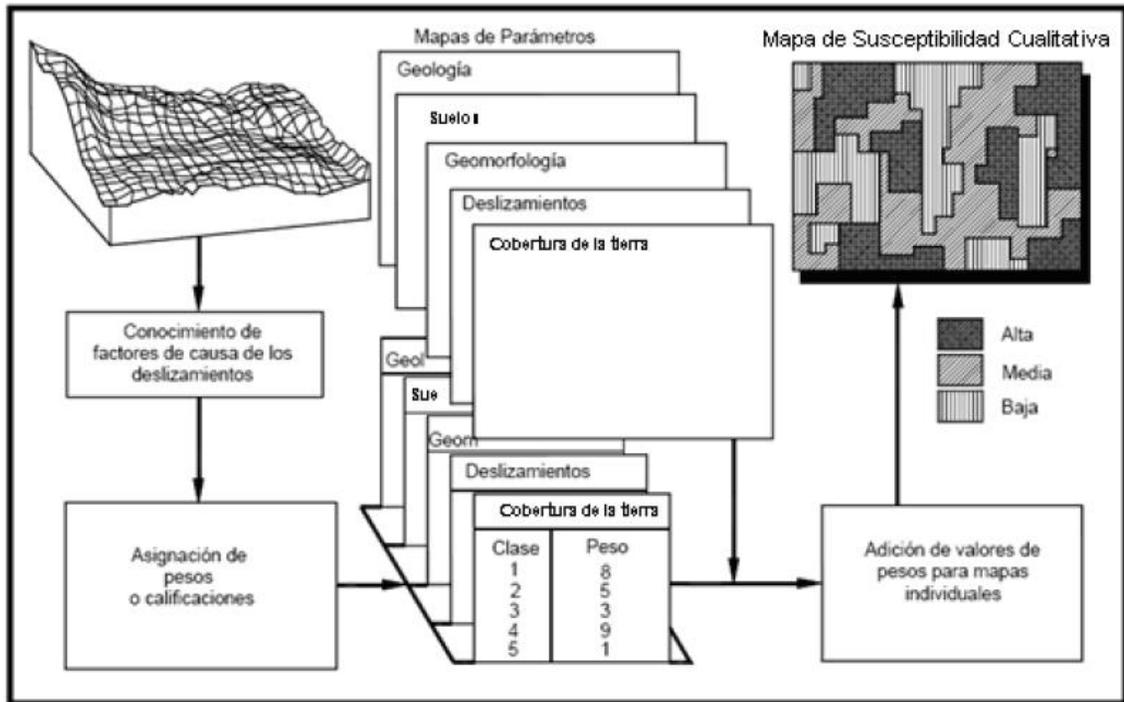
Se aplicó un análisis espacial mediante un SIG, donde el núcleo esencial es el análisis simultáneo de las características temáticas y de la componente espacial de los objetos geográficos (Bosque et al., 1994) y la evaluación multicriterio (EMC) a través del Proceso analítico jerárquico AHP. Así, la integración de estos dos elementos (SIG y EMC) facilitó llevar a cabo procedimientos simultáneos de análisis en cuanto a los dos componentes del dato geográfico: espacial y temático (Gómez y Barredo, 2005).

Dentro de las metodologías que actualmente ofrece la literatura para estimar la susceptibilidad a deslizamientos de tierra, se encuentra el método Mora-Vahrson¹, la cual permitió obtener una zonificación de la susceptibilidad del terreno a deslizarse, mediante la combinación de la valoración y peso relativo de diversos indicadores morfodinámicos, la cual es sencilla de implementar en un sistema de información geográfico (SIG).

¹ Mora, Sergio & Vahrson, Wilhelm (1991). Modelo Determinación "A Priori" de la Amenaza de Deslizamientos en Grnades Areas Utilizando indicadores Morfodinámicos. Escuela Centro Americana de Geología, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

La metodología permite desarrollar una aproximación del grado de susceptibilidad al deslizamiento de la región estudiada y de los fenómenos que influyen mayormente esta condición (Mora, R. et al., 1992). Es valiosa en la identificación de áreas críticas y útil en la orientación de prioridades en cuanto al destino de los recursos destinados hacia estudios geotécnicos de detalle (Mora, R. et al., 1992).

Figura No. 2 Uso de SIG para el análisis heurístico de susceptibilidad por movimientos en masa



Fuente: SGC

Todos los parámetros se deben calificar en términos de susceptibilidad y para el presente estudio se definieron cinco rangos de clasificación como se muestra en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1 Grados de susceptibilidad

CATEGORIA DE LA SUSCETPIBILIDAD	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD
1	Muy baja susceptibilidad
2	Baja susceptibilidad
3	Media susceptibilidad
4	Alta susceptibilidad
5	Muy alta susceptibilidad

Fuente: SGC

Mora – Vahrson utiliza en su modelo cinco factores: tres intrínsecos o de susceptibilidad y dos externos o de disparo.

De acuerdo al área de estudio, el modelo se modificó con los siguientes parámetros intrínsecos del terreno, los cuales se constituyen elementos pasivos como geología (g), geomorfología (geo), pendiente (p) y cobertura vegetal (cv).

$$P_i: g + \text{geo} + p + cv$$

Como parámetros de disparo o externos, los cuales corresponden a aquellos que inducen los deslizamientos de tierra en la cuenca como la precipitación (pr) y los sismos que pueden ser causados por fallas geológicas (f).

$$P_d: pr + fg$$

La combinación de los parámetros se desarrolla mediante la siguiente ecuación:

$$S: P_i + P_d$$

Combinación lineal ponderada (WLC)

Una vez los criterios o variables de calificación han sido estandarizados o parametrizados y sus respectivos pesos han sido establecidos, para complementar el método Mora-Vahrson se hace una composición con el método de la combinación lineal ponderada o WLC por sus siglas en inglés (Voogd, 1983), es el más simple método para la agregación de los criterios de evaluación en un criterio de calificación. Así, según el método WLC, el índice de susceptibilidad a movimientos en masa (ISD) se obtiene de la suma de cada criterio de evaluación multiplicado por su respectivo peso (obtenido de la calificación AHP), es decir:

$$IS = \sum_{i=1}^n c_i \cdot v_i$$

Dónde:

- IS = Índice de Susceptibilidad
- n = Número de variables
- c = Criterio de evaluación
- v = Peso de cada variable

Para aplicar la ecuación se debe asignar un peso porcentual a cada parámetro intrínseco y de disparo, lo cual se estima de acuerdo a la influencia de cada parámetro en la presencia de deslizamientos de la cuenca, por lo tanto para la zona de estudio se asignó los valores de la siguiente tabla.

Tabla No. 2 Peso porcentual de los parámetros

TIPO	PARAMENTRO	PESO PORCENTUAL (%)
Intrínsecos	Geología	30
	Geomorfologia	20

	Pendiente	30
	Cobertura vegetal	20
Disparo	Precipitación	70
	Fallas geológicas	30

Fuente: elaboración propia

5.4 FASE III - REALIZACIÓN

Esta fase corresponde a la aplicación de la planificación y diseño que incluye elementos como selección de la información temática básica a utilizar, definición y parametrización de las variables y procesamiento de la información una vez ha sido estructurada. Ésta fase se constituye en el insumo básico para alcanzar el objetivo del proyecto.

5.4.1 Información temática básica

La zonificación por deslizamientos de tierra, requiere contar con mapas de información cartográfica básica, para lo cual es importante tener una correcta definición del área, y para ello se debe tener en cuenta principalmente el objetivo final del estudio, los alcances y los recursos con que se cuenta. Entre otros se debe contar u obtener y preparar la cartografía básica o topográfica del área en formato digital y análogo.

Para elaborar el mapa de susceptibilidad por deslizamientos de tierra fue necesario contar con Modelos Digitales de Elevación –DEM y mapas temáticos que consignaran información relacionada a la geología general, geomorfología, cobertura de la tierra y fallas de la cuenca hidrográfica. La información se obtuvo de entidades como el Servicio Geológico Colombiano –SGC, Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC, Corporación Autónoma Regional del Cauca –CRC, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM y del Sistema de información de Movimientos en Masa del Servicio Geológico Colombiano.

5.4.2 Definición y parametrización de variables

En relación con el objetivo general planteado, se tiene en cuenta una serie de variables que pueden estar involucradas en la generación de procesos de deslizamientos de tierra, tales como, la geología de superficie, la pendiente del terreno, la geomorfología, la vegetación, la distribución temporal de las precipitaciones y las fallas tectónicas. Estas variables deben ser ponderadas de acuerdo al método de las jerarquías analíticas, a juicio de expertos y a una sustentación teórica, que determinaría su proclividad a generar procesos de deslizamientos de tierra.

Para realizar la parametrización se tiene en cuenta un elemento de tipo semicuantitativo como un catálogo georreferenciado de deslizamientos que fue suministrado por la Corporación Autónoma Regional del Cauca –CRC. El catálogo se obtuvo mediante trabajos de campo, sensores remotos y/o de fuentes confiables; el cual fue de gran utilidad para validar y ajustar el grado la susceptibilidad de cada una de las variables.

Así mismo, para la determinación de los pesos ponderados de las variables se realiza a través de la calificación por panel de expertos, en la cual cada experto, en una matriz,

compara por pares las variables de cada tema (Ej método PHP), obteniendo de esta manera la ponderación de las variables. Para realizar esta ponderación se tuvo en cuenta las ponderaciones establecidas en el Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano del año 2013.

A continuación se describe el proceso de ponderación de cada una de las variables consideradas las cuales inciden en la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa.

- *Geología – litología*

El marco geológico de la Cuenca del Rio Patía se encuentra dentro el flanco occidental de la Cordillera Central y el flanco oriental de la cordillera occidental. Las unidades geológicas de trabajo se basan en los mapas geológicos a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano –SGC que para el área de estudio se utilizaron las planchas 342, 363, 364, 386, 387, 410 y la 411. En la cuenca se distingue el “Valle del Patía” o depresión del Patía, la cual forma la parte sur del valle interandino Cauca – Patía y se localiza entre las fallas de Cauca – Almaguer al este y la falla Calí – Patía al Oeste y se extiende por la cuenca rocas aflorantes y discordantes sobre el basamento de tipo molásico terciario, recubiertos localmente por depósitos vulcano – sedimentarios del terciario – cuaternario.

Para los municipios que conforman la Cuenca no existen reportes de amenazas tectónicas, tales como sismos, terremotos y erupciones volcánicas, por lo tanto dentro del componente geológico se tuvo en cuenta la litología y el sistema de fallas las cuales tienen más influencia en la presencia de deslizamientos de tierra.

En el área que ocupa la cuenca Rio Patía, afloran rocas pertenecientes a unidades litológicas de edades que van desde el paleozoico al cenozoico tardío, cuya descripción específica se constata en los estudios relacionados, una aproximación de la columna litológicas se describen a continuación.

Complejo Arquía. El Complejo Arquía aflora como una franja alargada, estrecha y discontinua de esquistos anfibólicos, cuarzosericíticos, cloríticos y talcosos, y cuarcitas. Se localiza entre las fallas Cauca Almaguer y Silvia Pijao, en la zona de colisión de basamento metamórfico de la Cordillera Central, siendo considerado como parte de un "melange" conformado por franjas de bloques discontinuos y delgados que involucra retazos de corteza continental, entre las Fallas San Jerónimo y Cauca - Almaguer.

Dentro de este Sistema, la Falla Cauca-Almaguer (Maya y González, 1995; Nivia, 1996) es considerada como el límite o sutura del Cretácico Inferior (McCourt *et al.*, 1984).

Complejo Arquía se subdivide en 7 unidades principales así: K1-Mbg6, Nga, Ngd, Ngge, NgQe, Qc y Qcc.

Complejo Quebradagrande. El complejo que tiene como límite oriental la falla de San Jerónimo y como límite occidental la falla de Pijao – Silvia, se compone de Basaltos y andesitas intercalados con arenitas lodosas líticas, lodolitas carbonosas, arenitas

feldespáticas, calizas y limolitas silíceas. En algunos sectores, esta unidad se encuentra cubierta por depósitos volcánicos y de flujos de lodo del Terciario – Cuaternario.

Complejo Barroso-Amaime. Basaltos toleíticos, y doleritas, picritas, tobas básicas y brechas volcánicas. Este complejo está constituido por las unidades lito estratigráficas denominadas Formación Barroso y Formación Amaime. Consiste en una secuencia de rocas que incluye basaltos toleíticos, y doleritas, picritas, tobas básicas y brechas volcánicas y escasos niveles de sedimentitas y donde predomina el componente ígneo - básico.

El Complejo está ampliamente distribuido en los bordes occidental y oriental de las cordilleras Central y Occidental respectivamente y en el basamento de la depresión interandina de estas dos cordilleras (Depresión Cauca Patía). El límite oriental de la unidad es la Falla Cauca-Almaguer, que lo pone en contacto con el Complejo Arquía y en el occidental no se ha definido, sin embargo, en muchos sitios es tectónico.

Complejo Barroso – Amaime está conformada por una unidad principal la K2-Vm7.

Complejo Ígneo de Betulia. Formación que se compone de pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos. Este cuerpo aflora a lado y lado del Río Pancitará, se compone de masas de rocas plútonicas diorítica – tonalíticas de grano medio y textura inequigranular, pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos. La unidad corta al complejo Arquía y a la formación Esmita. El Complejo ígneo de Betulia está conformado por una unidad principal la n4n6-Hi.

Complejo Ígneo de Ciruelal. Las rocas de este complejo afloran hacia las quebradas ciruelal y el Río Putís (según Orrego y Acevedo, 1993). El complejo en general presenta una forma alargada y está asociado, en parte, a la falla Cauca – Almaguer aunque posteriormente (Orrego eal, 1994) aparecen los mejores afloramientos; se encuentran en la Quebrada Ciruelal y en las cabeceras de la quebrada el Bujío. En algunas áreas intruye rocas del complejo Arquía y del granitoide Cataclizado de Bellones donde presenta un metamorfismo de contacto. En otros sitios la roca presenta alteración hidrotermal.

Formación Esmita. Está constituida por una secuencia de Arcillolitas, limolitas, arenitas y conglomerados en la base (aunque posteriormente fueron cuestionadas, Orrego eal, 1994), areniscas lodosas de color gris verdoso en la parte media y conglomerados con cantos de chert, basalto, sedimentaria, ígnea porfirítica y material volcánico andesítico en la parte superior. Toda la secuencia presenta color gris verdoso y negrusco y meteoriza a colores rojo hígado, rojo ladrillo y violáceos.

La formación contiene abundantes microfósiles y macrofósiles, y con base en ellos se les asignó una edad Mioceno.

Formación Mosquera. Es una secuencia predominantemente de conglomerados, arenitas lodosas líticas, cuarzoarenitas, limolitas, shales y carbones. Se presentan intercalaciones de areniscas de cuarzo, friables; son comunes los cambios laterales de las areniscas a conglomerados, se presentan intercalaciones de limolitas grises. En los conglomerados basales que suprayacen rocas plutónicas pre-terciarias, se encuentran cantos de rocas plutónicas, bien redondeados, con los feldespatos y minerales ferromagnesianos muy

alterados por meteorización y areniscas de cuarzo, chert, cuarcita y sericita. Hacia la parte media y alta de la Formación típicamente se presentan cintas y mantos de carbón de forma lenticular, algunas de las cuales son explotables, como las de la región del Mayo (Patla), la región de Baraya y en sectores del río Timbio

Formación Popayán, Conjunto Superior. Esta unidad es constituida por flujos volcanoclásticos constituidos por piroclastos y epiclastos de composición andesítica. Torres et al. (1990 en Barbosa, 2003), caracterizan litológica y estratigráficamente esta formación y la subdividen en tres conjuntos (inferior, medio y superior) y posteriormente la subdividen en siete miembros (Polindara, Sombrerillo Julumito, Cajiblo, Palacé, Caldone y la Venta).

En general, todos los miembros de la Formación Popayán están relacionados con los diferentes ciclos de actividad eruptiva de la caldera de Gabriel López y se le asigna una edad Plioceno-Cuaternaria, con base en dataciones radiométricas.

Rocas ígneas

Gabros de La Despensa. Cuerpo densamente fracturado, asociado tectónicamente a la Falla Cauca-Patía en el municipio de Mercaderes. Es una roca de grano fino a medio, verde oscura, de textura holocristalina. Estas rocas ígneas varían de olivínicos a cuarzogabros, a través de noritas y gabros hornbléndicos.

Granitoide de Vellones. Roca ígnea intrusiva de composición granítica. Engloba las distintas composiciones de las rocas conocidas como granitos. Esta unidad está constituida por una ortogneises graníticos. Se concentran sobre las cuencas Pancitará y Quilcace-Esmita.

Intrusivo hipoabisal de Dominical. Rocas ígneas intrusivas que han cristalizado bajo condiciones intermedias entre las plutónicas y las volcánicas. Unidad litológica de rocas pórfidos de plagioclasa y cuarzo

Plutón de Jejenes. Unidad localizada sobre la subcuenca Timbio Bajo. Su unidad litológica está conformada por rocas ígneas plutónicas como las granodioritas, tonalitas y cuarzdioritas.

Unidades de Roca

Secuencia de Rocas Ultramáficas de Guayabillas. El conjunto de las Plutonitas Ultramáficas de Guayabillas conforma el Complejo de los Azules. Los estudios que definieron esta unidad describen el Complejo de Los Azules, con límites fallados con clara complejidad tectónica y estratigráfica que se presenta como una franja alineada hacia el noreste y cuyos límites tectónicos son las fallas de Mosquerillo al oeste y la Falla de El rodeo al este. De acuerdo a Espinosa (1993), la posición estratigráfica de las unidades del Complejo, de base a techo, sería plutonitas, lavas ultramáficas y en el techo las vulcanitas máficas. Estas rocas, sufrieron un metamorfismo de bajo a muy bajo grado.

El Conjunto de Plutonitas Ultramáficas de Guayabillas (K2-Pu7 corresponden a harzburgitas, lertzolitas, dunitas y websteritas en interbandeamientos cumúlíticos con gabronoritas. Las dunitas se encuentran serpentinizadas.

Stock de Arrayanes La Playa. Aflora en dos cuerpos aislados con forma de domo en la vereda Arrayanes y en la playa de San Jorge (Vereda la Playa). Corresponde a una roca con textura porfirítica fina, donde macroscópicamente se aprecian pequeños cristales de cuarzo dentro de una pasta de fondo de color rosado con importantes signos de caolinización. Estas unidades afloran a lo largo de la vía La Playa de San Jorge – Guayabillas (Subcuenca San Jorge), conformando fuertes pendientes, el macizo se encuentra medianamente diaclasado y presenta buenas condiciones de estabilidad.

Stock de Hato Viejo. Este cuerpo tonalítico intruye las rocas de la formación Esmita localizadas en el cerro El Rosario, de textura porfirítica holocristalina hipidiomórfica y componentes de cuarzo, plagioclasa, moscovita, hornblenda, magnetita, apatito y circón; cristales de alteración son la epidota, sericita y calcita.

Stock de La Chapa. Unidad conformada por rocas cuarzodioritas, tonalitas, dioritas y granodioritas. Se ubica al este del municipio de Balboa.

Stock de Lerma. Complejo de rocas conformado por Pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos. Se localiza al norte del municipio de Bolívar y sur del municipio de Sucre.

Stock de Medina (n2n3-Hi). Es un cinturón tonalítico alineado en el rumbo de la falla de Mosquerillo Y El Rodeo, e intruye las rocas de los complejos de Los Azules y la formación Mosquera.

Stock de Puntarco. Complejo rocoso ubicado al este del municipio de Almaguer. Conformado por unidades litológicas de pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos

Stock de Yacuanas. Complejo rocoso ubicado al oeste del municipio de Almaguer. Conformado por unidades litológicas de pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos

Stock del Cobre-Bolívar. Complejo rocoso ubicado en el municipio de Bolívar. Conformado por unidades litológicas de pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos

Stocks de Zarzal y Guineal. Rocas ígneas ubicadas al este del Municipio de Mercaderes. Conformado por unidades litológicas de pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos

Tonalita de Sucre. Rocas ígneas ubicadas al sur del Municipio de Sucre. Conformado por unidades litológicas de pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos

Vulcanitas de Galeón. Complejo rocoso ubicado al norte de la Cuenca Río Patía. Conformado por unidades litológicas como tobas intercaladas con aglomerados, brechas, conglomerados, lodolitas y arenitas.

Depósitos

Depósitos de terrazas (Qt). En las principales corrientes aluviales se observan niveles de terrazas (2 y 3), los cuales se presentaron en diferentes períodos de actividad torrencial (aluvio - torrencial), potentes depósitos inconsolidados compuestos por gravas gruesas a finas, arenas y diferentes niveles arcillosos.

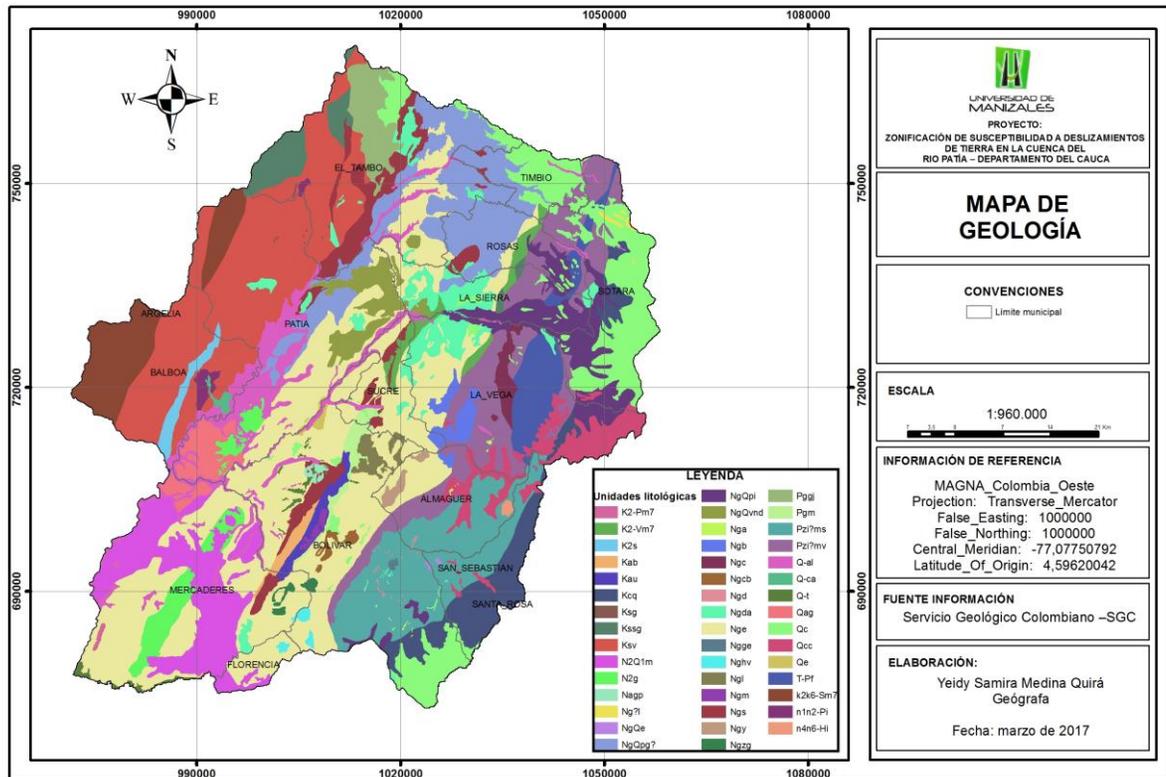
Depósitos piroclásticos de caída (Qcc): el depósito se conforma por material volcánico de caída de varias capas con piroclastos de tamaños Lapilli y ceniza. En algunos sitios el espesor llega hasta 18m, y la composición es principalmente pomácea con un bajo porcentaje de detritos de feldespato. Este material de caída se encuentra esparcido por toda el área, pero en el mapa Geológico de la plancha 387 solo fue cartografiado en aquellas zonas planas donde el espesor es más o menos considerable, razón por la cual en muchas áreas donde existe material volcánico de caída no se mostró en el mapa. Buenos afloramientos de la unidad aparecen en las carreteras Pancitará – Caserío Valencia, Pancitará – Almaguer, en las cabeceras de los ríos Guachicono y Negro, en los alrededores de Santiago y la Laguna La Magdalena. Orrego y Acevedo (1984) le dieron a la formación una edad del terciario – cuaternario que va desde el Plioceno hasta el Holoceno.

Depósitos Glaciares y Aluviales (Qfg, Qal): los depósitos glaciares (Qfg) aparecen hacia las cimas más altas de la zona oriental del río Caquetá; en el Municipio de La Vega se presentan en pequeñas áreas en el sector de mayor altitud hacia el oriente del área municipal. Los geólogos identificaron depósitos morrénicos y unos que podrían tener un origen mixto, glaciar y fluvial. La ubicación se realizó mediante fotografías aéreas, por lo cual son desconocidas las características litológicas y físicas. A estos depósitos de origen glaciar – fluvial se les asigna una edad general del cuaternario.

Coluviones (Qc): Se manifiestan como depósitos de carácter local y caótico de materiales angulares, de acumulación de ladera. Básicamente se asocian a antiguos deslizamientos y/o zonas de cambios bruscos de pendiente.

En la Figura No. 3 Mapa de geología se representa la distribución litológica de la Cuenca, en la cual se puede identificar una predominancia en los tipos de

Figura No. 3 Mapa de geología



Fuente: elaboración propia

La calificación de las unidades se realiza de acuerdo a la susceptibilidad, tal calificación se basa en el ambiente de formación, tipo de material, ubicación topográfica y su dinámica. A continuación se representan los valores asignados para las unidades litológicas correspondientes a Depósitos.

Tabla No. 3 Calificación de los depósitos

Ambiente	Depósitos	Equivalente geológico	Geoforma asociada	Calificación
Fluvial y lagunas	Depósitos de cauce y llanura aluvial	Q-al	Depósitos aluviales y de llanuras aluviales	1
Denudacional	Depósitos coluviales	Qc	Depositos coluviales	5
Aluvial - gravitacional	Conos aluviales	Q-ca	Abanicos aluviales y depósitos coluviales	1
Volcánico	Depósitos piroclásticos de caída	Qcc	Depósitos conformados por material volcánico de caída de varias capas con piroclastos de tamaños Lapilli y ceniza	3

Eólico	Depósito de arenas	Qe	Depósitos de epiclástitas aterrazados, gravas, arenas y limos	2
Fluvial y Lagunar	Depósitos de terraza aluvial	Q-t	Terrazas aluviales	2

Fuente: SGC

La cuenca se conforma adicionalmente de rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas, las cuales se han correlacionado en formaciones previamente descritas. A continuación se especifican las unidades litológicas de cada grupo.

Rocas Sedimentarias. Está conformado por rocas areniscas grauvaquicas, limolitas, chert, brechas, tobas, basaltos amigdalares o almohadillados y diabasas, Flujos piroclásticos y epiclástitas, tobas y gravas, depósitos de epiclástitas, arenas, limos y lodos, conglomerados, arenitas lodosas líticas, cuarzoarenitas, limolitas, shales y carbones, gravas, arenas pumáceas y arcillas blancas que constituyen abanicos.

Este grupo se conforma por el miembro sedimentario Complejo Quebradagrande (Kcq), Vulcanitas de Galeón (N2g), Formación Mercaderes (N2Q1m), Formación Galeón (NgQe), Formación Mosquera (Pgm) y Abanico de Galindez (Qag).

Rocas ígneas. Dentro del grupo de las rocas ígneas se incluyen las máficas y ultramáficas, intrusivas o extrusivas. Existe en la cuenca gran variedad de rocas ígneas tales como gabros que varían de olivínicos a cuarzogabros, a través de noritas y gabros hornbléndicos; secuencia de rocas basálticas El Tablón: lavas almohadilladas, diques y tobas; harzburgitas, lerzolitas, dunitas y websteritas en interbandeamientos cumulíticos con gabronoritas, las dunitas se encuentran serpentinizadas; gabros; cuarzodioritas, tonalitas, dioritas y granodioritas; pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos; pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos; intrusivos menores de andesita y diorita; rocas ígneas intrusivas y lavas; pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos; cuerpos Intrusivos Menores de dacita o tonalita; pórfidos dacíticos; rocas ígneas intrusivas y lavas; lavas andesíticas; pórfidos dioríticos; rocas tonalíticas; pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos; granodioritas, tonalitas y cuarzodioritas.

Gabros de La Despensa (K2-Pm7), Complejo de los Azules (K1-Pm7), Complejo de los Azules (Kab), Stock de La Chapa (n1n2-Pi), Stock de Puntarco (n4n6-Hi), Stock de Arrayanes La Playa (Nagp), Complejo Ígneo de Betulia Ngb), Complejo Ígneo de Ciruelal (Ngc), Stock del Cobre-Bolívar (Ngcb), Stocks Cerro Gordo - La Esperanza (Ngge), Stock de Hato Viejo (Nghv), Stock de Lerma (Ngl), Stock de Medina (Ngm), Stock de Sucre (Ngs), Stock de Yacuanas (Ngy), Stocks de Zarzal y Guineal (Ngzg) y Granodiorita de jejenes (Pggj).

Rocas metamórficas. Dentro de las rocas con bajo grado de metamorfismo tenemos los esquistos anfibólicos con intercalaciones de esquistos negros y cuarcitas del Complejo Arquía (Pzi?ms - Pzi?mv).

Asignación de valores del parámetro geología

Para la asignación de valores al parámetro asociado a litología de acuerdo al Método Mora & Vahrson, fueron necesarias las capas digitales en Shape file de la distribución de las unidades litológicas, las cuales fueron suministradas por el Servicio Geológico Colombiano. Así mismo, para identificar el grado de susceptibilidad se hace una relación con el catálogo de deslizamientos de tierra de la CRC, el cual da a conocer las el grado de susceptibilidad. Para complementar la calificación se hace revisión de los estudios de amenazas naturales de los planes de ordenamiento territorial de cada uno de los municipios que conforman la Cuenca. A continuación se representan los valores asignados para las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Tabla No. 4 Valoración del parámetro geología

Símbolo Unidad	Descripción	Calificación
k2k6-Sm7	Lodolitas; arenitas lodosas y arenitas líticas; cherts; calizas; tobas, y aglomerados. Localmente cataclásitas.	5
K2-Pm7	Gabros que varían de olivínicos a cuarzogabros, a través de noritas y gabros hornbléndicos.	2
K2s	Limolitas, chert y limolitas calcáreas	3
K2-Vm7	Limolitas, chert gris y rojizo, grauvacas, basaltos, almohadillados, tobas basicas y diabasas.	3
Kab	Secuencia de rocas basálticas El Tablón: lavas almohadilladas, diques y tobas.	3
Kau	Harzburgitas, lertzolitas, dunitas y websteritas en interbandeamientos cumúlíticos con gabronoritas. Las dunitas se encuentran serpentinizadas.	3
Kcq	Areniscas grauvaquicas, limolitas, chert, brechas, tobas, basaltos amigdalares o almohadillados y diabasas	4
Ksg	Gabros	1
Kssg	Secuencia del Rio Guabas (posiblemente formaciones Marilopito	5
Ksv	Basaltos con estructuras almohadilladas (Posiblementecorresponde a la unidad de flujos y silos basalticos de Timba), diabasas y en menor proporción limolitas y chert.	4
n1n2-Pi	Cuarzodioritas, tonalitas, dioritas y granodioritas	1
N2g	Flujos piroclásticos y epiclástitas.	3
N2Q1m	Rocas piroclásticas (tobas) y epiclásticas (gravas)	1
n4n6-Hi	Pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos	2
Nagp	Pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos	2
Ng?l	Lavas andesíticas	2
Nga	Intrusivos menores de andesita y diorita	1
Ngb	Rocas ígneas intrusivas y lavas	5
Ngc	Pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos	5
Ngcb	Pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos	3
Ngd	Cuerpos Intrusivos Menores de dacita o tonalita	2
Ngda	Pórfidos dacíticos	2

Nge	Conglomerados y areniscas cuarzosas, capas fosilíferas, limolitas, shales" carbonaceos y mantos de carbón."	3
Ngge	Rocas ígneas intrusivos y lavas	2
Nghv	Rocas ígneas intrusivas y lavas	2
NgI	Lavas andesíticas	2
Ngm	Pórfidos dioríticos	2
NgQe	Depósitos de epiclástitas, gravas, arenas, limos y lodos.	3
NgQpg?	Conglomerados, areniscas, limolitas, intercalaciones de rocas volcánicas(ignimbritas y lahares)	3
NgQpi	Ignimbritas o flujos piroclásticos y lahares	4
NgQvnd	Ignimbritas o flujos piroclásticos y lahares	1
Ngs	Rocas tonalíticas	2
NgY	Pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos	4
Ngzg	Pórfidos dioríticos, granodioríticos y tonalíticos	2
Pggj	Granodioritas, tonalitas y cuarzodioritas.	3
Pgm	Conglomerados, arenitas lodosas líticas, cuarzoarenitas, limolitas, shales y carbones.	1
Pzi?ms	Esquistos anfibólicos con intercalaciones de esquistos negros y cuarcitas	4
Pzi?mv	Esquistos anfibólicos con intercalaciones de esquistos negros y cuarcitas	4
Qag	Gravas, arenas pumáceas y arcillas blancas, que constituyen abanicos	1
T-Pf	Ortogneises graníticos	5

Fuente: elaboración propia

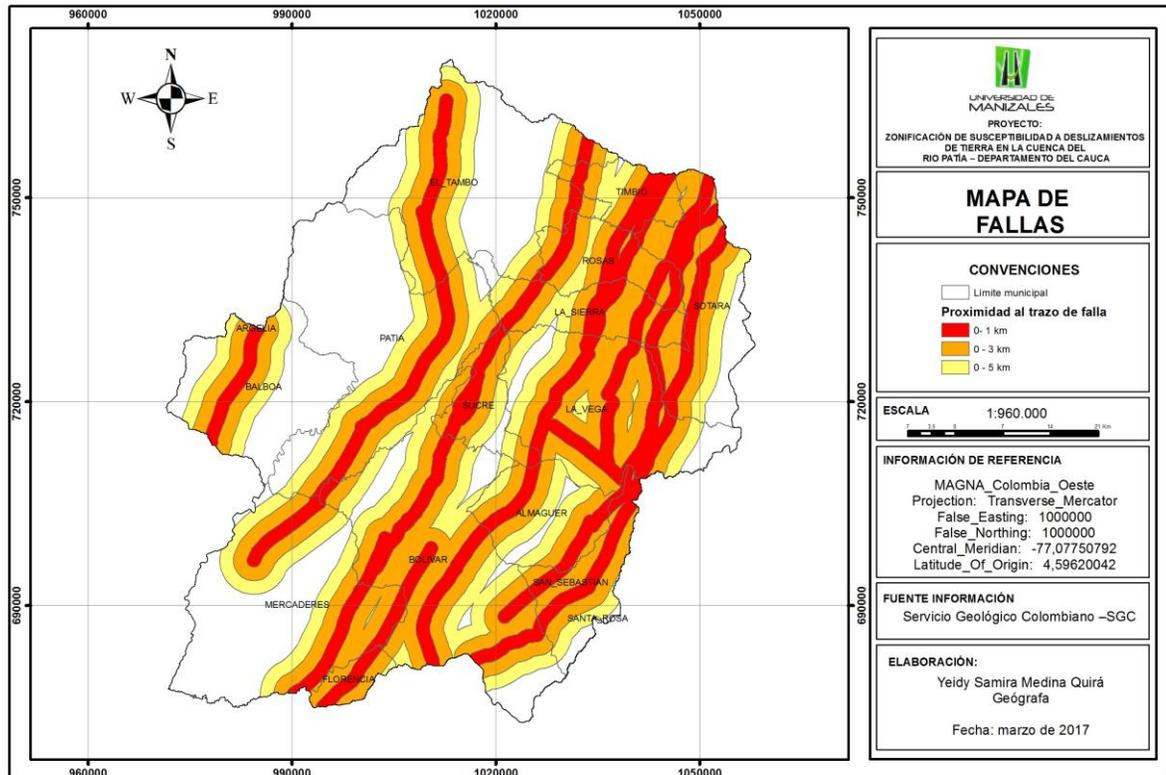
- *Geología estructural - fallas*

Radbruch-Hall (1976) observó que las áreas donde existe alta densidad de fallas son zonas de incidencia particularmente alta en la potencial ocurrencia de procesos de deslizamientos de tierra. De igual forma, Varnes (1984) llegó a la conclusión que el grado de fracturamiento y de cizallamiento de un macizo rocoso juega un papel importante en la determinación de la estabilidad de taludes o laderas. En consecuencia, la tectónica aporta en la inestabilidad de las laderas por la presencia de estructuras geológicas: fracturas, fallas, diaclasas y juntas. La estrecha relación entre zonas de actividad tectónica y deslizamientos, está confirmada en el territorio nacional por la multiplicidad de eventos reportados y diagnosticados en las zonas de influencia directa de los corredores de falla activos, como bien se puede apreciar en la cuenca.

En la zona de estudio sobresalen fallas como la Falla de Baraya, Falla de Cauca-Almaguer, Falla de Cauca-Patía, Falla de Guayabillas, Falla de Julumito, Falla de Las Estrellas, Falla de Manchabajoy, Falla de Mosquerillo, Falla de Pancitará, Falla de Patía-El Bordo, Falla de Silvia-Pijao, Falla de Taminango-Mosquerillo y Falla del Crucero Occidental, las cuales corresponden a aquellas que han generado procesos de inestabilidad de taludes evidenciándose con la presencia de deslizamientos.

Teniendo en cuenta las fallas geológicas presentes en área de estudio se realizó una ponderación de las diferentes zonas del área según la cercanía de los deslizamientos a la falla geológica otorgando una calificación de uno (1) a las zonas que se encuentran entre los 0 m a 1000 m, tres (3) a las zonas que se encuentran a una distancia de 0 m a 3000 m de la falla geológica, y cinco (5) a las zonas que se encuentran de 0 m a 5000 m de la falla geológica, esta clasificación se puede visualizar en la Figura No. 4.

Figura No. 4 Proximidad de deslizamientos al trazo de fallas geológicas



Fuente: elaboración propia

De acuerdo al análisis realizado se pudo identificar que muchas de las fallas siguen los lineamientos de los contactos litológicos, lo cual permitió determinar el rango de proximidad al trazo de la fallas.

La información digital de las fallas fue suministrada por Servicio Geológico Colombiano a escala 100.000 y de las cuales se seleccionaron aquellas que generan inestabilidad de taludes (No se tuvo en cuenta fallas de zona plana). Seguidamente con el Shape file de fallas, se aplicaron 3 áreas de influencia o los llamados buffer, a los cuales se les asigna un radio de 1, 3 y 5 kilómetros con la herramienta Multiple Ring Buffer de ArcGis, asignando una susceptibilidad Baja, media y alta como se describe en la siguiente tabla.

Tabla No. 5 Calificación proximidad a fallas geológicas

Proximidad al trazo de falla	Susceptibilidad	Calificación
0 - 5 km	Baja	1
0 - 3 km	Media	3
0 - 1 km	Alta	5

Fuente: elaboración propia

- *Geomorfología*

La variable de geomorfología de la Cuenca del Río Patía se determinó a través del mapa de geomorfología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC, a escala 1:100.000 por el cual se pudo determinar las características de la disposición y estructura de los materiales del suelo y componentes geomorfológicos de la región del Patía.

Establecer la forma de la superficie terrestre en la zona de estudio, es necesaria para realizar el análisis de la estabilidad del talud y el posible evento de deslizamientos de tierra, la forma del relieve y las pendientes de la zona de estudio se identificaron a través de un mapa geomorfológico de la zona, para también modelar el comportamiento del terreno.

Los procesos geomorfológicos, así como las actuales características morfoestructurales, son el resultado no solo del levantamiento de la cadena andina que bordea la parte Occidental de Suramérica sino además de la intensa actividad volcánica ocurrida en la Cordillera Central y los fuertes movimientos tectónicos que dieron origen al acomodamiento general del relieve, al cual han contribuido diferentes procesos de denudación de todo tipo; glaciárica, fluvio gravitacional, estructural, fluvio erosional y agradacional; presentes indistintamente en las tres provincias fisiográficas contrastantes que componen la zona de estudio como son: la cordillera Occidental, Cordillera Central y la Depresión del Patía.

Para realizar la calificación de las geoformas de la Cuenca del Río Patía se hace una relación entre la litología, el paisaje y el tipo de relieve que le dan la forma al terreno. Así mismo, se hace la relación de la incidencia de los deslizamientos de tierra presentes en la zona y se calcula el peso para cada categoría geomorfológica. En la siguiente tabla se clasifican los valores asignados para cada característica del terreno.

Tabla No. 6 Calificación del parámetro geomorfología

Tipo Relieve	Litología	Símbolo	Paisaje	Calificación
Abanicos-columbales (ac)	Depósitos coluvio aluviales	MS-ac	Montaña Estructural-erosional (MS)	1
Abanicos-terrazza (at)	Depósitos aluviales finos con inclusiones de cantos	VA-at	Valle aluvial (VA)	1

Colada de soliflucción (cx)	Rocas metamórficas (esquistos)	MH-cx3	Montaña fluvio-gravitacional (MH)	1
Colada de soliflucción (cx)	Rocas mixtas con predominio de areniscas y pórfidos	MH-cx4	Montaña fluvio-gravitacional (MH)	1
Colada de soliflucción (cx)	Rocas ígneas que alternan con materiales metamórficos	MH-cx2	Montaña fluvio-gravitacional (MH)	1
Colada de soliflucción (cx)	Capas de cenizas volcánicas discontinuas que cubren diabasas, esquistos y pórfidos	MH-cx1	Montaña fluvio-gravitacional (MH)	4
Cumbres andinas (ca)	Rocas ígneas (andesitas, basaltos y flujos volcánicos)	MQ-ca	Montaña fluvio-volcánica (MQ)	1
Filas y vigas(fv)	Capas de cenizas volcánicas sobre arcillas rojas provenientes de rocas ígneas (diabasas)	MVS-fv2	Montaña volcánica estructural-erosional (MVS)	1
Filas y vigas(fv)	Capas de cenizas volcánicas discontinuas que cubren diabasas y basaltos	MSV-fv1	Montaña volcánica estructural-erosional (MVS)	5
Filas y vigas(fv)	Capas de cenizas volcánicas que cubren total o parcialmente rocas ígneas y metamórficas	MW-fv1	Montaña glacio-volcánica (MW)	1
Filas y vigas(fv)	Capas de cenizas que sepultan rocas ígneas (basaltos, granodioritas y cuarzdioritas)	MS-fv1	Montaña Estructural-erosional (MS)	5
Filas y vigas(fv)	Rocas sedimentarias mixtas (areniscas y lutitas)	MS-fv10	Montaña Estructural-erosional (MS)	1
Filas y vigas(fv)	Capas de cenizas volcánicas sobre diabasas y basaltos	MS-fv2	Montaña Estructural-erosional (MS)	4
Filas y vigas(fv)	Rocas ígneas que alternan con esquistos	MS-fv5	Montaña Estructural-erosional (MS)	1
Filas y vigas(fv)	Rocas ígneas que alternan con materiales sedimentarios (tobas y areniscas)	MS-fv11	Montaña Estructural-erosional (MS)	1
Filas y vigas(fv)	Capas de cenizas volcánicas sobre rocas	MS-fv3	Montaña Estructural-	3

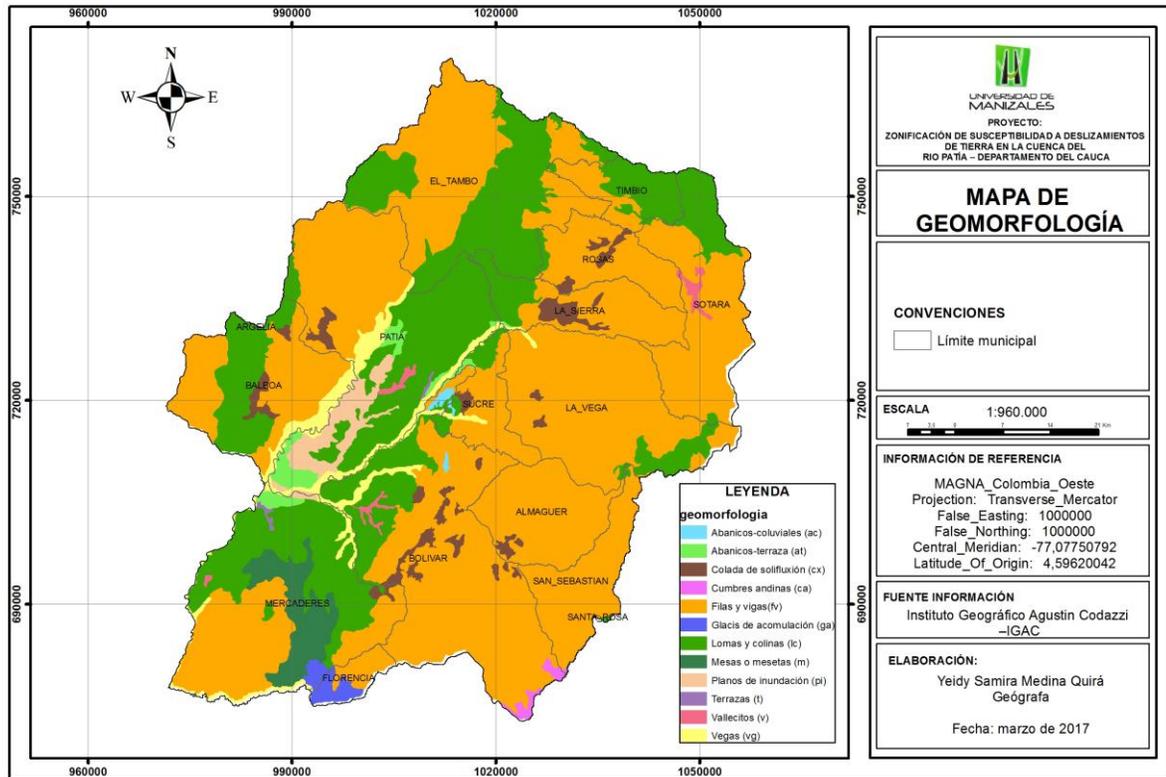
	sedimentarias (limolitas y areniscas)		erosional (MS)	
Filas y vigas(fv)	Rocas ígneas mixtas (basaltos y diabasas)	MS-fv6	Montaña Estructural-erosional (MS)	1
Filas y vigas(fv)	Rocas sedimentarias (areniscas y lutitas)	MS-fv9	Montaña Estructural-erosional (MS)	1
Glacis de acumulación (ga)	Capas de cenizas volcánicas que cubren esquistos	MH-ga	Montaña fluvio-gravitacional (MH)	1
Lomas y colinas (lc)	Rocas ígneas mixtas (basaltos y diabasas)	VA-lc	Valle aluvial (VA)	1
Lomas y colinas (lc)	Capas de cenizas volcánicas que alternan con tobas y brechas	MVS-lc	Montaña volcánica estructural erosional (MVS)	1
Lomas y colinas (lc)	Capas de cenizas volcánicas sobre esquistos y diabasas	MS-lc2	Montaña Estructural-erosional (MS)	5
Lomas y colinas (lc)	Capas de cenizas volcánicas intercaladas con cuarcitas	MS-lc1	Montaña Estructural-erosional (MS)	1
Lomas y colinas (lc)	Rocas sedimentarias que alternan con rocas metamórficas	LO-lc10	Lomerío Erosional-estructural (LO)	2
Lomas y colinas (lc)	Rocas ígneas afaníticas y porfiríticas	LO-lc4	Lomerío Erosional-estructural (LO)	2
Lomas y colinas (lc)	Capas de cenizas volcánicas discontinuas sobre rocas ígneas mixtas (andesitas, tobas y brechas)	LO-lc1	Lomerío Erosional-estructural (LO)	1
Lomas y colinas (lc)	Rocas sedimentarias (areniscas) que alternan con materiales calcáreos	LO-lc11	Lomerío Erosional-estructural (LO)	2
Lomas y colinas (lc)	Capas de cenizas volcánicas sobre rocas ígneas (diabasas)	LO-lc2	Lomerío Erosional-estructural (LO)	5
Lomas y colinas (lc)	Depósitos de cenizas volcánicas sobre rocas no diferenciadas	AT-lc3	Altiplanicie Volcano-erosional (AT)	1
Mesas o mesetas (m)	Rocas ígneas que alternan con materiales	AT-m	Altiplanicie Volcano-erosional	1

	sedimentarios (tobas y areniscas)		(AT)	
Planos de inundación (pi)	Depósitos aluviales heterométricos (gravas)	VA-t2	Valle Aluvial (VA)	1
Terrazas (t)	Depósitos aluviales finos	VA-t1	Valle aluvial (VA)	1
Vallecitos (v)	Capas de cenizas volcánicas que alternan con depósitos coluvio aluviales	MQ-v3	Montaña fluvio-volcánica (MQ)	1
Vallecitos (v)	Depósitos coluvio aluviales	LO-v	Lomerío Erosional-estructural (LO)	1
Vegas (vg)	Depósitos aluviales heterogéneos (cascajo y gravillas)	VA-vg2	Valle aluvial (VA)	1
Vegas (vg)	Depósitos aluviales con predominio de materiales finos	VA-vg1	Valle aluvial (VA)	1

Fuente: elaboración propia

El moldeamiento de la superficie terrestre de la Cuenca es producto de diversos procesos naturales como movimientos tectónicos, además, son el producto de los procesos de carácter exógeno como la erosión, y el transporte de material particulado desde las partes altas (Cordillera) hacia las partes más bajas (Valle del Patía). En ese sentido, el análisis litológico y la génesis en el proceso evolutivo de las geformas, permiten identificar los tipos de relieve, las cuales determinan las condiciones de los paisajes presentes en la Cuenca. De acuerdo a lo anterior se pueden diferenciar relieves como abanicos – coluviales (ac), abanicos – terraza (at), colada de soliflucción (cx), Cumbres andinas (ca), filas y vigas (fv), glacis de acumulación (ga), lomas y colinas (lc), mesas o mesetas (m), planos de inundación (pi), terrazas (t), vallecitos (v) y vegas (vg).

Figura No. 5 Mapa geomorfológico



Fuente: elaboración propia

- *Pendiente*

Para la variable de morfometría se empleó un modelo digital de elevación (DEM) de resolución 12 metros, del cual se derivó el parámetro pendiente. La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal. Para el presente estudio se genera un mapa de pendientes expresado en grados con el cual se clasificaron los diferentes rangos de pendientes según su valor, se asignaron valores a cada uno de los rangos de pendientes encontrados, según incidencia de los deslizamientos de tierra, siendo (0) un valor para pendientes bajas y (4) un valor para pendientes altas, según el Cuadro 7. En la Tabla No. 7 se presenta la calificación en términos de susceptibilidad para cada rango de la pendiente.

Tabla No. 7 Valores de peso asignados al parámetro de pendiente

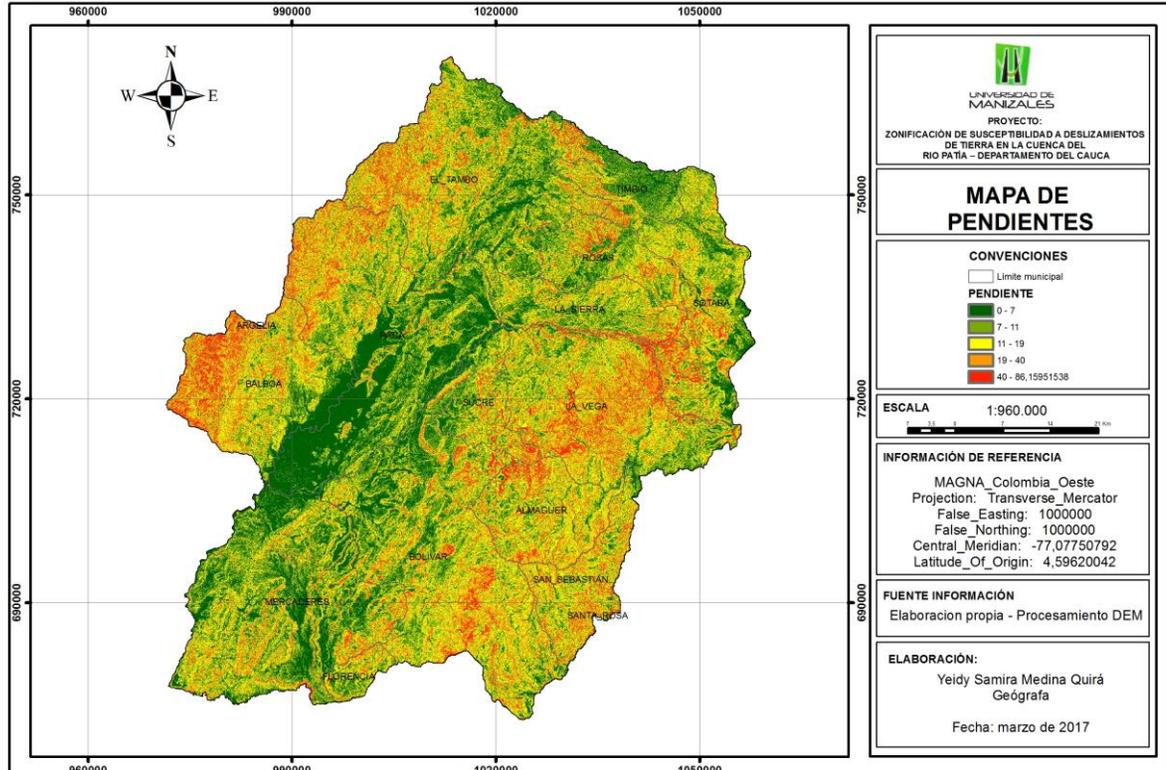
Rango de pendientes (Grados)	Descripción	Susceptibilidad	Calificación
0 – 7	Plana a suavemente inclinada	Muy baja	0
7 – 11	Inclinada	Baja	1
11 – 19	Muy inclinada	Media	2
19 – 40	Abrupta	Alta	3

40 - 86,1595	Escarpada	Muy alta	4
--------------	-----------	----------	---

Fuente: SGC

En la Figura No. 6 se observa claramente las pendientes altas a muy altas en los flancos de las cordilleras central y occidental, de muy bajas, bajas y medias sobre la zona de la depresión Patía; por lo tanto, la susceptibilidad aumenta en la cordillera central y occidental.

Figura No. 6 Mapa de pendientes



Fuente: elaboración propia

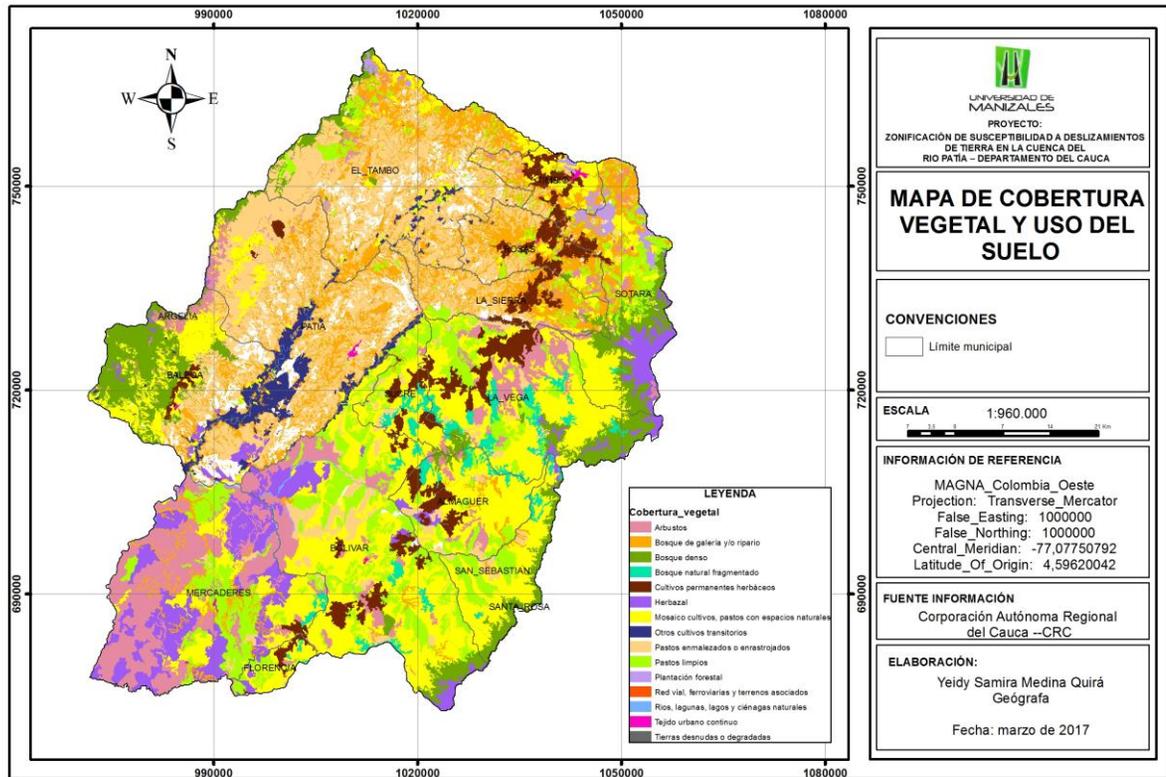
- *Cobertura vegetal y uso del suelo*

Márquez (citado por Rivera, s/f), menciona que “El efecto de refuerzo mecánico impartido por las raíces, se relaciona con la resistencia del suelo a esfuerzos de cortante tangencial, ya que se mejora ampliamente el valor de la cohesión”. Así mismo, las raíces proveen un anclaje que fortalece y contrapesa la gravedad de las pendientes, “y el peso de la vegetación ejerce sobre el suelo una componente vertical que aumenta la carga normal y por consiguiente la resistencia al deslizamiento.”

Según Waldron, 1977 (citado por Rivera, s/f), este efecto de la vegetación sobre la estabilidad del suelo se debe a que en los horizontes más superficiales, el sistema radical conforma una malla densa de fibras resistentes que refuerza la capa de suelo manteniéndola en el sitio, o uniéndola a materiales más estables, mientras la raíz

pivotante actúa como un anclaje en forma de columna que evita el desplazamiento de los horizontes más profundos.

Figura No. 7 Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo.



Fuente: elaboración propia

A partir de los trabajos realizados por la Corporación Autónoma Regional del Cauca se obtuvo el mapa digital de coberturas vegetales y uso del suelo de la Cuenca del Río Patía. Se procede a definir las diversas categorías de acuerdo a la metodología Corine Land Cover y de acuerdo al inventario de deslizamientos del SGC, el cual permitió estimar los valores de peso a cada categoría representados en la Tabla No. 8.

Tabla No. 8 Clasificación de cobertura vegetal

COBERTURA	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD	CALIFICACIÓN
Arbustos	Muy baja	1
Bosque de galería y/o ripario	Muy baja	1
Bosque denso	Muy baja	1
Bosque natural fragmentado	Media	3
Cultivos permanentes herbáceos	Muy Alta	5
Herbazal	Alta	4
Mosaico cultivos, pastos con espacios naturales	Alta	4
Otros cultivos transitorios	Muy baja	1
Pastos enmalezados o enastrojados	Muy baja	1

Pastos limpios	Muy alta	5
Plantación forestal	Media	3
Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	Muy baja	1
Ríos, lagunas, lagos y ciénagas naturales	NO APLICA	0
Tejido urbano continuo	Muy baja	1
Tierras desnudas o degradadas	Muy baja	1

Fuente: elaboración propia

La clasificación realizada contempla el estado de la cobertura vegetal y uso del suelo de acuerdo a los factores antrópicos y naturales de la cuenca, lo cual es parte esencial para el resultado de este estudio debido a que nos indica la intervención humana sobre el suelo, siendo las actividades humanas las causantes para generar eventos de deslizamientos de tierra en usos como cultivos, pastos limpios y áreas agrícolas heterogéneas, caso contrario a la alta susceptibilidad de suelos en bosque denso y arbustos.

En la Figura No. 7 podemos identificar que predominan las coberturas Mosaico de pastos con espacios naturales con 23% del área que corresponde a 1.210 k², la categoría de Pastos arbolados, enmalezados o enrastrados con un 19% que equivale a 1021 K², Bosque de galería y/o ripario con 12% que equivale a 650 k² y Pastos limpios con 10% que corresponde a 557 K². Es de resaltar que solo el 7% del área de la cuenca se encuentra en bosque denso, las cuales son las áreas que proporcionan mayor estabilidad de taludes.

- *Precipitación*

Se considera la variable precipitación como un desencadenante o factor externo, de acuerdo a lo que plantea el método de clasificación de Mora *et. al.* (2002). Este parámetro se tiene en cuenta en el análisis de susceptibilidad partiendo según Suárez (1998) de que existen evidencias muy claras de la relación directa entre el régimen de lluvias y la ocurrencia de deslizamientos de tierra. Se puede inferir que existe una relación directa entre las tasas pluviométricas y la susceptibilidad de los terrenos a la ocurrencia de deslizamientos, incrementándose dicha susceptibilidad en la medida que disminuye la cobertura vegetal y aumenta la pendiente, asociándose de manera complementaria un incremento de la humedad de los suelos.

Para la elaboración del mapa de isoyetas de la cuenca del río Patía se tuvo en cuenta los datos de precipitación media anual (tabulados en Excel) de estaciones pluviométricas del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, posteriormente se procede a cargar los datos en ArcGis 10, donde se utiliza el método de interpolación aplicando la herramienta de Análisis Geoestadístico, con el método IDW, distancia inversa ponderada, considerada como el valor y distancia de puntos conocidos para cada celda a calcular, éste método presupone que la variable que se representa cartográficamente disminuye su influencia cuando hay mayor distancia entre la ubicación de las muestras. (ESRI).

Después del procedimiento se obtiene un Raster con las zonas de menor y mayor precipitación que después se realiza la reclasificación con los valores de peso asignados a cada rango mediante la herramienta *Spatial Analyst Tool/ Reclass/ Reclassify*.

Tabla No. 9 Estaciones meteorológicas

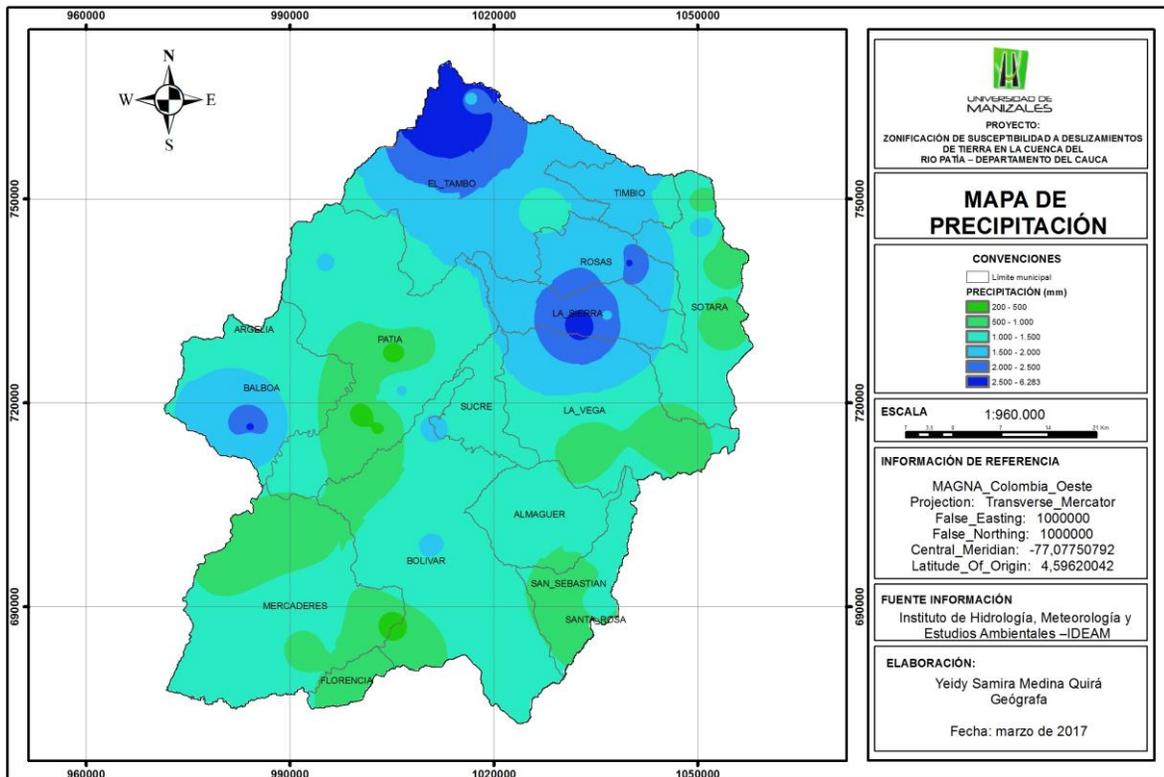
CODIGO	CATEGORIA	NOM. CATEGORIA	NOMBRE ESTACIÓN	MUNICIPIO	LATITUD	LONGITUD	PRE_ANUAL
52020180	PG	PLUVIOGRÁFICA	QUEBRADILLAS	ALMAGUER	0157 N	7643 W	1383,90
52010020	PM	PLUVIOMÉTRICA	BALBOA	BALBOA	0201 N	7713 W	2896,10
52010130	PG	PLUVIOGRÁFICA	PATIA	BALBOA	0202 N	7713 W	2693,00
52015050	CP	CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL	BALBOA	BALBOA	0201 N	7713 W	240,20
52020010	PM	PLUVIOMÉTRICA	GUACHICONO	BOLIVAR	0202 N	7659 W	1713,00
52020050	PM	PLUVIOMÉTRICA	EL RODEO	BOLIVAR	0152 N	7659 W	2113,70
52020090	PG	PLUVIOGRÁFICA	CHALGUAYACO	BOLIVAR	0151 N	7658 W	1296,90
52020110	PM	PLUVIOMÉTRICA	BOLIVAR BOQUERON	BOLIVAR	0150 N	7700 W	1042,00
52020140	PG	PLUVIOGRÁFICA	BOLIVAR BOQUERON	BOLIVAR	0150 N	7700 W	1619,50
52020150	PG	PLUVIOGRÁFICA	EL RODEO MOP	BOLIVAR	0146 N	7702 W	253,10
52025010	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	BOLIVAR	BOLIVAR	0149 N	7700 W	1644,30
52025020	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	BOLIVAR	BOLIVAR	0145 N	7653 W	692,90
26030030	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	CABAÑA INDERENA	EL TAMBO	0238 N	7654 W	3376,10
26030040	PM	PLUVIOMÉTRICA	EL RAMAL	EL TAMBO	0240 N	7653 W	3005,50
26030050	PM	PLUVIOMÉTRICA	TAMBO	EL TAMBO	0227 N	7648 W	1614,00
26030060	PM	PLUVIOMÉTRICA	GAMBOA	EL TAMBO	0237 N	7651 W	2047,00
26030080	PM	PLUVIOMÉTRICA	LA ROMELIA	EL TAMBO	0237 N	7653 W	2824,20
26030090	PM	PLUVIOMÉTRICA	ALERTAS REMOLINO	EL TAMBO	0230 N	7649 W	713,70
26030110	PM	PLUVIOMÉTRICA	MUNCHIQUE CARPINTERO	EL TAMBO	0228 N	7656 W	1582,00
26035060	CP	CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL	MANUEL MEJIA	EL TAMBO	0224 N	7648 W	1866,90
26035070	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	HDA CARPINTERIAS	EL TAMBO	0228 N	7656 W	1513,60
52010100	PG	PLUVIOGRÁFICA	QUILCASE	EL TAMBO	0219 N	7650 W	1135,60
52015030	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	EL TAMBO	EL TAMBO	0230 N	7649 W	2040,80
53070010	PM	PLUVIOMÉTRICA	HONDURAS	EL TAMBO	0240 N	7716 W	4366,00
53070020	PM	PLUVIOMÉTRICA	MACAJE	EL TAMBO	0229 N	7706 W	726,00
53070040	PG	PLUVIOGRÁFICA	CAMP EL PORVENIR	EL TAMBO	0246 N	7704 W	2876,00
53070060	PG	PLUVIOGRÁFICA	HONDURAS	EL TAMBO	0238 N	7709 W	2632,00
53070070	PM	PLUVIOMÉTRICA	SAN JUAN DE MICAY	EL TAMBO	0239 N	7717 W	2320,80
53070080	PM	PLUVIOMÉTRICA	VEINTE DE JULIO	EL TAMBO	0229 N	7657 W	6284,00
53070090	PM	PLUVIOMÉTRICA	LA GALLERA	EL TAMBO	0244 N	7654 W	3239,00
53070110	PG	PLUVIOGRÁFICA	LAS PIEDRAS	EL TAMBO	0225 N	7711 W	233,20
52020170	PM	PLUVIOMÉTRICA	SAN PEDRO	LA SIERRA	0210 N	7647 W	2903,00
52025050	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	LA SIERRA	LA SIERRA	0211 N	7645 W	2829,00
52020020	PM	PLUVIOMÉTRICA	LA VEGA	LA VEGA	0200 N	7646 W	799,30
52020190	PG	PLUVIOGRÁFICA	GUACHICONO	LA VEGA	0201 N	7640 W	658,70
52020040	PM	PLUVIOMÉTRICA	MOJARRA	MERCADERES	0153 N	7714 W	1288,60
52020120	PM	PLUVIOMÉTRICA	MERCADERES	MERCADERES	0147 N	7709 W	1492,00
52025030	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	MERCADERES	MERCADERES	0145 N	7709 W	847,30
52025060	CP	CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL	GJA EXP NARIÑO	MERCADERES	0154 N	7711 W	502,00
52010080	PM	PLUVIOMÉTRICA	SAJANDI	PATIA	0211 N	7702 W	1845,70
52010120	PM	PLUVIOMÉTRICA	GALINDEZ	PATIA	0203 N	7704 W	210,40
52010160	PM	PLUVIOMÉTRICA	LA MESA	PATIA	0215 N	7707 W	1517,10
52010180	PG	PLUVIOGRÁFICA	PATIA	PATIA	0204 N	7703 W	1015,00
52015020	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	LA FONDA CITEC	PATIA	0208 N	7702 W	296,00
52015040	SS	SINOPTICA SUPLEMENTARIA	DOS RIOS	PATIA	0158 N	7708 W	1124,20
52020030	PM	PLUVIOMÉTRICA	EL ESTRECHO	PATIA	0158 N	7706 W	694,30
52020060	PM	PLUVIOMÉTRICA	PATIA	PATIA	0202 N	7703 W	450,00
52025040	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	SAJANDI	PATIA	0205 N	7701 W	1576,40
52010010	PM	PLUVIOMÉTRICA	PORTACHUELO	ROSAS	0215 N	7643 W	2684,00
52010040	PM	PLUVIOMÉTRICA	ROSAS	ROSAS	0215 N	7644 W	1836,00
52010050	PG	PLUVIOGRÁFICA	PARRAGA	ROSAS	0213 N	7647 W	2097,40

52010070	PG	PLUVIOGRÁFICA	PARRAGA VIEJO	ROSAS	0215 N	7644 W	986,00
44015030	CP	CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL	VALENCIA	SAN SEBASTIAN	0154 N	7640 W	1016,20
52020070	PM	PLUVIOMÉTRICA	SANTIAGO	SAN SEBASTIAN	0148 N	7646 W	1435,10
52020160	PG	PLUVIOGRÁFICA	SANTIAGO	SAN SEBASTIAN	0148 N	7648 W	731,90
52010090	PM	PLUVIOMÉTRICA	PAISPAMBA	SOTARA	0218 N	7637 W	1789,00
52010150	PM	PLUVIOMÉTRICA	SALINAS	SOTARA	0217 N	7635 W	614,00
52010190	PG	PLUVIOGRÁFICA	LAS ESTRELLAS	SOTARA	0210 N	7636 W	788,60
52015010	CO	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	PAISPAMBA	SOTARA	0215 N	7636 W	787,90
26035080	CP	CLIMATOLÓGICA PRINCIPAL	LA CAMPIÑA	TIMBIO	0224 N	7640 W	1503,70
52010110	PM	PLUVIOMÉTRICA	SALADITO	TIMBIO	0220 N	7637 W	614,40

Fuente: IDEAM

En la siguiente Figura No. 8 se representa la distribución de la precipitación anual en la Cuenca del Río Patía, donde los valores en azul indican los rangos con mayor de precipitación y en verde los rangos con menor rango de precipitación.

Figura No. 8 Precipitación media anual



Fuente: elaboración propia

Para la asignación de valores, se califica con valores más bajos a los rangos de menor precipitación, y los más altos, a los rangos de mayor precipitación por recomendación de expertos. Adicionalmente, para asignar los valores de peso a cada rango se hace la relación con los estudios de amenaza de los planes de ordenamiento territorial de los municipios que conforman la cuenca, donde se identifican aquellos eventos que se

originaron y se mantienen activos por el factor detonante de precipitación. En la Tabla No. 10 se representa la calificación para cada rango.

Tabla No. 10 Calificación de la variable Precipitación

Rango (mm)	Descripción	Calificación
200 – 500	Muy bajo	1
500 – 1000	Bajo	1
1000 – 1500	Medio	2
1500 – 2000	Medio	3
2000 – 2500	Alto	4
2500 - 6283	Muy alto	5

Fuente: elaboración propia

5.4.3 Procesamiento de la información

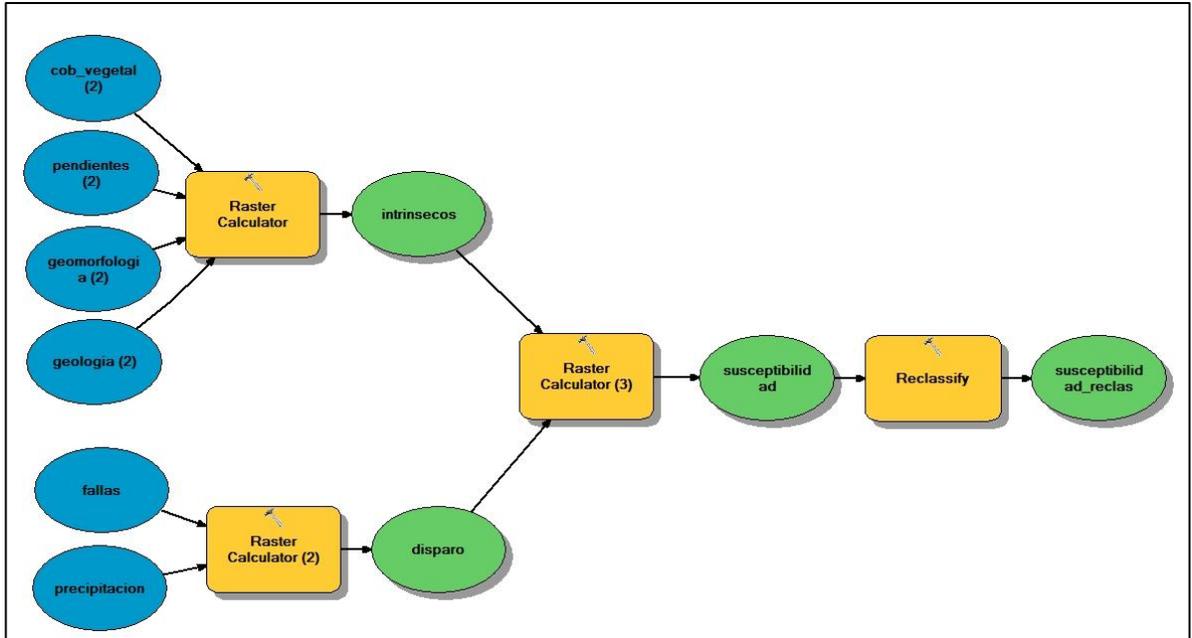
Para obtener el mapa de susceptibilidad a deslizamientos de tierra de la Cuenca del Rio Patía, se inicia con la asignación de los pesos o calificación a cada variable, lo cual se desarrolló en el punto anterior. Cabe anotar que para ejecutar los procedimientos las capas deben estar en formato Raster en la que se emplea el tamaño de pixel como unidad mínima de mapeo, por consiguiente las capas cobertura vegetal y uso del suelo, geología, fallas y geomorfología, se convierten a formato Raster empleando la herramienta *Conversion Tools/ to raster/ feature to raster* para que las capas permitan realizar la sumatoria mediante la herramienta de álgebra de mapas. Para el caso de las variables pendiente y precipitación, que corresponden a modelos digitales tipo raster, se utilizó la herramienta *Spatial Analyst Tools/ Reclass/ Reclassify* para asignarles la calificación analizada y recomendada por expertos.

Una vez que se han definido y ponderado las variables se procede a procesar las capas digitales para generar un modelo de susceptibilidad a deslizamientos de tierra. Para éste proceso, se crea un modelo cartográfico con la herramienta Model Builder, la cual es una herramienta de ArcGis Desktop que mediante un lenguaje de programación visual permite crear flujos de trabajo de geoprocésamiento. El modelo de geoprocésamiento permitió automatizar y documentar los procesos de análisis espacial y de administración de datos. El modelo se representa como un diagrama que encadena secuencias de procesos y herramientas de geoprocésamiento utilizando la salida de un proceso como entrada de otro².

El modelo para la susceptibilidad de movimientos en masa para la cuenca se resume en la siguiente figura.

² Disponible en: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder-.htm>

Figura No. 9 Modelo de susceptibilidad – Model builder



Fuente: elaboración propia

5.5 FASE IV - VALIDACIÓN

Ésta fase pone a prueba la validez espacial de los resultados obtenidos y de esa manera identificar si suministran datos coherentes de acuerdo a la ubicación de los eventos de deslizamientos de tierra ocurridos en la cuenca. Por lo tanto, para realizar la validez se tuvo en cuenta datos recolectados en campo por expertos del Servicio Geológico Colombiano quienes consolidaron en un Sistema de información Geográfico denominado Sistema de Información de Movimientos en Masa –SIMMA³, 16 puntos donde se presentaron movimientos en masa de tipo deslizamiento. Cada deslizamiento cuenta con una caracterización donde se tiene en cuenta elementos como Municipio, Vereda, coordenadas, Plancha a escala 1:25.000, edad, estilo, estado, distribución, litología y estructura, tipo de material, tipo movimiento, subtipo movimiento, humedad, origen del suelo, Morfometría genera, registro fotográfico, esquema de planta y perfil, daños, entre otros elementos que se pueden identificar en el anexo A, los cuales permitieron corroborar la calificación de susceptibilidad de los parámetros seleccionados para el presente estudio.

³ Disponible en: <http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/>

6 RESULTADOS

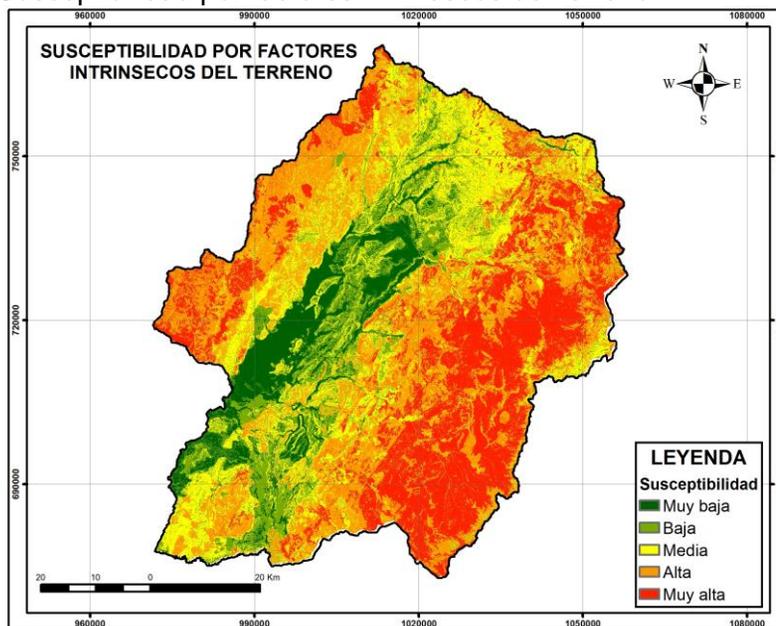
La ubicación geográfica de la Cuenca del río Patía con variedad de suelos, pendiente y demás factores, presenta zonas con susceptibilidad por deslizamientos generando múltiples consecuencias para el desarrollo regional. Como agravante, existen prácticas inadecuadas de tala, roza y quema que deterioran los suelos que han aumentado cada día la ocurrencia de deslizamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es de aclarar, que bajo ninguna circunstancia, éste estudio sustituye los estudios geotécnicos de campo y laboratorio, necesarios para el diseño y concepción de las obras civiles y sus complementos de protección y mitigación correspondientes. Así mismo, el estudio no permite pronosticar el tipo de deslizamiento que podría presentarse. En consecuencia, éste estudio sí permite hacer una aproximación regional de las zonas de susceptibilidad a deslizamientos, el cual se generó a partir la combinación de diversos factores que conforman las variables intrínsecas del terreno y las variables que detonan un evento de deslizamiento.

El primer resultado de la aplicación de la metodología Mora-Vahrson, se obtiene en la Figura No. 10 que corresponde al modelo de susceptibilidad por factores intrínsecos, donde se tuvo en cuenta las variables geomorfología, cobertura vegetal y uso del suelo, geología y pendientes. En el resultado, se puede identificar que al sumar las capas intrínsecas del terreno nos genera una zonificación de gran proporción en el rango de susceptibilidad alta, concentrándose sobre el flanco occidental de la cordillera central y flanco oriental de la cordillera occidental. Se observa claramente la zona del valle del Patía como un área donde presenta una susceptibilidad muy baja.

Como es de esperar las zonas de alta y muy alta susceptibilidad corresponden con zonas donde la pendiente es fuerte, las demás variables parecen tener poco peso.

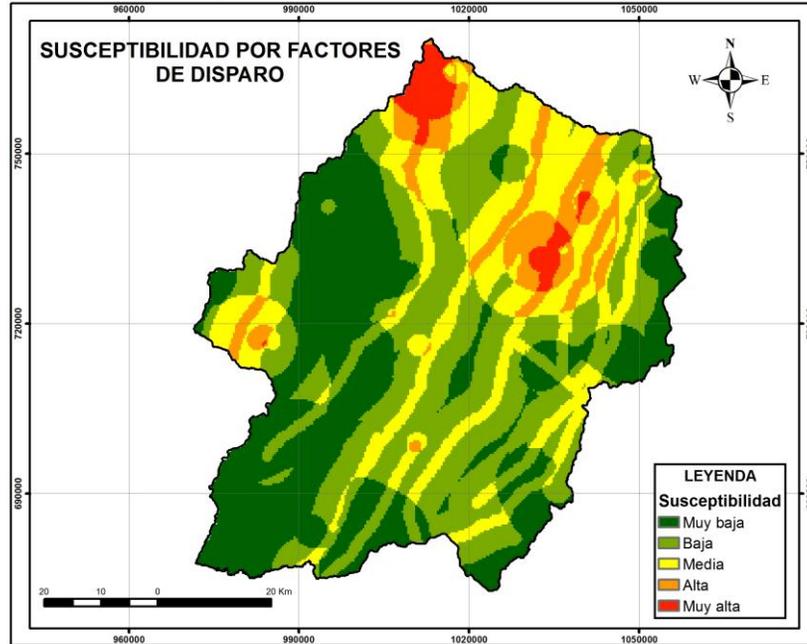
Figura No. 10 Susceptibilidad por factores intrínsecos del terreno



Fuente: elaboración propia

El segundo resultado, se obtiene en la Figura No. 11 que corresponde al modelo de susceptibilidad por factores de disparo, donde se tiene en cuenta las variables fallas geológicas y precipitación. En el resultado se puede identificar que al sumar las capas de disparo se genera una zonificación más centralizada, es decir donde se tienen índices altos de precipitación.

Figura No. 11 Susceptibilidad por factores de disparo

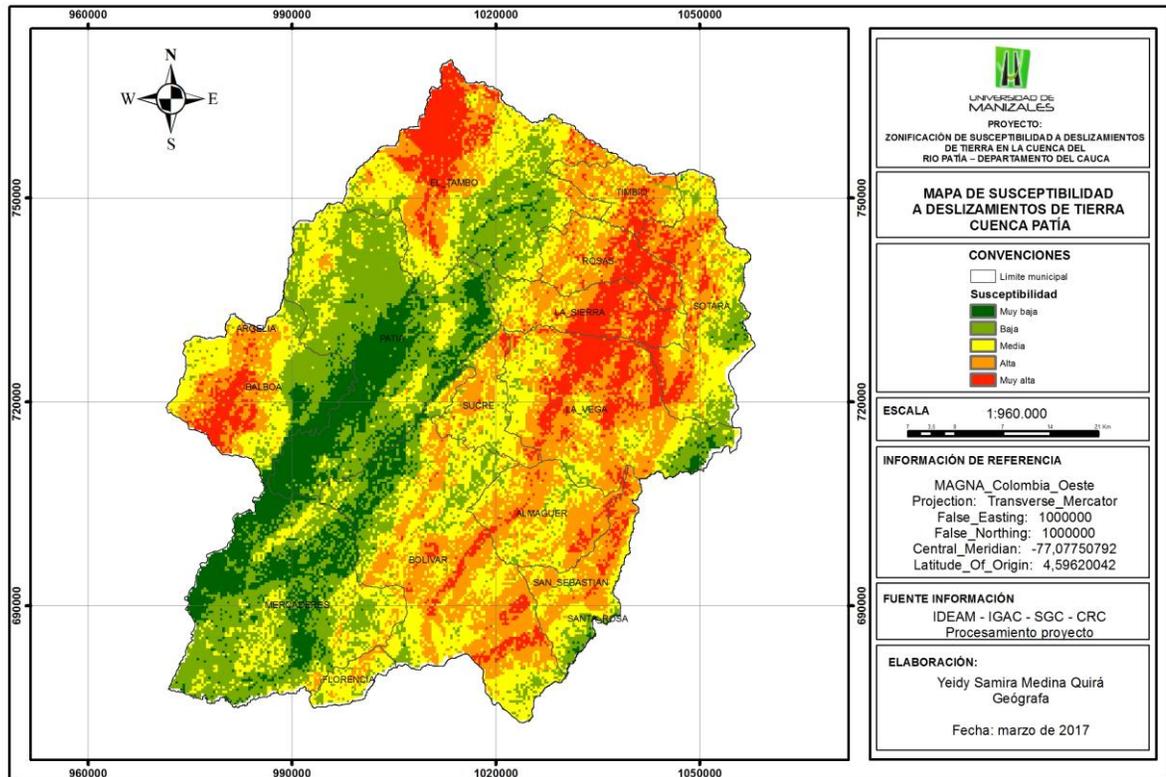


Fuente: elaboración propia

Como resultado final, obtenemos el mapa de zonificación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra (ver Figura No. 12) Figura No. 12 donde se observa una zonificación de gran proporción en el rango de susceptibilidad alta, concentrándose sobre el flanco occidental de la cordillera central y flanco oriental de la cordillera occidental. Adicionalmente, se observa claramente la zona del valle del Patía como un área donde presenta una susceptibilidad muy baja.

Una vez combinados los factores intrínsecos del terreno y los de disparo, se obtiene la susceptibilidad para la cual se definieron cinco rangos de clasificación: muy baja, baja, media, alta y muy alta.

Figura No. 12 Mapa de zonificación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en de la Cuenca del río Patía



Fuente: elaboración propia

Como se puede identificar en la

Tabla No. 11 en la cuenca predomina una susceptibilidad media con un área que cubre el 28,2% del territorio, en menor proporción se encuentra la susceptibilidad muy alta con un 10,5 %, muy cercana a la susceptibilidad muy baja. En términos generales, de acuerdo a los resultados obtenidos se puede establecer que la susceptibilidad a deslizamientos de tierra a nivel general es moderada.

Tabla No. 11 Áreas (has) susceptibles a deslizamientos

Grado de susceptibilidad	Área HAS	Porcentaje (%)
1	57.241	10,8
2	130.947	24,7
3	149.706	28,2
4	136.985	25,8
5	55.769	10,5

Fuente: elaboración propia

6.1 Descripción de los rangos de susceptibilidad

Susceptibilidad Muy Baja: Corresponde en términos generales a las zonas planas a suavemente inclinadas, con pendientes inferiores a 7°, presentes en unidades geomorfológicas de origen Denudacional y fluvial con geoformas propias de ambientes fluviales como planicies o llanuras; la composición litológica corresponde con rocas de resistencia extremadamente dura a dura o depósitos. La posibilidad de generarse inestabilidad del terreno es muy baja, los deslizamientos de tierra son mínimos a nulos en donde la reptación puede identificarse de manera esporádica. En estas áreas pueden encontrarse bosques densos, arbustos y algún uso agropecuario que se considera no contribuye a la susceptibilidad sobre todo si se implementan prácticas de conservación de suelos. La condición de relieve plano y estable, hace que los suelos por condición natural no contribuyan significativamente a movimientos en masa.

Susceptibilidad Baja: Zonas de laderas con pendientes inclinadas con rangos 7° a 11°, presentes en unidades geomorfológicas de origen denudacional con geoformas de grandes planicies o altiplanos; de composición litológica en rocas ígneas de resistencia extremadamente dura a dura y adicionalmente incluyen el arbustos denso (bosques bajos). El 54% del área tiene intervención antrópico sobre todo en las clases baja y media. Baja

Susceptibilidad Media: Zonas con laderas muy inclinada a abrupta cuyos rangos de pendiente son del orden de 11° a 19°, en unidades geomorfológicas de origen denudacional, con geoformas de laderas muy inclinadas a abruptas y laderas colinadas. Baja presencia de movimientos en masa, en estas laderas se observan procesos erosivos en las áreas utilizadas en la explotación ganadera

Media Susceptibilidad Alta: Zonas con laderas muy abruptas a escarpadas con rangos de pendientes entre 19° a 40°, en unidades geomorfológicas de origen denudacional y estructural con geoformas de laderas abruptas a escarpadas, cerros, en rocas de origen ígnea, rocas duras y con espesos horizontes de suelos residuales, estas rocas con un gran control estructural marcado por la foliación de las rocas metamórficas; y con presencia de depósitos coluviales. Se presenta erosión causada por el mal uso de la tierra y terraceo por la sobrecarga de la producción ganadera en estas laderas.

Susceptibilidad Muy Alta: Zonas de laderas muy escarpadas con pendientes superiores a los 40°, en unidades geomorfológicas de origen estructural, con geoformas de laderas muy escarpadas, complejos de cerros, sierras estructurales, escarpes ; generadas en rocas metamórficas como esquistos y neis, de resistencia dura y afectadas por el trazo de fallas regionales activas, con presencia de depósitos coluviales. En estas áreas pueden encontrarse actividades agropecuarias en altas pendientes y sin prácticas de conservación de suelos provocando conflictos de uso por sobre-explotación severa de los suelos, siendo estos muy susceptibles tanto por el uso como por la presencia inicial de erosión y cárcavas, entre otros procesos y porque ya no existen coberturas vegetales que ayuden en la regulación de los flujos de agua, ni en el sostén de los suelos.

7 CONCLUSIONES

- El mapa de zonificación de susceptibilidad por deslizamientos de tierra es de gran importancia como insumo en la toma de decisiones sobre políticas regionales para la gestión y reducción del riesgo, siendo además de utilidad para generar acciones que conduzcan a la planificación, el desarrollo de infraestructura y la prevención de los desastres.
- La susceptibilidad del suelo aumenta a medida que no existe cobertura vegetal suficientemente fuerte como bosques densos para retener materiales del suelo. Al contrario, se identificó que año tras año se ha incrementando el uso de pastos en las zonas de laderas que sumado a la erosión causada por el pisoteo de ganado aumentan la inestabilidad de los taludes.
- Estructuralmente la región es surcada por fallas del sistema romeral en dirección NE – SW de carácter activo y seguimiento regional, que contribuye a generar deslizamientos de tierra en la Cuenca.
- La cordillera central y occidental una vez clasificadas en los rangos de susceptibilidad, evidencia zonas de amenazas muy altas, altas y medias que se muestran como regiones en las cuales existen serios conflictos de uso del suelo.
- Al evaluar el mapa de susceptibilidad con la ubicación de los deslizamientos de tierra se observa que éstos se encuentran entre el límite de la susceptibilidad muy alta, alta y media.
- De acuerdo a la aplicación de la técnica de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas, los factores que más contribuyen a generar movimientos en la cuenca son la pendiente y la precipitación.
- A partir del mapa final se puede establecer que la susceptibilidad a nivel general en la cuenca del Patía es moderada

8 RECOMENDACIONES

- Realizar estudios geotécnicos a escala detallada, en las zonas pobladas que se encuentran en susceptibilidad muy alta y alta por deslizamientos de tierra.
- Promover la educación ambiental para generar conciencia en la población de la necesidad de conservar los recursos naturales de la cuenca hidrográfica e implementar programas que incluyan prevención y respuesta ante la ocurrencia de deslizamientos de tierra.
- Impulsar la no tala de árboles en pendientes altas para prevenir la erosión y aumentar o conservar la oferta hídrica de la cuenca.
- Trabajar con información cartográfica actualizada debido a que se constituye en el insumo base para realización de este tipo de estudios.

BIBLIOGRAFÍA

ARÉVALO CHAVES, Diego Alexander y PARIAS VILLALBA, Juan Pablo. Análisis de amenaza por fenómenos de remoción en masa en la región del boquerón ubicada entre los departamentos de Cundinamarca y Tolima mediante el uso de un sistema de información geográfica de libre distribución. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, 2013.

AYALA - CARCEDO, f.j.; COROMINAS, j. Mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera con técnicas SIG: fundamentos y aplicaciones en España. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 2003.

BARRANTES CASTILLO, Gustavo, BARRANTES SOTELA, Omar y NÚÑEZ ROMAN, Oscar. Efectividad de la metodología MORA VAHRSON modificada en el caso de los deslizamientos provocados por el terremoto de Cinchona, Universidad Nacional Heredia. Costa Rica, 2011.

COPONS LLORENS, Ramón, y TALLADA MASQUEF, Anna. Movimientos de ladera. Enseñanza de las ciencias de la tierra, 2009. (17.3) 284-294. 2009.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. Plan ambiental de las comunidades afrodescendientes asentadas en la Cuenca del Rio Patía sur del Cauca. El Bordo Patía, 2006.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. Subdirección de Gestión. Plan de manejo Cuenca Patía. Popayán, 2001.

El tiempo. (20 de mayo de 2015). tres de cada 10 colombianos, en riesgo por inundación y deslizamiento. el tiempo.

El tiempo. (Abril de 2011). Crónica "deslizamientos en la localidad de usme". el tiempo. España, i. g. (2003). Una reflexión de los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera, su naturaleza, sus funciones, problemática y límites. Madrid: francisco j. Ayala Carcedo, Jordi Corominas.

GARCIA RAMOS, Nicole Andrea. Mapa de amenaza por riesgo de deslizamiento. Trabajo de grado (Ingeniería de sistemas) Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, 2010.

GOMEZ CHAMORRO, Natalia, OSORIO BETANCUR, Yuliana y SALAZAR TAMAYO, Julián Andrés. SIG para determinar la susceptibilidad a movimientos en masa. Trabajo de grado. Universidad de Manizales, Facultad de Ciencias e Ingeniería, 2013.

GONZALES GOMEZ, Elena. Aspectos geomecánicos de los deslizamientos rápidos: modelización y diseño de estructuras de contención. Madrid, 2003.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI. Estudio general de suelos y zonfcaion de tierras del Departamento del Cauca. Bogotá, 2010.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES – IDEAM. Metodología para la zonificación de

LÓPEZ AFRICANO, Pedro Ernesto. Estudio y zonificación preliminar de amenazas naturales y cartografía geológica básica para la formulación del Plan De Ordenamiento Y Manejo – POMCH de la subcuenca hidrográfica de los ríos Sambingo y Hato Viejo. Fundación Mamaskato. 2006.

LOPEZ AFRICANO, Pedro Ernesto. Plan de ordenación y manejo parte baja de la subcuenca hidrográfica del río San Jorge. Convenio interadministrativo Fundación Raíces y la Corporación Autónoma Regional del Cauca. Popayán, 2010.

MORA CHINCHILLA, Rolando. Evaluación de la susceptibilidad al deslizamiento del cantón de San José, Provincia de San José, Costa Rica. Universidad de Costa Rica. Costa Rica, 2004.

MORA CHINCHILLA, Rolando. CHAVES GAMBOA, Jeison, VASQUEZ FERNANDEZ, Mauricio. Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la Península de Papagayo mediante la modificación de método Mora – Vahrson. Costa Rica. 2013. [Consulta: 15/03/2017] Disponible en: <<https://www.slideshare.net/JUANCA650/deslizamientos-26707366>>

PACHECO, Henry. Metodología para la generación de un modelo de zonificación de amenaza por procesos de remoción en masa, en la cuenca del río camurí grande, estado de Vargas, Venezuela. Universidad Simón Bolívar. Revista de investigación no. 80 vol. 37 septiembre – diciembre. 2013.

RAMÍREZ CHAVES, Héctor E. QUIÑONES, Fernando Ayerbe; EGAS, Ofelia Mejía. Mamíferos de la cuenca alta del Río Patía en el Departamento del Cauca. Colombia. 2010 [Consulta: 15/03/2017] Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/262438143_Mamiferos_de_la_cuenca_alta_del_rio_Patia_en_el_departamento_del_Cauca>

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa Escala 1:100.000, versión 2. Bogotá, 2013.

VARGAS, g. Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa. Villavicencio: Cooperación Colombo-alemana, proyecto Guatiquia, 1999.

ANEXOS

Anexo A. Inventario deslizamientos de tierra SIMMA

 **SIMMA** | Sistema de Información de Movimientos en Masa

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ **Datos del Registro:**

Código:	26174	Importancia:	ALTA
Fecha del Evento:	01/01/1960	Fecha Reporte:	11/12/2012
Fecha de diligenciamiento:	11/12/2012	Encuestador:	Servicio Geológico Colombiano
Institución:	Servicio Geológico Colombiano	Registrador:	iegutierrez

◆ **Localización Geográfica:**

Departamento:	CAUCA
Municipio:	BOLÍVAR
Vereda:	BOLÍVAR
Altura:	0 m
Sitio:	Los Azules
Referentes Geográficos:	Carretera Bolívar ¿ El Bordo
Latitud:	1.829722
Longitud:	-76.964444



◆ **Planchas:**

PLANCHA	AÑO	ESCALA	EDITOR
El movimiento no tiene planchas registradas.			

◆ **Fotografías Aéreas:**

No. VUELO	No. FOTO	AÑO	ESCALA	EDITOR
El movimiento no tiene fotografías registradas.				

◆ **Actividad del Movimiento:**

Edad:	[41..60] Años	Estado:	Activo
Estilo:		Distribución:	

La información contenida en este reporte es propiedad intelectual del Servicio Geológico Colombiano 1

 **SIMMA** | Sistema de Información de Movimientos en Masa

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Litología y Estructura:

ESTRUCTURA	DIRECCION BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO
------------	--------------------------	------------	---------------

El movimiento no tiene litología asociada.

Descripción:

Deslizamiento antiguo que involucran rocas sedimentarias y que afecta la carretera con frecuentes hundimientos y obstrucciones por derrumbes.

Actividad: Activo

Clasificación. Tipo: DM; Tamaño: B; Actividad: A; Daños: B

◆ Clasificación del Movimiento:

Primer Movimiento:

Tipo Movimiento: Deslizamiento Subtipo Movimiento: Deslizamiento rotacional

Tipo Material: Humedad: Húmedo

Plasticidad: Origen de Suelo:

Tipo Depósito:

Segundo Movimiento:

Tipo Movimiento: Flujo Subtipo Movimiento: Flujo de detritos

Tipo Material: Detritos Humedad:

Plasticidad: Origen de Suelo:

Tipo Depósito:

Sistema de Clasificación:

Sistema de Clasificación:

◆ Morfometría General:

MORFOMETRÍA GENERAL	VALOR
---------------------	-------

El movimiento no tiene morfometrías asociadas.

◆ Dimensión del Terreno:

DIMENSIÓN TERRENO	VALOR
-------------------	-------

Volumen desplazado (m3) 1,000,000

Deformación del Terreno:

Modo:

Geoforma

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Causas del Movimiento:

TIPO	CAUSA
Contribuyente	Lluvias (24h:N/D 48h: N/D 72h: N/D Mes: N/D)
Detonante	Lluvias (24h:N/D 48h: N/D 72h: N/D Mes: N/D)

◆ Tipo de Erosión:

Superficial:		Subsuperficial:	Ninguna
Edad:		Estado:	
Fluvial:	Ninguna	Eólica:	No

◆ Cobertura de Suelo:

COBERTURA	PORCENTAJE (%)
El movimiento no tiene cobertura asociadas.	

◆ Uso de Suelo:

USO	PORCENTAJE (%)
El movimiento no tiene uso de suelo asociado.	

◆ Referencias:

AÑO	TÍTULO	AÑO	EDITOR	CIUDAD	PÁGINAS
El movimiento no tiene referencias registradas.					

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Notas:

Causas Naturales:

Lluvias

Daños:

Afecta la carretera Bolivar - El Bordo con frecuentes hundimientos y obstrucciones por derrumbes en una longitud de 700m

Efectos:

Afecta el tráfico en la carretera Bolivar-El Bordo

DATOS SUMINISTRADOS POR EL GEÓLOGO JUAN MONTERO OLARTE.

La fechas de evento y reporte fueron asignadas a 14921012.

◆ Apreciación de Riesgo:

Ninguna

◆ Esquema Planta:

◆ Esquema Perfil:

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Datos del Registro:

Código:	31565	Importancia:	ALTA
Fecha del Evento:	11/07/2007	Fecha Reporte:	09/12/2013
Fecha de diligenciamiento:	03/07/2015	Encuestador:	Universidad Nacional de Colombia
Institución:	Universidad Nacional de Colombia	Registrador:	UNALBOG

◆ Localización Geográfica:

Departamento:	CAUCA
Municipio:	LA VEGA
Vereda:	LA VEGA
Altura:	2550 m
Sitio:	Pata Talud
Referentes Geográficos:	Costado sur del cauce del Río Marmato, al W de la desembocadura de un afluente del río la Quebrada Guambial. Al W de la Cuchilla Osaura. Al SW de la Cuchilla Bella Venecia.
Latitud:	1.950833
Longitud:	-76.821389



◆ Planchas:

PLANCHA	AÑO	ESCALA	EDITOR
387	2011	100,000	SGC

◆ Fotografías Aéreas:

No. VUELO	No. FOTO	AÑO	ESCALA	EDITOR
-----------	----------	-----	--------	--------

El movimiento no tiene fotografías registradas.

◆ Actividad del Movimiento:

Edad:	[6..10] Años	Estado:	Activo
Estilo:	Compuesto	Distribución:	Retrogresivo

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ **Litología y Estructura:**

ESTRUCTURA	DIRECCION BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO
------------	--------------------------	------------	---------------

El movimiento no tiene litología asociada.

Descripción:

Esquistos verdes foliados con anfibolitas interdigitadas con esquistos negros y cuarcitas expuestas en la ladera de edad Paleozoicas

◆ **Clasificación del Movimiento:**

Primer Movimiento:

Tipo Movimiento:	Deslizamiento	Subtipo Movimiento:	Deslizamiento traslacional
Tipo Material:	Tierra	Humedad:	Ligeramente Húmedo
Plasticidad:	Baja	Origen de Suelo:	Residual
Tipo Depósito:			

Segundo Movimiento:

Tipo Movimiento:	Flujo	Subtipo Movimiento:	Flujo de tierra
Tipo Material:	Tierra	Humedad:	Ligeramente Húmedo
Plasticidad:	Baja	Origen de Suelo:	Residual
Tipo Depósito:			

Sistema de Clasificación:

Sistema de Clasificación: Cruden y Varnes, 1996

Sistema de Clasificación:

Sistema de Clasificación: Cruden y Varnes, 1996

◆ **Morfometría General:**

MORFOMETRÍA GENERAL	VALOR
Diferencia de altura corona a punta (m)	100
Longitud horizontal corona a punta (m)	100
Fahrboschung (grados)	20
Pendiente de ladera en post-falla (grados)	70
Dirección del Movimiento (grados)	265
Azimut del talud (grados)	265
Pendiente de ladera en pre-falla (grados)	60

◆ **Dimensión del Terreno:**

DIMENSIÓN TERRENO	VALOR
Ancho de la superficie de ruptura W_r (m)	130
Espesor de masa desplazada D_d (m)	3
Longitud total L (m)	150
Ancho de la masa desplazada W_d (m)	130
Longitud de masa desplazada L_d (m)	140
Longitud de superficie de ruptura L_r (m)	140
Profundidad de superficie de ruptura D_r (m)	5

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Deformación del Terreno:

Modo: Ondulación Severidad: Moderada

Geoforma

Sshlc Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal, con foliacion a favor de la pendiente con erosión en la pata del talud que genera socavación

◆ Causas del Movimiento:

TIPO	CAUSA
Inherente	Material Sensible
Contribuyente	Socavacion de pata de talud por corriente agua
Contribuyente	Socavacion de margenes de rios
Contribuyente	Erosión Pluvial
Inherente	Material Meteorizado-Quimica
Contribuyente	Erosión Fluvial
Detonante	Lluvias (24h:N/D 48h: N/D 72h: N/D Mes: N/D)

◆ Tipo de Erosión:

Superficial: Subsuperficial: Ninguna
 Edad: Estado:
 Fluvial: Ninguna Eólica: No

◆ Cobertura de Suelo:

COBERTURA	PORCENTAJE (%)
Pastos	20
Matorrales	80

◆ Uso de Suelo:

USO	PORCENTAJE (%)
Ganaderia	20
Area Protegida	80

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Daños:

Población Afectada:

Muertos:	0	Desaparecidos:	0
Personas Afectadas:	0	Familias Afectadas:	0
Heridos:	0		

Daños ambientales, a infraestructura y/o actividades económicas:

CLASE DAÑO	CLASIFICACIÓN	CANTIDAD	TIPO DAÑO	VALOR
Ambientales	D5: Daño Severo	0	Bosques	US\$ 0

Totales:

Infraestructura:	US\$ 0	Económico:	US\$ 0
Ambiental:	US\$ 0	Total:	US\$ 0

◆ Notas:

Paisaje en alto grado de riesgo, deslizamientos consecutivos. La fechas de evento y reporte fueron asignadas a 14921012.

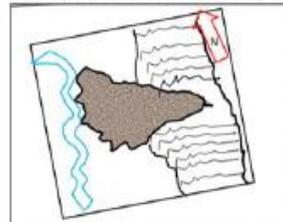
◆ Apreciación de Riesgo:

Riesgo alto, paisaje erosionable, el material que llega al cauce del río podría causar futuras inundaciones.

◆ Esquema Planta:

Fotografía Planta

Fecha: 09/12/2013
 Autor:
 Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Fotografía

Fecha: 09/12/2013

Autor:

Observaciones:



Fotografía

Fecha: 09/12/2013

Autor:

Observaciones:



Fotografía

Fecha: 09/12/2013

Autor:

Observaciones:



Fotografía

Fecha: 09/12/2013

Autor:

Observaciones:



Fotografía

Fecha: 09/12/2013

Autor:

Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Fotografía

Fecha: 09/12/2013

Autor:

Observaciones:



Fotografía

Fecha: 09/12/2013

Autor:

Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Datos del Registro:

Código:	31981	Importancia:	MEDIA
Fecha del Evento:	15/11/2000	Fecha Reporte:	29/10/2014
Fecha de diligenciamiento:	23/07/2015	Encuestador:	U de Caldas
Institución:	U de Caldas	Registrador:	UCALDAS

◆ Localización Geográfica:

Departamento:	CAUCA
Municipio:	BALBOA
Vereda:	BALBOA
Altura:	1195 m
Sitio:	Centro movimiento
Referentes Geográficos:	Deslizamiento sobre la vía El Estrecho-Balboa a 7 Km de la cabecera municipal de Balboa
Latitud:	2.040278
Longitud:	-77.198889



◆ Planchas:

PLANCHA	AÑO	ESCALA	EDITOR
386	2005	100,000	IGAC

◆ Fotografías Aéreas:

No. VUELO	No. FOTO	AÑO	ESCALA	EDITOR
C-2349	198-199	1998	32,000	IGAC

◆ Actividad del Movimiento:

Edad:	[11..15] Años	Estado:	Activo
Estilo:	Sucesivo	Distribución:	Ensanchando

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Litología y Estructura:

ESTRUCTURA	DIRECCION BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO
Planos de estratificación			0,2 - 0,06

Descripción:

Deslizamiento sobre depósito coluvial muy meteorizado de color rojizo con desarrollo de suelo residual el cual se encuentra sobre lodolitas de color gris oscuro pertenecientes al Grupo Diabásico (K2db) constituido por diabasas, basaltos, lavas almohadilladas etc.

◆ Clasificación del Movimiento:

Primer Movimiento:

Tipo Movimiento:	Deslizamiento	Subtipo Movimiento:	Deslizamiento traslacional planar
Tipo Material:	Detritos	Humedad:	Ligeramente Húmedo
Plasticidad:	No plástico	Origen de Suelo:	Residual
Tipo Depósito:			

Segundo Movimiento:

Tipo Movimiento:	Caida	Subtipo Movimiento:	Caida de detritos
Tipo Material:	Detritos	Humedad:	
Plasticidad:		Origen de Suelo:	
Tipo Depósito:			

Sistema de Clasificación:

Sistema de Clasificación: Cruden y Varnes, 1996

◆ Morfometría General:

MORFOMETRÍA GENERAL	VALOR
Pendiente de ladera en post-falla (grados)	40
Dirección del Movimiento (grados)	60
Azimut del talud (grados)	330
Pendiente de ladera en pre-falla (grados)	33
Diferencia de altura corona a punta(m)	45
Longitud horizontal corona a punta (m)	53.6

◆ Dimensión del Terreno:

DIMENSIÓN TERRENO	VALOR
Ancho de la masa desplazada Wd(m)	130
Area Inicial (Km2)	0.008
Area total afectada (Km2)	0.008
Espesor de masa desplazada Dd (m)	0.5
Longitud de masa desplazada Ld (m)	30
Longitud total L (m)	70

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

DIMENSIÓN TERRENO	VALOR
Volumen desplazado (m3)	1,950

Deformación del Terreno:

Modo: Escalonamiento Severidad: Moderada

Geoforma

Sshle: ladera estructural de sierra homoclinal : Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente relacionada a una estructura homoclinal

◆ Causas del Movimiento:

TIPO	CAUSA
Inherente	Material fallado por corte
Contribuyente	Vibracion artificial(trafico,explosiones,hincado de pilotes)
Inherente	Material Meteorizado-Quimica
Detonante	Deshielo

◆ Tipo de Erosión:

Superficial: Cárcavas Subsuperficial: Cavernas
 Edad: Antigua Estado: Moderada
 Fluvial: Ninguna Eólica: No

◆ Cobertura de Suelo:

COBERTURA	PORCENTAJE (%)
Pastos	10
Sin Cobertura	40
Matorrales	50

◆ Uso de Suelo:

USO	PORCENTAJE (%)
Sin Uso	100

◆ Referencias:

AUTOR	TÍTULO	AÑO	EDITOR	CIUDAD	PÁGINAS
-------	--------	-----	--------	--------	---------

El movimiento no tiene referencias registradas.

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Notas:

Material muy meteorizado en una ladera de pendiente moderada con cobertura vegetal pequeña La fechas de evento y reporte fueron asignadas a 14921012.

◆ Apreciación de Riesgo:

Representa riesgo medio por taponamiento de vía y daños de viviendas ante la caída de roca principalmente en épocas de alta lluviosidad

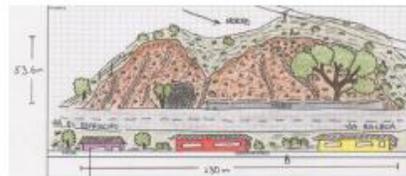
◆ Esquema Planta:

Fotografía Planta

Fecha: 29/10/2014

Autor:

Observaciones:



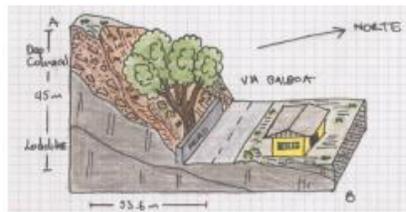
◆ Esquema Perfil:

Fotografía Perfil

Fecha: 29/10/2014

Autor:

Observaciones:



◆ Anexo Fotográfico:

Fotografía

Fecha: 29/10/2014

Autor: Henry-Marcela

Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Fotografía

Fecha:

29/10/2014

Autor:

Henry-Marcela

Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Datos del Registro:

Código:	30033	Importancia:	MEDIA
Fecha del Evento:	01/06/2010	Fecha Reporte:	01/06/2013
Fecha de diligenciamiento:	31/10/2014	Encuestador:	UIS
Institución:	UIS	Registrador:	UIS

◆ Localización Geográfica:

Departamento:	CAUCA
Municipio:	PATÍA (El Bordo)
Vereda:	PIEDRASENTADA
Altura:	1085 m
Sitio:	pie de talud
Referentes Geográficos:	via panamericana via piedrasentada- el bordo , margen izquierdo , Hda buenos aires
Latitud:	2.160833
Longitud:	-76.911111



◆ Planchas:

PLANCHA	AÑO	ESCALA	EDITOR
364	2005	100,000	IGAC

◆ Fotografías Aéreas:

No. VUELO	No. FOTO	AÑO	ESCALA	EDITOR
-----------	----------	-----	--------	--------

El movimiento no tiene fotografías registradas.

◆ Actividad del Movimiento:

Edad:	[1..5] Años	Estado:	Activo
Estilo:	Unico	Distribución:	Avanzado

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Litología y Estructura:

ESTRUCTURA	DIRECCION BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO
------------	--------------------------	------------	---------------

El movimiento no tiene litología asociada.

Descripción:

coluvion del rio de mayo con clastos subesfericos de tamaño grava . este deposito se encuentra sobre la formacion volcanitas de galeon .

◆ Clasificación del Movimiento:

Primer Movimiento:

Tipo Movimiento:	Deslizamiento	Subtipo Movimiento:	Deslizamiento traslacional
Tipo Material:	Detritos	Humedad:	
Plasticidad:		Origen de Suelo:	
Tipo Depósito:			

Segundo Movimiento:

Tipo Movimiento:		Subtipo Movimiento:	
Tipo Material:		Humedad:	
Plasticidad:		Origen de Suelo:	
Tipo Depósito:			

Sistema de Clasificación:

Sistema de Clasificación:

◆ Morfometría General:

MORFOMETRÍA GENERAL	VALOR
Azímüt del talud (grados)	170
Diferencia de altura corona a punta(m)	30
Dirección del Movimiento (grados)	285
Longitud horizontal corona a punta (m)	30
Pendiente de ladera en post-falla (grados)	45
Pendiente de ladera en pre-falla (grados)	43

◆ Dimensión del Terreno:

DIMENSIÓN TERRENO	VALOR
Ancho de la masa desplazada Wd(m)	260
Area Inicial (Km2)	0.008
Area total afectada (Km2)	0.016
Espesor de masa desplazada Dd (m)	10
Longitud de masa desplazada Ld (m)	30
Longitud total L (m)	60
Volumen desplazado (m3)	78,000

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Deformación del Terreno:

Modo: Escalonamiento Severidad: Leve

Geoforma

flujo piroclatico aterrizado

◆ Causas del Movimiento:

TIPO	CAUSA
Inherente	Material fisurado o agrietado
Contribuyente	Erosión Pluvial
Detonante	Lluvias (24h:N/D 48h: N/D 72h: N/D Mes: N/D)

◆ Tipo de Erosión:

Superficial: Subsuperficial: Ninguna
 Edad: Reciente Estado: Baja
 Fluvial: Ninguna Eólica: No

◆ Cobertura de Suelo:

COBERTURA	PORCENTAJE (%)
Pastos	80
Matorrales	20

◆ Uso de Suelo:

USO	PORCENTAJE (%)
Ganadería	90
Vías	10

◆ Referencias:

AUTOR	TÍTULO	AÑO	EDITOR	CIUDAD	PÁGINAS
El movimiento no tiene referencias registradas.					

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Notas:

se podría presentar taponamiento en un carril de la vía a futuro. La fechas de evento y reporte fueron asignadas a 14921012.

◆ **Apreciación de Riesgo:**

riesgo importante ya que afecta una vía principal.

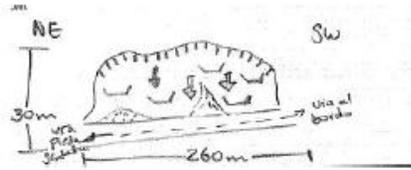
◆ **Esquema Planta:**

Fotografía Planta

Fecha: 01/06/2013

Autor:

Observaciones:



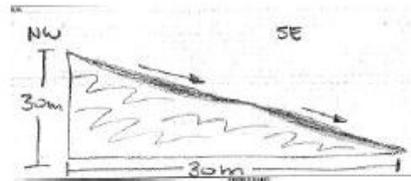
◆ **Esquema Perfil:**

Fotografía Perfil

Fecha: 01/06/2013

Autor:

Observaciones:



◆ **Anexo Fotográfico:**

Fotografía

Fecha: 01/06/2013

Autor:

Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Fotografía

Fecha: 01/06/2013

Autor:

Observaciones:



Fotografía

Fecha: 01/06/2013

Autor:

Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Datos del Registro:

Código:	30076	Importancia:	MEDIA
Fecha del Evento:	08/07/2010	Fecha Reporte:	08/07/2010
Fecha de diligenciamiento:	31/10/2014	Encuestador:	uis
Institución:	uis	Registrador:	UIS

◆ Localización Geográfica:

Departamento:	CAUCA
Municipio:	LA SIERRA
Vereda:	LA SIERRA
Altura:	1888 m
Sitio:	pie de talud
Referentes Geográficos:	via del crucero a la vereda la palma , margen derecho de la via rio san pedro
Latitud:	2.174444
Longitud:	-76.706111



◆ Planchas:

PLANCHA	AÑO	ESCALA	EDITOR
364	2005	100,000	IGAC

◆ Fotografías Aéreas:

No. VUELO	No. FOTO	AÑO	ESCALA	EDITOR
-----------	----------	-----	--------	--------

El movimiento no tiene fotografías registradas.

◆ Actividad del Movimiento:

Edad:	< 1 Año	Estado:	Activo
Estilo:	Complejo	Distribución:	Decreciente

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO
◆ Litología y Estructura:

ESTRUCTURA	DIRECCION BUZAMIENTO (°)	BUZAMIENTO	ESPACIAMIENTO
------------	--------------------------	------------	---------------

El movimiento no tiene litología asociada.

Descripción:

suelo residual de origen sedimentario se observa un coluvial intercalado con el suelo residual pertenecientes a la formación vulcanitas del galeon.

◆ Clasificación del Movimiento:
Primer Movimiento:

Tipo Movimiento:	Deslizamiento	Subtipo Movimiento:	Deslizamiento traslacional
Tipo Material:		Humedad:	
Plasticidad:		Origen de Suelo:	
Tipo Depósito:			

Segundo Movimiento:

Tipo Movimiento:		Subtipo Movimiento:	
Tipo Material:		Humedad:	
Plasticidad:		Origen de Suelo:	
Tipo Depósito:			

Sistema de Clasificación:

Sistema de Clasificación:

◆ Morfometría General:

MORFOMETRÍA GENERAL	VALOR
Azimut del talud (grados)	200
Diferencia de altura corona a punta(m)	80
Dirección del Movimiento (grados)	295
Longitud horizontal corona a punta (m)	200

◆ Dimensión del Terreno:

DIMENSIÓN TERRENO	VALOR
Ancho de la masa desplazada Wd(m)	60
Area total afectada (Km2)	0.023
Espesor de masa desplazada Dd (m)	6
Longitud de masa desplazada Ld (m)	80
Longitud total L (m)	380
Volumen desplazado (m3)	28,800

Deformación del Terreno:

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Modo: Ondulación Severidad: Leve

Geoforma

sierra homoclinal

◆ Causas del Movimiento:

TIPO	CAUSA
Inherente	Material plastico debil
Inherente	Material Colapsible
Contribuyente	Erosión Pluvial
Detonante	Lluvias (24h:N/D 48h: N/D 72h: N/D Mes: N/D)

◆ Tipo de Erosión:

Superficial: Subsuperficial: Ninguna
 Edad: Reciente Estado: Moderada
 Fluvial: Ninguna Eólica: No

◆ Cobertura de Suelo:

COBERTURA	PORCENTAJE (%)
Pastos	20
Matorrales	80

◆ Uso de Suelo:

USO	PORCENTAJE (%)
Ganaderia	20
Vivienda	20
Sin Uso	60

◆ Referencias:

AUTOR	TÍTULO	AÑO	EDITOR	CIUDAD	PÁGINAS
-------	--------	-----	--------	--------	---------

El movimiento no tiene referencias registradas.

REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

◆ Notas:

posible represamiento del rio san pedro. La fechas de evento y reporte fueron asignadas a 14921012.

◆ Apreciación de Riesgo:

daño importante en vivienda y cultivos.

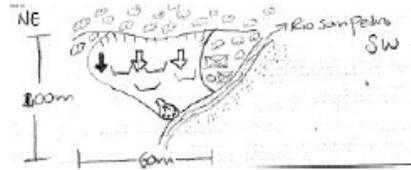
◆ Esquema Planta:

Fotografía Planta

Fecha: 08/07/2013

Autor:

Observaciones: El deslizamiento afecta algunas viviendas



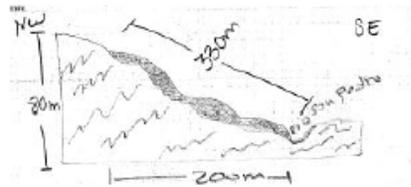
◆ Esquema Perfil:

Fotografía Perfil

Fecha: 08/07/2013

Autor:

Observaciones: El deslizamiento afecta algunas viviendas



◆ Anexo Fotográfico:

Fotografía

Fecha: 08/07/2013

Autor:

Observaciones:



REPORTE DETALLADO DEL MOVIMIENTO EN MASA REGISTRO DE INVENTARIO

Fotografía

Fecha: 08/07/2013

Autor:

Observaciones:



Fotografía

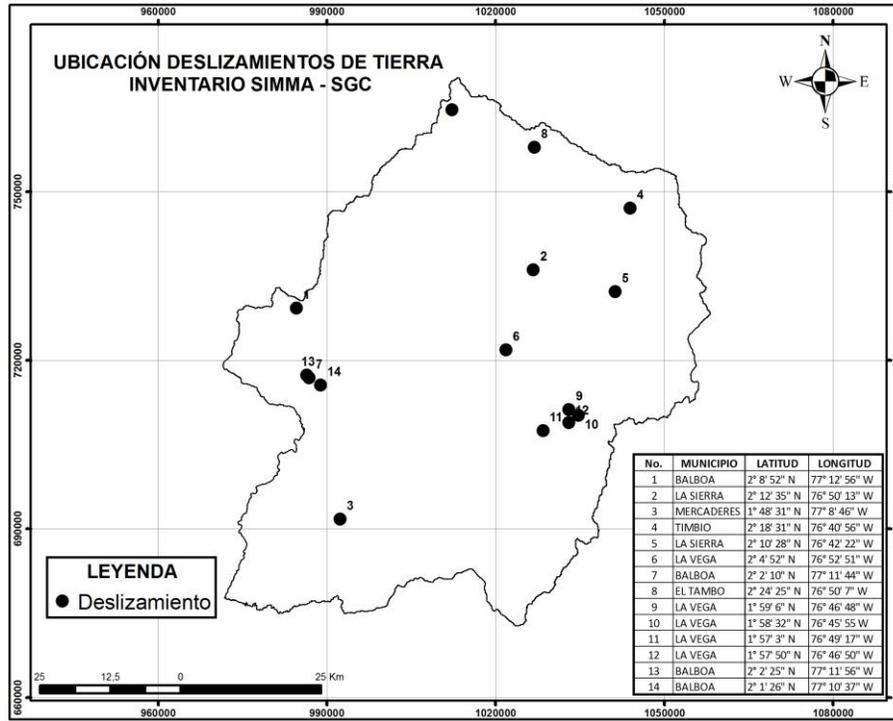
Fecha: 08/07/2013

Autor:

Observaciones:



Anexo B Mapa de ubicación de los deslizamientos de tierra del SIMMA



Anexo C Mapa de ubicación de los deslizamientos de tierra de CRC

