

**GESTION DEL RIESGO EN ÁREAS PRIORITARIAS
SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA
DEPARTAMENTO DE NARIÑO
INFORME FINAL**

FUNDAGUIZA

**San Juan de Pasto
Nariño - Colombia
2012**

INDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| INDICE GENERAL..... | 2 |
| LISTADO DE TABLAS..... | 4 |
| LISTADO DE MAPAS..... | 5 |
| INDICE DE FIGURAS | 6 |
| 0. INTRODUCCIÓN..... | 7 |
| 1. OBJETO GENERAL | 8 |
| Objetivos específicos:..... | 8 |
| 2. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL INFORME | 9 |
| 3. METODOLOGIA | 10 |
| 3.1 Recopilación de Información:..... | 11 |
| 3.1.1 Inventario de registros de Movimientos en Masa | 11 |
| 3.1.2 Captura y procesamiento | 11 |
| 3.1.3 Información espacial y procesamiento..... | 13 |
| 3.1.4 Bases de datos cartográficas | 13 |
| 3.1.4.1 Cartografía Base: | 13 |
| 3.1.4.3 Cartografía temática:..... | 14 |
| 3.1.4.4 Análisis topológico, ajuste espacial y bases de datos..... | 16 |
| 3.2 Susceptibilidad a movimientos en masa y priorización de áreas. | 16 |
| 3.2.1 Geología..... | 17 |
| 3.2.1.1 Densidad de Fracturamiento (Frac)..... | 18 |
| 3.2.1.2 Resistencia (Res)..... | 19 |
| 3.2.1.3 Textura/Fabrica (Fab) | 20 |
| 3.3.1.4 Calificación de la susceptibilidad por la variable geología:..... | 20 |
| 3.2.2 Suelos Edáficos..... | 23 |
| 3.2.2.1 Textura (Text). | 24 |
| 3.2.2.2 Drenaje Natura (Dren). | 25 |
| 3.2.2.3 Profundidad (P)..... | 25 |
| 3.2.2.4 Orden Taxonómico (Ord). | 26 |
| 3.2.2.5 Mineralogía (Min)..... | 26 |
| 3.2.2.6 Resultado de la variable suelos edáficos..... | 27 |
| 3.2.3 Geomorfología..... | 29 |
| 3.2.3.1 Morfometría:..... | 29 |
| 3.2.3.1.1 Pendiente..... | 30 |
| 3.2.3.1.2 Acuenca (Acuen): | 30 |

| | |
|--|----|
| 3.2.3.1.3 Rugosidad (Rugos): | 30 |
| 3.2.3.2 Morfogénesis (Mg) | 36 |
| 3.2.3.3 Morfodinámica (Md): | 43 |
| 3.2.3.4 Susceptibilidad por Geomorfología | 43 |
| 3.2.4 Cobertura | 43 |
| 3.2.4.1 Susceptibilidad por la variable Cobertura | 46 |
| 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS | 49 |
| 4.1 El departamento según estudios a nivel Nacional..... | 49 |
| 4.2 Información departamental | 54 |
| 4.3 Susceptibilidad a Movimientos en masa..... | 63 |
| 4.3.1 Descripción:..... | 63 |
| 4.3.1.1 Geología..... | 63 |
| 4.3.1.2. Suelos:..... | 64 |
| 4.3.1.3 Geomorfología..... | 64 |
| 4.3.1.2 Cobertura | 68 |
| 4.3.2 Susceptibilidad a movimientos en masa. | 70 |
| 4.3.2.1 Subzonas hidrográficas:..... | 72 |
| 4.3.2.1.1 Mayo..... | 72 |
| 4.3.2.1.2 R Patía (Alto – Medio)..... | 75 |
| 4.3.2.1.3 R. Juanunbú | 78 |
| 4.3.2.1.4 Guaitara..... | 80 |
| 7. Bases de Datos | 82 |
| 6. RECOMENDACIONES | 83 |
| 7. Bibliografía. | 85 |

LISTADO DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Estudios referentes a movimientos en masa. Fuente: El Autor..... | 11 |
| Tabla 2. Sistema de Proyección Magna Colombia Oeste. Fuente: El Autor | 16 |
| Tabla 3. Clasificación de la densidad de fracturamiento. Fuente: INGEOMINAS – IDEAM, 2009 | 18 |
| Tabla 4. Clasificación del atributo resistencia. Fuente: INGEOMINAS – IDEAM, 2009 | 19 |
| Tabla 5. Clasificación de la resistencia para los depósitos. Fuente: INGEOMINAS, 2002b | 19 |
| Tabla 6. Clasificación de la fabrica/Textura. Fuente: INGEOMINAS, 2011 | 20 |
| Tabla 7. Calificación de la variable textura. Fuente: INGEOMINAS, 2011. | 24 |
| Tabla 8. Calificación del atributo drenaje natural. Fuente: INGEOMINAS, 2011 | 25 |
| Tabla 9. Calificación del atributo profundidad. Fuente: INGEOMINAS, 2011 | 25 |
| Tabla 10. Calificación de la variable Orden Taxonómico. Fuente: INGEOMINAS, 2011. | 26 |
| Tabla 11. Calificación del atributo mineralogía de la fracción arcilla. Fuente: El Autor. | 27 |
| Tabla 12. Calificación del atributo pendiente. Fuente: INGEOMINAS, 2011 | 30 |
| Tabla 13. Clasificación del atributo Acuenca. Fuente: El Autor. | 30 |
| Tabla 14. Calificación del atributo rugosidad..... | 31 |
| Tabla 15. Rangos de pendientes para estudios geomorfológicos, propuesto por Carvajal (2008)..... | 36 |
| Tabla 16. Rangos de intervalo de altura o relieve relativo. Fuente: INGEOMINAS, 2011..... | 37 |
| Tabla 17. Rangos de la pendiente que determinan el comportamiento de una ladera. Fuente: INGEOMINAS, 2011. | 37 |
| Tabla 18. Calificación de la susceptibilidad de los depósitos. Fuente: INGEOMINAS, 2011..... | 38 |
| Tabla 19. Calificación del atributo Geomorfogénesis. Fuente: INGEOMINAS, 2011..... | 39 |
| Tabla 20. Calificación de los atributos de la variable cobertura y el nivel de susceptibilidad..... | 46 |
| Tabla 21. Susceptibilidad a movimientos en masa por zona y municipio. Fuente: IDEAM, 2011 | 52 |
| Tabla 22. Procesos georreferenciados de movimiento en masa..... | 57 |
| Tabla 23. Área del departamento por geomorfología | 65 |

LISTADO DE MAPAS

| | |
|---|----|
| Mapa 1. Área de estudio. Límite de Nariño | 15 |
| Mapa 2. Mapa Geológico de Nariño ajustado. | 21 |
| Mapa 3. Fallas, Pliegues y lineamientos foto-geológicos. | 22 |
| Mapa 4. Mapa de Suelos de Nariño. | 28 |
| Mapa 5. Modelo digital del Terreno en msnsm. | 32 |
| Mapa 6. Pendiente del terreno. Derivado del MDT | 33 |
| Mapa 7. Atributo Acuenca (m2)..... | 34 |
| Mapa 8. Rugosidad del Terreno. Derivado del MDT. | 35 |
| Mapa 9. Modelo de sombras | 40 |
| Mapa 10. Contraste de relieve relativo. | 41 |
| Mapa 11. Mapa Geomorfológico de Nariño. | 42 |
| Mapa 12. Cobertura de la Tierra. | 48 |
| Mapa 13. Mapa de susceptibilidad del terreno a deslizamientos. Fuente: INGEOMINAS-IDEAM, 2010... | 51 |
| Mapa 14. Número total de registros de movimientos en masa. | 55 |
| Mapa 15. Localización de los registros de movimientos en masa. | 56 |
| Mapa 16. Registros de movimientos en masa durante la Ola Invernal 2010 - 2011. | 59 |
| Mapa 17. Densidad de registros de movimientos en masa..... | 60 |
| Mapa 18. Número total de víctimas asociadas a eventos de movimiento en masa..... | 61 |
| Mapa 19. Número total de víctimas durante la Ola Invernal 2010 – 2011 asociadas a eventos de movimiento en masa. | 62 |
| Mapa 20. Susceptibilidad a movimientos en masa. | 73 |
| Mapa 21. Susceptibilidad en la Sub-Zona hidrográfica Río Mayo..... | 74 |
| Mapa 22. Susceptibilidad en la Sub-Zona hidrográfica Río Patía Alto – Medio. | 77 |
| Mapa 23. Susceptibilidad en la Sub-Zona hidrográfica Río Juanabú..... | 79 |
| Mapa 24. Susceptibilidad en la Sub-Zona hidrográfica Río Guitara. | 81 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Modelo lógico del análisis de susceptibilidad a movimientos en masa..... | 10 |
| Figura 2. Formulario generado para ingresar los registros de movimientos en masa. Fuente: El Autor | 12 |
| Figura 3. Grupos que conforman la base de datos geográfica de información base. | 13 |
| Figura 4. Grupos que conforma la base de datos con información temática para en análisis de susceptibilidad a escala 1:100.000. | 14 |
| Figura 5. Variables y atributos evaluados con sus respectivos pesos. Fuente: INGEOMINAS, 2011 | 17 |
| Figura 6. Atributos de la variable geología con sus respectivos pesos. Fuente: INGEOMINAS, 2011 | 18 |
| Figura 7. Atributos evaluados de la variable suelos edáficos con sus pesos. Fuente: INGEOMINAS, 2011..... | 23 |
| Figura 8. Modelo lógico para el análisis de susceptibilidad por suelos edáficos. Fuente: El Autor. | 24 |
| Figura 9. Atributos evaluados para la variable geomorfología. | 29 |
| Figura 10. Modelo lógico implementado para corregir el mapa de Coberturas de la Tierra 2002 (IDEAM, 2010).. | 44 |
| Figura 11. Efectos de la cobertura sobre el balance hídrico en una ladera, Fuente: Suarez, 1998..... | 44 |
| Figura 12. Atributos evaluados de la variable cobertura. Fuente: INGEOMINAS, 2011..... | 45 |
| Figura 13. Eventos de movimientos en masa. INGEOMINAS, 2002 | 49 |
| Figura 14. Distribución de datos en el departamento de Nariño por fecha y año. Fuente: INGEOMINAS, 2002 | 49 |
| Figura 15. Nivel de susceptibilidad a procesos de movimientos en masa | 50 |
| Figura 16. Susceptibilidad del terreno a deslizamientos por zonas del departamento..... | 50 |
| Figura 17. Número de registros por año | 58 |
| Figura 18. Área del departamento según su génesis. | 65 |
| Figura 19. Cobertura de la tierra en Nariño en el año 2002..... | 69 |
| Figura 20. Porcentaje del área por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa en el departamento | 71 |
| Figura 21. Porcentaje del área por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa en las Zonas..... | 71 |
| Figura 22. Nivel de susceptibilidad en la subzona del Río Mayo. | 72 |
| Figura 23. Área de la subzona Patía Alto por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa | 76 |
| Figura 24. Área de la subzona Patía Medio por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa..... | 76 |
| Figura 25. Área de la subzona Patía Medio por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa..... | 78 |
| Figura 26. Área de la subzona Patía Medio por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa..... | 80 |

0. INTRODUCCIÓN.

En Colombia el Ministerio del Interior y de Justicia, a través de la Dirección de Gestión del Riesgo (DGR), junto a la Dirección de Atención y Prevención de Desastres realizó un reporte el cual precisó que desde el 6 de abril de 2010 a finales del mes de julio del presente año, "por invierno se registran 4'000.203 personas afectadas, quienes integran 934.849 familias, 486 muertos, 595 heridos, 43 desaparecidos, 16.215 viviendas destruidas y 550.472 viviendas averiadas". En el país por desastres naturales propiciaron la creación de la Ley 046 de 1988, el Decreto 919 de 1989 y la inclusión de la prevención y atención de desastres en la constitución política de 1991. En respuesta a la emergencia por los daños y efectos generados por el fenómeno de la Niña durante los años 2010 y 2011, se decretó la 'Ola Invernal', en un intento por fortalecer los sistemas de prevención, atención y mitigación, con herramientas que permitan contrarrestar con una aproximación relativa, situaciones similares a futuro.

Dentro de la gestión del Riesgo, los movimientos en masa, son eventos que por su extensión, intensidad y efectos son de principal atención, dejando saldos de victimas elevados, como por ejemplo el caso de Armero, que dejó un saldo de aprox. 20.000 muertos.

El departamento de Nariño se caracteriza la cual por un paisaje complejo volcánica y estructural, con abundates sistemas de fallas, además de procesos de meterorización profunda, dando un importante grado de amenaza. En respuesta a la Emergencia decretada y por los daños ocasionados por los multiples eventos de movimientos en masa durante esta en el departamento de Nariño, La Corporación Autonoma de Nariño - CORPONARIÑO acude a subsanar la falta de información soporte técnico, firmando un convenio de cooperación 206 con FUNDAGUIZA que le permita en los tiempos estipulados obtener los estudios requeridos que le permitan de forma argumentada definir cuales áreas deben ser priorizadas para invertir recursos, formular planes y generar obras de bio-ingeniería que contrarresten los efectos de los movimientos en masa.

Este documento es en síntesis, con la información disponible a la fecha, el análisis a movimientos para el departamento de Nariño, generado como un primer paso para la formulación de planes prevención, atención y contingencia, ante eventos de movimientos en masas. Para esto se encuentra dividido en dos fases: La primera es la recopilación de información secundaria documental e histórica de eventos sucedidos; La segunda es el análisis de susceptibilidad para la totalidad del departamento a escala 1:100.000 evaluada con cuatro variables: geología, Geomorfología, Cobertura y Suelos en el cual se identificar zonas prioritarias, las cuales son sometidas análisis estadístico. Las salidas visuales y los datos con información so detallados en este informe, donde se priorizan áreas con miras a elaborar nuevos estudios detallados.



*CONVENIO DE COOPERACION CIENTIFICA Y
TECNOLOGICA No. 206 del 29 de Junio de 2011*



1. OBJETO GENERAL

- Zonificar el departamento de Nariño según la susceptibilidad a movimientos en masa a escala 1:100.000

Objetivos específicos:

- Recopilar información de entidades gubernamentales y privadas acerca de los estudios realizados hasta el momento sobre la gestión del riesgo para el departamento de Nariño.
- Analizar a nivel espacial y documental los productos de información secundaria sobre movimientos en masa.
- Evaluar e identificar zonas de mayor recurrencia a fenómenos.

2. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL INFORME

Acorde a los objetivos pactados en el convenio 026 de 2011 (FUNDAGUIZA – CORPONARIÑO) este informe presenta el catálogo de eventos y el análisis de susceptibilidad a movimientos en masa para el departamento de Nariño. Estos pretenden servir de base y fundamento para que CORPONARIÑO y otras entidades, continúen y fortalezcan los estudios de Gestión del Riesgo en el departamento, aportando herramientas y bases conceptuales de alta calidad. Es importante resaltar el avance, las potencialidades y futuras aplicaciones de este, un estudio que cuenta con una completa información de diversos factores biofísicos y con un análisis, en el que CORPONARIÑO es pionera.

La calidad y nivel de detalle de información temática y en algunos casos, base (cartográfica o documental) es el principal impedimento dentro del análisis realizado. La correcta cuantificación, valoración y determinación de las zonas susceptibles, está sujeta a la disponibilidad y calidad de la cartografía, lo que para el departamento, limitó el análisis a una escala regional (1:100.000), y es menester luego de la priorización, realizar estudios locales. No se debe confundir el nivel de detalle aquí dispuesto con los problemas específicos de los municipios y centros poblados.

La correcta identificación y caracterización de las zonas, responde básicamente a la calidad y la escala de trabajo utilizada para el desarrollo de cada uno de los análisis y de los reportes entregados por las entidades estatales y privadas, los cuales posteriormente fueron estandarizados y procesados para generar los productos solicitados en el convenio.

3. METODOLOGIA

La metodología implementada es, en síntesis, el sinergismo de dos documentos:

- Movimientos en masa, una guía para la evaluación de amenaza (GEMMA, 2007), adjunto en el Anexo 1.1.
- Guía metodológica para la zonificación de la susceptibilidad y amenaza a escala 1:100.000 del Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS (2011), adjunto en el Anexo 1.2.

El primer documento provee información general para la evaluación y análisis de eventos de movimientos en masa, en un trabajo conjunto realizado por diferentes instituciones cuyo objeto es el estudio de estos fenómenos, de los países que integran la Comunidad Andina de Naciones. Por otro lado la Guía Metodológica para la zonificación de la susceptibilidad a escala 1:100.000, es un documento elaborado por el Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS, con el objetivo de generar una base metodológica aplicable a todo el territorio Nacional. Este documento a la fecha no ha sido publicado, pero la Subdirección de Amenaza (Movimientos en Masa) cedió al convenio un borrador, además del seguimiento en tres reuniones, dando recomendaciones y sugerencias. El equipo técnico de FUNDAGUIZA por otra parte, realizó algunos cambios metodológicos, presentados posteriormente a INGEOMINAS para fortalecer los análisis subsiguientes.

La figura 1 se visualiza en modelo lógico y cartográfico, donde se identifica dos fases:

- Recopilación de Información concerniente a procesos históricos de movimientos en masa.
- Análisis de Susceptibilidad a escala 1:100.000 y priorización de áreas por susceptibilidad.

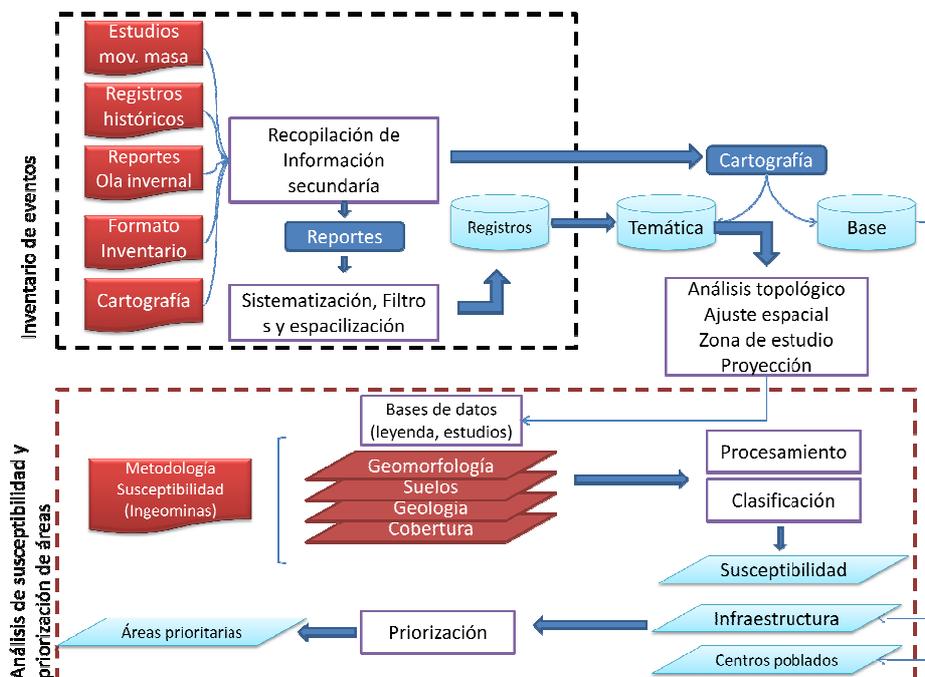


Figura 1. Modelo lógico del análisis de susceptibilidad a movimientos en masa.

3.1 Recopilación de Información:

3.1.1 Inventario de registros de Movimientos en Masa

Se adquirió los registros históricos y documentos técnicos con reportes movimientos en masa para el departamento de Nariño, enfatizado en los sucedidos durante la ola inverna 2010-2011 (tabla 1).

Tabla 1 Estudios referentes a movimientos en masa. Fuente: El Autor.

| Titulo | Objeto general | Resultado obtenido | Observación |
|--|---|---|--|
| Mapa escala 1:500.000 de zonas susceptibles a movimientos en masa. | Identificar las zonas susceptibles a movimientos en masa | Se desarrolló un estudio sobre zonas susceptibles a inundaciones bajo el estudio. | El estudio realizado a nivel nacional será útil si se utiliza como medio de identificación por departamento a gran escala. |
| Catálogo Nacional de Movimientos en Masa (INGEOMINAS, 2002) | Recopilar información sobre la ocurrencia de datos en Colombia. | Listado nacional de eventos de movimientos en masa desde 1916 a 2002 por municipio. | Ordena el inventario de eventos tomados de los registros históricos de periódicos. |
| Registros históricos de movimientos en Masa (CREPAD) 2010-2011. | Generar un registro actualizado de los eventos sucedidos durante la ola invernal 2010-2011. | Hoja de cálculo con los reportes de Inundaciones 2004-2011. | Estos registros son la base del análisis de los sucesos ocurridos durante la Ola Invernal 2010 – 2011, con información de víctimas, damnificados e infraestructura afectada. |
| Inventario de deslizamientos En las zonas: Cordillera occidental, centro-oriental, depresión Cauca-Patía y piedemonte andino oriental del departamento de Nariño en un SIG | Generar un inventario de reportes históricos de movimientos en masa para el departamento hasta el 2002. | Paquete S.I.G con reportes de movimiento en masa y archivos fotográficos. | No contiene las fechas de los eventos. Errores en la documentación y depuración de datos. |

3.1.2 Captura y procesamiento

En un intento por estandarizar y facilitar los sistemas de consultas y adición de datos se generó una base de datos y un formulario en Microsoft Access, en los que se ingresó los reportes de eventos de movimientos en masa del departamento de Nariño (Anexo 1.3). La Figura 2 detalla el formulario generado para Microsoft Access 2007.

Los campos incluidos en la base de datos de movimientos en masa son similares a los descritos en el formulario propuesto por el Grupo de Estándares para Movimientos en Masa por sus siglas GEMMA (Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las comunidades Andinas, 2007) y similar al SIMMA¹. Este contiene información de la descripción del lugar, la fechas del evento y del reporte, el tipo de proceso y su descripción junto a la morfometría y los daños a la infraestructura, cambios a la cobertura y uso del suelo, los detonantes y condicionantes y la referencias de información. La tipificación de los procesos es similar a la usada por Cruden y Varnes (1996) la cual clasifica el tipo en 7 tipos (Caida, Volcamiento, Deslizamiento de roca o suelo, Propagación lateral, Flujo, Reptación y Deformaciones gravitacionales profundas) y 19 subtipos o procesos, estos últimos los listados en la base de datos.

FORMULARIO DE REPORTES DE MOVIMIENTO EN MASA

6. fecha de informe: 8/2/2011. Importancia: Institución: CORPONARIÑO Código del Evento: MMN-ANCD Referente Cartográfico: Sitio: Via Anzoátegui - Em3

Fecha del Evento: 4/24/2002. Institución: CORPONARIÑO Encuestador: MARCELO GARCIA Email: marcelegarcia115@bolivia.net

Departamento: NARIÑO Municipio: ANCEPIA Localidad:

Latitud: 02043.31 Longitud: 850760.24 Altura (metros): 1191

PROCESO DE MOVIMIENTO EN MASA

Movimiento 1: Movimiento 2:

Roca: Debris: Tierra: Roca: Debris: Tierra:

Humedad: Humedo: Húmedo: Seco:

Flexibilidad: Rígida:

Clase Car: Tipo Suelo:

VELOCIDAD (m/s):

Velocidad (Rango):

Velocidad Media: Velocidad Máx.:

ACTIVIDAD DEL MOVIMIENTO

Fecha 3º movimiento: Fecha anterior movimiento: Edad (años): Estado: Activo Inactivo Destruído

DIMENSIONES DEL MOVIMIENTO

Diferencia de altura corona a punta (m): Ancho de Masa Desplazada Wd (m): 150 Longitud L (m):

Longitud horizontal corona a punta (m): Ancho de la superficie de ruptura (m):

Fahrbeschung (°): Longitud de la masa desplazada (m): 150 Volumen desplazado (m³):

Pendiente en ladera Post-Falla (°): Longitud de la superficie de ruptura (m):

Dirección del movimiento (°): Espesor de la masa desplazada d (m): Área inicial afectada (km²):

Ángulo del talud (°): Profundidad de la superficie de ruptura Dr (m): Run up (m):

Deformación del Terreno: Geofirma:

Modo: Servida:

COBERTURA

USO DEL SUELO

Uso del Suelo: (%)

MMN-ANCD: Código cartografía: 330

POBLACIÓN

Herdos: Derrumbados: Desaparecidos:

Vicinas: Familia:

INFRAESTRUCTURA

REFERENCIAS

Documentación:

Fotografía:

En caso de que el condicionante o detonante sea sismo o lava:

Sismo: Lava:

FOTOGRAFIAS

Foto Referencia: Foto Central: Foto de Perfil Izquierdo: Foto de Perfil derecho: Esquema de Perfil: Esquema en Planta:

NOTAS Y APLICACIÓN DEL RIESGO:
NO SE REGISTRA FECHA DEL EVENTO: LA FECHA APLICADA ES LA DE LA VISITA

Figura 2. Formulario generado para ingresar los registros de movimientos en masa. Fuente: El Autor

¹ Sistema de Información de Movimientos en Masa, disponible en: <http://zafiro.INGEOMINAS.gov.co/simma>

3.1.3 Información espacial y procesamiento

Las bases de datos fueron sometidas a filtros para eliminar replicas y redundancias, usando diversos herramientas para el análisis de información descriptiva y espacial y consultas por localización y fecha. Aquellos que incluyen coordenadas fueron especializados y re-proyectaron a Magna Colombia Oeste, junto con la descripción incluida en los registros. Con el nombre del municipio se relacionaron la totalidad de los eventos junto con la información de víctimas y daños a la infraestructura.

Con los registros de movimientos en masa se realizó un análisis de densidad de eventos por kilómetro cuadrado, usando como radio de búsqueda por punto el valor medio de distancia entre pares de puntos y la suma de la desviación estándar.

3.1.4 Bases de datos cartográficas

3.1.4.1 Cartografía Base:

Se construyó una base de datos con cartografía base con la información de las planchas a escala 1:100.000 generadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, las cuales contiene además la información temática misional del Instituto (2005). En esta los datos espaciales se encuentra almacenados en Objetos espaciales es decir: un ente limitado que representa mediante figuras un objeto físico, estos relacionados en grupos, por ejemplo: Los drenajes, ciénagas, pantanos son los objetos espaciales agrupados en 'Superficie de agua'. La figura 3 detalla los grupos que contiene cada base de datos.

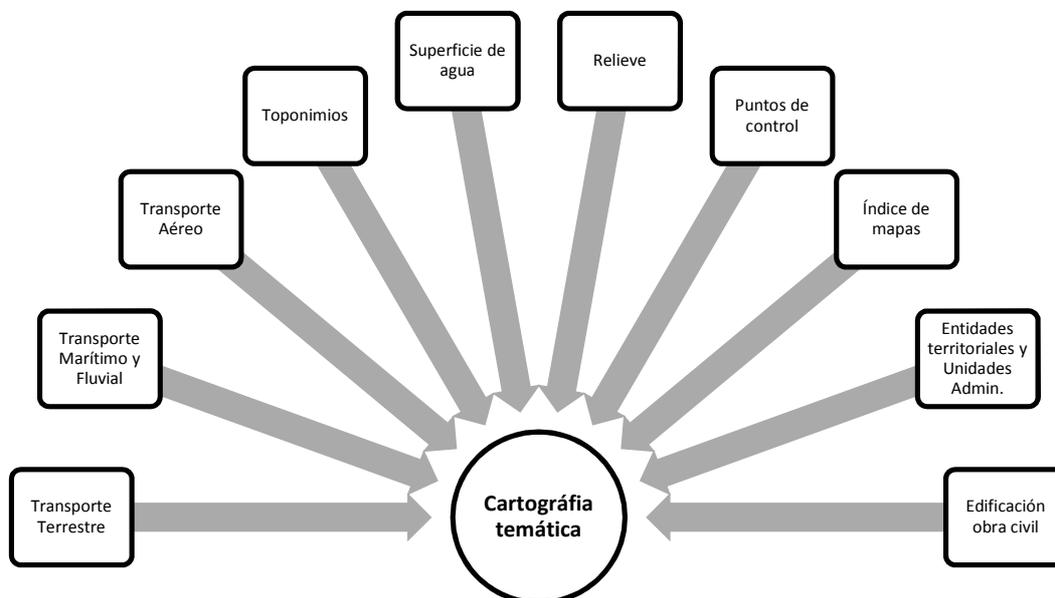


Figura 3. Grupos que conforman la base de datos geográfica de información base.

La información que dispone el IGAC ha dividido el territorio del país en 601 planchas escala 1:100.000, con un área de 600km². Nariño por su encuentra dividió en 27 planchas las cuales fueron empalmadas en un solo base de datos.

El área de estudio establecida es el departamento de Nariño (mapa 1), cuyos límites fueron ajustado, tomando como base los aceptados por CORPONARIÑO en sus bases cartográficas pero corregidos en la zona noroccidental, tomando como referencia el estudio de Zonificación de Manglar en el departamento de Nariño (WWF – CORPONARIÑO, 2009).

3.1.4.3 Cartográfica temática:

Se generó una base de datos geográfica con información temática (...//Gestion_Riesgo100k.gdb) para Arcgis 10. Para su generación se recopiló diferentes insumos temáticos, los cuales se ordenaron en Grupos, según el aspecto de estudio (figura 4) detallados a continuación:

- Edafología: Contiene los objetos espaciales del estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras de Nariño (IGAC, 2004)
- Geología. Contiene las formaciones y grupos y unidades cartográficas, fallas, pliegues y lineamientos de las planchas de geología escala (1:100.000) de INGEOMINAS.
- Cobertura: Contiene las cobertura extraídas del ‘Mapa de Coberturas de la Tierra 2000 - 2002, adaptación Corine LandCover’ (IDEAM, 2010) y los ajustes posteriores realizados para su análisis.
- Geomorfología: Contiene las unidades geomorfológicas extraídas del proyecto “Investigación integral del andén pacífico Colombiano” para la zona andina y las generadas para la zona andina.
- Movimientos en masa: Contiene los registros del inventario de movimientos en masa y los productos de los análisis posteriores y el resultado de estudios realizados por otras instituciones.
- Efectos y Daños: Contiene las pérdidas y daños generados durante la última ola invernal.

El anexo 14 contiene el diccionario de datos de la información con la cartografía temática.

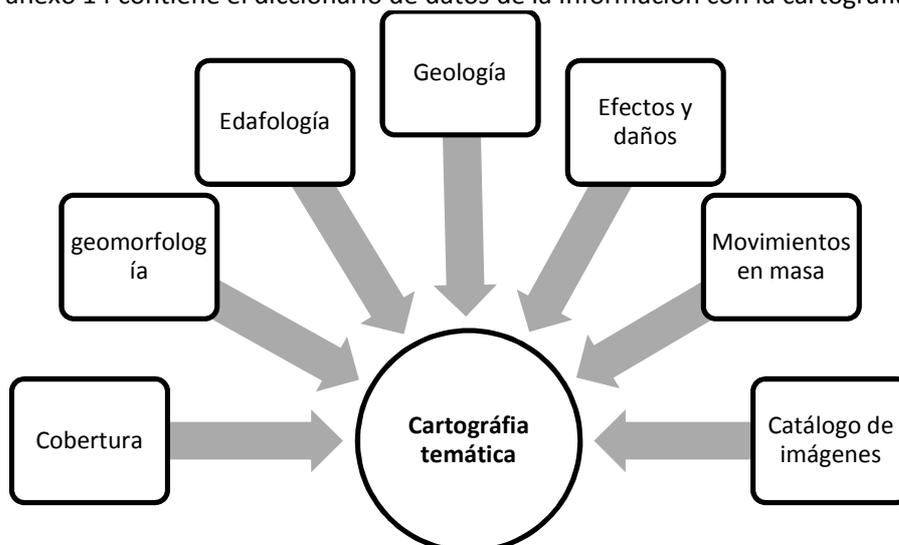
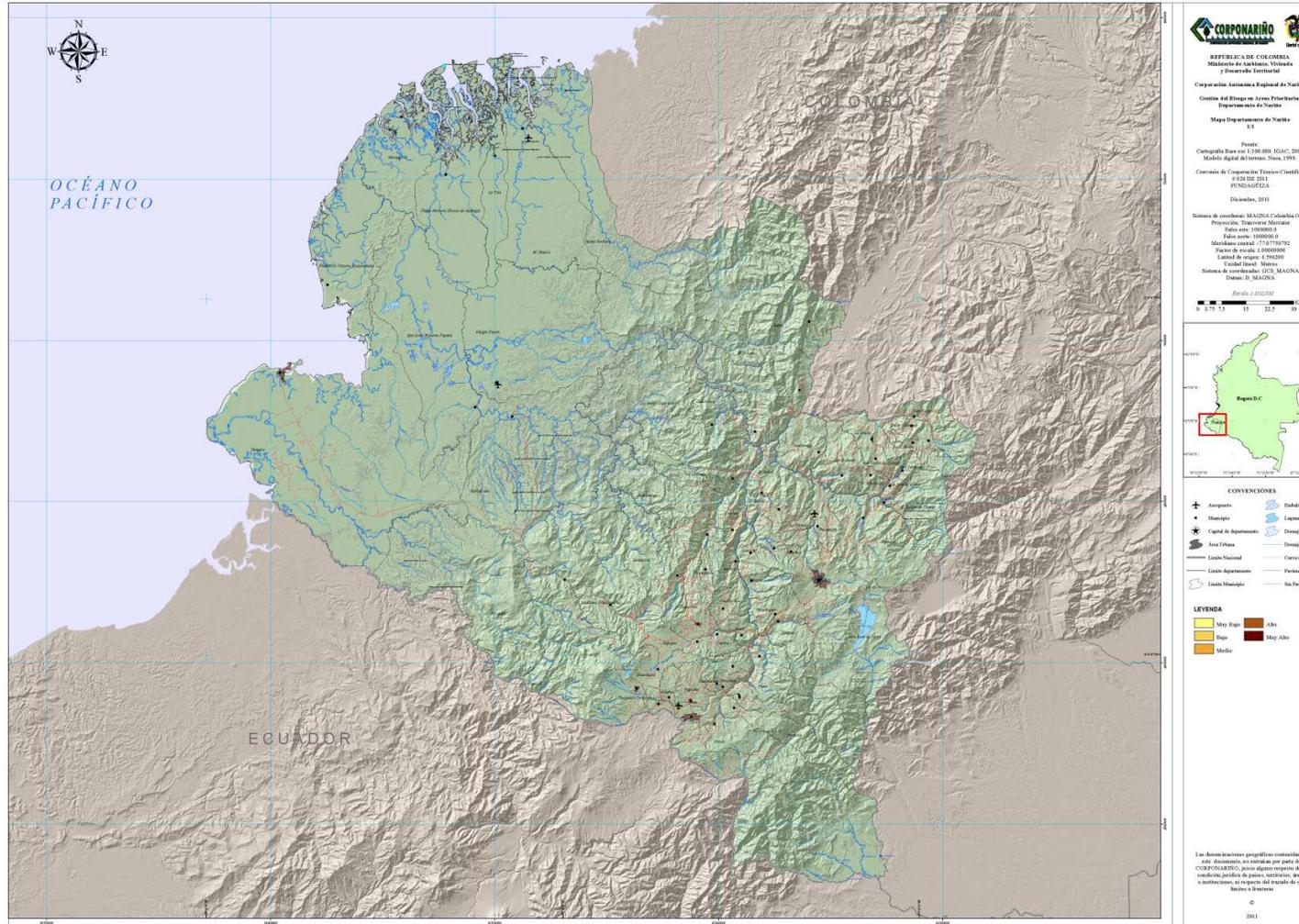


Figura 4. Grupos que conforma la base de datos con información temática para en análisis de susceptibilidad a escala 1:100.000.



Mapa 1. Área de estudio. Límite de Nariño

3.1.4.4 Análisis topológico, ajuste espacial y bases de datos.

Para el ajuste espacial de los objetos geográficos se usó herramientas de geo-procesamiento y análisis topológico, específicamente de vacíos, sobreposición y conectividad, donde se corrigieron errores de las y entre las figuras espaciales.

Se ajustó el límite departamental y municipal en la zona costera, apoyados en la cartografía del estudio 'Caracterización, Diagnostico y Zonificación de Los Manglares en el Departamento de Nariño' (Corponariño-WWF, 2010). Con esta se procedió a recortar y ajustar la información temática.

El sistema de proyección para la información seleccionado, corresponde a Magna Sirgas Oeste:

Tabla 2. Sistema de Proyección Magna Colombia Oeste. Fuente: El Autor

| Magna Colombia Oeste | |
|------------------------------------|-----------------------|
| Proyección | Transverse_Mercator |
| Falso Este | 1000000 |
| Falso Norte | 1000000 |
| Meridiano Central | -71.077508 |
| Factor de Escala | 1 |
| Latitud de Origen | 4.5962 |
| Unidad Linear | Metro (1.000000) |
| Sistema de coordenadas geograficas | GCS_MAGNA |
| Unidad Angular | 0.017453292519943299° |
| Meridiano primario | Greenwich |
| Datum | D_MAGNA |
| Esferoide | GRS_1980 |
| Semieje Mayor | 6378137 |
| Semieje Menor | 6356752.314 |
| Elipticidad inversa | 298.2572221 |

3.2 Susceptibilidad a movimientos en masa y priorización de áreas.

El fundamento metodológico se encuentra en el documento 'Zonificación de Susceptibilidad y amenaza por Movimientos en Masa escala 1:100.000' (INGEOMINAS, 2011). Este análisis se compone de la evaluación, valoración y clasificación de la susceptibilidad a diferentes atributos de cuatro variables biofísicas que controlan y determinan los procesos geo-dinámicos: Geología, Geomorfología, Suelos, Cobertura; Para esto son calificadas (los atributos) en una escala ordinal 1-5, donde 1 es el nivel más bajo, lo que representa una menor susceptibilidad y cinco el nivel más alto ó de mayor susceptibilidad. Cada variable es en resumen el producto de la calificación y multiplicación de sus atributos, con unos pesos establecidos en la metodología y determinados mediante análisis estadístico de procesos

jerárquico analítico por sus siglas en inglés AHP, para posteriormente, aplicando los factores obtener un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa. Los resultados de las variables y atributos que el análisis estadístico generó se detallan en la figura 5. A continuación se detalla las variables y los atributos evaluados en la metodología.

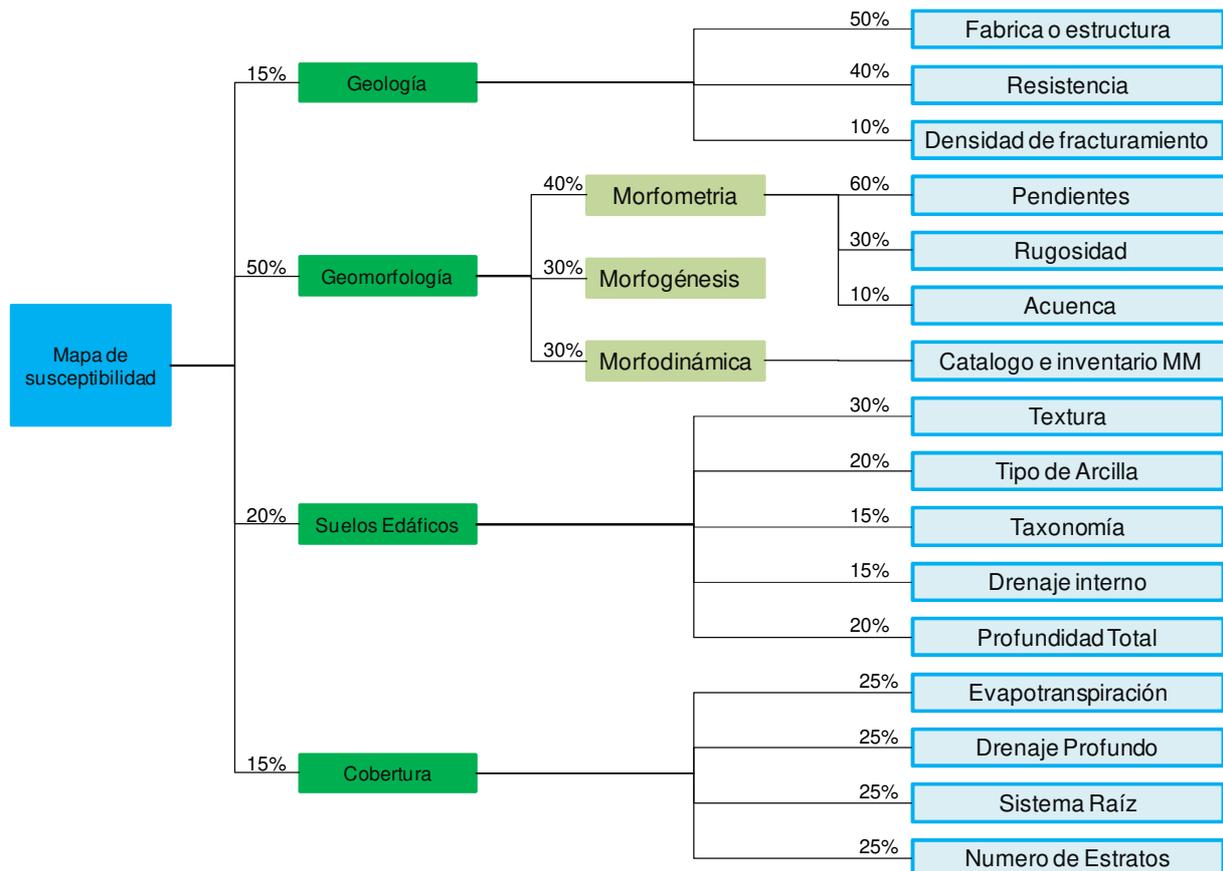


Figura 5. Variables y atributos evaluados con sus respectivos pesos. Fuente: INGEOMINAS, 2011

3.2.1 Geología.

La variable geología pretende evaluar el comportamiento del material litológico frente a procesos de meteorización y esfuerzos mecánicos. Los mapas geológicos a escala 1:100.000 en general contienen información litológica a nivel de formación e información estructural convencional, que permiten la caracterización lito-estratigráfica de las unidades cartografiadas a la escala del estudio. Dentro de una formación la distribución espacial de los tipos litológicos es uniforme y generalizada y no muestran necesariamente el estado o condición física de los materiales. En ese sentido se hace necesaria la discriminación litológica (tipos de roca o sedimentos del área), para lo cual, el mapa geomorfológico es fundamental como documento integrador y estructurante de otros tipos de información temática (INGEOMINA, 2011)

Se tomó las planchas cartográficas de geología escala 1:100.000, generadas por INGEOMINAS para la zona andina número: 465, 447B, 447, 448, 450, 429, 430, 410, 411, 387, 386 y 363 de la Zona Andina el mapa geológico del estudio 'Zonificación del Anden Pacífico Colombiano escala 1:100.000' (INGEOMINAS-IGAC, 2005). Estas fueron sometidas a análisis topológico (vacíos y sobre-posición), ajuste espacial y sistematización de bases de datos. El proceso de empalme requirió además redibujar algunas unidades cartográficas que presentaban discontinuidades entre planchas (Mapa 2).

Para el análisis de susceptibilidad por Geología se evaluaron los siguientes atributos con los pesos:

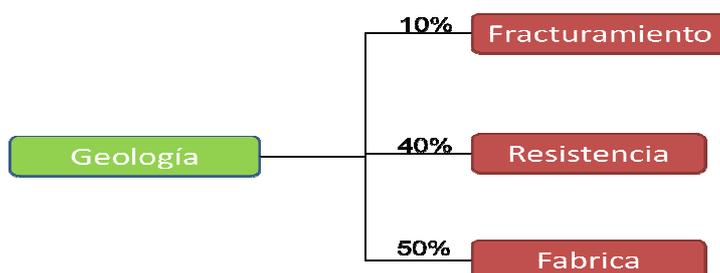


Figura 6. Atributos de la variable geología con sus respectivos pesos. Fuente: INGEOMINAS, 2011

3.2.1.1 Densidad de Fracturamiento (Frac)

El sistema de fallas se encuentra relacionado con las tasas de desplazamiento del material litológico disminuyendo la resistencia de las rocas, ya que estas generalmente, actúan como ruta preferida por los flujos de agua debido a que comúnmente, la roca se encuentra fracturada a lado y lado, produciendo meteorización química así como lavado y erosión, y éstos a su vez, pueden conducir a una abertura de la superficie de la falla.

Basado en las planchas de geología generadas por INGEOMINAS (Mapa 3) para el departamento se calculó la densidad fallas, lineamientos y pliegues de la corteza, expresado en número de fallas por kilómetro cuadrado, usando el algoritmo 'line density' del software ArcGis. Para esta operación el software requiere de un radio de búsqueda (vecindad) el cual fue calculado como el límite superior (estadístico), es decir, la suma de la distancia media entre pares de líneas (centro a centro) y la desviación estándar. El resultado fue clasificado en cinco 'jenks', el cual es un método diseñado para determinar el mejor arreglo de los valores en diferentes clases, disminuyendo la varianza dentro de esta y maximizando entre las clases. La calificación asignada fue:

Tabla 3. Clasificación de la densidad de fracturamiento. Fuente: INGEOMINAS – IDEAM, 2009

| Densidad de fracturamiento (m/km ²) | Calificación | Susceptibilidad |
|---|--------------|-----------------|
| 0 - 0.286488 | 1 | Muy Baja |
| 0.286488 - 0.787841 | 2 | Baja |
| 0.787841 - 1.217572 | 3 | Media |
| 1.217572 - 1.79054 | 4 | Alta |

1.790548 - 3.638393

5

Muy Alta

3.2.1.2 Resistencia (Res)

La resistencia de la roca a esfuerzos mecánicos (compresión, impacto y penetración) determina la vida útil del materia, esta, en función de la composición química y física de los minerales de los cuales está compuesto, así por ejemplo rocas con resistencia baja son más susceptibles a desintegrarse por procesos de motorización. A las rocas que conforman una unidad geológica se les asigno una calificación de uno a cinco, según la resistencia a la compresión uniaxial, reportada en la bibliográfica para rocas colombianas, inicialmente clasificada según el esquema de rangos de Bieniawski (1989), como aparece a continuación:

Tabla 4. Clasificación del atributo resistencia. Fuente: INGEOMINAS – IDEAM, 2009

| Grado de Resistencia | Compresión uniaxial (Mpa) | Termino | Clase |
|----------------------|---------------------------|------------------------------------|-------|
| R6 - R5 | >100 | Extremadamente Dura ó Muy Dura | 1 |
| R4 | 50 - 100 | Dura | 2 |
| R3 | 25 - 50 | Moderadamente Dura | 3 |
| R2 | 5-25. | Blanda | 4 |
| R1 - R0 | < 5 | Muy Blanda y extremadamente blanda | 5 |

Por otra parte los depósitos se clasificaron según la resistencia y su comportamiento en taludes y laderas a partir de la información existente en 'Clasificación regional de amenaza de movimientos en masas en Colombia' (INGEOMINAS, 2002b), así:

Tabla 5. Clasificación de la resistencia para los depósitos. Fuente: INGEOMINAS, 2002b

| Nombre de la unidad regional para ingeniería | Susceptibilidad de los depósitos movimientos en masa |
|--|--|
| Depósitos de cauce y llanuras | 1 |
| Terrazas aluviales | 3.5 |
| Abanicos aluviales | 3 |
| Depósitos coluviales | 5 |
| Depositos paludales | 1 |
| Depósito glacial o morrénico | 3 |
| Depósito de ceniza y lapilli | 3.5 |
| Depósitos eólicos (dunas) | 2 |
| Depósitos de costas | 2.5 |
| Depositos vulcanoclásticos | 4 |

3.2.1.3 Textura/Fabrica (Fab)

La fabrica es la orientación espacial de los componentes y elementos cristalográficos de los minerales que conforman una roca, incluyendo la porosidad y el contenido de granos, ya sea macros ó visibles bajo lupa (macrofabrica) o visible bajo microscopia (microfabrica). La fábrica de la roca tiene gran influencia sobre el comportamiento del material litológico referente a la anisotropía debido a la orientación de las partículas, la cual determina las propiedades geo-mecánicas como la resistencia. El concepto de textura por otra parte se refiere a la manera en la cual los granos o minerales se encuentran en la roca.

Cada unidad cartográfica de geología fue clasificada según la textura/fabrica como un indicador de la resistencia contra esfuerzos mecánicos, así:

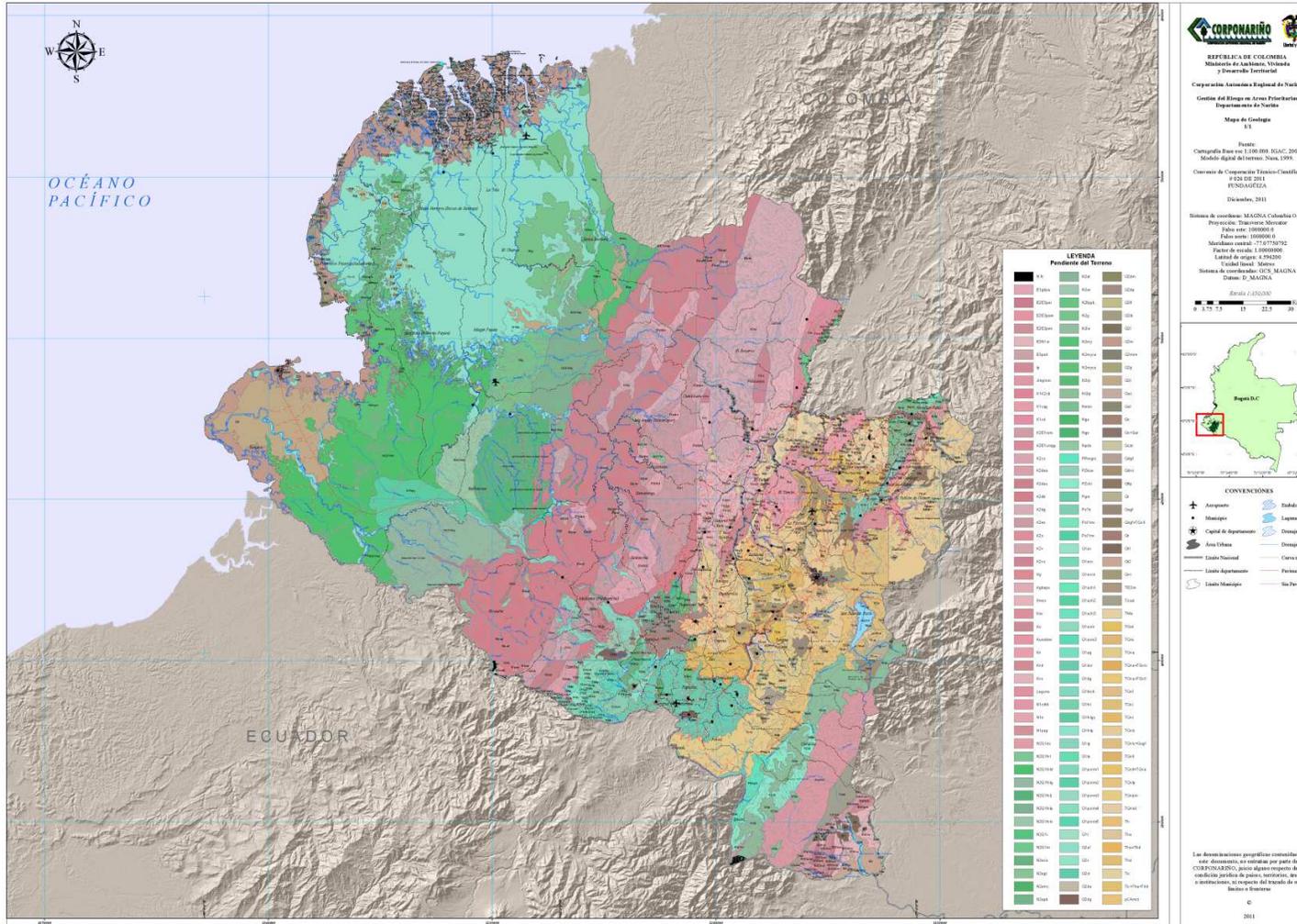
Tabla 6. Clasificación de la fabrica/Textura. Fuente: INGEOMINAS, 2011

| Fabrica/estructura | Clase |
|-------------------------------------|-------|
| Cristalina Masiva | 1 |
| Cristalina Bandeadas | 2 |
| Clasticas cementadas | 3 |
| Clasticas Consolidadas | 4 |
| Cristalina Foliada y Rocas de Falla | 5 |

3.3.1.4 Calificación de la susceptibilidad por la variable geología:

Para determinar el nivel de susceptibilidad por Geología se procedió a calcular con la siguiente ecuación:

$$SG = 0.5 * (Fab) + 0.4 * (Res) + 0.1 * (Frac)$$



Mapa 2. Mapa Geológico de Nariño ajustado.

3.2.2 Suelos Edáficos.

La variable suelos pretende evaluar la susceptibilidad del medio edáfico frente a procesos de movimientos en masa por efecto gravitacional e hidráulico. Los procesos que ocurren en los suelos a escala macro, meso y micro son complejos, lo que hacen de esta una variable difícil de analizar. Las propiedades físicas y químicas y los cambios producidos por el manejo las tierras, hacen de este apartado un tema de suma importancia para entender los procesos y dinámicas de eventos como deslizamientos.

Los mapas y estudio de suelos generados en Colombia a nivel regional tiene un énfasis agrícola, así la propuesta metodológica aquí expuesta fue usar los elementos del sistema de clasificación de suelos del Soil taxonomy (USDA, 1996) y la propuesta metodológica del Soil Survey Staff (USDA, 1998), los cuales son los pilares de los análisis realizados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi para clasificar algunos atributos que favorecen o no la susceptibilidad, desde un énfasis de ingeniería. Por último se resalta la necesidad de dar solución a los problemas locales con estudios detallados y no confundir la escala de trabajo aquí evaluada. Las planchas de suelos empalmadas y ajustadas para este análisis se visualizan en el mapa 4.

Para el análisis se tomaron las unidades cartográficas de suelos junto con las descripciones de perfil, los análisis físicos-químicos y mineralógicos del estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Nariño a escala 1:100.000 (IGAC, 2004). Los atributos evaluados son:

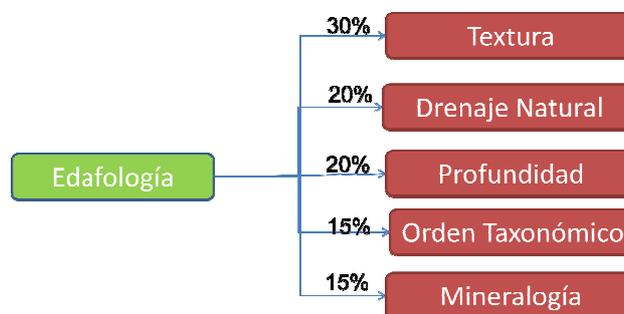


Figura 7. Atributos evaluados de la variable suelos edáficos con sus pesos. Fuente: INGEOMINAS, 2011.

Debido a que una serie puede estar compuesta por varios suelos y que cada suelo, a su vez, esta puede estar compuesta por varios horizontes con características únicas, se elaboró un modelo que permitió valorar cada atributo iniciando con los perfiles modales (compuesto por horizontes) hasta las series (Figura 8).

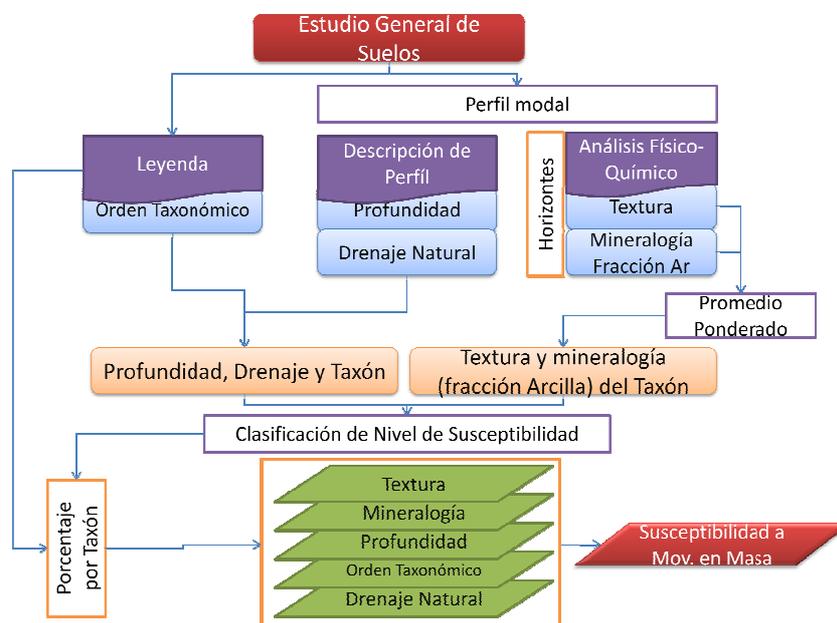


Figura 8. Modelo lógico para el análisis de susceptibilidad por suelos edáficos. Fuente: El Autor.

3.2.2.1 Textura (Text).

La textura es el contenido relativo por tamaño y composición de las partículas que conforman una porción del suelo. Propiedades como la permeabilidad, la retención de humedad, el índice de plasticidad (límite plástico y límite líquido) y presión de poro se encuentran estrechamente relacionados en función del tamaño de las partículas, así, de forma superficial se puede decir que suelos de textura gruesa (arenas) infiltran y percola rápidamente los flujos, en detrimento de la escorrentía superficial, mientras suelos de textura fina (arcillosos) presentan niveles de infiltración más lentos por las cargas, menor superficie específica y procesos de hidratación del material que dificultan el paso.

Se determinó para cada unidad edáfica la textura obtenida como el promedio ponderado del contenido de arcilla, limos y arenas de los horizontes en cada perfil modal, siendo el peso, la profundidad de cada horizonte. Con el valor de susceptibilidad por cada suelo se procedió a calcular la susceptibilidad de la serie de suelos, multiplicando por los porcentajes de los suelos presentes. Las clases texturales según su calificación son:

Tabla 7. Calificación de la variable textura. Fuente: INGEOMINAS, 2011.

| Textura | Calificación |
|---|--------------|
| Gr, A, FAGrP | 1 |
| AF, FAGr, FArGr, FArGr, FGr | 2 |
| ArA, ArGr, FA, FArLGr | 3 |
| F, F - Org, FAr, FArA, FArL, FL, FLOrg, Org | 4 |

Ar, ArL

5

3.2.2.2 Drenaje Natural (Dren).

El drenaje natural explica la forma como el agua infiltra, percola y escurre (drenaje interno y externo) en el medio edáfico. Las clases de drenaje natural se refieren a la frecuencia y duración de los períodos húmedos en condiciones similares a aquellas bajo las cuales el suelo se ha desarrollado (USDA, 1998). Altos valores de drenaje interno retardan el tiempo en que el suelo llega a limite liquido, disminuye la presión de poro, y abatimiento del nivel freático (Puerta, 2005) en contravía a las condiciones necesarias para que sucedan procesos de remoción en masa. Basado en las descripciones de perfiles se calificó el drenaje natural así:

Tabla 8. Calificación del atributo drenaje natural. Fuente: INGEOMINAS, 2011

| Clase de Drenaje Natural | Calificación |
|-----------------------------------|--------------|
| Excesivo - Moderadamente Excesivo | 1 |
| Bueno | 2 |
| Moderado | 3 |
| Imperfecto - Pobre | 4 |
| Muy Pobre - Pantanoso | 5 |

3.2.2.3 Profundidad (P)

Se clasificó la profundidad del suelo descrita en la descripción del perfil modal, hasta la presencia de horizontes C, líticos, paralíticos, cementados o compactados, ya que estos funcionan como superficies de falla de los horizontes superiores. La calificación de la profundidad es:

Tabla 9. Calificación del atributo profundidad. Fuente: INGEOMINAS, 2011

| Categoría | Profundidad (cm) | Nivel |
|--------------------------------|------------------|-------|
| Muy Baja o muy superficial | 0-25 | 1 |
| Baja o Superficial | 25-50 | 2 |
| Media o moderadamente profunda | 50-100 | 3 |
| Alta o Profunda | 100 - 150 | 4 |
| Muy Alta o muy profunda | > 150 | 5 |

Al ser una propiedad intensiva, la clasificación anterior, no se deben entender como susceptibilidad a movimientos en masa, es referida a la cantidad potencial de suelo que se puede desplazar en un evento.

3.2.2.4 Orden Taxonómico (Ord).

El nivel superior del sistema de clasificación taxonómica de la USDA es el orden el cual agrupa los taxones por sus procesos genéticas o por las características condicionantes. Basado en este esquema de clasificación se calificaron los órdenes de suelo según su grado de evolución, de más evolucionados asignándole un valor de uno a menos evolucionados con un valor de cinco, así:

Tabla 10. Calificación de la variable Orden Taxonómico. Fuente: INGEOMINAS, 2011.

| Orden de Suelos | Nivel | Clase |
|-------------------------------|-------|----------|
| Oxisol, Ultisol | 1 | Muy Baja |
| Alfisol | 2 | Baja |
| Mollisol, Andisol, Espodosol | 3 | Media |
| Vertisol, Aridisol | 4 | Alta |
| Inceptisol, Entisol, Histosol | 5 | Muy Alta |

3.2.2.5 Mineralogía (Min).

El tipo de mineral de arcilla presente y el porcentaje en proporción con el total de minerales afecta en forma considerable el comportamiento del suelo (Suárez, 1998), y propiedades como la retención humedad, la retención contra el lavado y los límites de atterberg o de plasticidad. En general, las otras propiedades de las arcillas, como son sus características de expansión y contracción siguen un mismo patrón ante las propiedades de plasticidad, entre más plástico el material mayor su potencial de expansión y menor su resistencia al cortante (Hillel, 1998). Cada tipo de arcilla presenta diferentes niveles de capacidad de intercambio cationico, propiedad que evalúa la retención contra el lavado, así, a mayor CIC mayor será la retención contra el lavado pero mayor inestabilidad a nivel estructural (Suárez, 1998). Es de esperar que arcillas de tipo 2:1, montmorillonitas y vermiculitas las cuales se caracterizan por niveles altos de CIC, mayor superficie específica y mayor retención de humedad, tengan un comportamiento sean más resistentes a procesos erosivos en términos generales frente a otras como la Caolinita, micas (Hillel, 1998, Grim, 1962, Mitchell, 1976).

Las arcillas de tipo alófono por su parte presentan propiedades especialmente interesantes dentro de las ciencias del suelo, como densidades inferiores a las del agua en condiciones estándar, alta retención de humedad, CIC y permeabilidad, pero frente a proceso de secado extremo puede ocurrir cambios que pueden ser irreversibles que conducen a agregación de las partículas, variación de la plasticidad, deformaciones permanentes y agrietamiento (Herrera, 2006).

Basado en la estabilidad de los tipos de arcilla, no solo a nivel mineralógico, sino estructural y frente se a procesos de hidratación y secado, se generó una propuesta donde se clasificó de uno a cinco, de menor a mayor estabilidad, basado en los análisis mineralógicos de la fracción <2 micras y descartando la presencia de trazas, así:

Tabla 11. Calificación del atributo mineralogía de la fracción arcilla. Fuente: El Autor.

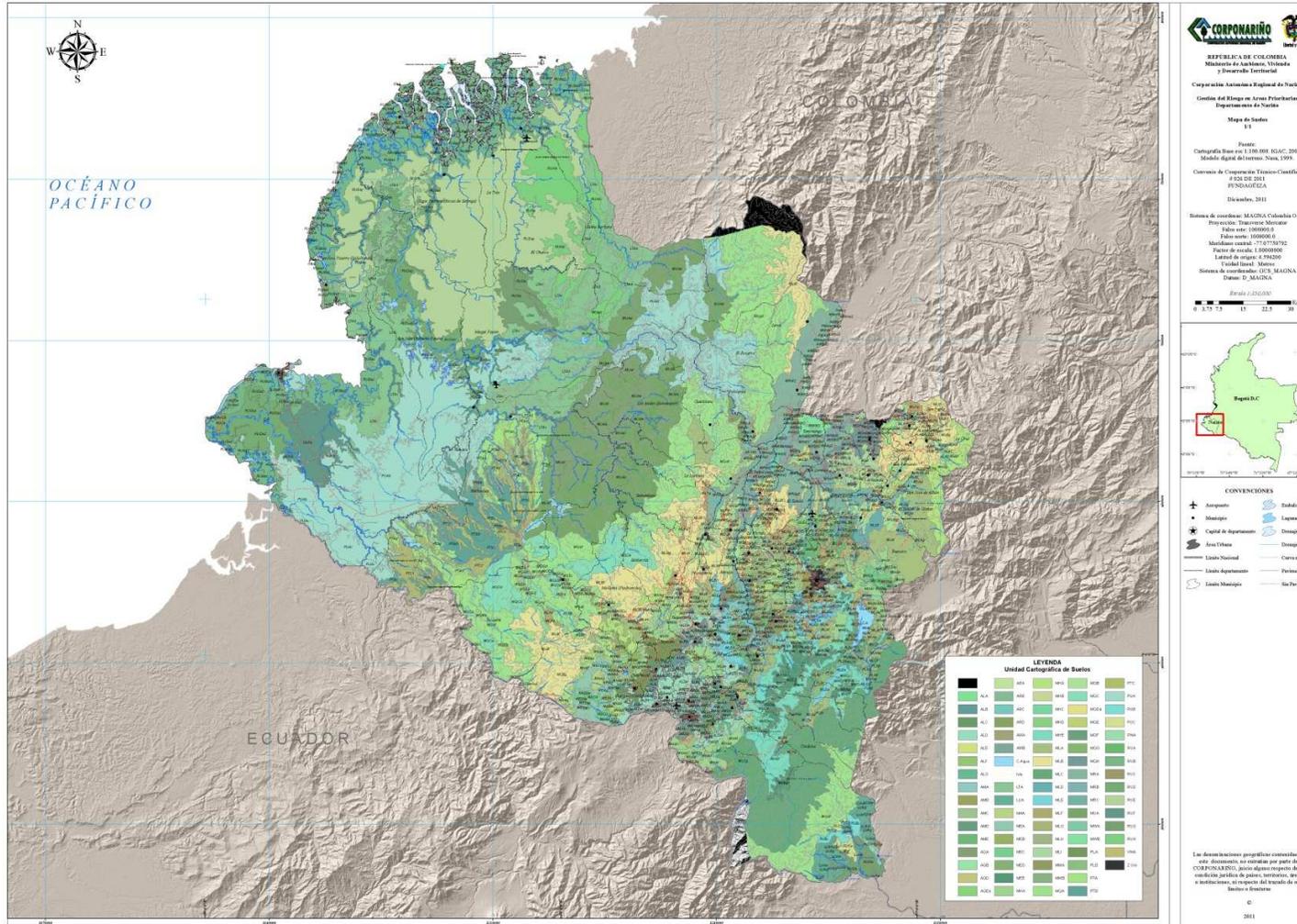
| Orden de Suelos | Calificación |
|-------------------------------|--------------|
| Oxisol, Ultisol | 1 |
| Alfisol | 2 |
| Mollisol, Andisol, Espodosol | 3 |
| Vertisol, Aridisol | 4 |
| Inceptisol, Entisol, Histosol | 5 |

3.2.2.6 Resultado de la variable suelos edáficos.

El nivel de susceptibilidad se calculó como:

$$SG = 0.3 * (Text.) + 0.2 * (Dren) + 0.2 * (P) * 0.15 * (Ord) * 0.15 * (Min)$$

En el anexo 1.5 se detalla la calificación de los atributos de las series de suelos.



Mapa 4. Mapa de Suelos de Nariño.

3.2.3 Geomorfología

La variable geomorfología es el principal insumo enmarcado en el análisis de susceptibilidad. Este pretende determinar las áreas que por sus características morfodinámicas, morfogenicas y morfométricos, según los procesos de denudación y meteorización, así como los condicionantes y detonantes de los eventos.

Los atributos evaluados para generar el análisis de susceptibilidad por la variable geomorfología son:

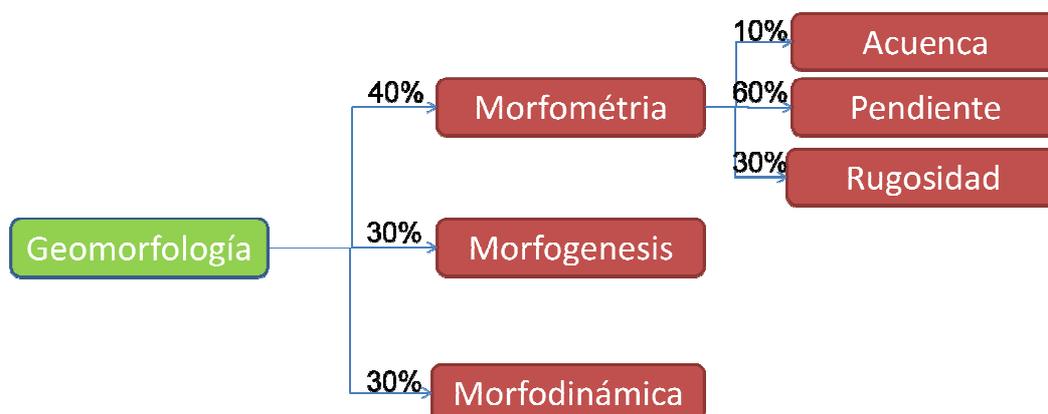


Figura 9. Atributos evaluados para la variable geomorfología.

3.2.3.1 Morfometría:

La geomorfometría permite cuantificar aspectos morfológicos, hidrológicos y ecológicos de la superficie terrestre. Mediante herramientas de modelación estadísticas y matemática comunes software de sistemas de información geográfica. Relacionadas las diferentes métricas del paisaje es un insumo de altísimo valor para comprender los procesos de migración y acumulación de agua y materiales en la superficie por gravedad.

La principal métrica del terreno y común en estos análisis es la pendiente (en grados o porcentaje), la cual permite dimensionar el comportamiento, dirección y dinámica de los cursos de agua y el desplazamiento de las laderas (Christofolletti, 1980). Así por ejemplo un estudio elaborado por Muñoz (2005) determino que las pendientes superiores a 30°, están en mayor riesgo a deslizarse. Otras métricas del paisaje importantes dentro de los análisis de movimientos en masa son la curvatura vertical y horizontal, la primera referida al terreno cóncavo/convexo y la segunda a la divergencia/convergencia.

El insumo base para los este análisis es el modelo digital del terreno SRTM corregido posteriormente ajustado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, el cual basado en el MDT de 90 generó un nuevo MDT con una resolución de 30m para Colombia, que posteriormente en el marco del convenio fue sometido a un sinergismo con el modelo SRTM de 90m nuevamente para este coincida con el limite departamental (Mapa

3.2.3.1.1 Pendiente

La pendiente del terreno es el cambio de elevación (grados o porcentaje) entre la superficie y la horizontal del azimuth. Las herramientas SIG, calculan este valor desde un MDT en cada pixel como la diferencia de su altura y el la máxima de los vecinos contiguos de la grilla. El mapa de pendientes del departamento se detalla en la Mapa 5. Los rangos clasificados de la pendiente son:

Tabla 12. Calificación del atributo pendiente. Fuente: INGEOMINAS, 2011

| Pendiente | Descripción | Nivel | Clase |
|-----------|--------------------------|-------|----------|
| 0-7º | Plana a suavemente plana | 1 | Muy Baja |
| 7-11º | Inclinada | 2 | Baja |
| 11-19º | Muy Inclinada | 3 | Media |
| 19-40º | Abrupta | 4 | Alta |
| 40-83,69º | Escarpada | 5 | Muy Alta |

3.2.3.1.2 Acuenca (Acuen):

Esta se define como el área de captación cuenca arriba de un punto determinado, expresado en unidades de área. Para su cálculo se usó herramientas de análisis espacial, inicialmente para calcular el flujo acumulado o el número de pixeles que drenan a cada pixel de forma sucesiva posteriormente multiplicando por el área en este caso 900m² (MDT con resolución de 30metros). Así el parteaguas tiene una acuenca de 0 y la puntos localizados aguas debajo de este aumentando sucesivamente hasta la desembocadura. Se espera que valores altos de acuenca aumenta el área de captación, la superficie de agua infiltrada y la posibilidad de desarrollar inestabilidad (Neuland, 1976, Hatano 1976, Okimura 1983, Oyagi 1984). Los rangos clasificados son:

Tabla 13. Clasificación del atributo Acuenca. Fuente: El Autor.

| Descripción | Acuenca (m2) | Nivel | Calificación |
|---------------------------|--------------|-------|--------------|
| Divisoria de agua o lomos | 0 | 1 | Muy Baja |
| Escorrentia lenta | 0-3,50 | 2 | Baja |
| Flujo acumulado | 3,50-40,00 | 3 | Media |
| Drenaje no permanente | 40,00-1,00 | 4 | Alta |
| Quebradas, Rios | 1,00-1,22 | 5 | Muy Alta |

3.2.3.1.3 Rugosidad (Rugos):

El vector normal a la superficie del terreno, representa la uniformidad del terreno. Según Felicísimo (1994), Dado un punto del terreno, se calculan los vectores unitarios perpendiculares a la superficie en él y en los puntos de su entorno Pi. Se calcula como el vector resultante:

$$XYZ = \sqrt{(\sum Xi)^2 + (\sum Yi)^2 + (\sum Zi)^2}$$

Donde Xi, Yi, Zi son los vectores calculados como:

$$Xi = \text{Seno}(\text{Pendiente}) * \text{Cos}(\text{Aspecto})$$

$$Yi = \text{Seno}(\text{Pendiente}) * \text{Seno}(\text{Aspecto})$$

$$Zi = \text{Seno}(\text{Pendiente})$$

Donde: Pendiente y el aspecto es la primera y segunda derivada del modelo de elevación respectivamente.

Luego se normalizó el vector dividiendo el vector XYZ luego por el número de vecinos (64).

$$\mathbb{R} = 1 - \frac{XYZ}{n}$$

Donde \mathbb{R} = vector rugosidad

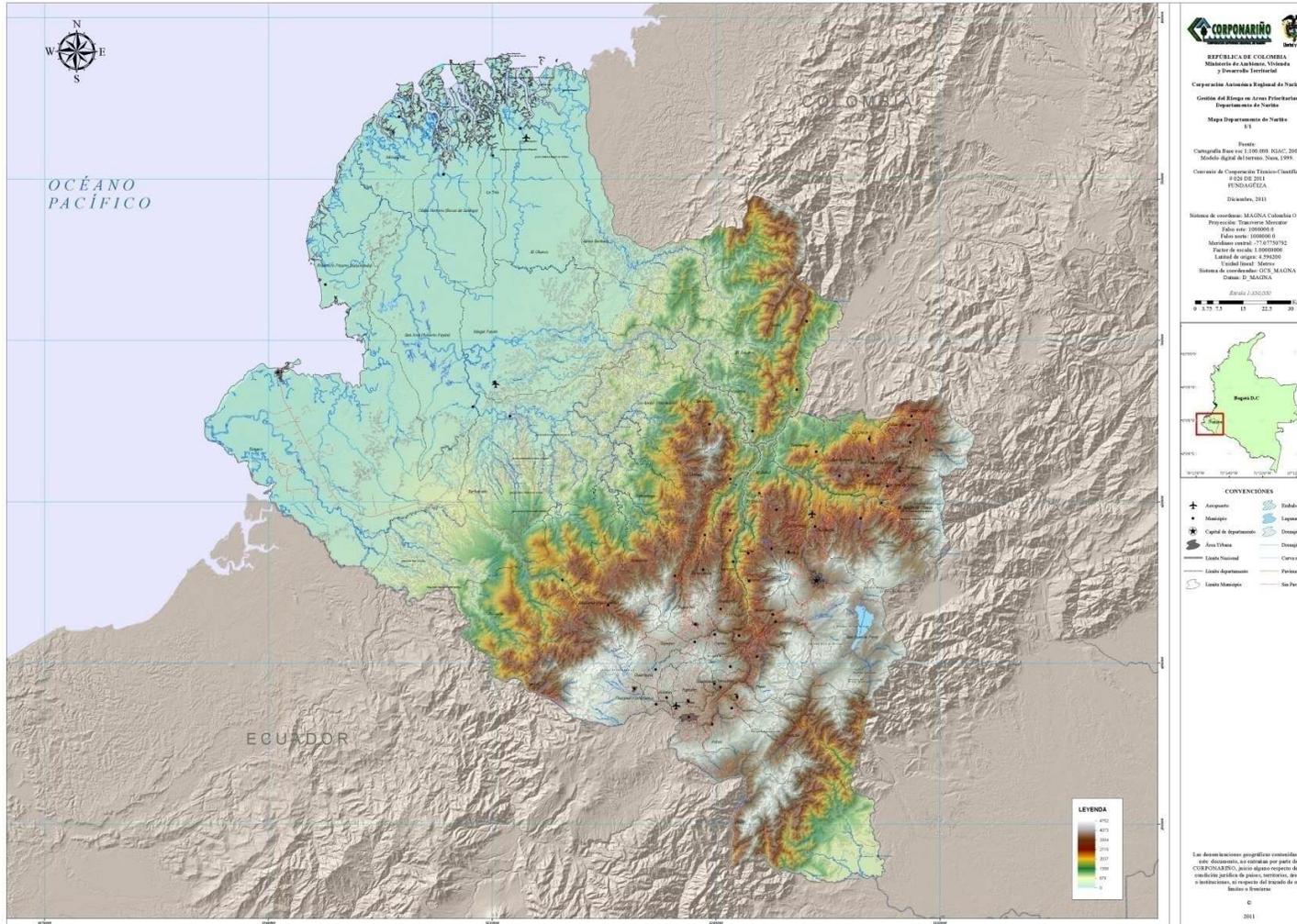
n = número de datos de la vecindad, en este caso 64 (8 x 8)

Según Hobson (1967) si el terreno es uniforme, la suma vectorial (normalizada) es alta y la dispersión baja, mientras en terrenos rugosos, las sumas vectoriales (normalizada) sera baja y la dispersión elevada.

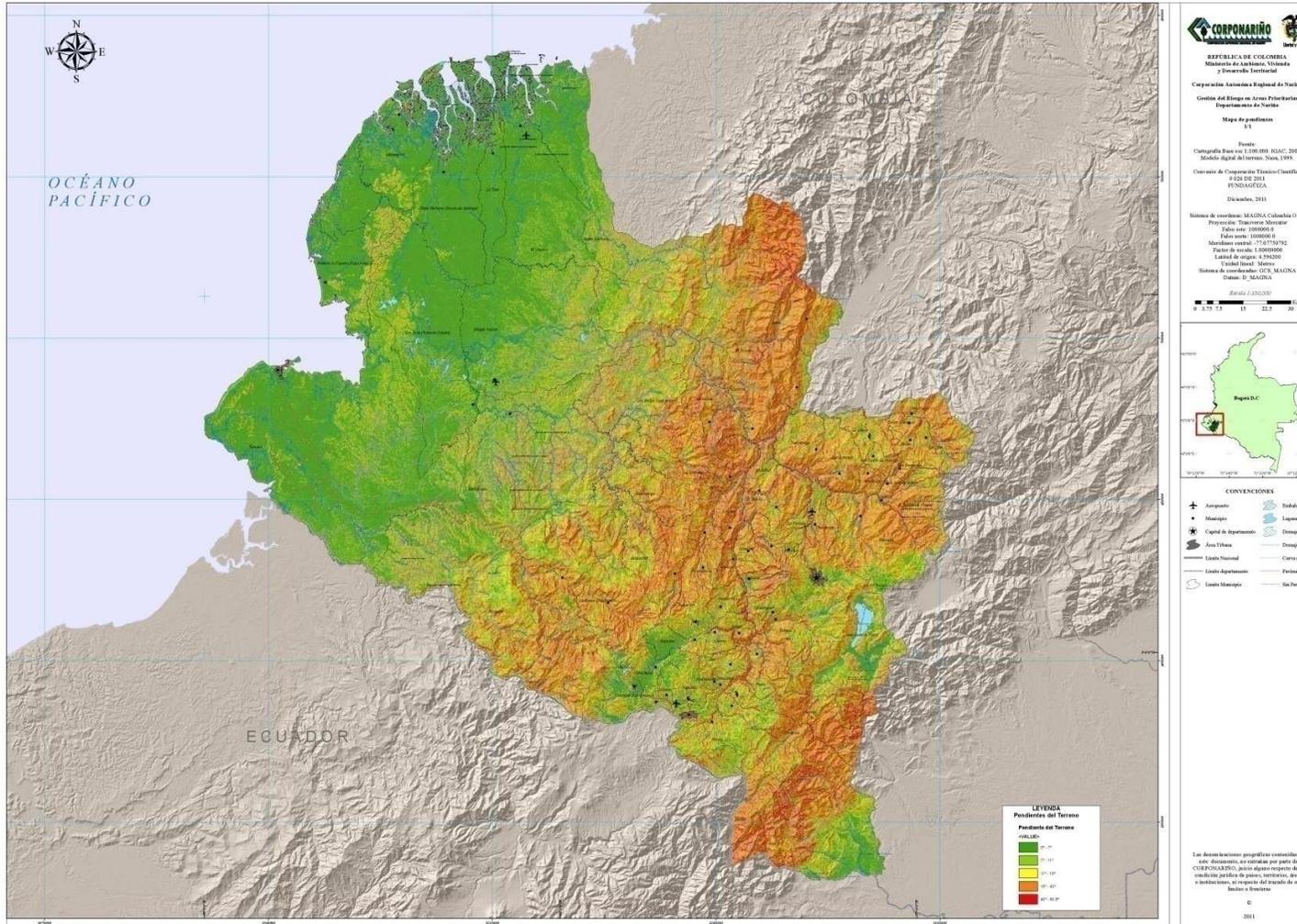
Se estableció cinco niveles de susceptibilidad así:

Tabla 14. Calificación del atributo rugosidad

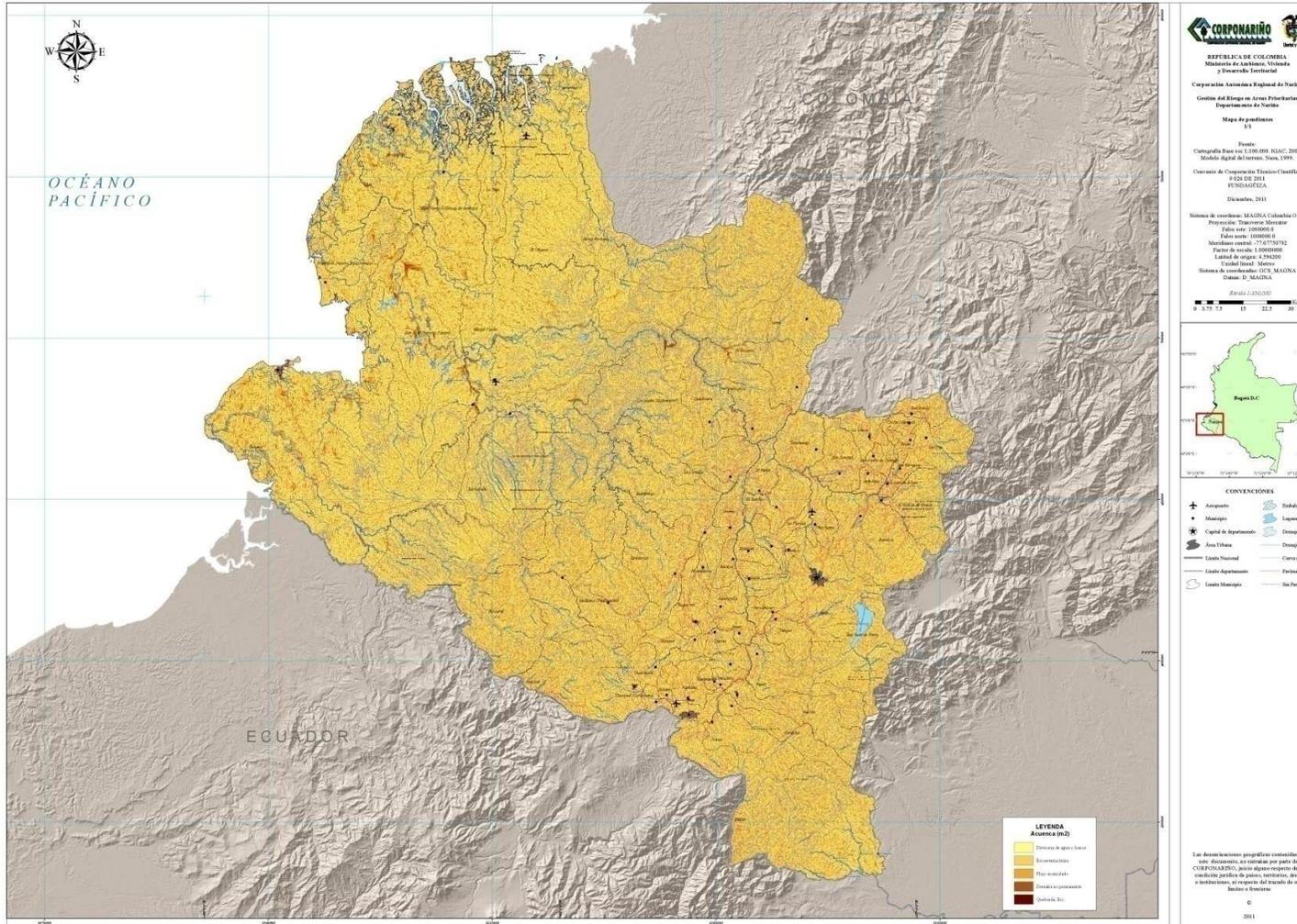
| Rugosidad | Descripción | Nivel | Clase |
|-------------|-----------------|-------|----------|
| 0 - 0.44 | Baja o muy baja | 1 | Muy Baja |
| 0.44-0.98 | Baja | 2 | Baja |
| 0.98-0.99 | Media | 3 | Media |
| 0.99-0.9975 | Alta | 4 | Alta |
| 0.995-1 | Muy Alta | 5 | Muy Alta |



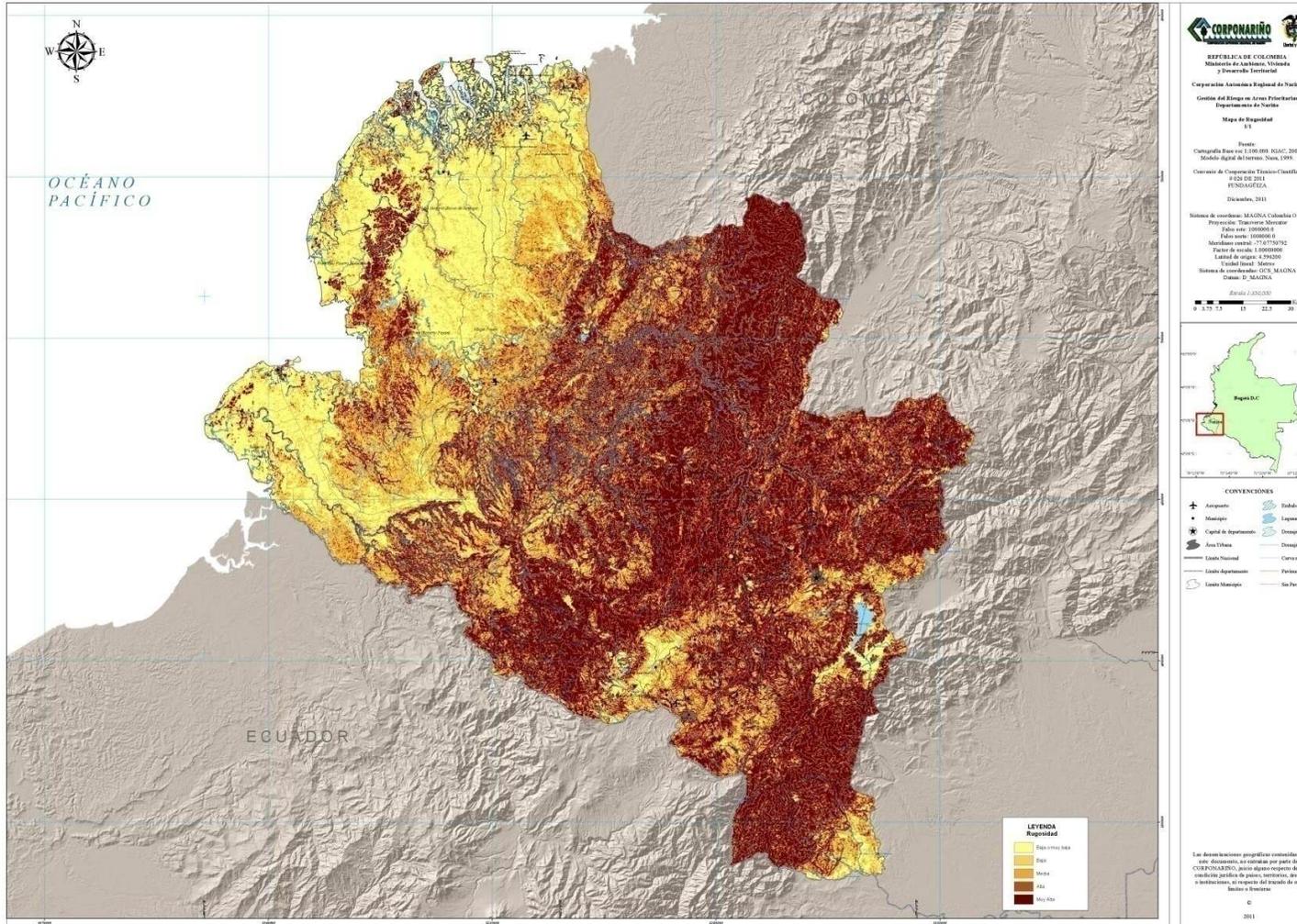
Mapa 5. Modelo digital del Terreno en msnsm.



Mapa 6. Pendiente del terreno. Derivado del MDT



Mapa 7. Atributo Acuencia (m²).



Mapa 8. Rugosidad del Terreno. Derivado del MDT.

3.2.3.2 Morfogénesis (Mg).

Implica la definición del origen de las geoformas, es decir, las causas y procesos que dieron la forma al paisaje. El origen del paisaje depende de los procesos endogenéticos y la modificación de los agentes exogenéticos (agua, viento, hielo), que actúan sobre la superficie terrestre en diferentes proporciones e intensidades, y durante intervalos de tiempos geológicos, modelando el terreno (INGEOMINAS, 2011).

El departamento a nivel oficial cuenta con el mapa geomorfológico producto de la Investigación integral del Anden Pacífico (INGEOMINAS-IGAC, 2005). Se procedió a generar un mapa geomorfológico analítico que incluyera la zona andina basado en los lineamientos del ‘Documento metodológico para la elaboración del mapa geomorfológico, insumo para el mapa nacional de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000’ (INGEOMINAS, 2010), a nivel de subunidades geomorfológicas.

Para esto se procedió a realizar la interpretación de las geoformas haciendo énfasis en el ambiente morfogenético, basado en primera medida en el mapa geológico atrás descrito y el modelo digital del terreno (MDT) específicamente derivados de este:

- Modelo de sombras: Como una alternativa a la estereoscopia, este modelo simular en tres dimensiones (vista en planta) la superficie del terreno y la incidencia de la luz con un azimut y Angulo determinado por el usuario. El Modelo de sombras del departamento se visualiza en el mapa 9.
- Mapa de pendientes: Los rangos de pendientes empleados para la generación del mapa geomorfológico son los propuestos por Carvajal (2008), en la tabla 15.

Tabla 15. Rangos de pendientes para estudios geomorfológicos, propuesto por Carvajal (2008).

| INCLINACION | DESCRIPCION |
|--------------------------|-------------------------------|
| 0 – 5° | Plana a suavemente inclinada. |
| 5,000000001 - 10° | Inclinada. |
| 10,00000001 -15° | Muy Inclinada |
| 15,00000001 – 20° | Abrupta |
| 20,00000001 – 30° | Muy abrupta |
| 30,00000001 – 45° | Escarpada |
| 45,00000001 – 89,9999999 | Muy Escarpada |

- Contraste de relieve o relieve relativo: Hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de ésta, independiente de la altura absoluta o el nivel del mar. Es un atributo que indica la energía potencial de un sistema de drenaje y los materiales constitutivos de la geoforma (Tabla 16) y el mapa 10 muestra la delimitación del relieve para el departamento.

Tabla 16. Rangos de intervalo de altura o relieve relativo. Fuente: INGEOMINAS, 2011.

| Elevación | DESCRIPCION DEL RELIEVE | RESISTENCIA RELATIVA DEL MATERIAL |
|---------------|-------------------------|--|
| < 50m | Muy bajo | Materiales muy blandos y erosionables |
| 50 – 250 m | Bajo | Blando erosionable |
| 250 – 500 m | Moderado | Moderadamente blando y erosión alta |
| 500 – 1000 m | Alto | Resistente y erosión moderada |
| 1000 – 2500 m | Muy alto | Muy resistente y erosión baja |
| > 2500 m | Extremadamente alto | Extremadamente resistente y erosión muy baja |

- **Inclinación de la ladera:** Es el ángulo que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal. La inclinación de la ladera está relacionada con el tipo de material que conforma la unidad morfológica y con la susceptibilidad de dicha unidad a la formación de movimientos en masa (Tabla 17).

Tabla 17. Rangos de la pendiente que determinan el comportamiento de una ladera. Fuente: INGEOMINAS, 2011.

| Inclinación | Descripción | Característica del comportamiento |
|-------------|-------------------------------|---|
| < 5 | Plana a suavemente inclinada. | Muy blanda y muy baja susceptibilidad a movimientos en masa (MM). |
| 6 – 10 | Inclinada | Blanda y baja MM |
| 11 – 15 | Muy Inclinada | Moderadamente Blanda y Moderada susceptibilidad a MM |
| 16 – 20 | Abrupta | Moderadamente Resistente y Moderada susceptibilidad a MM |
| 21 – 30 | Muy abrupta | Resistente y Alta susceptibilidad a MM |
| 31 - 45 | Escarpada | Muy Resistente y Alta susceptibilidad a MM |
| > 45 | Muy Escarpada | Extremadamente Resistente, baja susceptibilidad a MM |

Otros insumos utilizados para la interpretación son las imágenes satelitales capturadas a partir de los sensores remotos. Estos, son herramientas capaces de detectar y coleccionar la energía proveniente de la superficie de la tierra, convertirla en una señal posible de ser registrada y presentada en una imagen en una forma adecuada, para la obtención de información de interés. El uso de las imágenes de satélite en la obtención de información de la superficie terrestre, es de gran utilidad, debido a la cobertura global y periódica, que se puede obtener de la superficie terrestre. Específicamente para Nariño se contó con siete imágenes SPOT, diez imágenes ASTER, 2 imágenes Landsat y 12 imágenes Rapideye, estas últimas de poca utilidad por la nubosidad presente en las escenas.

En la delimitación cartográfica de las unidades geomorfológicas, se busco representar de manera combinada los aspectos morfométricos, morfográficos, morfogenéticos y morfocronológicos, además simbólicos y lineales, los que representan formas menores, o los procesos morfológicos y su dirección.

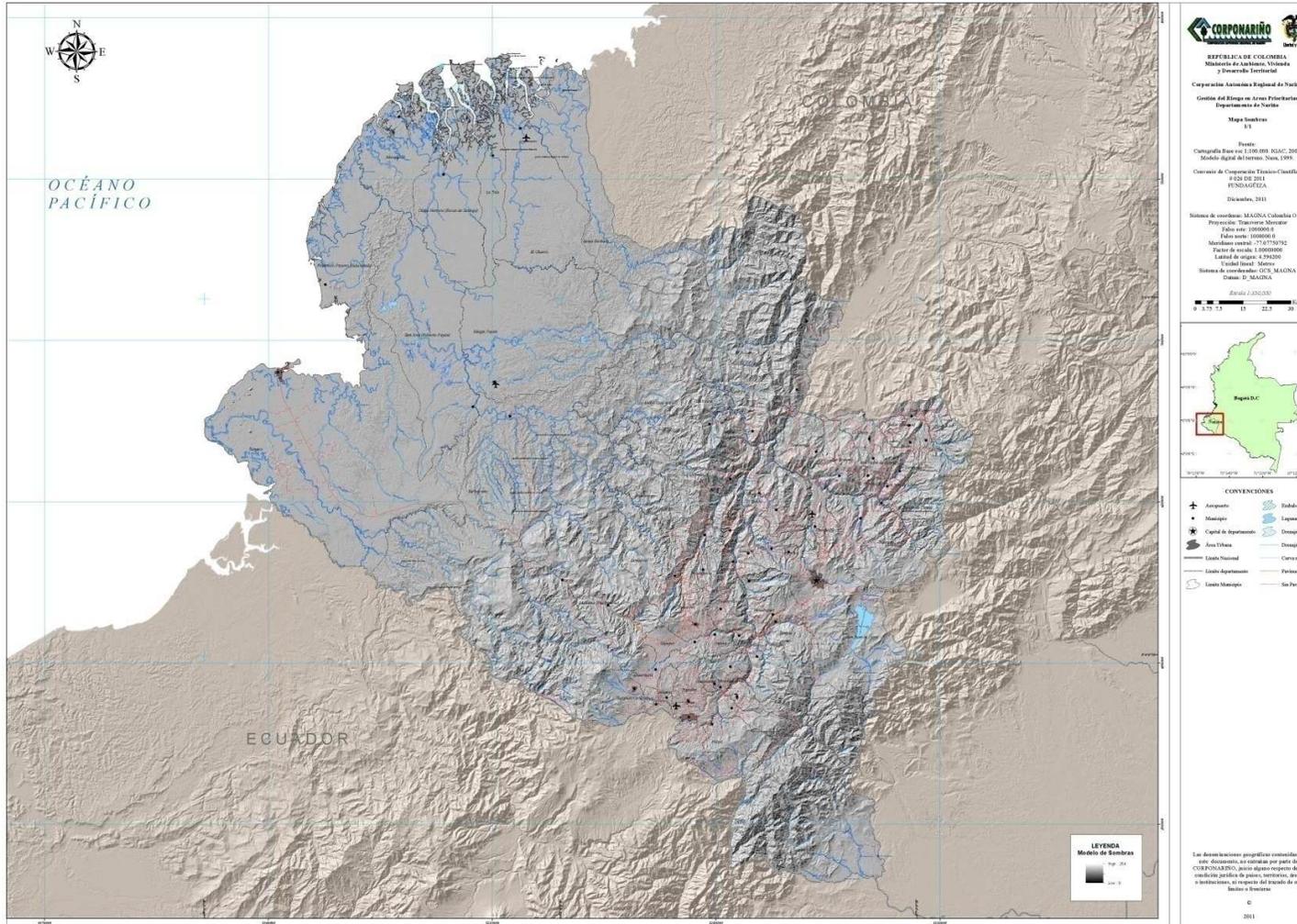
Con el mapa geomorfológico (mapa 11) se procedió a calificar la susceptibilidad de las geoformas según génesis u origen según se involucran en procesos de inestabilidad del terreno. Las tablas 18 y 19 detallan las calificaciones implementadas.

Tabla 18. Calificación de la susceptibilidad de los depósitos. Fuente: INGEOMINAS, 2011.

| Origen-Mecanismo | Tipo de depósito | Susceptibilidad | Calificación |
|------------------|-------------------------------|---|--------------|
| Aluvial | Depositos de cauce y llanuras | No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas | 1 |
| | Terrazas aluviales | De estos tipos de depósitos las terrazas sobre-elevadas se involucran con frecuencia en deslizamiento | 3 |
| | Abanicos aluviales | Presentes en el fondo de muchos ríos; por lo general son depósitos re trabajados y muy susceptibles a inestabilidad en general y a socavación lateral | 3 |
| Gravitacional | Depósitos coluviales | Se les considera los tipos de depósitos más inestables en taludes y laderas | 5 |
| Lacustre | Depósitos paludales | No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas | 1 |
| Glacial | Depósitos glacial o morrénico | Estos tipos de depósitos se involucran con frecuencia en deslizamientos en las partes altas de las cordilleras | 3 |
| Volcánico | Depósitos de ceniza lapilli | Susceptibilidades a movimientos en masa en el caso q estén expuestos, lo cual no es frecuente. | 4 |
| | Depósitos vulcanocláticos | Son susceptibles a movimientos en masa en el caso que estén expuestos, lo cual no es frecuente. | 4 |
| Eólico | Depósitos eólicos (dunas) | Se involucran frecuentemente procesos de inestabilidad, y son productos de explosiones volcánicas que arrastran gran cantidad de bloques formando depósitos de tipo lahar: en ocasiones se desarrollan abanicos extensos. | 2 |
| Marino | Depósitos de costas | Generalmente susceptibles a la erosión, pueden estar afectados por tubificación | 2 |

Tabla 19. Calificación del atributo Geomorfogénesis. Fuente: INGEOMINAS, 2011

| ORIGEN | GEOMORFOS ASOCIADAS | SEDIMENTO O ROCA TIPO | PROPUESTA CALIFICACION | DE |
|---|--|---|------------------------|----|
| MORFDESTRUCTURAL Procesos endógenos (Tectónica) (erosión, plegamientos, fallamientos) | <ul style="list-style-type: none"> Huella o Pilar tectónico Grabén o Fosa Tectónica Cuesta Valle Sinclinal Escarpe De Faja Laderas Irregulares Altoplanicies Estructurales Domos Cañones de fallas activas Sacudidas Volcanes | <ul style="list-style-type: none"> Varios tipos de roca posibles Varios tipos de roca - sedimento posible Alterancia - roca sedimentaria - resistente al tipo Varios tipos de roca - SMI - sedimento Cualquier tipo de roca - gelede o suelo delgado Cualquier tipo de roca o sedimento Cualquier tipo de roca resistente - Horizontal Alterancia de rocas blandas y resistente Mezcla de F. Roca de diferentes tipos Acumulaciones de sedimento fino Rocas sedimentarias resistentes. Muy inclinada | 4 | |
| VOLCANICO | <ul style="list-style-type: none"> Cerro Volc. conifer volcánico Mesetas volcánicas Colinas Volcánicas Conos volcánicos Planicies de Flujos Piroclásticos Planicies inter volcánicas Abanico de lavas | <ul style="list-style-type: none"> En cráter (conglomerado Mezcla M. suelto) Lavas de diferente composición Lavas de diferente composición Lava intercalada con ceniza volcánica - Blanda Materia volcánica suelta (ceniza, lapilli) Lavas de diferente composición - ceniza Materia clasica flujo volcánico | 3 | |
| DENUDECIONAL Procesos exógenos (Meteorización, procesos de erosión) | <ul style="list-style-type: none"> Conos y ladera desnuda Planicies y Mesetas Conos de Deyección Ladera Estructural Desnuda Tenaza Estructural Desnuda Canto Estructural Remanente Deslizamiento | <ul style="list-style-type: none"> Diferentes tipos de roca Diferentes tipos de roca Materia coluvial - inconsolidada Diferentes tipos de roca Diferentes tipos de material rocoso Rocas blandas Mezcla de rocas y sedimentos sueltos | 4 | |
| LACUSTRE (erosión Lagunar y deposición) | <ul style="list-style-type: none"> Depositos de fondos de lagos Evaporitas Playas lagunares Pantanos y sabanas | <ul style="list-style-type: none"> Mezcla de suelos, limo, arcillas y arenas Predominio de material fino Mezcla de materiales coluviales, limos Predominio de finos en la parte superior | 1 | |
| FLUVIAL Y DELTAICO Erosión y Sedimentación | <ul style="list-style-type: none"> Valle Aluvial Llanura de inundación Terrazas Fluviales Abanicos Aluviales Cauces Actuales Laderas Fluvio - Coluviales Cuencas de denudación Planicies deltaicas | <ul style="list-style-type: none"> Relleños clásticos diferente composición Materia grueso, arenoso, limoso Grava, arena, limo o arcilla Mezcla de gravas, arenas Arenas y gravas inconsolidadas Materiales inconsolidados marcados Predominio de materia fino + MO Predominio de arenas finas arcillosas | 2 | |
| GLACIAL Y PERIGLACIAL Erosión y Sedimentación | <ul style="list-style-type: none"> Nieves Perpetuas - Hielo Glacial Circos Glaciares Valle Glacial Campo de Morrenas Abanicos Fluvio - Glaciares Terrazas de erosión | <ul style="list-style-type: none"> Hielo y nieve con escombros rocosos Diferentes tipos de roca posibles Diferentes tipos de roca posibles Materia heterogéneo. Predomina Fino Materia grueso a medio inconsolidado Grava y arena inconsolidada y estratificada | 4 | |
| COSTERO Y MARINO Erosión y Sedimentación | <ul style="list-style-type: none"> Acantilado - arenosas coronas Llanuras - planicies costeras Terrazas marinas Lagunas costeras Planicie de marea Playas Tombolo | <ul style="list-style-type: none"> Calizas arcillosas duras o blandas Materia semiconsolidado. Fines Arenas Materia semiconsolidado grueso - coral Materia inconsolidado fino predomina Materia inconsolidado. Predomina fino Materia inconsolidado. Predomina arena Materia semiconsolidado arena - arcillas | 2 | |
| KARSTICO Solución y redepósitos | <ul style="list-style-type: none"> Montañas Karsticas Cañón / Cañada Karstica Valles Karsticos Colapsados Salas Uyales | <ul style="list-style-type: none"> Calizas en capas gruesas Calizas muy meteorizadas Calizas, arenizas y arcillitas Materia suelta coluvial en fondo Materia coluvial finos, disolución | 3 | |
| EDICO Erosión y Sedimentación | <ul style="list-style-type: none"> Campos de Dunas Sabanas, Montes de Arena Campos de Loess Planicie Desértica | <ul style="list-style-type: none"> Arenas sueltas Arenas en capas delgadas Limos y arenas Arena, limo y grava | 3 | |
| ANTROPOGENICO y/o BIOLÓGICO | <ul style="list-style-type: none"> Basuras / Escombros en Zonas Planas Rellenos de Escombros en Laderas Rellenos en Cauces de rios | <ul style="list-style-type: none"> Acumulaciones de basura y materiales de construcción | 4 | |



Mapa 9. Modelo de sombras

3.2.3.3 Morfodinamica (Md):

Mediante interpretación se espacializo los sitios con eventos de movimientos en masa, apoyados con los registros consignados en la base de datos, las imágenes satelitales del catalogo y el modelo de elevación. La unidad mínima de mapeo por escala fue de 25ha, y se asigno un valor de susceptibilidad de cinco a las eventos con dicha área. Aquellas geoformas asociada según las frecuencias y evidencias de los eventos registrados o interpretados pero con aptos a ser cartografiados fueron se les asigno un susceptibilidad sugerido por el interprete.

3.2.3.4 Susceptibilidad por Geomorfología

La sub-variable geo-morfometría se calculó

$$SMT = 0.1 * (Acuenca) + 0.3 * (Rugos) + 0.6 * (Pendiente)$$

Posteriormente se calculo el nivel de susceptibilidad por Geomorfología como:

$$SG = 0.6 * (Morfog) + 0.3 * (MorfDin) + 0.6 * (Morfome)$$

3.2.4 Cobertura

La variable cobertura pretende determinar evaluar como la estabilidad del terreno frente a los usos y como controla y regula el balance hídrico y sus interacciones con el suelo. El efecto de la cobertura frente a la estabilidad de las laderas es tema de debate. Suarez (1996) cita ejemplos como el estudio de Ter-Stepanian (1963) que reportó que las ratas de soliflucción en Noruega eran menores en taludes saturados donde existe arborización completa, o Gray (1974), que observó que la disminución en las ratas de reptación puede obedecer al efecto de los árboles sobre la humedad superficial y al cambio de la estructura del suelo por acción de las raíces.

El insumo para este análisis el mapa de Coberturas de la tierra 2002, adaptación de Corine LandCover para Colombia (IDEAM, 2010), el cual fue ajustado, cambiando los parches de nubes (código 99), considerados vacios de información, para asignarles un nuevo código usando los mapa de cobertura del Plan de Ordenamiento y Manejo Ambiental Subcuenca del Río Güiza (Convenio 057 de 2007. WWF – CORPONARIÑO), el Plan de Ordenamiento y manejo ambiental cuenca Río Guaitara (FUNDAGUIZA - CORPONARIÑO, 2009), Plan de Ordenamiento y Manejo ambiental de la Cuenca Río Pasto, (Alcaldía de San Juan de Pasto, 2008) y el mapa de Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, escala 1:500.000 (IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, IIAP, 2007). La figura 10 detalla el procedimiento.

El proceso se realizó cambiando la cobertura de nube por la cobertura que traslapada en el mapa de bosque/No Bosque 2000 (IDEAM, 2010), para posteriormente revisar cada parche para asignar el código de cobertura vegetal circundante y de mayor participación (por área o borde). Así por ejemplo, si un parche fue reclasificado por sobre posición como Bosque y se encuentra rodeado en su mayoría por Bosque denso alto de tierra firme (código 31111), se le asignó el código de esa cobertura. Los parches de nubes que no fueron reclasificadas en esta primera etapa y cuya área era menor a 25ha se agregaron al parche vecino de mayor participación (por área). Por último, los parches de nubes restantes fueron revisados de forma independiente para asignar el código mediante interpretación con imágenes satelitales más recientes.

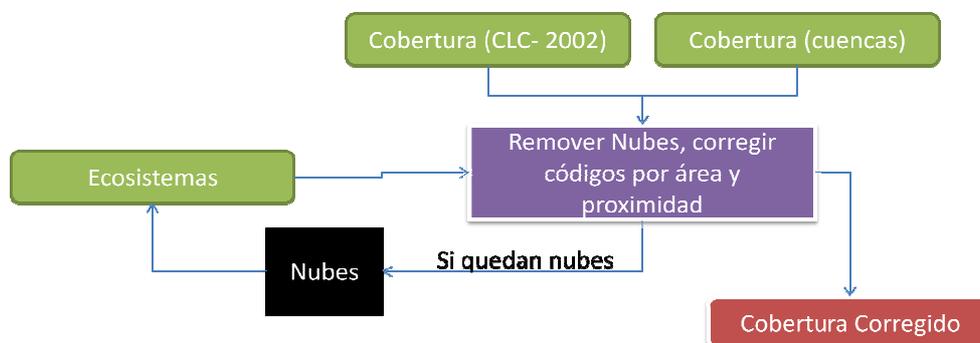


Figura 10. Modelo lógico implementado para corregir el mapa de Coberturas de la Tierra 2002 (IDEAM, 2010)

Para comprender estas interacciones se implementó la propuesta sugerido Sicard y Suárez (1998) e INGEOMINAS (2011) basada en el análisis del balance hídrico y como la cobertura afecta el flujo por la interceptación, el consumo y como facilita o restringe. La figura 12 detalla los efectos de la cobertura sobre una ladera.

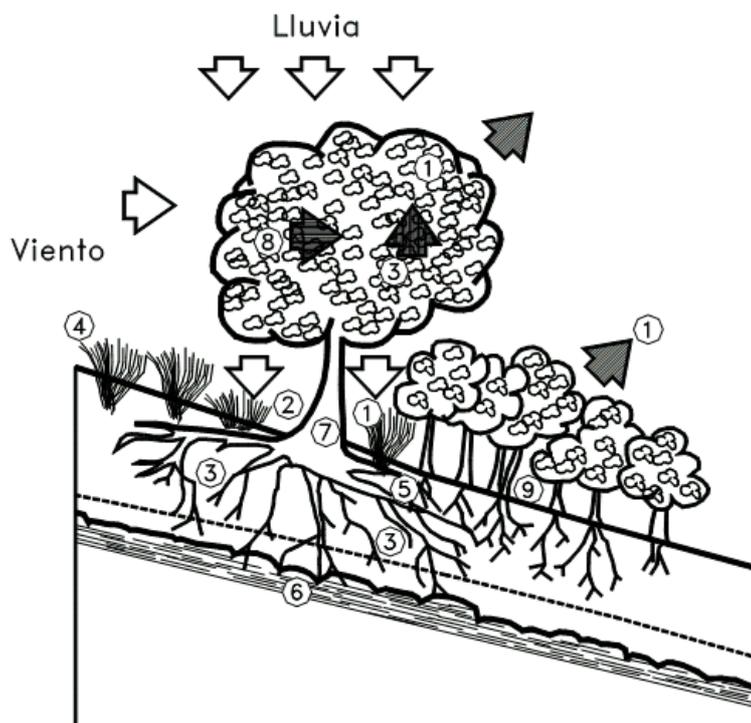


Figura 11. Efectos de la cobertura sobre el balance hídrico en una ladera, Fuente: Suarez, 1998

Factores:

1. Intercepta la lluvia.
2. Aumenta la capacidad de infiltración.
3. Extrae la humedad del suelo.

4. Grietas por desecación.
5. Raíces refuerzan el suelo, aumentando resistencia al cortante.
6. Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
7. Aumentan el peso sobre el talud.
8. Transmiten al suelo fuerza del viento.
9. Retienen las partículas del suelo disminuyendo susceptibilidad a la erosión.

Los atributos evaluados según favorecen la estabilidad del terreno son:

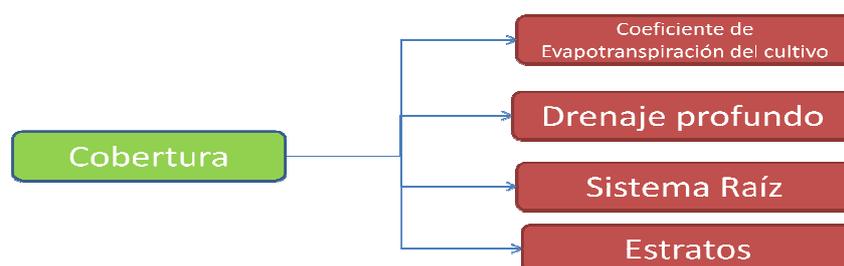


Figura 12. Atributos evaluados de la variable cobertura. Fuente: INGEOMINAS, 2011.

El Coeficiente de evapotranspiración (K_c) propuesto por la FAO (Allen et al, 1998) es la relación del uso consuntivo del cultivo en consideración, E_{tc} , y la Evapotranspiración del cultivo de referencia, E_{to} . Este coeficiente integra de la transpiración de la cobertura y la evaporación del suelo, calculado como la relación entre la evapotranspiración del cultivo y la evapotranspiración potencial. Por supuesto el consumo de la cobertura esta sujeto a variables climáticas y meteorológicas, pero la falta de información a la escala requerida impide completar estos análisis. Los valores asignados para la calificación son los reportados por INGEOMINAS y el Servicio Nacional de Estudios Territoriales – Servicio Hidrológico Nacional de El Salvador (2005).

El sistema raíz comprende el tipo la profundidad, la extensión lateral y densidad de las radículas dominantes en la cobertura, tratan de de calificar como favorece la estabilidad del suelo y el drenaje. Las raíces refuerzan la estructura del suelo y pueden actuar como anclajes en las discontinuidades (Suarez, 1998). Sidle (1985 citado por Suarez, 1998) explica el efecto de las raíces sobre la resistencia del suelo en tres formas:

- Unir materiales de los suelos inestables a mantos más estables. Este efecto es más pronunciado donde la superficie crítica de falla se encuentra en la zona de raíces.
- Formar una red densa entretejida en los primeros 30 a 50 centímetros de suelo, y esta red forma una membrana lateral que tiende a reforzar la masa de suelo más superficial y sostenerla en el sitio.
- Las raíces individuales actúan como anclajes que estabilizan los arcos de suelo que se extienden a través del talud. Las raíces actúan como pilas de refuerzo.

Por otra parte, el sistema radicar puede favorecer el drenaje natural de los suelos por flujo preferente. La calificación de los atributos sistema radical y el drenaje profundo se basó en los análisis realizados por Suarez (1998) e INGEOMINAS (2011).

Otro aspecto de la cobertura que interviene en el balance hídrico el flujo interceptado. Según Gregory y Walling (1973, citado por Suarez, 1998), dependiendo de la intensidad de la lluvia y del cubrimiento y tipo de vegetación en un bosque tropical, puede interceptarse hasta un 60% del total de la lluvia anual. Esto influye en la erosividad de la lluvia en los procesos de meteorización, además del poder detonante en procesos de movimientos en masa. Bajo esta visión se procedió a evaluar como el número de estratos de las coberturas según favorecen la estabilidad del terreno usando los análisis realizados por Suarez (1998) e INGEOMINAS (2011).

3.2.4.1 Susceptibilidad por la variable Cobertura.

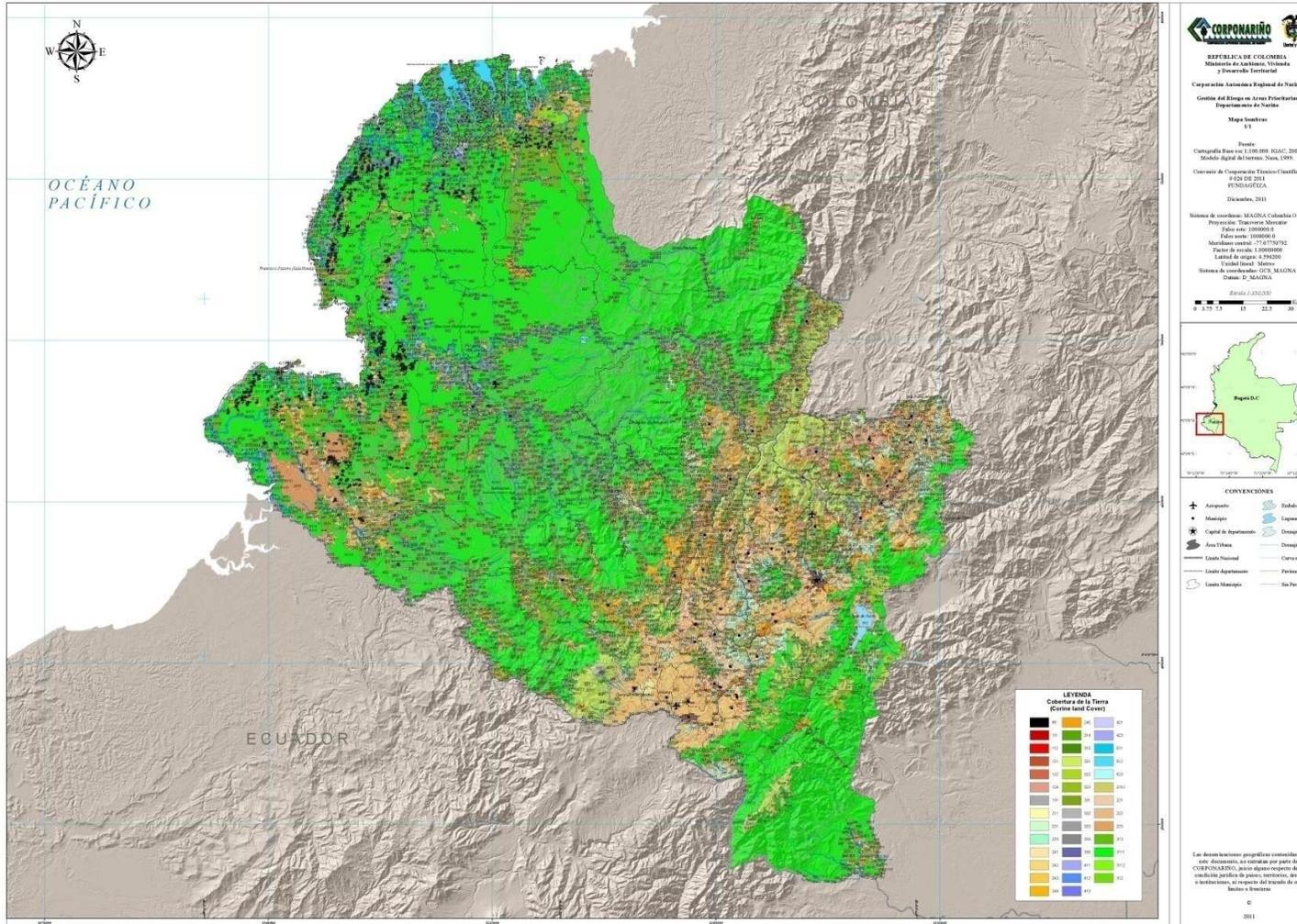
La calificación de los atributos de esta variable junto con el nivel de susceptibilidad se detalla en la tabla 20. El nivel de susceptibilidad se calculo con la formula:

$$SG = 0.6 * (Morfog) + 0.3 * (MorfDin) + 0.6 * (Morfome)$$

Tabla 20. Calificación de los atributos de la variable cobertura y el nivel de susceptibilidad

| Código | Cobertura | Evapotranspiración (Kc) | Drenaje profundo | Sistema radicular | Número de estratos | Calificación |
|--------|--|-------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------|
| 332 | Afloramientos rocosos | 4 | 5 | 0 | 1 | 2 |
| 322 | Arbustal | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| 3222 | Arbustal abierto | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| 3221 | Arbustal denso | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 3312 | Arenales | 4 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 31211 | Bosque Abierto Alto de tierra firme | 3 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 31212 | Bosque abierto Alto inundable | 3 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 314 | Bosque de galería y ripario | 3 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 31111 | Bosque denso alto de tierra firme | 3 | 5 | 5 | 5 | 1 |
| 31112 | Bosque denso alto inundable | 3 | 5 | 5 | 5 | 1 |
| 31121 | Bosque Denso bajo de tierra firme | 3 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 31122 | Bosque Denso bajo inundable | 3 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 3131 | Bosque fragmentado con pastos y cultivos | 3 | 4 | 4 | 3 | 1 |
| 3132 | Bosque fragmentado con Vegetación Secundaria | 3 | 5 | 5 | 4 | 1 |
| 2222 | Café | 5 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| 2212 | Caña | 4 | 2 | 0 | 1 | 3 |

| | | | | | | |
|-------|--|---|---|---|---|---|
| 511 | Cuerpos de agua | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 321 | Herbazal | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 3211 | Herbazal Denso | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 32111 | Herbazal denso de tierra firme | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 32112 | Herbazal Denso Inundable | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 |
| 241 | Mosaico de cultivos | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 245 | Mosaico de cultivos y espacios naturales | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 243 | Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 4 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 244 | Mosaico de pastos con espacios naturales | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 242 | Mosaico de pastos y cultivos | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 211 | Otros cultivos transitorios | 5 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| 2232 | Palma de aceite | 2 | 4 | 4 | 3 | 2 |
| 421 | Pantanos costeros | 4 | 1 | 3 | 1 | 3 |
| 2151 | Papa | 5 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 233 | Pastos enmalezados | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 231 | Pastos limpios | 4 | 2 | 1 | 1 | 3 |
| 315 | Plantación forestal | 3 | 2 | 5 | 2 | 2 |
| 3311 | Playas | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 423 | Playones de bajamar | 5 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 333 | Tierras desnudas y degradadas | 4 | 1 | 0 | 0 | 4 |
| 412 | Turberas | 5 | 5 | 3 | 1 | 2 |
| 413 | Vegetación acuática sobre cuerpos de agua | 4 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| 323 | Vegetación secundaria o en transición | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 331 | Zonas arenosas naturales | 4 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| 131 | Zonas de extracción minera | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 335 | Zonas glaciares y nivales | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 411 | Zonas Pantanosas | 3 | 2 | 3 | 1 | 3 |
| 334 | Zonas quemadas | 4 | 4 | 0 | 0 | 3 |
| 0 | Zonas Urbanas | 4 | 0 | 0 | 0 | 4 |



Mapa 12. Cobertura de la Tierra.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 El departamento según estudios a nivel Nacional

El catálogo Nacional de movimientos en masa publicado por INGEOMINAS (2002) consolida los reportes históricos de periódicos locales, iniciando la sistematización en 1997. Esta recopila los datos desde 1916 hasta el 2002 en un proceso de sistematización para 25 departamentos. En resumen, la población afectada fue de 35.664 (muertos y heridos), 562 municipios afectados y 16 grandes deslizamientos (por ejemplo Armero y Páez). Por departamento los más afectados son: Antioquia (1140), Caldas (627), Tolima (568), Cundinamarca (339), Santander (433), Valle (245), Nariño (191), Putumayo (139), Cauca (157) y Huila (126). El detalle se visualiza en la figura 13.

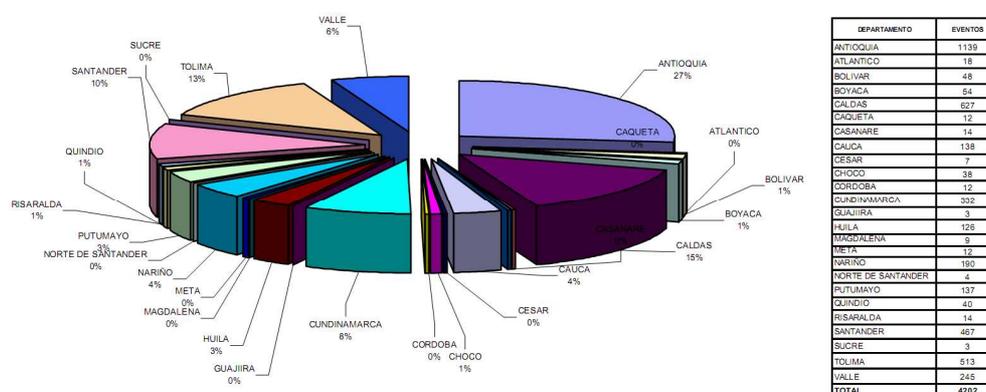


Figura 13. Eventos de movimientos en masa. INGEOMINAS, 2002

Nariño ocupa el séptimo puesto por número de eventos, el quinto por población afectada en promedio por número de eventos (Victimas + Heridos / Eventos), y 41 de sus 64 municipios aparecen en el reporte. Por periodos entre los meses Diciembre y Marzo y la década de los 80 y 90 se presenta la mayor cantidad de eventos (Figura 14).

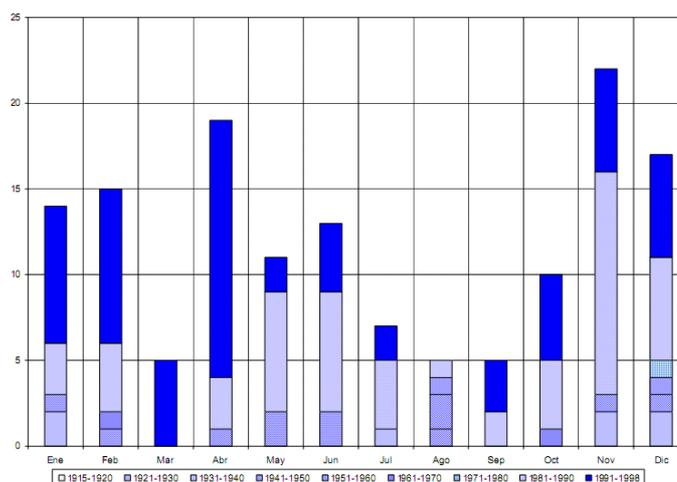


Figura 14. Distribución de datos en el departamento de Nariño por fecha y año. Fuente: INGEOMINAS, 2002

Entre 1980 y 2002 los municipios con mayor número de registros son: Pasto (18), Barbacoas (17), Chachagüi (13), La Cruz (13), Tangua (11) y Taminango (12).

En el análisis de Susceptibilidad a deslizamientos realizado por IDEAM-INGEOMINAS (2010) a escala 1:500.000 calificó el territorio nacional según la estabilidad de las laderas en Nula, Baja, Muy Baja, Media, Alta y Muy Alta usando una metodología similar al análisis aquí realizado. En el departamento 587.225ha se encuentra en Alta o Muy Alta susceptibilidad, 1520167 como media. Las llanuras aluviales de los ríos que drenan en el pacífico y las altiplanicies tienen los niveles de bajos a muy bajo (aprox. 971.000has (Mapa 13, figura 15)

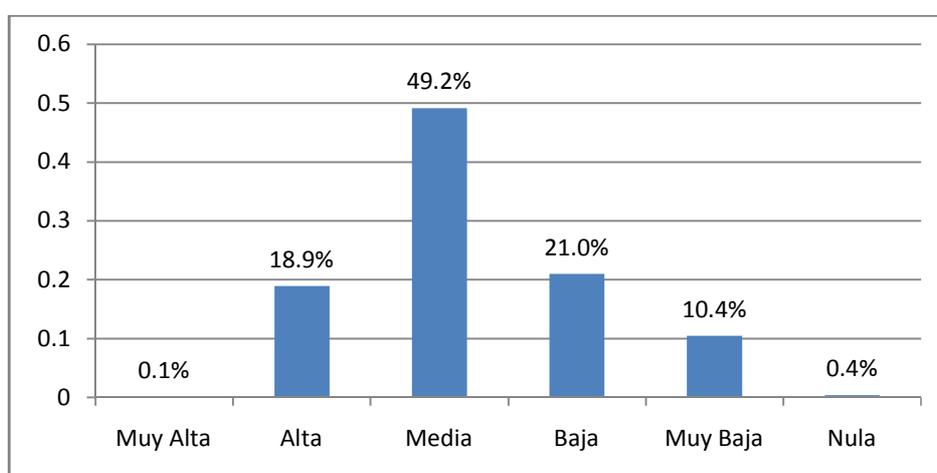


Figura 15. Nivel de susceptibilidad a procesos de movimientos en masa

Por zonas se conserva una situación similar de susceptibilidad: el 44% se encuentran en susceptibilidad media y más del 30% con muy alta susceptibilidad en las zonas occidente, norte y centro (Figura 16).

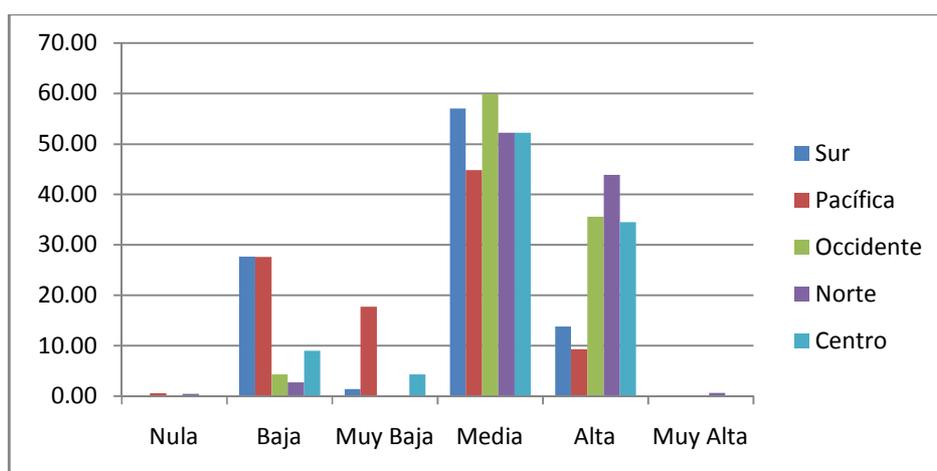
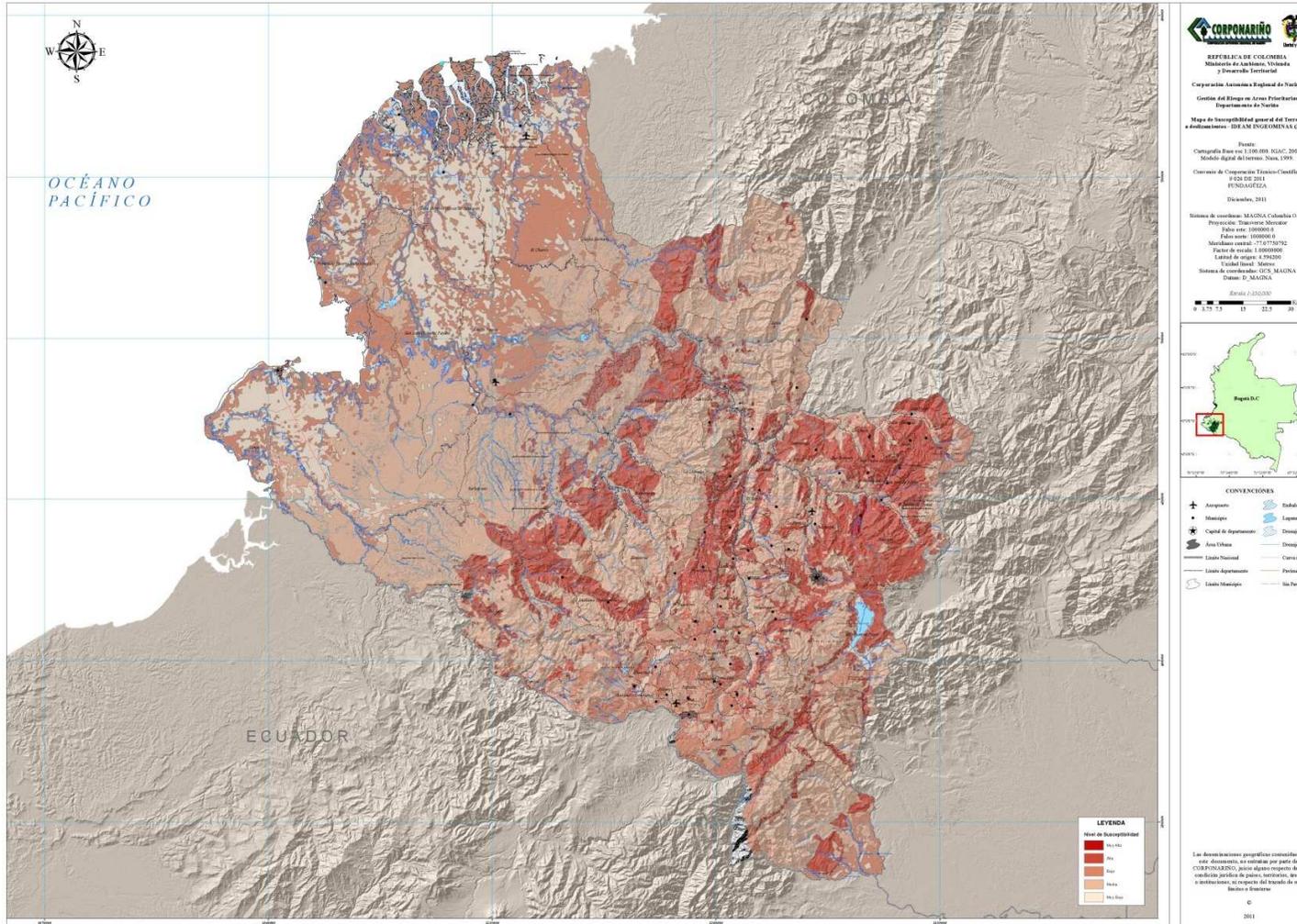


Figura 16. Susceptibilidad del terreno a deslizamientos por zonas del departamento.



Mapa 13. Mapa de susceptibilidad del terreno a deslizamientos. Fuente: INGEOMINAS-IDEAM, 2010

Los municipios de la zona norte y centro, presentan los niveles superiores de susceptibilidad, entre los que se destacan, Chachagui, Belén, Albán, San Bernardo, San Pablo, San Pedro y Taminango y en la zona occidental: Linares y La Llanada. Los municipios de las zonas Sur y Pacífica por su parte poseen los niveles más bajos (Tabla 4).

Tabla 21. Susceptibilidad a movimientos en masa por zona y municipio. Fuente: IDEAM, 2011

| Zona | Municipio | Muy Baja | Baja | Media | Alta | Muy Alta | Nula |
|----------------------|--------------------|----------|------|-------|------|----------|------|
| Centro | Chachagui | 0.0 | 1.8 | 53.6 | 44.7 | 0.0 | 0.0 |
| | La florida | 0.0 | 1.1 | 63.5 | 35.5 | 0.0 | 0.0 |
| | Narino | 0.0 | 0.9 | 77.8 | 21.3 | 0.0 | 0.0 |
| | Pasto | 6.7 | 10.9 | 46.8 | 35.6 | 0.0 | 0.0 |
| | Tangua | 0.1 | 7.7 | 57.2 | 35.1 | 0.0 | 0.0 |
| | Yacuanquer | 0.0 | 13.3 | 78.7 | 8.0 | 0.0 | 0.0 |
| Norte | Albán | 0.0 | 0.0 | 13.4 | 86.1 | 0.6 | 0.0 |
| | Arboleda | 0.0 | 2.1 | 44.4 | 53.6 | 0.0 | 0.0 |
| | Belen | 0.0 | 0.0 | 2.8 | 97.2 | 0.0 | 0.0 |
| | Buesaco | 0.0 | 0.3 | 14.0 | 80.3 | 5.4 | 0.0 |
| | Colon | 0.0 | 0.1 | 36.4 | 63.4 | 0.0 | 0.0 |
| | Cumbitara | 0.0 | 0.9 | 48.7 | 49.4 | 0.2 | 0.8 |
| | El penol | 0.0 | 0.5 | 56.5 | 42.3 | 0.0 | 0.7 |
| | El rosario | 0.0 | 1.4 | 91.6 | 6.6 | 0.0 | 0.4 |
| | El tablon de gomez | 0.0 | 6.3 | 42.4 | 51.4 | 0.0 | 0.0 |
| | El tambo | 0.0 | 0.7 | 77.6 | 21.6 | 0.0 | 0.0 |
| | La Cruz | 0.0 | 31.8 | 18.5 | 49.7 | 0.0 | 0.0 |
| | La Unión | 0.0 | 0.9 | 54.9 | 44.2 | 0.0 | 0.0 |
| | Leiva | 0.3 | 0.8 | 89.0 | 9.9 | 0.0 | 0.0 |
| | Los andes | 0.0 | 1.1 | 60.5 | 38.0 | 0.0 | 0.4 |
| | Policarpa | 0.0 | 1.2 | 67.7 | 28.6 | 0.0 | 2.5 |
| | San bernardo | 0.0 | 2.2 | 2.5 | 95.0 | 0.3 | 0.0 |
| | San lorenzo | 0.0 | 2.3 | 49.1 | 48.7 | 0.0 | 0.0 |
| San pablo | 0.0 | 0.2 | 18.7 | 81.2 | 0.0 | 0.0 | |
| San pedro de cartago | 0.0 | 0.0 | 31.4 | 68.6 | 0.0 | 0.0 | |
| Taminango | 0.1 | 2.3 | 31.3 | 65.4 | 0.0 | 1.0 | |
| Occidente | Ancuya | 0.0 | 1.1 | 45.0 | 53.9 | 0.0 | 0.0 |
| | Consaca | 0.0 | 18.7 | 61.5 | 19.8 | 0.0 | 0.0 |
| | Guaitarilla | 0.0 | 4.7 | 72.7 | 22.6 | 0.0 | 0.0 |
| | La llanada | 0.0 | 1.7 | 68.4 | 29.4 | 0.0 | 0.5 |

| | | | | | | | |
|-----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| | Linares | 0.0 | 0.6 | 19.5 | 79.5 | 0.4 | 0.0 |
| | Providencia | 0.0 | 0.3 | 7.7 | 92.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Samaniego | 0.0 | 0.7 | 54.0 | 45.1 | 0.1 | 0.1 |
| | Sandoná | 0.0 | 1.8 | 53.0 | 45.2 | 0.0 | 0.0 |
| | Santacruz | 0.0 | 8.1 | 76.7 | 15.2 | 0.0 | 0.0 |
| Pacífica | Barbacoas | 0.5 | 4.8 | 77.1 | 17.0 | 0.0 | 0.6 |
| | El charco | 11.9 | 33.4 | 46.5 | 8.2 | 0.0 | 0.0 |
| | La tola | 49.3 | 50.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Magui | 9.9 | 39.6 | 46.0 | 2.7 | 0.0 | 1.8 |
| | Mallama | 0.0 | 9.3 | 63.7 | 27.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Mosquera | 35.8 | 56.6 | 7.5 | 0.0 | 0.0 | 0.1 |
| | Olaya herrera | 53.4 | 43.4 | 3.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Ricaurte | 0.1 | 5.0 | 53.4 | 41.6 | 0.0 | 0.0 |
| | Roberto payan | 27.3 | 27.6 | 42.9 | 0.0 | 0.0 | 2.1 |
| | Santa barbara | 15.4 | 40.2 | 28.2 | 16.1 | 0.0 | 0.1 |
| | Tumaco | 28.4 | 26.2 | 45.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Sur | Aldana | 1.1 | 53.1 | 45.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Contadero | 0.0 | 35.6 | 51.3 | 13.1 | 0.0 | 0.0 |
| | Cordoba | 0.0 | 19.8 | 59.9 | 20.3 | 0.0 | 0.0 |
| | Cuaspué | 0.7 | 31.6 | 67.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Cumbal | 1.2 | 32.9 | 59.0 | 6.9 | 0.0 | 0.0 |
| | Funes | 0.0 | 18.1 | 63.5 | 18.4 | 0.0 | 0.0 |
| | Guachucal | 12.2 | 48.0 | 34.6 | 5.3 | 0.0 | 0.0 |
| | Gualmatán | 0.0 | 38.2 | 59.5 | 2.4 | 0.0 | 0.0 |
| | Iles | 0.1 | 14.5 | 63.8 | 21.7 | 0.0 | 0.0 |
| | Imues | 0.0 | 8.2 | 70.3 | 21.5 | 0.0 | 0.0 |
| | Ipiales | 1.4 | 29.1 | 56.3 | 13.3 | 0.0 | 0.0 |
| | Ospina | 0.2 | 29.0 | 55.3 | 15.5 | 0.0 | 0.0 |
| | Potosí | 0.0 | 24.5 | 53.0 | 22.5 | 0.0 | 0.0 |
| | Puerres | 0.0 | 17.0 | 63.6 | 19.4 | 0.0 | 0.0 |
| | Pupiales | 0.4 | 37.9 | 61.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | Sapuyes | 13.8 | 40.2 | 43.9 | 2.2 | 0.0 | 0.0 |
| Túquerres | 0.0 | 22.4 | 50.7 | 26.9 | 0.0 | 0.0 | |
| | Total | 10.5% | 21.0% | 49.2% | 18.9% | 0.1% | 0.4% |

4.2 Información departamental.

El Sistema de Información de Movimientos en Masa de INGEOMINAS tiene 312 registros, el CREPAD 234 registros (periodo 2010-2011), mientras que el estudio de Bacca et al. (2002) tiene 310. En el proceso de sistematización se generó formularios para 1350 eventos en total desde 1936 hasta el 2011, de los cuales (Anexo 1.6)

Realizando filtros por fecha y localización 1197 son efectivos (mapa 14). De los 153 eliminados, 144 fueron los registros del SIMMA con fecha al año 2002 y que cuya localización coincidieran con los reportes de Bacca et al., (2002), que aunque no cuentan con la fecha del evento, si incluye más detalle de información del estado, distribución, y registro fotográficos. Nueve registros del SIMMA cuya coordenada estaba reportada no se localizaban en el departamento.

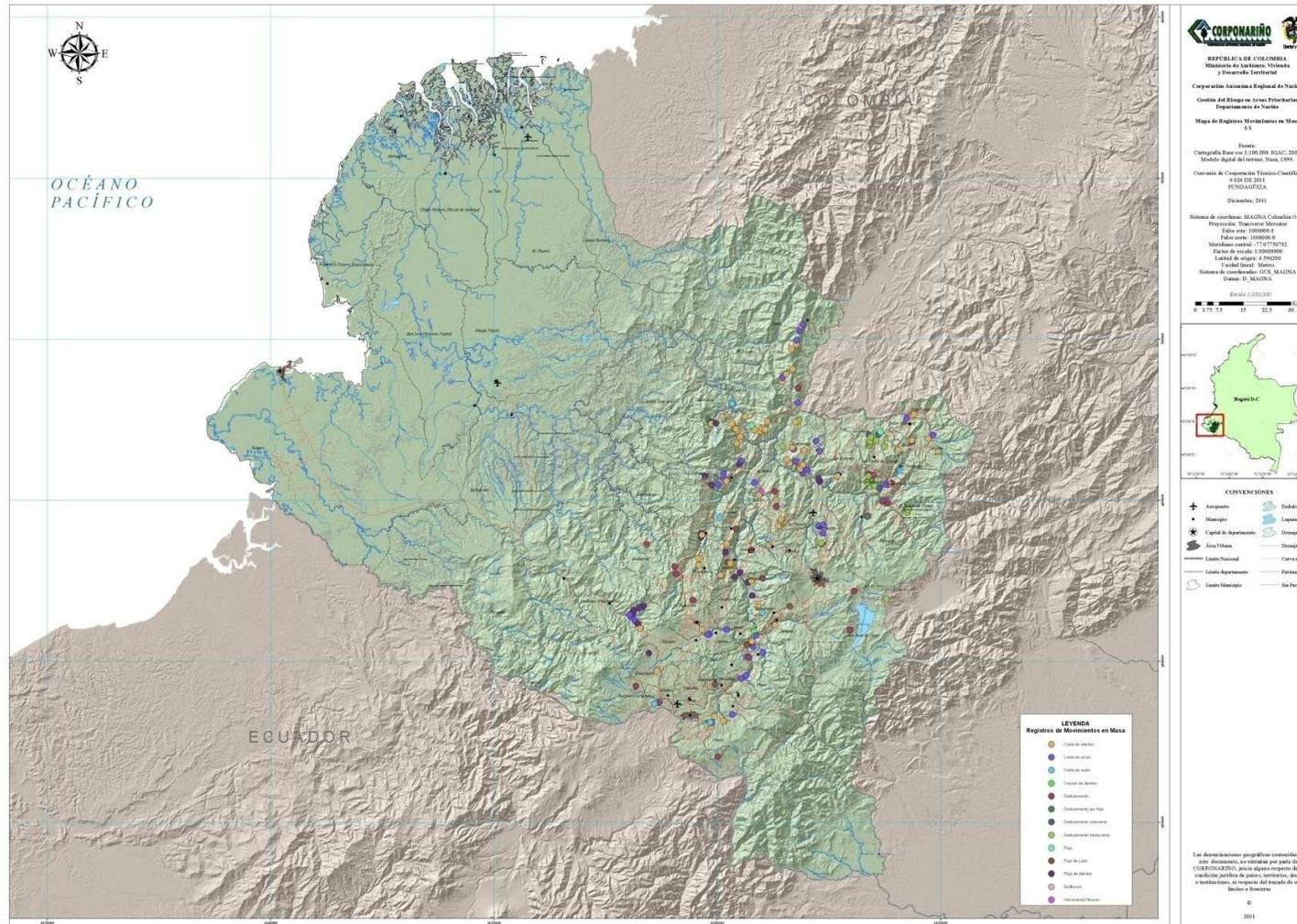
El análisis temporal muestra que los datos no son estacionales debido a la alta dispersión de registros (media $x=25$ y $\sigma=61$). Por ejemplo entre el 2005 y 2006 el número de registros aumento en 67 y en el periodo 2006 – 2007 disminuyo en 37 (figura 22). No existe ningún tipo de correlación con los nueve años del fenómeno de la Niña reportados desde 1950.

Respecto a los registros del año 2002, se sistematizaron 219 reportes del ‘inventario de deslizamientos en las zonas: cordillera occidental, centro-oriental, depresión Cauca-Patía y piedemonte andino oriental del departamento de Nariño en un SIG’ (Bacca et al, 2002), y 162 del Catálogo e Inventarios del SIMMA. Realizando el filtro solo 13 son verificables.

Un problema que se encontró al incluir los reportes de Bacca et al., (2002) es la dificultad de relacionarlos con eventos pasados ya que en el documento sólo incluye la fecha del registro y no la del evento. Un análisis de sobre posición no es útil frente a 578 registros que no fueron georreferenciados. Se debe tener en cuenta que existen procesos que pueden estar activos durante intervalos de tiempo amplios con dinámicas difíciles de explicar así que descartarlos por localización o fecha es una medida arbitraria. De esta forma se niega la posibilidad de realizar un análisis temporal de los registros y cualquier análisis posterior es arriesgado.

En los procesos de espacialización se tienen 401 registros pero de estos solo 370 son útiles ya que se localizan en la corona o la base del deslizamiento (mapa 15). Los municipios de El Charco, Francisco Pizarro, La Tola, Mosquera, Roberto Payán y Santa Barbará no cuentan con ningún reporte.

La distribución anual de los datos, muestra un incremento importante durante el 2010 y 2011, constatando los efectos de la Ola Invernal (figura 18). En total se han registrado 30 víctimas 820 heridos, 59,836 damnificados, 2876 familias afectadas en el departamento desde 1936. El mayor número de víctimas se presenta en Túquerres (202) de las cuales 200 sucedieron en 1936 (INGEOMINAS, 2002), en La Cruz (15) y el Tambo (5). El promedio de víctimas y heridos por evento es de 8.48 (en Túquerres), 1.6 en La Cruz, 0.6 en Santa Cruz y 0.3 en el Tambo.



Mapa 15. Localización de los registros de movimientos en masa.

Durante la ola invernal se reportaron 237 eventos en 55 municipios, principalmente en Buesaco, Cumbitar, Los Andes, Belén, Tablón de Gomez y Puerres (Mapa 16). Respecto a años anteriores el número de registros aumento en un 106% pasando de ocho eventos a 135 en 2011. Los municipios más afectados fueron: Belén, San Lorenzo, Yacuanquer, Túquerres, Cumbitara, La Cruz, El Tambo, Ipiales, Samaniego, Los Andes, Funes, Mallama, Buesaco, Taminango y Sandoná, representando el 54% de los eventos. El análisis de densidad con un radio de búsqueda de 4km indica que se pueden encontrar hasta 0.5 registros por kilometro cuadrado, estos localizados en la zonas norte y centro y en menor proporción, en la zona sur (mapa 17). Aunque los núcleos son extensos, se puede resaltar dos zonas donde la densidad y extensión evidencia una mayor dinámica del terreno: A. Corredor Buesaco – La Cruz – La Unión. B. Ancuya – Sandoná – El Tambo – Linares.

El consolidado reporta un total de 15,417 víctimas, 60,547 damnificados, 2,056 viviendas afectadas y 21,467 familias es el saldo de los reportes. El evento ocurrido en 1936 en Túquerres (municipios con 25 registros) incidió a que el promedio de víctimas y heridos por número de eventos fuera el mayor (8.48), mientras que municipios como Pasto y Buesaco (con 0 y 8 respectivamente) con el mayor número de eventos no reportan víctimas (mapa 18 y 19). De los 396 de eventos georreferenciados, 152 no reportan el tipo de proceso. Predomina los eventos de caída (roca, detritos y suelos) seguidos por los Flujos. Es de resaltar que no existe ninguna correlación espacial entre los eventos y las características biofísicas de los municipios, al menos con la información espacial mapeada a escala 1:100.000, evidenciando la necesidad de estudios locales a nivel geológico y topográfico y civil que permitan en los lugares priorizados identificar y comprender la actividad morfodinámica del terreno.

Tabla 22. Procesos georreferenciados de movimiento en masa

| Tipo de movimiento | Cantidad |
|------------------------------|----------|
| Caída de detritos | 71 |
| Caída de rocas | 40 |
| Caída de suelo | 6 |
| Crecido de detritos | 2 |
| Deslizamiento | 41 |
| Deslizamiento por flujo | 2 |
| Deslizamiento rotacional | 3 |
| Deslizamiento traslacional | 28 |
| Fenomeno de remoción en masa | 1 |
| Flujo | 3 |
| Flujo de detritos | 20 |
| Flujo de Lodo | 10 |
| SD | 152 |
| Soliflucción | 14 |
| Volcamiento flexural | 3 |

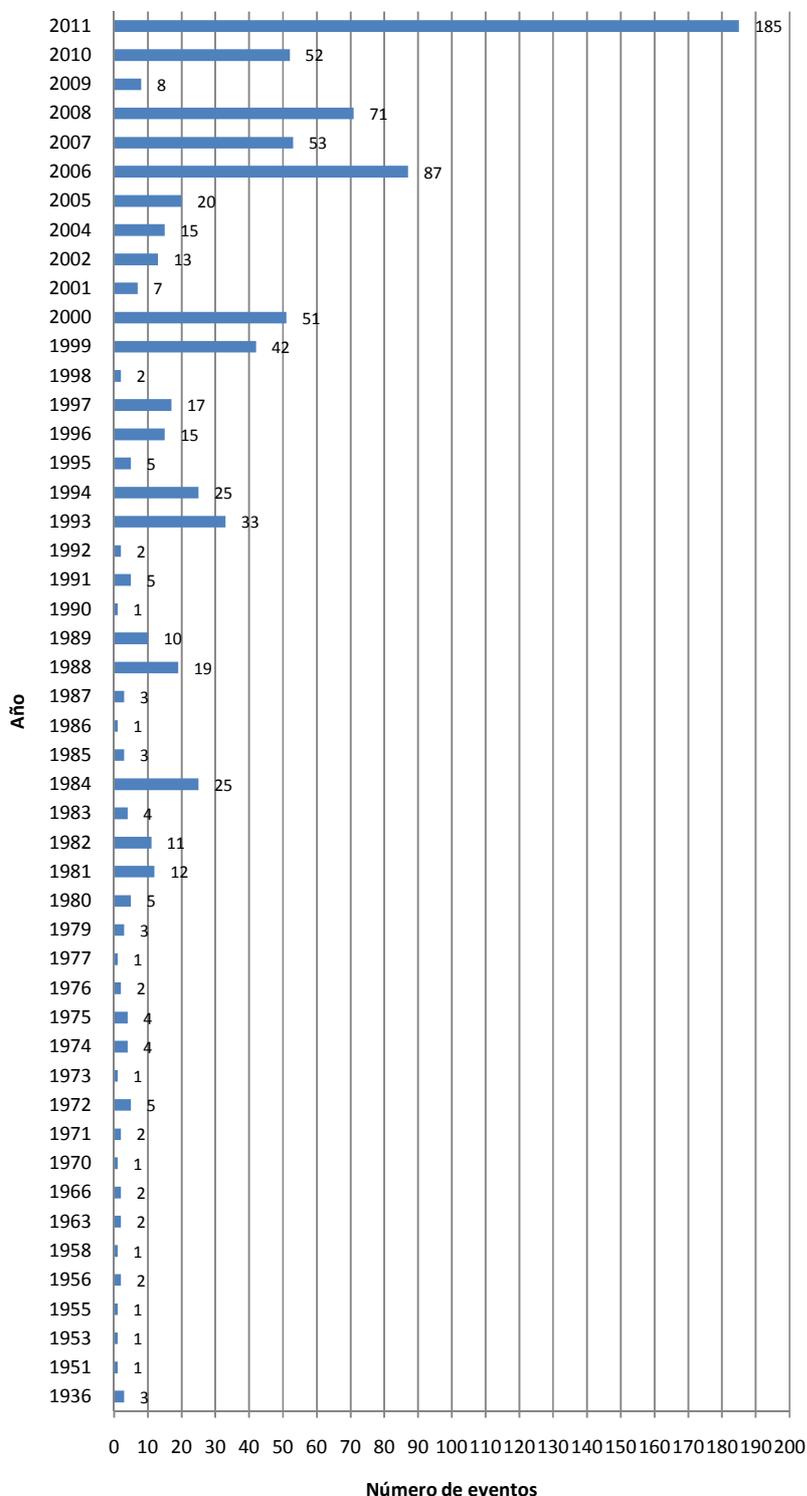
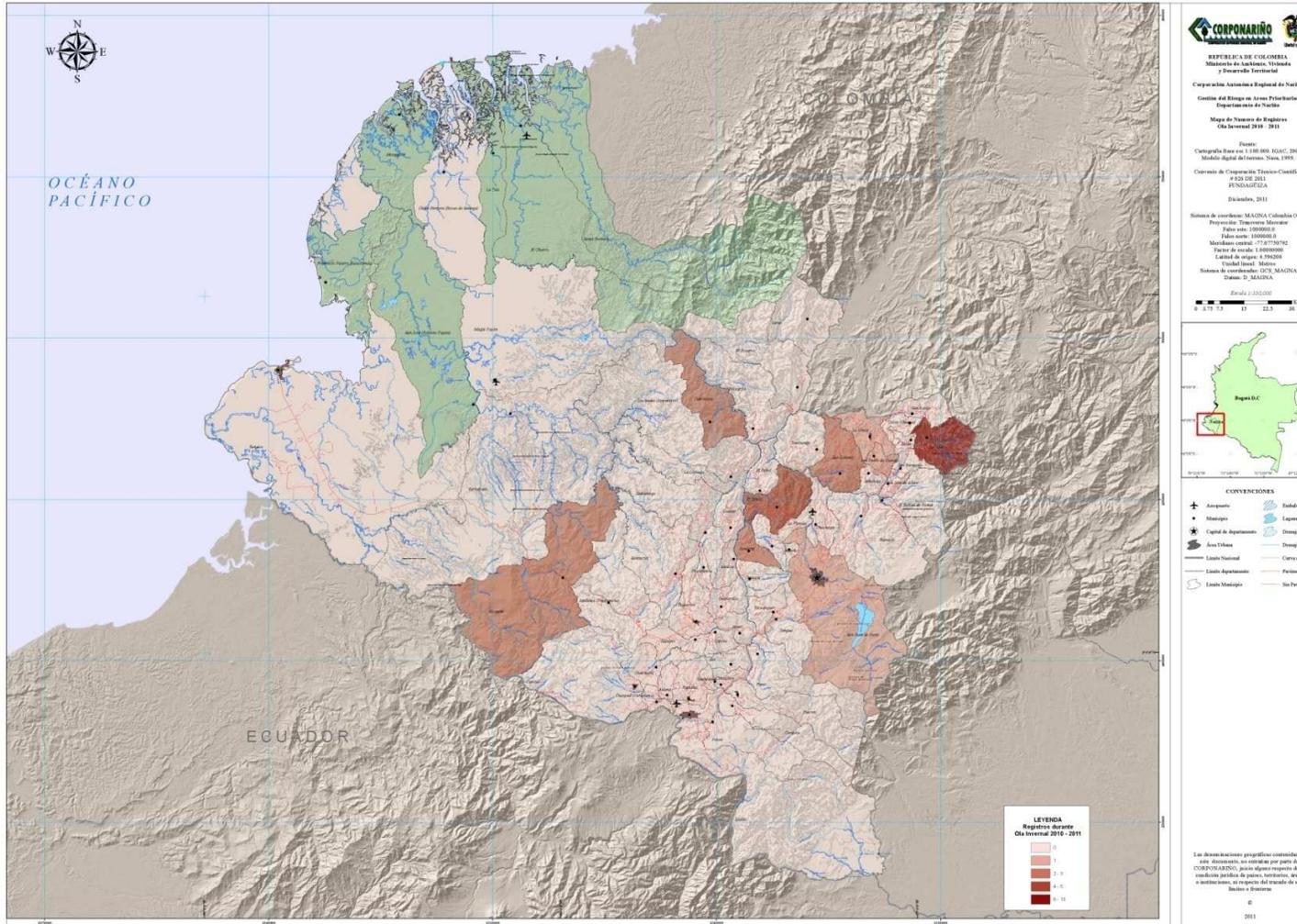
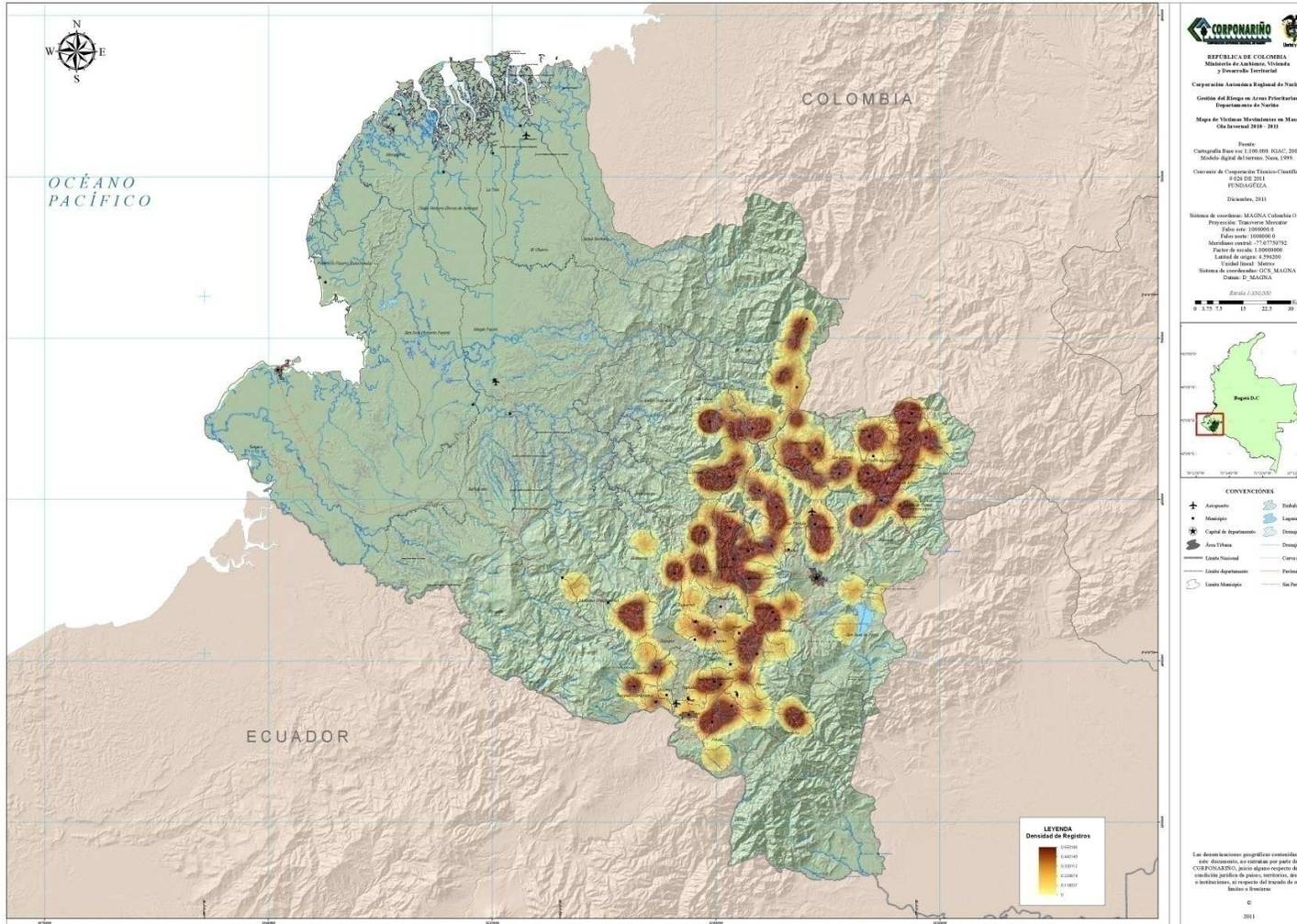


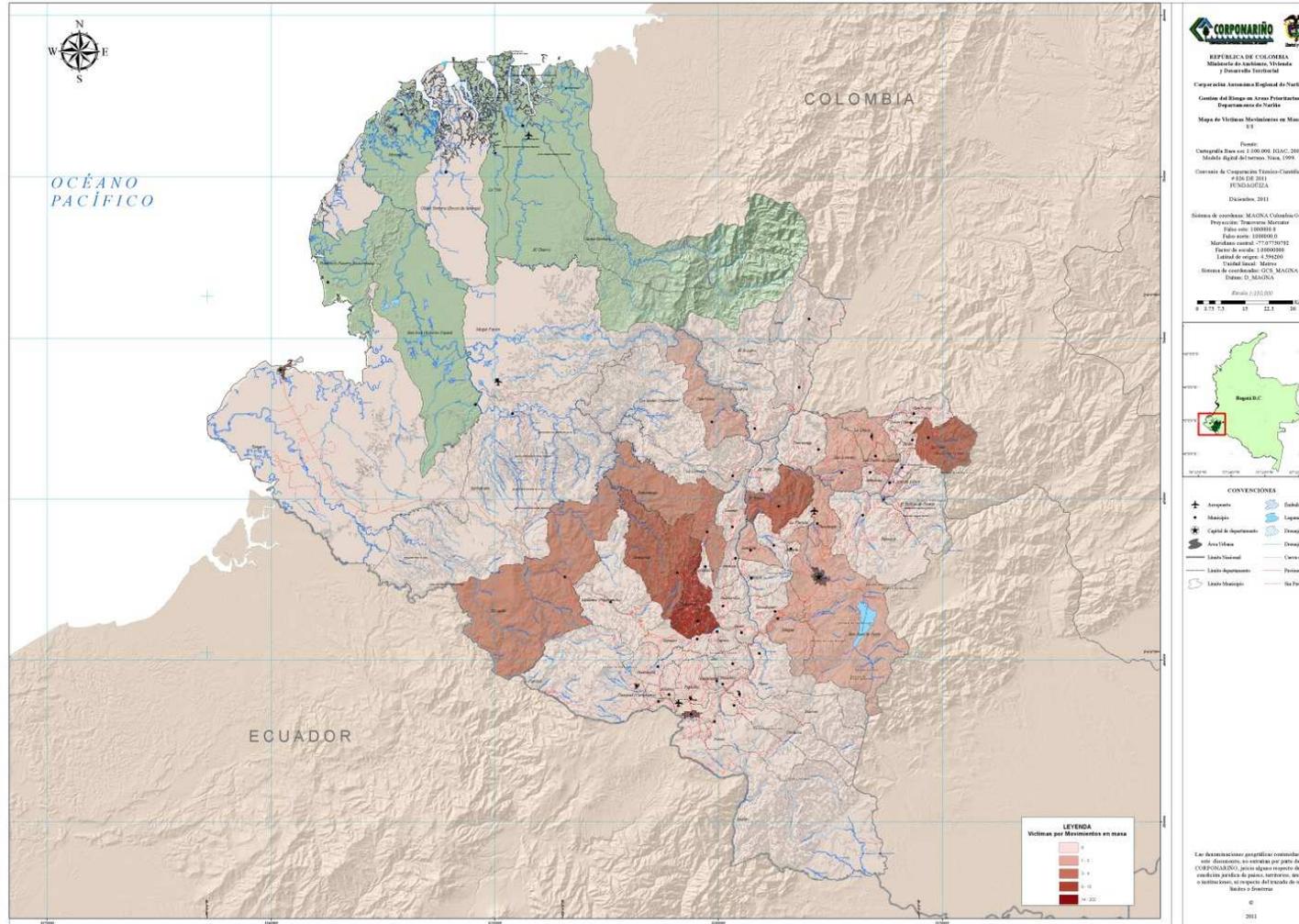
Figura 17. Número de registros por año



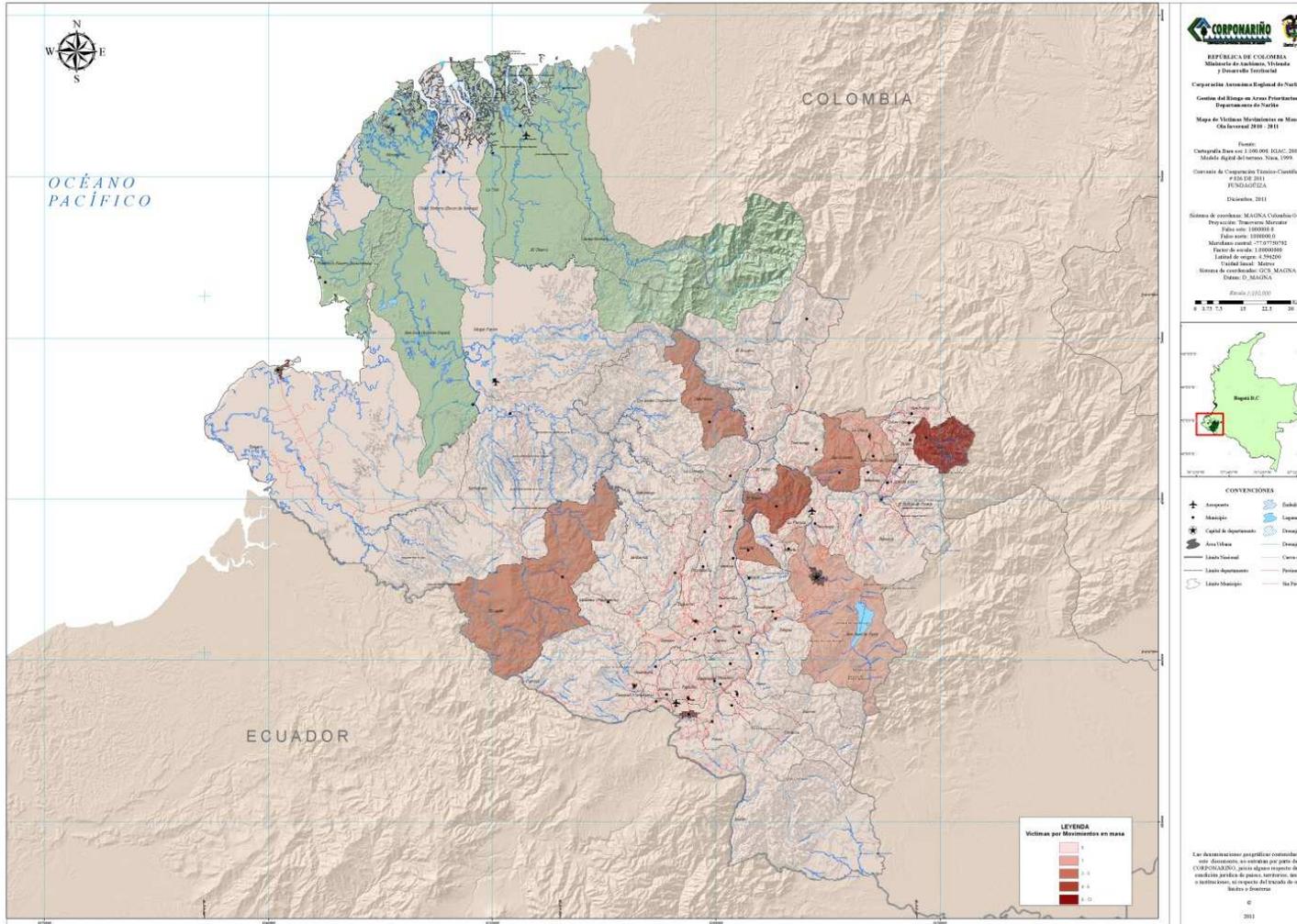
Mapa 16. Registros de movimientos en masa durante la Ola Invernal 2010 - 2011.



Mapa 17. Densidad de registros de movimientos en masa



Mapa 18. Número total de víctimas asociadas a eventos de movimiento en masa



Mapa 19. Número total de víctimas durante la Ola Invernal 2010 – 2011 asociadas a eventos de movimiento en masa.

4.3 Susceptibilidad a Movimientos en masa

4.3.1 Descripción:

La Zona Andina del departamento es, por sus características biofísicas, inestable y susceptible a presentar eventos de movimiento en masa. La propuesta inicial de extraer una Región Andina suscita inconvenientes debido a que procesos como las avalanchas pueden abarcar grandes extensiones de las llanuras aluviales de los ríos del pacífico o la amazonia. Este análisis se enfatizó sobre las subzonas hidrográficas localizadas en la cordillera occidental y el nudo de los Pastos y la Cordillera Central - Oriental. A nivel descriptivo se tiene:

4.3.1.1 Geología.

Los Andes de Colombia representan la terminación norte de la Cadena Andina, la cual se extiende a lo largo de toda la margen occidental de Suramérica, esta deformación es el resultado de la compleja interacción entre las placas Nazca y Sur Americana (Trenkamp, et al., 2002). La margen pacífica de Colombia se caracteriza por la ocurrencia de grandes sismos relacionados con el proceso de subducción. La naturaleza y la composición de las rocas presentes en el área son el resultado de distintos procesos tectónicos que han afectado la esquina noroccidental de Suramérica durante el Mesozoico y Cenozoico (Taboada et al. 2000). El occidente colombiano corresponde a terrenos de afinidad oceánica situados al oeste del Sistema de Fallas Romeral los cuales fueron acrecionados al continente durante el Cretácico y el Terciario (Duque-Caro, 1990), basamento toleítico formado por la acreción, durante el Cretácico, de varios bloques generados en ambientes geodinámicos diferentes (corteza oceánica, arco insular, cuenca tras-arco, etc.) deformados por la convergencia de Nazca en dirección del continente (INGEOMINAS, 1997). Geológicamente, el área pertenece a los Terrenos Macuchi–Dagua–Gorgona, Cauca-Romeral y Arquía localizado al sur occidente de Colombia y corresponde a una región muy compleja, tanto en la parte tectónica como en los aspectos estratigráficos, en la cual afloran rocas del Proterozoico hasta depósitos del Cuaternario que conforman una morfología muy irregular, dominada por grandes sistemas de fallas de dirección NE-SW. Los procesos de erosión y remoción en masa son muy activos y frecuentes.

La geología del departamento es compleja. En la región andina los materiales de origen volcánico y depósitos en predominan, desde los municipios de Ipiales hasta la Cruz en una amplia franja en dirección sur-NorOriente, relacionados con las provincias volcánicas. A nivel litológico existe un abanico amplio de rocas. Por tipos, predominan las rocas ígneas diabasas y andesitas, Sedimentarias Areniscas y arcillolitas y metamórficas los esquistos y el Gneiss. No menos importantes los depósitos volcánicos están presentes en todo el sistema montañosos, aunque muchos de estos han sido maximizados a nivel cartográfico por su importancia relativa. Los materiales litológicos de mas baja resistencia a la compresión están presentes en la secuencia metamórfica Buesaco (Paleozóico) en las que predominan los esquistos verdes y negros limitado por el sistema de fallas romeral, el Complejo migmatítico Rio Tello – La Cocha (Era precambica) el cual se encuentra afectado por fenómenos de metamorfismo en el grupo Dagua .

4.3.1.2. Suelos:

A nivel edáfico en el departamento no hay grandes variaciones. El 44% del territorio se encuentran andisoles, en un amplio abanico de regímenes hídricos: údicos, crícos, isomésicos o isotérmicos, debido a las variaciones altitudinales y meteorológica. Estos suelos se encuentra asociado a los relieves montañosos y las altiplanicies del centro y sur del departamento, y en menor grado en los piedemontes del Anden Pacífico. En la región andina los Andisoles a que se ha hecho referencia constituyen los suelos más representativos desde el punto de vista de la tipología, mientras los Mollisoles y Alfisoles, sólo abarcan el 3%, valores similares reportados por Malagon (2003). Las propiedades hidráulicas complejas del los andisoles y los usos sobre los que están siendo sometidos hace de estos, suelos inestables, sujetos al lavado y problemas de histéresis a largo plazo. En pequeños enclaves de los valles de los ríos Guaitara y Patía, Juananbú, los suelos presentan un mayor grado de desarrollo, de orden Mollisol, aunque poco profundos (líticos, paralíticos o enticos), con presencia de gravas, de régimen ústico, bien drenados de textura media a fina y altamente estables.

Los suelos de menor evolución (Inceptisoles y Entisoles) conforman el 32%, destacándose los Dystrudepts. Los procesos de pérdida por erosión y lixiviación, se compensan parcialmente por los de ganancia de materiales orgánicos por efecto del clima (la mayoría presenta contenidos medianos y altos de C. O.: 1.5 a 6% o mayores), ello conlleva la aparición de horizontes A (Úmbricos) sobre, generalmente, horizontes B (Cámbicos) (Malagon, 2003).

En contraste se presentan suelos de menor grado de desarrollo y evolución de orden Entisol e Inceptisol en las llanuras aluviales y planicies de la zona pacífica. Para la zona andina los suelos localizados en las vallecitos y cañones de los ríos Guaitara y Patía desde el centro y sur del departamento se consideran estables, esto por las propiedades hidráulicas y físico-químicas, así como por su profundidad, CIC elevadas, con estructuras blocosas y angular ó subangular, y alta estabilidad de sus agregados.

4.3.1.3 Geomorfología

Para comprender el origen y desarrollo morfogenético de estas provincias geomorfológicas es necesario analizar las características geotectónicas regionales a través de varios esquemas propuestos por autores como Case et al (1971), Estrada (1972), Toussaint y Restrepo (1976) y Barlow (1981), quienes coinciden en señalar que durante el Cretáceo Tardío y el Terciario Temprano hubo un salto de la zona de subducción hacia el occidente de la antigua zona de subducción (trench o fosa del Valle del Cauca) de la placa de Nazca y cuya actividad se reflejó en el levantamiento y evolución de la cordillera Occidental (INGEOMINAS – IGAC, 2005)

Las geoformas presentes Al sur, predominan los materiales de origen fluvial y volcánico que rellenan las depresiones y sobre las cuales han actuado procesos erosivos recientes. En este caso, las vertientes frías son más estables y la remoción en masa o las alteraciones del suelo no se presentan, pues siempre están cubiertas de vegetación, razón por la cual prevalece la infiltración y no el escurrimiento (IGAG. 1984).

En síntesis, la cordillera Occidental emergió a finales del cretáceo (INGEOMINAS, 200). Las principales características geomorfológicas permiten deducir que éstas han sido el resultado de la interacción de procesos tectodinámicos, destacándose la orogénesis que produjo el levantamiento de la cordillera

occidental y parte de la cordillera Centro - Oriental, acompañado de fuertes plegamientos y fracturamientos de los materiales volcánicos (submarino) estos evidenciado por ejemplo en el Grupo diabásico, con la acumulación de materiales sedimentarios; Morfodinámicos y Volcánicos, estos últimos relacionado evidenciados con los mantos de depósitos y acumulaciones de cenizas de las altiplanicies y la sección central de la cordillera Centro – Oriental.

Las génesis del indica que el 34% es estructural, obedeciendo al intrincado y complejo sistemas de fallas, y los plegamientos de la corteza específicamente en el andén pacífico y la cordillera real oriental. La actividad volcánica es responsable del 22% del área en inmediaciones del complejo volcánico de Doña Juana y los volcanes Chiles, Cumbal, Azufral y Galeras. Los procesos denudacionales son frecuentes en los sistemas montañosos del andén pacífico y asociados a los coluvios de remoción presentes. La geoforma dominantes son las montañas con el 37%, siendo las de tipo estructura (escarpadas o muy escarpadas) y erosional-ramificada en roca lávica máfica las de mayor participación, distribuidas, las primera en la cordillera occidental y las segunda en la real cordillera oriental. Los depósitos y sistemas montañosos derivados de la actividad volcánica corresponden al 22%, estos localizados en las zonas centro y sur principalmente en respuesta a la actividad volcánica del departamento.

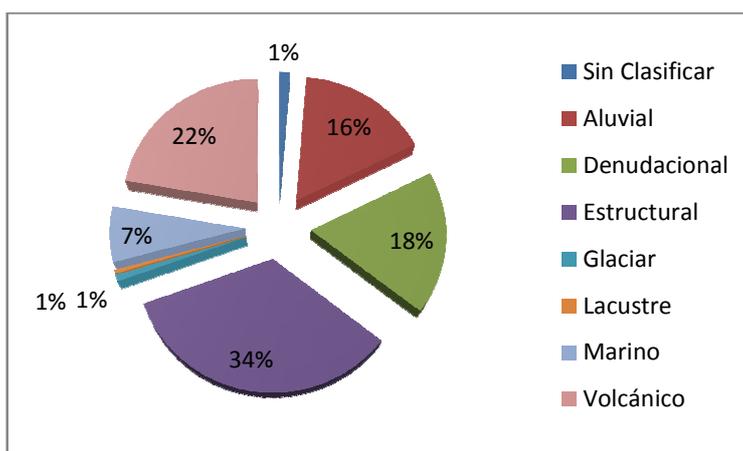


Figura 18. Área del departamento según su génesis.

El listado de las geoformas y su área se detalla a continuación:

Tabla 23. Área del departamento por geomorfología

| Nombre | Área (ha) | % |
|---|-----------|------|
| Sin Clasificar | 39,372.4 | 1.27 |
| Abanico aluvial | 3,014.6 | 0.10 |
| Abanico de lodo volcánico muy antiguo del Río Guiza | 55,080.5 | 1.78 |
| Abanico fluvio-volcánico antiguo del Río Guiza | 213,464.7 | 6.89 |
| Avalancha de escombros | 268.8 | 0.01 |
| Avalanchas ardientes | 17,363.9 | 0.56 |

| | | |
|---|-----------|------|
| Barras homoclinales colinadas en arenisca feldespática y arcillolitas | 153.3 | 0.00 |
| Campo de Ceniza | 83,501.2 | 2.69 |
| Campo de Ignimbrita | 24,749.4 | 0.80 |
| Campo de lava y ceniza | 80,211.2 | 2.59 |
| Campo de lava y piroclastos | 24,952.8 | 0.80 |
| Chevron | 2,445.3 | 0.08 |
| Colinas | 221.0 | 0.01 |
| Coluvio | 953.6 | 0.03 |
| Coluvio de remoción en masa y glacis coluvial | 2,914.8 | 0.09 |
| Cono volcánica | 4,393.5 | 0.14 |
| Crater | 477.6 | 0.02 |
| Cresta | 2,861.9 | 0.09 |
| Cuerpo intrusivo | 27,546.3 | 0.89 |
| Depósito aluvial | 14,605.5 | 0.47 |
| Depósito Coluvio-Aluvial | 474.1 | 0.02 |
| Depósito fluvio-glaciar | 3,489.3 | 0.11 |
| Depósito fluvio-volcánico | 4,977.6 | 0.16 |
| Depósito Glaciar | 15,930.0 | 0.51 |
| Depósito glaciar y fluvio-glaciar | 6,687.8 | 0.22 |
| Depósito lacustres | 14,323.9 | 0.46 |
| Depósito piroclástico | 17,047.5 | 0.55 |
| Depósito volcánico | 8,749.9 | 0.28 |
| Escarpe de talud de abanico | 68.8 | 0.00 |
| Escarpes de taludes de abanico de lodo volcánico | 129,633.5 | 4.18 |
| Espinazo | 1,343.5 | 0.04 |
| Flujo de Lapíli | 60.1 | 0.00 |
| Flujo de lava | 29,632.3 | 0.96 |
| Flujo de lava masiva | 44,138.7 | 1.42 |
| Flujo de lava y aglomerado | 134.8 | 0.00 |
| Flujo de lava y piroclastos | 78,265.4 | 2.52 |
| Flujo de piroclastos | 11,809.6 | 0.38 |
| Lahares y piroclastos | 24,819.5 | 0.80 |
| Lluvia de Ceniza | 819.9 | 0.03 |
| Lomerío estructural | 9,612.0 | 0.31 |
| Marismas con mangle y herbáceas | 892.9 | 0.03 |
| Meseta | 3,213.7 | 0.10 |
| Montaña erosional-estructural en roca metamorfica | 22,035.6 | 0.71 |
| Montaña erosional-estructural en roca sedimentaria | 19,007.6 | 0.61 |

| | | |
|---|-----------|------|
| Montaña erosional-estructural excavada | 1,742.6 | 0.06 |
| Montaña erosional-estructural muy escarpada en roca sedimentaria | 276,774.0 | 8.93 |
| Montaña erosional-remificada escarpada en roca lávica mafica | 48,536.4 | 1.57 |
| Montaña erosional-remificada muy escarpada en roca lávica mafica | 575.0 | 0.02 |
| Montaña estructura muy escarpada en roca sedimentaria | 105,091.1 | 3.39 |
| Montaña volcánica y asociados | 100,221.9 | 3.23 |
| Montañas erosional-estructural en roca metamorfica | 208.9 | 0.01 |
| Montañas erosional-estructural en roca sedimentaria | 152,519.6 | 4.92 |
| Montañas erosional-estructural muy escarpada en roca sedimentaria | 27,144.8 | 0.88 |
| Montañas erosional-estructural Muy escarpada en roca sedimentaria | 1,121.9 | 0.04 |
| Montañas erosional-ramificada en roca ignea intrusiva | 11,123.2 | 0.36 |
| Montañas erosional-ramificada en roca lávica máfica | 138,110.8 | 4.46 |
| Montañas erosional-ramificada muy escarpada en roca lávica máfica | 1,050.3 | 0.03 |
| Montañas erosional en roca metamórfica | 32,283.5 | 1.04 |
| Montañas erosionales-estructurales en rocas sedimentarias limo-arcillosas y conglomeráticas con calizas e intercalaciones de diabasas y basalto | 134,758.5 | 4.35 |
| Montañas erosionales ramificadas en rocas igneas-Intrusivas intermedias y félsicas | 33,541.6 | 1.08 |
| Montañas Erosionales ramificadas en rocas lávicas intermedias con o sin mantos de ceniza volcánica | 1,326.5 | 0.04 |
| Montañas erosionales ramificadas en rocas lávicas máficas con o sin mantos y tobas y/o ceniza volcánica | 43,480.3 | 1.40 |
| Montañas erosionales ramificadas en rocas metamórficas de bajo grado con o sin mantos de ceniza volcánica | 48,986.2 | 1.58 |
| Plano de Inundación meándrico del Río Mira | 11,151.5 | 0.36 |
| Plano de Inundación meándricos Ríos de la Cuenca del Pacífico | 131,483.8 | 4.24 |
| Plano de marea con esteros | 202,110.3 | 6.52 |
| Playas, barras de playa y cordones litorales | 13,106.5 | 0.42 |
| Sin Nombre | 219.3 | 0.01 |
| Superficie alomada-colinada en limolitas tobáceas | 118,117.3 | 3.81 |
| Superficie colinada en arenicas tobáceas | 85,199.6 | 2.75 |
| Superficies colinada en arenicas y limolitas silíceas y calcáreas | 56,378.2 | 1.82 |
| Terraza aluvial | 11,410.3 | 0.37 |
| Terraza aluvial baja | 296.5 | 0.01 |
| Terraza aluvial, Inferior del Río Mira | 17,841.2 | 0.58 |
| Terraza aluvial, nivel superior de los Ríos Patía, Tapaje e Iscuandé | 205,238.9 | 6.62 |
| Terraza aluvial, superior del Río Mira | 31,344.6 | 1.01 |
| Terraza coluvial | 8,980.5 | 0.29 |
| Volcán | 2,912.8 | 0.09 |

4.3.1.2 Cobertura

EL 59% del área encuentran en cobertura boscosa. De estos, los bosque densos (inundables y de tierra firme) ocupan el 54% del área, localizados principalmente en el andén pacífico, el piedemonte andino amazónico y la cordillera Centro-oriental, en respuesta a la poca accesibilidad de estas áreas y su baja aptitud agrícola. Por otro lado los bosques bajos y abiertos (<15m) se encuentran localizados en pequeñas franjas del andén pacífico. Los procesos de fragmentación de los bosques están presentes en todo el departamento con un número elevado de parches.

En la región andina, los procesos de colonización y expansión de la frontera agrícola, han modificado el paisaje ecológico, dejando solo algunos relictos boscosos. El 23% se encuentra deforestado dando espacio a cultivos transitorios, papá, caña y en mayor proporción pasturas. Frente a procesos de estabilidad de laderas, la zona andina se presenta una dependencia de los eventos de movimiento en masa asociados a las áreas degradadas o bajo uso agropecuario, junto a manejo inadecuado del recurso.

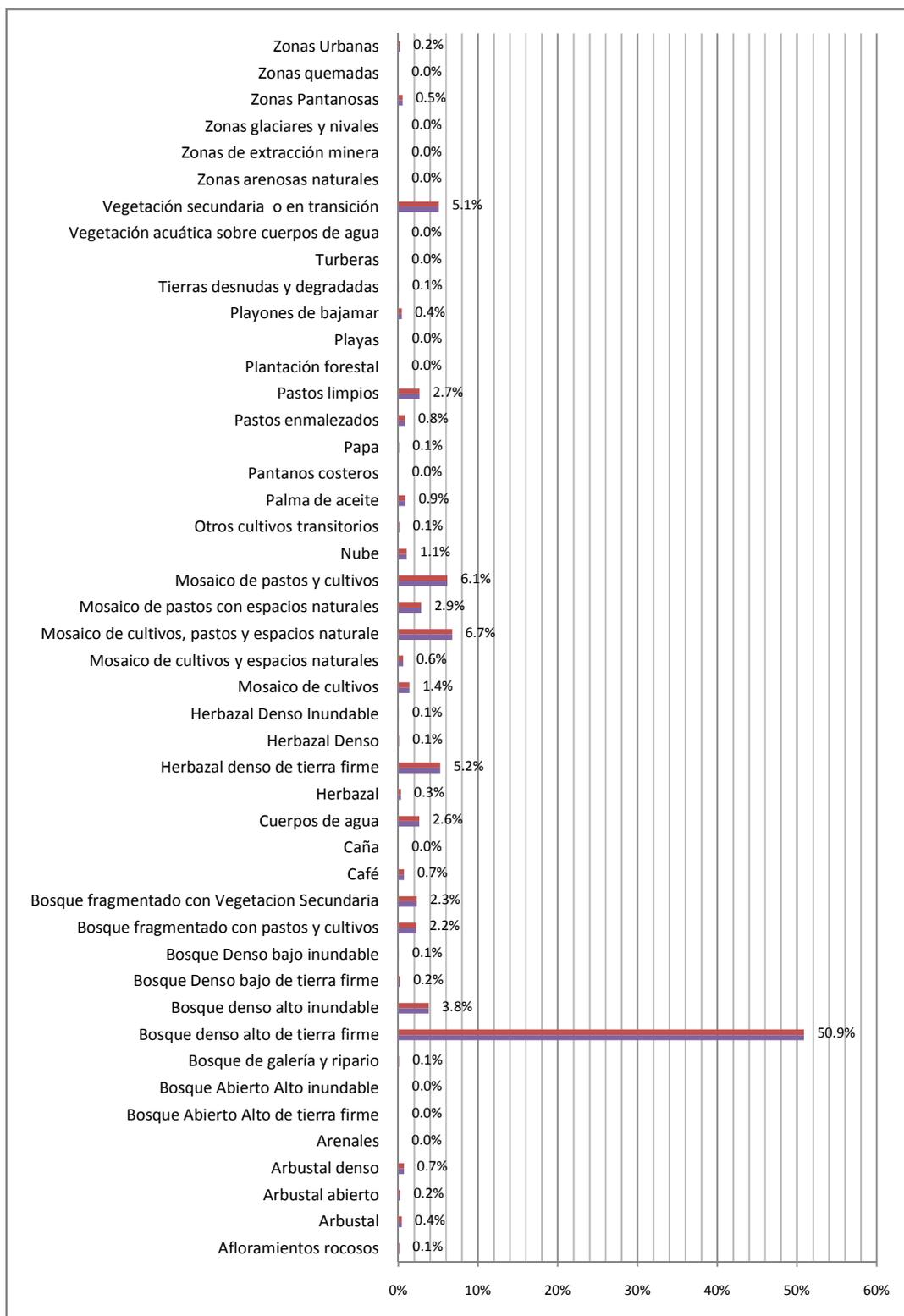


Figura 19. Cobertura de la tierra en Nariño en el año 2002.

4.3.2 Susceptibilidad a movimientos en masa.

Similar a lo reportado por el IDEAM (2010), el nivel de susceptibilidad a movimientos en masa es alto en el 52% del área, mientras el 46% es medio. Los niveles altos se explican por las condiciones geomorfológica, geológica y edáfica, esto es: Suelos poco evolucionados (inceptisol – andisol) o desarrollados (andicos), de texturas medial a fina, moderadamente profundos, con drenaje moderado y abundancia de materiales amorfos, con pendientes onduladas a muy escarpadas en terrenos de rugosidad alta. El material resistencia para este nivel es duro o blando, con textura consolidada a cementada. En el Anexo 17 y el mapa 20 se detalla la susceptibilidad a movimientos en masa en Nariño.

Las geoformas predominantes son de origen estructural y volcánico, además de una presencia importante de depósitos localizados en pequeños áreas o en las altiplanicies del centro y sur.

El 1.17% del área tiene niveles de susceptibilidad muy alta, lo que equivale a 36'343has. Estas localizadas en dos núcleos, que por su extensión y localización, además de que corroboran el análisis de densidad de registros, son priorizados:

1. Buesaco - Arboleda – San José de ALban – La Cruz.
2. Samaniego – Linares – La Llanada – Cumbitara.

Existe otros focos menores pero que por su localización, extensión y afectación son considerados: Rosario ´- Leiva en la vía que comunica ambos municipios y en El Cerro El Valdio en Mallama (Piedrancha) en cuya base se encuentra la vía a Tumaco este último se presenta como un problema muy local que debe ser analizado con un estudio detallado o ultradetallado.

Con las variables evaluadas se identifican dos atributos que afectaron el análisis a tal punto que representa el 52% del departamento y el 68% de la zonas sur, norte, centro y occidente donde se localiza la región andina: la morfometría con pendientes escarpadas a muy escarpadas junto con rugosidades altas (pendientes discontinuas) y suelos derivados de ceniza volcánica (Amorfos) bien drenados, profundos, de textura media. Al ver el mapa de susceptibilidad general (Mapa20) es evidente que se deben realizar estudio de carácter prioritario en los sectores con niveles muy altos como los atrás descritos. En el anexo 1.8 de detalla los niveles de susceptibilidad por zonas.

El listado de municipios y su susceptibilidad se pueden detallar en el anexo nn. Por extensión los municipios de Albán, Linares y Leiva presentan más del 10% de su territorio en niveles muy altos. Los casos más críticos están presentes en Albán cuya ladera inferior y aldeaña presenta niveles altos; Buesaco en la ladera del lado izquierdo (sentido SW-NE); Samaniego en las laderas de la Loma el Pantano y el Cerro del Pincacho de la Inga, Cerro Los Robles en Los Andes (Sotomayor) y Loma de Ramos en Leiva. En el anexo 1.9 se detalla los niveles de susceptibilidad por municipio.

A nivel vial, la vía Panamericana presenta múltiples sectores con nivel de muy alta susceptibilidad, localizados principalmente en la ruta: Pasto – Tumaco. Los otros sectores de interés son la vía que conduce de Mallama a Ricaurte en el sector atrás mencionado y Túquerres – Samaniego sobre el km 20. De segundo orden se focaliza la vía que conduce de Buesaco a La Unión en diversos puntos. Un panorama desalentador presentan las vías de orden 3-4-5 ya que, el departamento posee aprox

7'330km localizados en la zona andina, carreteras de orden municipal en la mayoría de los casos solo transitable en tiempo seco. De estos al menos 475km se encuentran en el sector Samaniego – Cumbitara.

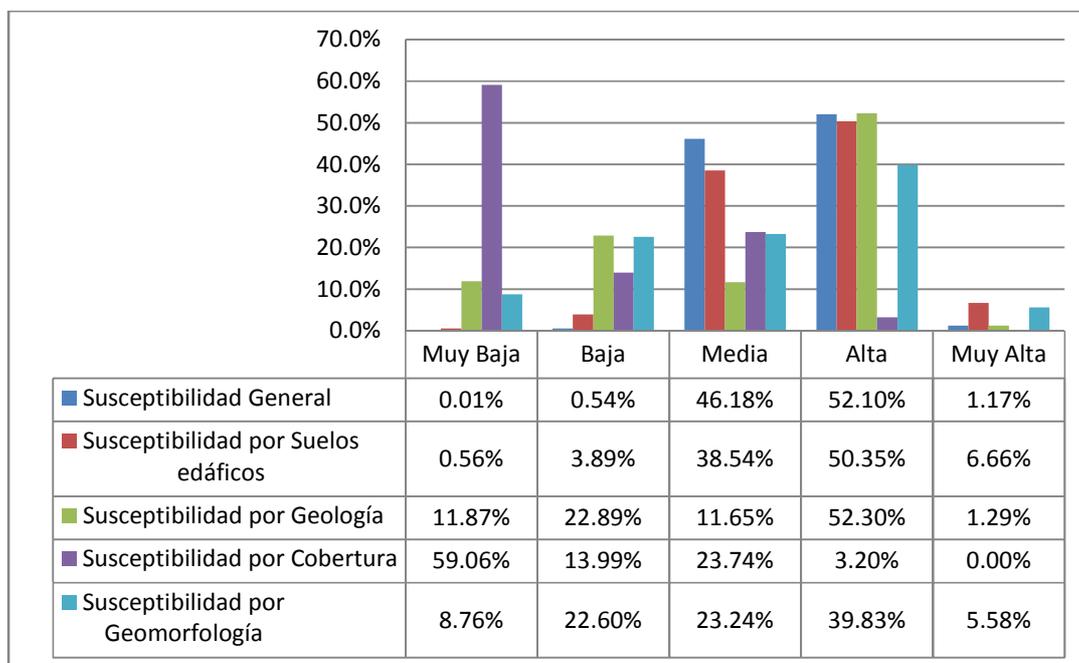


Figura 20. Porcentaje del área por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa en el departamento

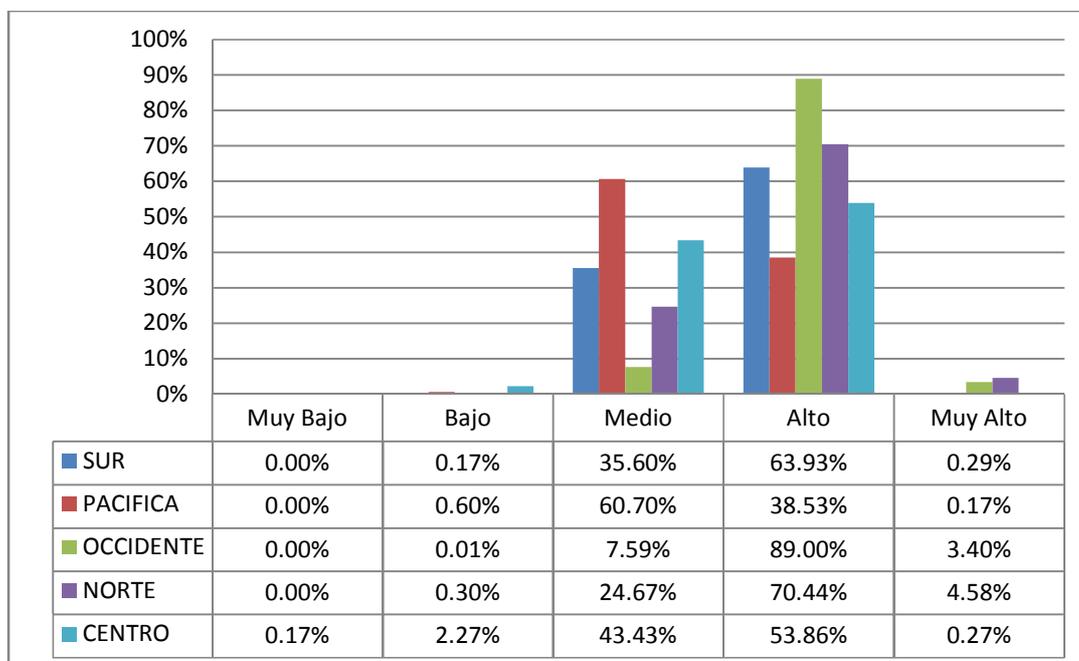


Figura 21. Porcentaje del área por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa en las Zonas

4.3.2.1 Subzonas hidrográficas:

El departamento se encuentra 17 subzonas hidrográficas. Los niveles de susceptibilidad se detallan en el anexo 20 y el mapa de susceptibilidad por Subzonas en el anexo 21. Al presentar un nivel muy alto de susceptibilidad se prioriza:

4.3.2.1.1 Mayo

Localizada en el extremo nororiental del departamento, en límite con el Cauca, tiene una extensión de 79'696ha y su tributario principal, el Río Mayo, una extensión de 65km con un patrón de drenaje subdendrítico y paralelo, y susceptibilidad media a presentar crecidas y con mayor susceptibilidad a la torrencialidad (CorpoNariño, 2006). En esta predominan los niveles altos con el 59% del área. El nivel de susceptibilidad es Muy alto es del 1.4% esto por la presencia de Andisoles profundos en las inmediaciones de la Falla Silvia – Pijao entre el sistema de Fallas Romeral. Las unidades geológicas de esta area corresponden al Complejo Quebradagrande y Esquistos de Buesaco, el primero un conglomerado de rocas sedimentarias de baja resistencia y el segundo rocas metamórficas de textura foliada. En el mapa 20 y la figura 22 se detalla la susceptibilidad en la Subzona del río Mayo.

En las partes altas de la cuenca se presentan andisoles moderadamente a muy profundos, bien drenados de textura medial. En las partes medias y bajas se presentan en pequeños taxones molisoles asociados a depósitos con mayor proceso de meteorización y condiciones que propician el desarrollo de estos suelos. Estos últimos se encuentran principalmente en el municipio de La Unión. En general se presentan pendientes (escarpadas a muy escarpadas) niveles de rugosidad altos.

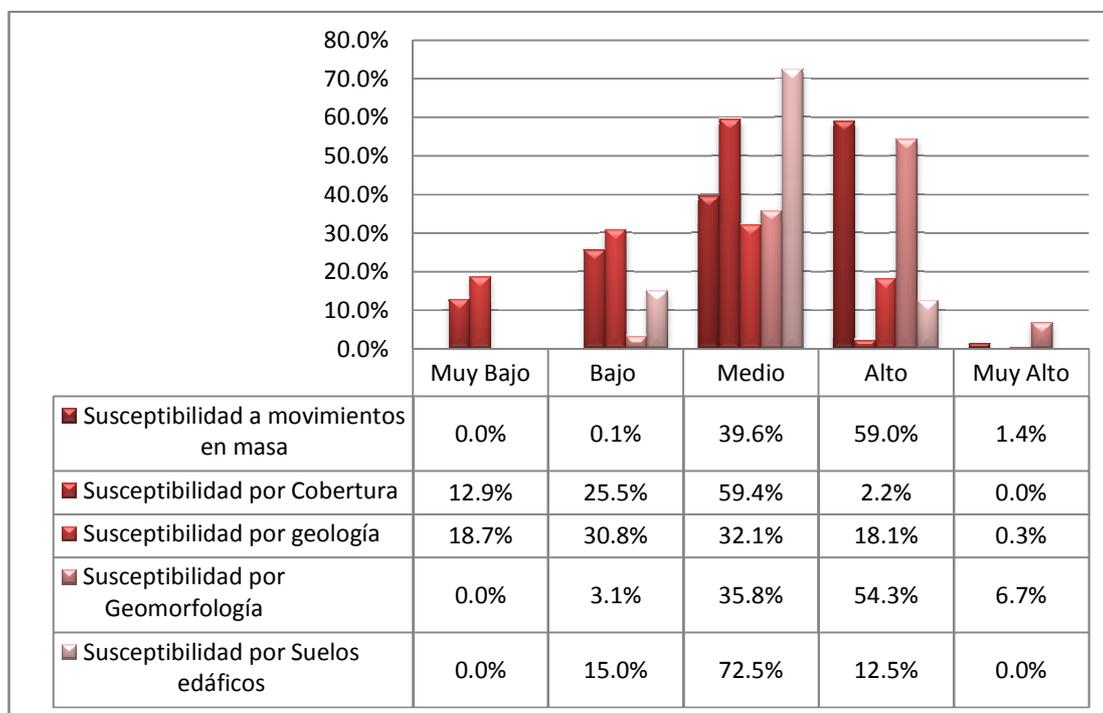


Figura 22. Nivel de susceptibilidad en la subzona del Río Mayo.

4.3.2.1.2 R Patía (Alto – Medio)

La subzona del Patía Alto en los municipios de Línares, El Rosario y Policarpa tiene una extensión aprox. 43.000ha con un patrón de drenaje paralelo. El 70% del área se encuentra en alta susceptibilidad por el material litológico de baja resistencia con presencia de metamorfismo, en el lomo de las montañas de la cordillera occidental. El 9.4% del territorio reporta muy alta susceptibilidad.

Se presentan así dos áreas de interés por su alta susceptibilidad de las cuales solo una representa una amenaza a la infraestructura: Cuchilla Monte Redondo – Cerro de Piñas. Presenta andisoles típicos, de textura medial, moderadamente profundos, bien drenados con abundancia de materiales amorfos sobre pendientes escarpadas a muy escarpadas en montaña estructural muy escarpada. El sistema de fallamiento revela el origen estructural de la geoforma limitada por la Falla Balboa – Rosario y la Falla Sotomayor – Policarpa. La unidad geológica es el grupo Dagua con rocas metasedimentarias (Filitas, metacherts y metalimolitas y esquistos). Son frecuentes los procesos de movimientos de las laderas, especialmente por caídas. En la zona se presenta el municipio de Leiva sobre la base de la área y la vía que conduce al municipio.

La subzona Patía Medio tiene una extensión de 160.000ha, se encuentra en los municipios de Policarpa y Cumbitara y Los Andes. Aunque comparativamente presenta niveles inferiores de susceptibilidad en términos porcentuales, con aprox el 7% como muy alta, el núcleo donde se presenta afecta las cabeceras de los tres municipios citados comprometiendo el sistema vial. El 87.5% del territorio presenta niveles altos de susceptibilidad y el 7% como muy alta. Se conjugan las condiciones de suelos, geomorfología y geología, sopesadas por una cobertura de bosque denso en la mayor parte del territorio en la zona media y baja de la subzona. En la zona alta por el contrario el problema se ve agravado por la presencia de mosaicos de cultivo y actividades agropecuarias. Se prioriza por susceptibilidad el sector:

- Cerro Sotomayor: Son muy frecuentes los procesos de movimientos, sobre ambos costados de la montaña de origen estructural en rocas metasedimentarias (Filitas, metacherts y metalimolitas y esquistos) de la formación Dagua. Los suelos son de origen volcánico, andisoles moderadamente drenados y profundos de textura medial, bien drenados. En este sector se conjugan además un uso agropecuario intensivo con las variables atrás descritas.

El nivel de susceptibilidad de las subzonas Patía alto y medio se detalla en la figura 23 y 24, respectivamente y el mapa 22.

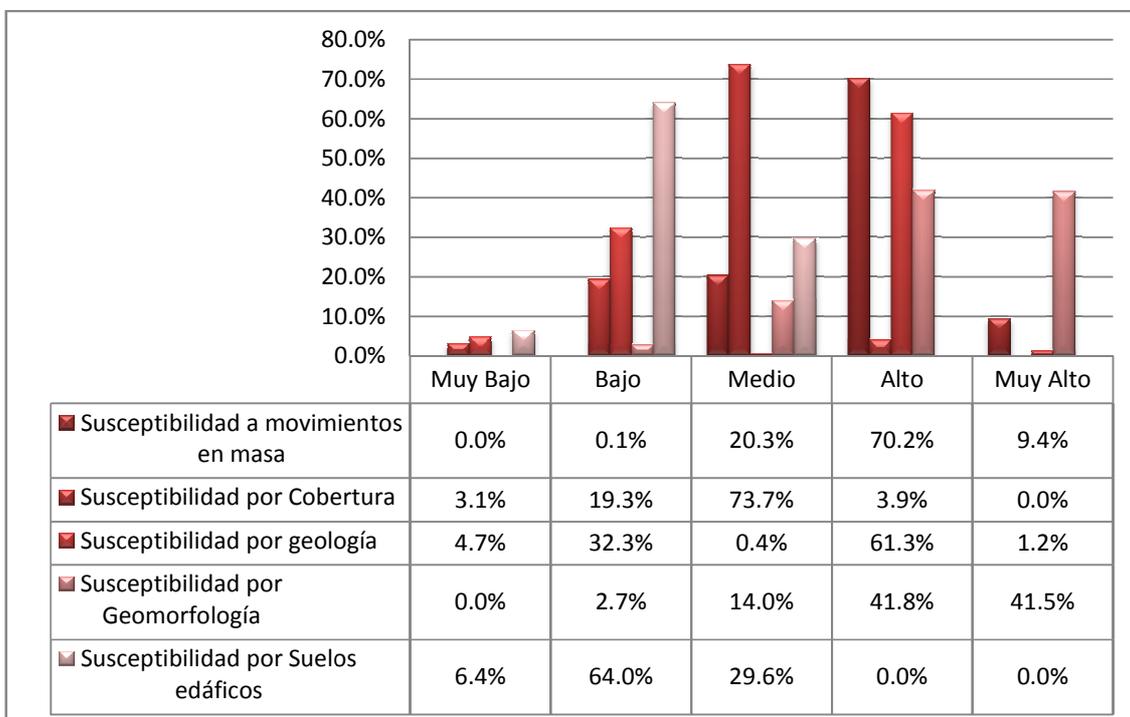


Figura 23. Área de la subzona Patía Alto por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa

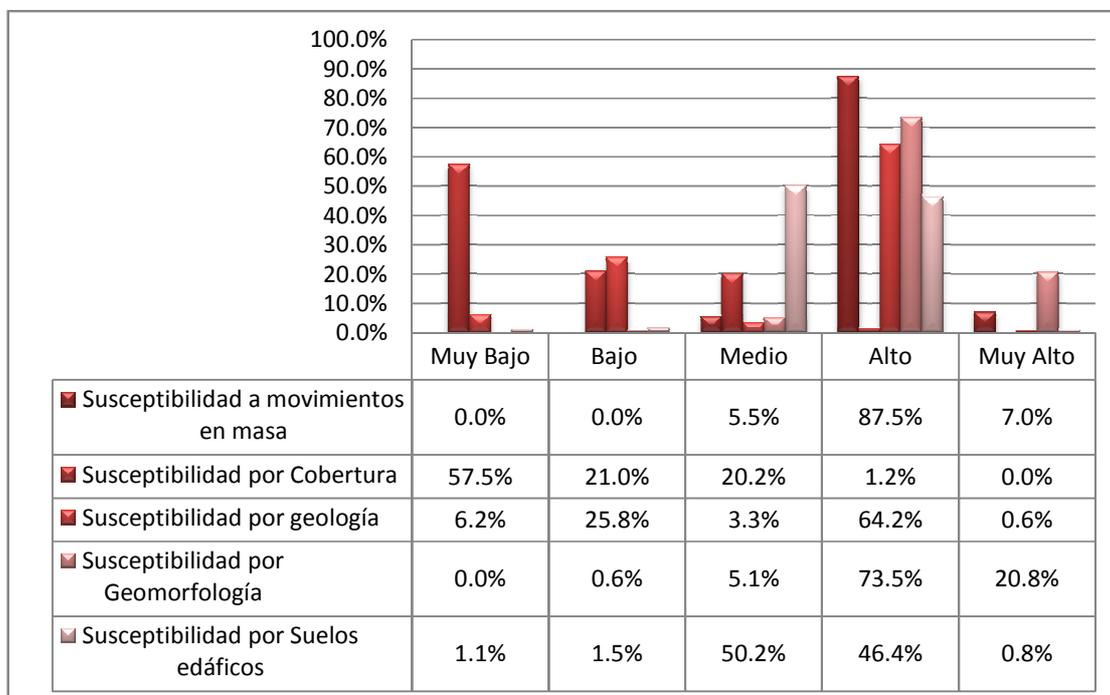


Figura 24. Área de la subzona Patía Medio por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa

4.3.2.1.3 R. Juanunbú

Tiene una extensión aprox de 220.000. En esta se encuentran los municipios de e un rango altitudinal de 4204msnm a los 418msnm, en la desembocadura en el río Patía. Presenta un patrón de drenaje subdendritico a paralelo. En comparación con otras subzonas en términos porcentuales mejor condición con niveles de susceptibilidad media del 43% en la zonas alta de la cuenca del Río Juanunbú cuyo génesis es de origen volcánico debido a una intensa actividad en el Terciario-Cuaternario. Existe un complejo sistema de fallas perteneciente al Sistema Romeral y la Falla Buesaco.

El estado de conservación es muy bajo, con aprox el 70% antropizado, principalmente en mosaicos de pastos y cultivos, mientras aproximadamente el 3% afloramientos rocosos.

Los nivel mas alto de susceptibilidad que equivale al 2.8% se encuentra entre los municipios de Buesaco y la Cruz (Figura 25 y mapa 23). La geoforma asociada son montañas con un ambiente morfogenetico estructural muy escarpado con presencia de actividad volcánica (durante el Cuaternario). Presenta metasedimentos de bajo grado y metavulcanitas (Grupo Quebradagrande) y esquistos verdes y negros de muy baja resistencia y de textura foliada. La geología explica la actividad morfodinámica, ya que si bien están presentes los rasgos edafológicos que potencializan los movimientos, adicional a las condiciones geomorfológicas y de cobertura, estos se ven maximizado por la litología. A nivel morfodinámico son frecuentes los procesos de deslizamientos rotacionales y traslacionales principalmente en la margen del Río Juanunbú y las laderas inferiores de los municipios de Albán y Buesaco. En la figura 25 y en el mapa 23 se presentan los niveles en la subzona hidrográfica.

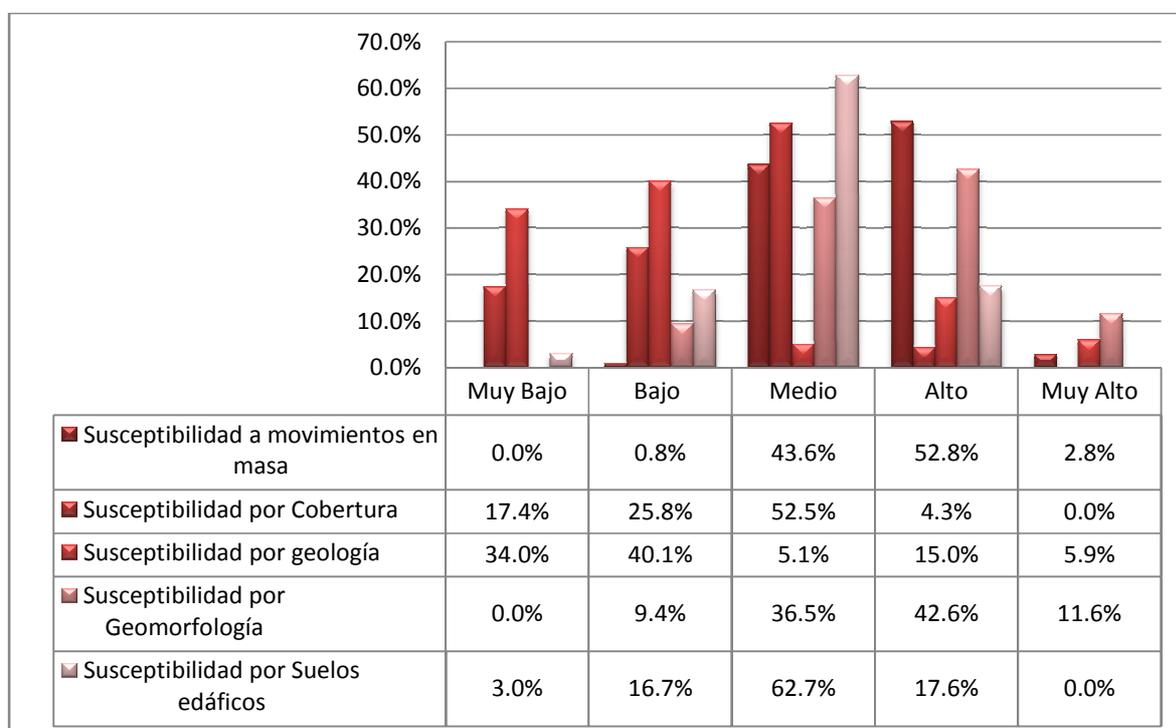


Figura 25. Área de la subzona Juanunbú por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa

4.3.2.1.4 Guaitara

Con aproximadamente 380.000ha es la subzona que presenta las mayores presiones por uso de la tierra. Se pueden diferenciar tres ambientes morfogenéticos: Volcánico, estructura, y glaciario predominando el primero, a razón de la actividad de los volcanes Chiles, Cumbal, Azufral y Galeras, dando paso a depósitos de ceniza y avalanchas ardientes. Al norte, sobre la cordillera central se hace evidente el control estructural (grupo Dagua) y a volcánico (grupo diabásico). En ella hay 31 cabeceras municipales entre los que se destaca Túquerres, Ipiales y Samaniego.

Las presiones sobre la cobertura son notorias, con aprox. El 66% del territorio bajo uso antrópico, los relictos de bosque se localizan se encuentran en los márgenes laterales, de la subzona principalmente en la margen derecha del río Guaitara (S-N), ocupando un área de aprox. el 13%. Por susceptibilidad el 72% se encuentra en niveles altos a medida que aumenta el gradiente latitudinal desde la altiplanicie Túquerres.-Ipiales la cual presenta niveles medios (Figura 26, mapa 24). Los focos de mayor susceptibilidad se presentan al norte en los municipios de Ancuya, Samaniego, Línares y Los Andes (mapa).

Al proceder de la actividad volcánica, el 62% de los suelos son andisoles muy profundos, moderada a bien drenados, de textura medial. Se conserva el patrón de susceptibilidad de esta variables. La presencia del grupo Dagua y el control estructural al norte en la cordillera occidental, son la razón del 2.4% de la susceptibilidad alta. A nivel vial, es prioritario realizar estudios sobre la vía que conduce de Túquerres a Samaniego aproximadamente en el km 20. Donde se presenta un importante foco de deslizamientos. En la figura 26 y el mapa 24 se detalla la susceptibilidad en la subzona Guaitara.

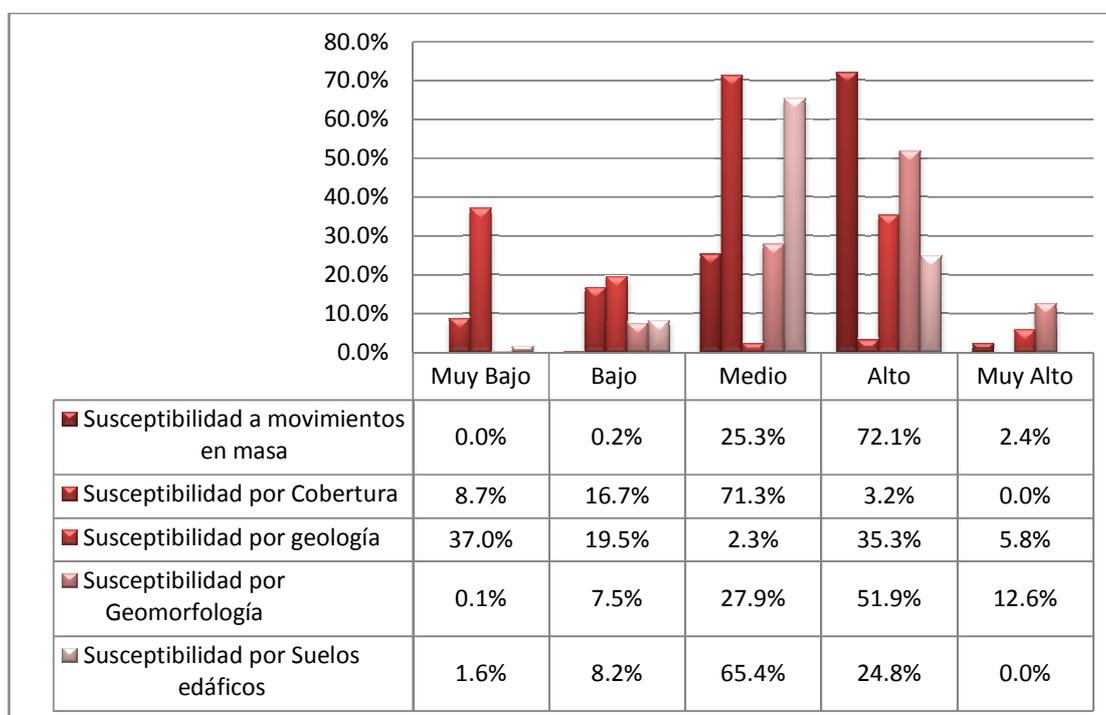


Figura 26. Área de la subzona Guaitara por nivel de susceptibilidad a movimientos en masa



*CONVENIO DE COOPERACION CIENTIFICA Y
TECNOLOGICA No. 206 del 29 de Junio de 2011*



5. BASES DE DATOS

La información de la base de datos cartográfica que compone el sistema de información geográfica se adjunta en el anexo 22. Para su visualización se requiere copiar la carpeta en la raíz de un disco.

6. RECOMENDACIONES

El detalle de los tipos y procesos de movimientos en masa, así como los campos e información suministrada en el formulario de inventario adjunta en el anexo, o el SIMMA de INGEOMINAS, que en esencia son similares, 'La Guía para la evaluación de amenazas por movimientos en masa' del grupo GEMMA, un trabajo avalado por INGEOMINAS que contiene en detalle cómo se debe realizar un inventario con la explicación detallada del levantamiento de información en campo, siendo esta la razón por la que se escatimo generar un marco conceptual en este documento. El documento atrás citado tiene también un completo glosario de términos que debe ser utilizado.

La información cartográfica a escala 1:100.000 proviene de fuentes oficiales, que debió ser ajustada en zonas de frontera marítima y costera, aunque no significa que los empalmes entre las capas sean perfectos. Así por ejemplo, el MDT no se ajusta con el sistema de drenajes sencillos dispuesto en la cartografía base del IGAC, al menos como en un grado deseable. Es necesario y prioritario para CORPONARIÑO al menos en las zonas priorizadas genera nueva información base y temática empalmada y con poco margen de error.

La evaluación del departamento demostró como la primer severidad las altas pendientes y rugosidad y suelos susceptibles. Los otros atributos evaluados solo sirven para aumentar los niveles, así, los sectores son básicamente el resultado de procesos geodinámicas frecuentes y poca resistencia de la roca. La densidad de fracturamiento es un aspecto importante el cual aumentó el nivel en el piedemonte Andino-Amazónico del municipio de Ipiales. Es necesario enfatizar recursos en las zonas priorizadas sobretodo en estudios sobre en donde el control estructural y denudativo es el ambiente morfogenetico dominante que por su extensión y posible afectación, además de la sismicidad pueda presentar mayor actividad a corto plazo.

Adicionalmente a las limitaciones y recomendaciones atrás descritas se debe considerar la necesidad de generar estudios a escala 1:25.000 ó más detallada como primer medida en las zonas prioritarias, lo que trae consigo un aumento importante de recursos técnicos y científicos e inversión presupuestal. Estos estudios deben enfatizar la prevención y mitigación y proveer herramientas que permita dar bases para la generación de obras de ingeniería civil e hidráulica, así como programas enfatizados a un manejo adecuado de la tierra. Algunas pautas para otros estudios son:

- **Cartografía:** Las planchas digitales a escala 1:25.000 oficiales en Colombia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi, los Esquemas y Planes básicos de Ordenamiento son insuficientes ante estudios de amenaza y vulnerabilidad física. Es necesario generar nueva información de los sectores evaluados y con problemas de susceptibilidad muy alta en primera instancia, posteriormente expandiendo esto a otros sitios en donde la actividad de la ladera cobre importancia. Para esto es necesario contar con estudio temáticos y cartografía base como: levantamientos topográficos, estudios semidetallados y detallados de suelos (con enfoque agrologico y civil), cobertura y uso del suelo que impliquen una descripción del manejo de las tierras; estudios geotécnicos, geológicos y geomorfológicos enfatizados en la actividad del terreno.
- **Tipo de análisis:** el análisis de susceptibilidad con la metodología aquí evalua es heurístico y no probabilístico o en otras palabras, este permite conocer el estado actual del departamento pero

no los escenarios. Si bien es necesario conocer en detalle las zonas priorizadas, es también útil conocer escenarios prospectivos que permitan evaluar el comportamiento de las laderas ante diversos detonantes y condicionantes. Algunas técnicas de análisis recomendadas se detallan a continuación:

Tabla 24. Tipos de análisis a diferentes escalas para determinar las susceptibilidad: Fuente:

| Tipo de análisis | Técnicas | Uso recomendado de acuerdo a la escala | | |
|-------------------------|--|--|-------------------|-----------------------|
| | | Regional 1:100.000 | Media 1:25.000 | Detallada 1:10.000 |
| Inventarios | Análisis de distribución | Si | Si | Si |
| | Análisis de actividad | No | Si | Si |
| | Análisis de densidad | Si | No | No |
| Métodos heurísticos | Análisis geomorfológico Subjetivo | Si | Si | Si |
| | Ponderación de parámetros | Si | Si | No |
| Métodos estadísticos | Análisis estadístico divariado | No | Si | No |
| | Análisis estadísticos multivariados | No | Si | No |
| Métodos determinísticos | Aplicación de análisis de talud infinito (factor de seguridad) | No | No | Si |

- **Análisis de amenaza:** Los detonantes usados comúnmente son Precipitación y sismo. En el primer caso es necesario contar con una robusta cantidad de información meteorológica para determinar cantidad, tiempos de lluvia e intensidades (Curva Intensidad – Duración – Frecuencia), los cuales son necesarios para simular el efecto de la lluvia sobre la estabilidad de la ladera. Con el mismo objetivo para el análisis de amenaza detonada o condicionada por los sismos se requiere de información sismológica y volcánica confiable.
- **Obras de Bio-Ingeniería:** Antes del establecimiento de cualquier obra se debe contar con un fundamento teórico y práctico, adecuado a la inversión y montos estimados. Para esto es necesario generar análisis de mayor detalle (escalas menor a 1:10.000). Si bien la reforestación y revegetalización son útiles, aumentando el factor de seguridad, es necesario para la estabilización de taludes el uso combinado de vegetación y elementos estructurales adicionales trabajando de una manera conjunta e integrada, conocido como Biotecnología de taludes. Este concepto de estabilización comprende parámetros ambientales muy importantes y su efectividad ha sido extraordinaria (Gray et al., 1982).

Es necesario igualmente fortalecer los análisis con equipo técnico interdisciplinar con capacidad de realizar análisis robustos con la información atrás descrita.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements." Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
2. Bacca A. H., Bastidas B. M. H. & Pantoja. S. C. A. Inventario de deslizamientos en las zonas: cordillera occidental, centro-oriental, depresión Cauca-Patía y piedemonte andino oriental del departamento de Nariño en un SIG. Tesis de Grado. Universidad de Nariño. San Juan de Pasto. 2002.
3. BARLOW, CH. 1981. Radar Geology and Tectonic implications of the Chocó basin-Colombia, University of Arkansas.
4. Bieniawski, Z.T., 1989, "Engineering Rock Mass Classifications", John Wiley and Sons.
5. CARVAJAL, H. 2008. Primeras aproximaciones a la estandarización de la geomorfología en Colombia. Documento INGEOMINAS, 30 P. Bogotá.
6. CASE ET AL, 1971. Tectonic investigations in western Colombia and eastern Panamá. Geol. Soc. Amer. Bull. Vol. 82 pp 2685-2712.
7. CHRISTOFOLETTI, A. A análise de Bacias Hidrográficas. In: Christofolletti, A. (Ed.), Geomorfologia. 2ª Edição. São Paulo: Editora Edgard Blucher, p. 102-127, 1980.
8. CorpoNariño - WWF, 2010. Mapas de Zonificación de Manglar en el departamento de Nariño. Caracterización, Diagnóstico y Zonificación de los manglares en el departamento de Nariño. Bogotá. D.C.
9. CREPAD, 2011. Reportes de deslizamientos y movimientos en masa. Inédito.
10. Cruden, D.M. & Varnes, D.J., 1996. Landslide Types and Processes. In Turner, A.K. & Schuster, R.L., 1996: Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report.
11. ERAZO, M. ADRIANA. M., 2005. Balance hídrico integrado y dinámico en el salvador procedimiento y avances. SERVICIO HIDROLOGICO NACIONAL DE EL SALVADOR. San Salvador.
12. ESTRADA A. 1972. Geology and Plate Tectonics History of the Colombian Andes. Thesis METRO Ssc Stanford University. 115p.
13. Felicísimo, A.M. (1994) Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales 118p. Disponible en <http://www.etsimo.uniovi.es/feli/pdf/libromdt.pdf>

14. Gray D.H. (1974), "Reinforcement and Stabilisation of Soil by Vegetation", ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, GT6 pp. 695-699, New York.
15. Grim R.E.(1962) "Applied clay mineralogy". Mc Graw-Hill Book Co., Inc, New York.
16. Hillel, D. 1998. Environmental Soil Physics, 771 pp., Academic Press, San Diego, CA. 75 - 80p.
17. Hobson, R.D. (1967): Fortran IV programs to determine surface roughness in topography for the CDC 3400 computer. Northwestern University. Evanston, 28p.
18. IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
19. IGAC, 2005. Estudio general de suelos y zonificación de tierras de Nariño, Planchas de Suelos. Escala 1:100.000. Bogotá D.C.
20. IGAC-CIAF, 2005. Catálogo de Objeto Cartográficos del IGAC v. 1.3. Bogotá D.C. 31p.
21. IGAC-INGEOMINAS, 2005. Zonificación Integral del Andén Pacífico Colombiano. Planchas de Geología, Geomorfología. Bogotá. D. C. 2005.
22. INGEOMINAS – IDEAM. 2009. Anteproyecto Mapas nacionales de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. Convenio INGEOMINAS – IGAC. Bogotá. D.C. 11p.
23. INGEOMINAS, 2002. Catálogo de movimientos en masa. Instituto de investigación e información geocientífica, minero - ambiental y nuclear. Bogotá D.C, 2002: 289p.
24. INGEOMINAS, 2011. Documento metodológico para la elaboración del Mapa de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa, escala 1:100.000. inedito. INGEOMINAS. Bogotá, D.C. 131p.
25. Jenks, George F. 1967. "The Data Model Concept in Statistical Mapping", International Yearbook of Cartography 7: 186–190p.
26. Malagón Castro, D.: Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales- Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(104): 319-341. 2003. ISSN 0370-3908.
27. Herrera, 2006. Herrera, A., María C. 2006 . Suelos derivados de cenizas volcánicas en Colombia: Estudio fundamental e implicaciones en ingeniería. Tesis. Universidad de los Andes. Bogotá. D. C. 20 - 27p.
28. Mitchell, J.K. (1976) "Fundamentals of Soil Behavior", John Wiley & Sons. New York. 422 p.

29. Neuland, H., 1976. A prediction model of landslips. *Catena* 7, 205 – 221p.
30. Okimura, T. and Ichikawa, R. (1985): "A Delimitation Method for Probable Mountain Slope Failures by a Digital Land Form Model", *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 358,. 69-75p.
31. Oyagi N. 1984. Landslides in weathered rocks and residual soils in Japan and surrounding areas: A state of the art report. In *Proceedings of the 4th International Symposium on Landslides*. University of Toronto: Downsview; 3: 1–31p.
32. Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, 2007. *Movimientos en la Región Andina: Una guía para la evaluación*. Servicio Nacional de Geología y Minería, *Publicación Geológica Multinacional*. No 4. 432p.
33. SICARD, T., L., *Efectos de plantaciones forestales sobre suelo y agua*. 1998. Serie técnica / No. 40. CONIF. Bogotá Colombia. 158p.
34. Sidle, R.C., Pearce A.J., O'loughlin C.L. (1985) "Hillslope stability and land use". *Water Resources monograph* 11. American Geophysical union, Washington, D.C., 140p.
35. USDA 1998. Soil Survey Staff. 1998. Department of Agriculture, Washington D.C.
36. Soil taxonomy, Soil Survey Staff. 1996. *Keys to Soil Taxonomy*. Seventh edition. United States Department of Agriculture, Washington D.C.
37. Ter-Stepanian G., (1963), "On the Long Term Stability of Slopes" *Publication No. 52*, Norwegian Geotechnical Institute, 1-15p.
38. TOUSSAINT Y RESTREPO, 1976. *Modelos Orogénicos de Tectónica de Placas en los Andes Colombianos*. Bol. Ciencias de la Tierra. Fac. Ciencias, Universidad de Medellín. 47p.