



PROTOCOLO PARA LA INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

PROYECTO

“Formulación e Implementación de Acciones de Ordenamiento Ambiental del Territorio en las Cuencas Hidrográficas Afectadas por el Fenómeno de la Niña 2010-2011, como una Estrategia para la Reducción de las Nuevas Condiciones de Riesgo del País”

Noviembre de 2014

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1640 de 2012, el cual incluye la gestión del riesgo en la planificación territorial y define las directrices para la ordenación de cuencas (artículo 19): “(...) *la prevención y control de la degradación de los recursos hídricos y demás recursos naturales de la cuenca (...)*” y “(...) *el riesgo que pueda afectar las condiciones fisicobióticas y socioeconómicas en la cuenca, incluyendo condiciones de variabilidad climática y eventos hidrometeorológicos extremos (...)*”, se desarrolló la Guía Técnica para la Formulación de los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas –POMCA- (expedida mediante la Resolución 1907 de 2013 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible). En el Anexo B de la citada Guía se presenta una conceptualización general y definición de los requerimientos mínimos a tener en cuenta para incluir la Gestión del Riesgo en la formulación o ajuste de los POMCA.

Considerando lo novedoso del desarrollo de la temática de Gestión del riesgo, desde un punto de vista integral con las demás temáticas en la Guía Técnica de POMCA, se aporta el presente protocolo como una herramienta de apoyo, respecto de métodos y técnicas a aplicar para la obtención de los productos contemplados en los alcances técnicos para la contratación del Ajuste o Elaboración de los POMCA priorizados para el Proyecto “formulación y/o actualización de 130 Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas afectadas por el fenómeno de La Niña 2010-2011, incorporando el componente de gestión del riesgo como determinante ambiental del ordenamiento territorial”.

El protocolo se presenta en dos (I, II) partes: la primera (I), referencia las temáticas de Geología y Geomorfología; la segunda parte (II), relaciona la Gestión del Riesgo, desarrollada en dos (2) apartados: el primero, referencia la evaluación de la susceptibilidad y la amenaza para los eventos que se evalúan en los POMCA (movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales); el segundo, aborda el análisis de la vulnerabilidad y el riesgo para los eventos evaluados. Cada tema se inicia con el mapa conceptual, o diagrama de flujo de procesos, que resume el (los) enfoque(s) metodológico(s) propuesto(s), seguido de un detalle de los principales desarrollos de los conceptos presentados en el esquema o de los procesos del diagrama de flujo.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	3
TABLA DE CONTENIDOS	4
PARTE I: GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	6
1 GEOLOGÍA	7
1.1 mapa de Geología básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas.....	7
1.1.1 Paso 1. Evaluación de la información Disponible	8
1.1.2 Paso 2. Interpretación de Sensores Remotos	8
1.1.3 Paso 3. Salida cartográfica de fotogeología a escala 1:25000	8
1.1.4 Paso 4. Control de Campo	8
1.1.5 Paso 5. Geología básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas a escala 1:25000	12
1.1.6 Paso 6. Informe Geológico.....	13
1.2 Mapa de Geología para Ingeniería (UGS)	13
1.2.1 Paso 1. Elaboración del mapa de geología para Ingeniería (UGS-Cualitativo). 13	
1.2.2 Paso 2. Consolidación del Mapa preliminar de UGS y selección de sitios de muestreo para control de campo.....	14
1.2.3 Paso 3. Actividades de Campo	15
1.2.4 Paso 4. Mapa de geología para Ingeniería (UGS Cuantitativo).....	23
2 GEOMORFOLOGIA	30
2.1 Paso 1. Definición de Ambientes Morfogenéticos.....	31
2.2 Paso 2. Interpretación de Sensores remotos.....	31
2.3 Paso 3. Definición de los Sistemas de Terreno	31
2.4 Paso 4. Interpretación de Sensores Remotos	31
2.5 Paso 5. Definición de Unidades de terreno.....	32
2.6 Paso 6. Control de Campo.....	33
2.7 Paso 7. MaPAS DE Geomorfología a escala 1:25:000.....	33
PARTE II: GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS POMCA	34
3 ALCANCES DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS POMCA	35
3.1 Generalidades	35
3.2 Caracterización histórica de eventos amenazantes (1)	37
3.3 Evaluación y zonificación de la susceptibilidad (2)	39
3.3.1 Susceptibilidad a movimientos en masa (MM).....	39
3.3.2 Evaluación de la susceptibilidad a inundaciones	52
3.3.3 Evaluación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales	57
3.4 Evaluación y zonificación de la amenaza (3)	66
3.4.1 Evaluación de la amenaza por MM	66
3.4.2 Evaluación de la amenaza por inundaciones.....	73
3.4.3 Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales.....	75
3.4.4 Evaluación de la susceptibilidad y la amenaza por incendios de la cobertura vegetal	77

4	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD	84
4.1	Marco Conceptual General	84
4.1.1	Marco General Legal de la Gestión del Riesgo en POMCAS.....	84
4.1.2	Conceptos básicos	85
4.1.3	Análisis de la vulnerabilidad en POMCAS a partir del uso de un Modelo de Índices e indicadores	86
4.2	ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN	88
4.2.1	Zonas homogéneas.....	89
4.2.2	Índice de Pérdida o daño (IP).....	91
4.2.2.1	Indicadores económicos y de desarrollo	91
4.2.2.2	Índice de pérdida o índice de daño (IP)	94
4.2.3	ANÁLISIS DE FRAGILIDAD (IF)	94
4.2.3.1	Fragilidad física (Ff).....	95
4.2.3.2	Fragilidad Socio – cultural (Fsc).....	95
4.2.3.3	Fragilidad ecosistémica (Fe):	97
4.2.4	RESILIENCIA (IR)	98
4.3	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD.....	98
4.4	ANÁLISIS DE RIESGO	100
5	BIBLIOGRAFÍA.....	105
ANEXO A: FORMATOS PARA LAS TEMÁTICAS DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA		
	109	

PARTE I: GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

1 GEOLOGÍA

1.1 MAPA DE GEOLOGÍA BÁSICA CON FINES DE ORDENACIÓN DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS

El alcance de este mapa es identificar y localizar los diferentes tipos de rocas y depósitos geológicos, su distribución lito estratigráfica y sus características estructurales existentes en la cuenca a escala 1:25.000 para ordenación de cuencas hidrográficas. Labor que debe fundamentarse en la definición de atributos tales como: litología de las rocas y depósitos (génesis, composición, textura, empaquetamiento, porosidad y permeabilidad), considerados entre otros como los parámetros mínimos requeridos.

La Figura 1-1 muestra el diagrama del proceso, que sintetiza en 5 pasos, las actividades que deben desarrollarse para la obtención del producto.

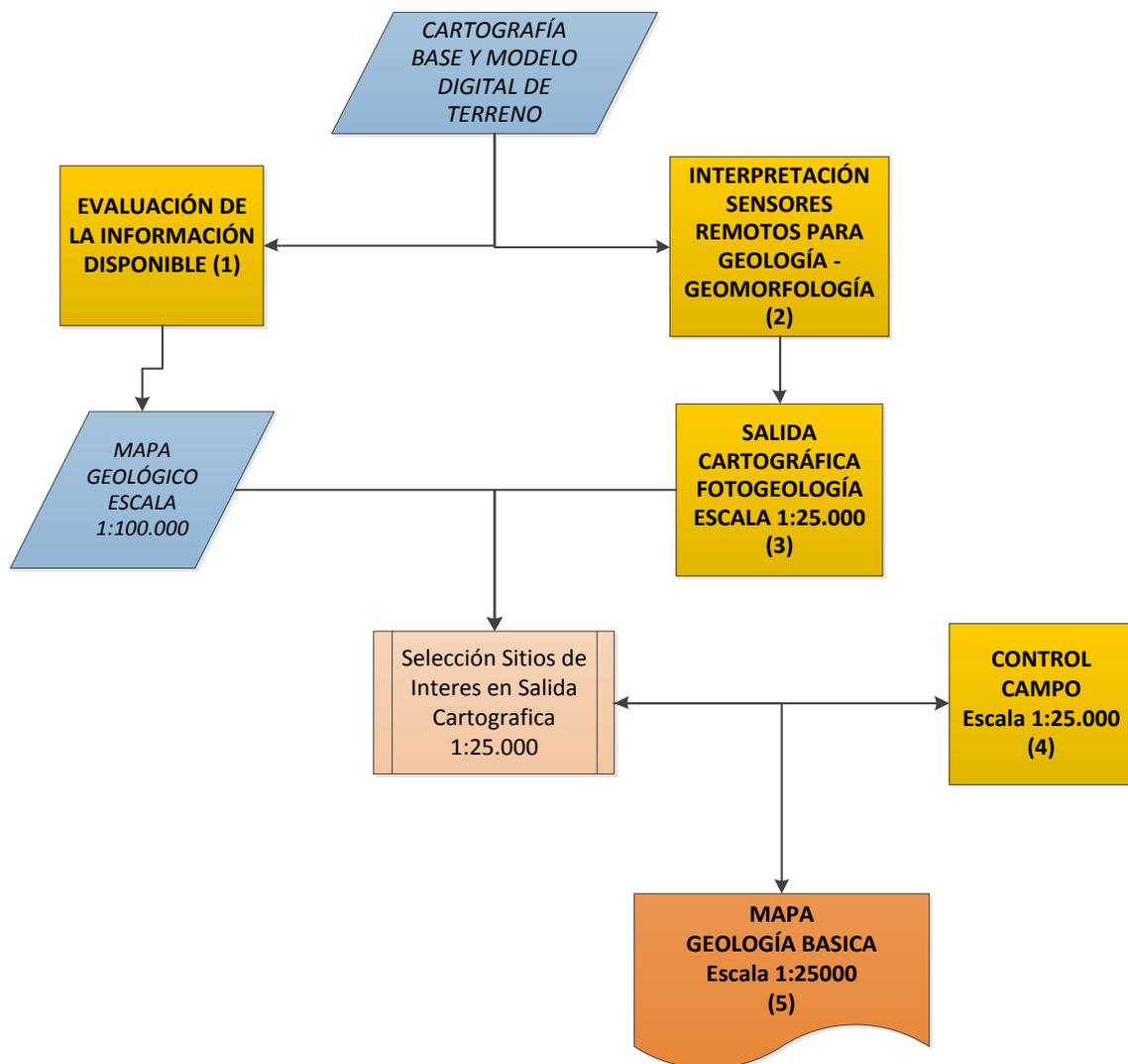


Figura 1-1 Diagrama del proceso para la generación del Producto Mapa de Geología Básica para el POMCA. El color azul referencia procesamiento de información secundaria, el amarillo actividades de oficina y el verde actividades de campo.

1.1.1 Paso 1. Evaluación de la información Disponible

Es el proceso de compilar, analizar, evaluar y consolidar la información cartográfica y análogo disponible de la cuenca, obtenida en el Servicio Geológico Colombiano (SGC), la Academia, Asociaciones Geológicas y/o investigadores debidamente avalados por la autoridad Geológica Nacional.

El resultado anterior debe integrarse y consolidarse en la cuenca, acompañada de una leyenda de los tipos de rocas y su distribución en el tiempo geológico, las convenciones y un corte geológico ilustrativo de las Unidades Lito estratigráficas y los rasgos tectónicos que las afectan. Información que debe y estructurarse digitalmente a escala 1:100.000 para su uso en un SIG.

1.1.2 Paso 2. Interpretación de Sensores Remotos

Mediante la utilización de Sensores Remotos (Imágenes Landsat, Radar, Spot y fotografías aéreas), efectuar la fotointerpretación geológica y geomorfológica de la cuenca con énfasis en los tipos de rocas, depósitos (traslocados y transportados) y suelos residuales, datos estructurales, plegamientos, fallas, lineamientos y densidad de fracturamiento. Información que debe consolidarse en una salida cartográfica a escala 1:25.000 (producto intermedio), junto con una leyenda y sus respectivas convenciones.

1.1.3 Paso 3. Salida cartográfica de fotogeología a escala 1:25000

Mediante la utilización del SIG, adecuar y superponer la información consolidada a escala 1:100.000 con la fotointerpretada y elaborar una salida cartográfica que se recomienda sea a escala 1:25.000. Sobre este producto se identificarán los sitios de interés prioritarios para iniciar el control geológico de campo.

1.1.4 Paso 4. Control de Campo

Con la salida cartográfica obtenida en el paso 3, se debe iniciar un primer control de campo, apoyado de los respectivos formatos descritos en el Anexo A y Tablas de este apartado, labor dirigida a consolidar la cartografía geológica básica obtenida de los pasos anteriores en la cuenca (Formato 1 del Anexo A). En esta actividad se definirán los tipos de rocas y depósitos (composición, textura, estructura, sorteamiento, porosidad y permeabilidad) siguiendo la Tabla 1-1, Tabla 1-2 y Tabla 1-3, estratificación (Tabla 1-4), grado de meteorización (Tabla 1-5) y sus disposiciones estructurales (rumbo y buzamiento), fallas, rasgos estructurales, familias predominantes de diaclasas y fracturas (tomadas en los sitios de control regional), tipos de depósitos (traslocados y transportados); materiales residuales y una descripción del perfil de suelo orgánico (A,B,C) representativo de la cuenca.

Para su ejecución debe tenerse en cuenta que las 60 cuencas definidas en ordenación están clasificadas como: cuencas tipos: 1- < 100.000 ha; 2- De 100.001-300.000 ha; 3-De 30.001-600.000 ha; 4- De 600.001- 900.000 ha y 5- > 900.001 ha; se estima por análisis de expertos que por cada plancha 1:25.000 o su equivalente deberá efectuarse transversas estratégicas para el control geológico de campo, en donde se deben realizar entre 5 a 6 puntos de control/plancha, teniendo en cuenta las características geológicas que se presentan entre cada una de las estación de control efectuadas.

Tabla 1-1 Tipos de roca y depósitos (Fuente: tomada de Ingeominas, 2004)

ORIGEN	COMPOSICION QUIMICA	COMPOSICION MINERALOGICA	ORIGEN	COMPOSICION QUIMICA	COMPOSICION MINERALOGICA
ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS	Félsica, ácida, con un contenido mayor del 66%de sílice. Contiene: SiO ₂ - Al ₂ O ₃ - K ₂ O Na ₂ O y CaO	Cuarzo (>10%) Ortoclase (>2/3 del feldespato total) Moscovita Homblenda	EXTRUSIVAS O PIROCLASTICAS		Sin Cuarzo Feldespatos y Feldespatoides
	Félsica, intermedia, con un contenido de sílice entre 52 - 66% Contiene: SiO ₂ - Al ₂ O ₃ - K ₂ O Na ₂ O y CaO	Cuarzo(>10%) Ortoclase(entre 1/3y 2/3 del feldespato total) Plagioclasas Micas(biotita y moscovita)		Sin Cuarzo Plagioclasas y Feldespatoides	
	Máfica, básica, calcoalcalina, con contenido de Sílice entre 45 - 52%. Contiene: SiO ₂ , Al ₂ O ₃ FeO - Fe ₂ O ₃ y CaO	Cuarzo(<10%) Plagioclasas piroxeno, anfíbol y olivino.		Sin Cuarzo Plagioclasas, micas Feldespatoides y piroxenos	
	Félsica, intermedia, alcalinas a alcalino-cálcica Contiene: SiO ₂ - Al ₂ O ₃ FeO - Fe ₂ O ₃ ,CaO y MgO	Cuarzo(<10%) Ortoclase(2/3 del feldespato Total) Biotita, homblenda y sin feldespatoides.		Cuarzo y feldespato(1) Feldespato, anfíbol, mica y piroxeno(2)	
	Félsica, intermedia, con contenido de sílice entre 52 - 66%. Contiene: SiO ₂ - Al ₂ O ₃ , FeO, Fe ₂ O ₃ ,CaO, MgO, Na ₂ O y K ₂ O	Cuarzo <10% Ortoclase(1/3 del feldespato total), plagioclase, hornblenda, piroxeno, olivino, biotita y sin feldespatoides.		Variable y depende del magma origen	
	Máfica, básica, contenido de sílice del 57% prom. Contiene: SiO ₂ - Al ₂ O ₃ , FeO, Fe ₂ O ₃ ,CaO, MgO, Na ₂ O y K ₂ O	Cuarzo (< 10%) Ortoclase(<1/3 del feldespato total), plagioclase, hornblenda, biotita, clorita, piroxeno.		Variable y depende del magma origen	
	Félsica, intermedia, alcalinas a alcalino-cálcica Contiene: SiO ₂ - Al ₂ O ₃ FeO - Fe ₂ O ₃ , CaO, MgO y Na ₂ O	Sin cuarzo Feldespato y con feldespatoides	Formadas por bombas y bloques de composición variable		
Ultramáfica, ultrabásica, contenido de sílice menor del 45%. Compuesta por: SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , MgO,CaO	Sin cuarzo y con plagioclase, piroxeno, serpentina		ROCAS	Roca de metamorfismo de contacto. Compuesta por CaCO ₃ , MgO, Mg(OH) ₂ y silicatos cálciferos	Calcita, dolomita, diopsida, silicatos de calcio y olivino
		Roca de metamorfismo regional de rocas elásticas, igneas ácidas a intermedias		cuarzo, granate, mica y sillimanita	
				Serpentina	
				Mineral esencial el talco	
			Rocas de metamorfismo de contacto de alta temperatura de basaltos, andesitas, serpentinas	Formada por minerales arcillosos, labradorita, diopsido, olivino	

ORIGEN	COMPOSICION	CEMENTACION	ORIGEN	COMPOSICION	CEMENTACION
SEDIMENTARIO DETRITICO	Cuarzo predominante en los fragmentos y el cemento.	BUENA	SEDIMENTOS QUIMICOS Y ORGANICOS	Compuesta por Halita (NaCl)	REGULAR
	Feldespato, fragmentos de roca y poco cuarzo	BUENA A REGULAR		Compuestos por sulfato de calcio hidratado (CaSO ₄ .2H ₂ O)	REGULAR
	Cuarzo, feldespato, mica, calcita, mineral arcilloso, mineral pesado	REGULAR A MALA		Compuesta por sulfato de calcio (Ca SO ₄)	BUENA
	Compuesta por minerales arcillosos, cuarzo y feldespato.	MALA		Rica en cuarzo, ópalo y calcedonia	BUENA
	Compuesta por minerales arcillosos, micas arcillosas, dorida, minerales pesados y material carbonoso	REGULAR			
	Minerales arcillosos y cuarzo				
SEDIMENTARIO QUÍMICO Y ORGÁNICO	Cuarzo y minerales Arcilloso	BUENA	SEDIMENTARIO QUÍMICO Y ORGÁNICO	Rica, P ₂ O ₅ (apatito)	REGULAR A BUENA
	Fragmento conchas y otros organismos y cementado por material calcáreo.	BUENA		Compuesta por enlaces de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y material orgánico.	REGULAR A BUENA
	Formada por remanentes orgánicos muy finos en cemento calcáreo	REGULAR		Ricas en sílice y feldespato	BUENA
	Compuesta por minerales carbonatados, trazas de silicatos, feldespato y minerales arcillosos	BUENA			
	Formada por carbonato de calcio y magnesio	BUENA			
	Formada por calcita o minerales arcillosos	REGULAR			
	Con foraminíferos y cemento calcáreo	REGULAR			
	Cristalización de calcita	REGULAR			
Fósiles ricos en calcita	MALA				

Tabla 1-2 Tipos de depósitos (suelos) granulometría y su evaluación geológica (Fuente: tomada de Ingeominas, 2004)

TIPO DE MATERIAL	PROCESO DE FORMACION	GRANULOMETRIA TIPICA	TIPO DE DEPOSITO
SUELO RESIDUAL	Formada por meteorización de roca in situ con poco o ningún transporte; Procedentes de: <ul style="list-style-type: none"> • Roca ígnea • Roca metamórfica • Roca sedimentaria. 	• Finos	Casi invariable, con la profundidad llega a ser mas compacta. Pueden presentarse capas alternas blandas y duras y estructuras relectas
		• Finos y gruesos.	
		• Finos y gruesos.	
SUELO SAPROLITICO	Corresponde a los horizontes III y IV de meteorización de la roca in situ.	Bloques y fragmentos de roca embebidos en matriz arcillosa a arenosa.	Capas alternas blandas y duras y estructuras relectas
SUELOS COLUVIALES, TALUS Y FLUJOS DE LODO	Producidos por la acción de la gravedad sobre laderas.	La matriz es mayor del 70 %. Fragmentos angulosos a subangulosos de diversos tamaños y matriz arenosa a arcillosa.	Depósitos de ladera, heterogéneos y no seleccionados. Estratificación ausente y humedad alta.
ALUVIALES	Formado por procesos fluviales. Son materiales transportados y redepósitos por acción del agua.	GRUESOS: varios tamaños, subangulosos, sobredondeados, en meteorización arenosa del monte y delta.	Conos aluviales, depósitos de pie de monte y deltas.
SUELO DE ORIGEN LITORAL Y MARINO.	Materiales formados por la descomposición de las corrientes marinas y eventos litorales.	GRUESA: fragmentos de tamaño uniforme, sedimentados a matriz de arena suelta.	Arenas de playa en zona litoral
		ARENA: buena selección por tamaños, limpias y subredondeadas.	Arena zona litoral, barros y arrecifes.
		FINO: Material limo a arcillosa, con cuarzo, minerales arcillosos y materia orgánica.	Plataforma litoral y estuarios.
SUELOS LACUSTRES	Materiales formados por acción fluvial y depositados en lagos y alrededor de ellos.	Los materiales gruesos son parcialmente seleccionados, sobre moderados y matriz arenosa ligeramente comparada.	Depósitos en el borde de los lagos
		Los finos son limosos a arcillosos, con materia orgánica, en general bien compactados.	Depósitos en el talud y fondo del lago.

TIPO DE MATERIAL	PROCESO DE FORMACION	GRANULOMETRIA TIPICA	TIPO DE DEPOSITO
SUELOS GLACIALES.	Suelos formados por la erosión transporte y deposición de glaciales e interglaciación. se forma en zonas primitivamente cubierta por hielo o como depósitos marginales. Son suelos formados por el transporte y posterior deposición de aguas provenientes de periodos de desglaciación o de los mismos glaciales.	GRUESOS: fragmentos de ángulos a subangulos de todos los tamaños, con caras estrías. La matriz es arenosa de granos angulosos a arenosa también feldespato y minerales asterados.	Deposito de morenas laterales, terminales. Sin estratificación y mala selección
		ARENA Y FINOS: mezcla de grano coaguloso en matriz limosa, con algo de fragmentos molidos de roca; predomina la matriz sobre fragmentos y arena.	Deposito de tillita y barro o fluyen de till o arcillas en lagos glaciales.
		GRUESOS Y ARENA: los fragmentos gruesos son subangulosos y el resto subangular a sobredondeados en matriz arenosa angulosa a subangulosa, escasa selección y muy sueltos.	El till es finamente laminado. Deposito de vases, eskors, estructura desordenada estratificación variable. En parte alta decanta y llanura de inundación.
SUELOS FLUVIOGLACIALES.		FINOS: arcillas y limos en mayor proporción y harina de roca; involucrados existen guijarros y cantos redondeados estrías.	Se presentan a mucha distancia del extremo del avance del hielo en forma de planicies arcillosas.
SUELOS EOLICOS.	Suelos formados por la acción erosiva del viento sin presentar redepósitos.	GRAVAS Y ARENAS: arenas en mayor proporción y las gravas en acumulación de bajo espesor. Granos de arena de tamaños grueso a fino, bien redondeadas y pulimento mate. Presentan estructuras cruzadas. Sin cementación.	Dunas, arenas de desierto y playas.
		Los finos son de limo arcilloso a arena fina limosa. Ligeramente cementada.	Deposito de loes
SUELOS VOLCÁNICOS.	Suelos formados por la acción volcánica.	GRUESOS Y ARENA: fragmentos angulosos, bloques de todo tamaño de rocas volcánicas. Suelos o mezclados en matriz arenosa y polvo volcánico.	Depósitos formados cerca o encima. Abertura a manera de bombas, cenizas y lapilli y pómez.
SUELOS ORGÁNICOS	Suelos formados in situ por crecimiento y putrefacción de plantas.	De color oscuro y tipo turba a turba fibrosa.	Se forman en depresiones, en deltas, cauces antiguos, esteras, planicies de inundación fluvial, bordes de lagos.
SUELOS EVAPORITICOS	Materiales precipitados o evaporados de soluciones con alto contenido de sal.	Suelos finos cementados o rocas blandas.	Depósitos eolíticos en aguas marinas o evaporíticos.

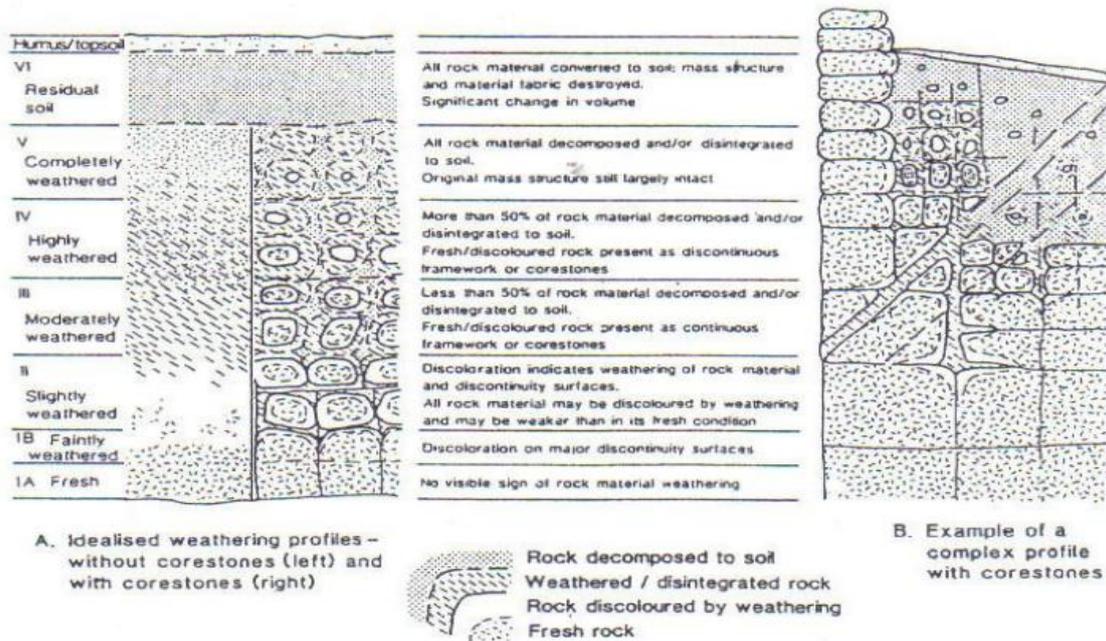
Tabla 1-3 Tabla guía para rocas ígneas Clásticas (Tomada de Gulleesple and Styles, 1999)

Unid. Phi	Tamaño en mm y en escala log de clastos y cristales	Clastos sedimentarios		Fragmentos vulcanoclásticos	Rocas cristalinas ígneas metamórficas y sedimentarias	
- 8	256	Bloque	G R A V A	Bloques y bombas	Granular muy grueso Cristalino muy grueso	
		Gujarro				
- 6	64	Guijo		Lapilli		Granular grueso Cristalino grueso
- 4	16					
- 2	1				Gránulo	
- 1	2	Arena muy gruesa		A R E N A	Granos de vidrio grueso	Granular medio Cristalino medio
0	1	Arena gruesa				
1	0.5 (1/2)	Arena media				
2	0.25 (1/4)	Arena fina				
3	0.125 (1/8)	Arena muy fina				
5	0.032 (1/32)	Limo	L O D O	Granos de vidrio finos	Granular muy fino Cristalino muy fino	
8	0.004 (1/256)	Arcilla			Criptocristalino	

Tabla 1-4 Espesor de la estratificación (Fuente: Reineck & Singh, 1975).

ESPESOR DE LA ESTRATIFICACIÓN						
		Capas		Laminas		
Espesor en cm	100	muy gruesos		Espesor en mm	30	Muy gruesas
	30	grueso			10	Gruesas
	10	medianas			3	Medianas
	1	delgadas			1	Finas
	< 1	muy delgadas			< 1	muy finas

Tabla 1-5 Perfil de Meteorización (Fuente: Dearman & Fookes, 1971).



1.1.5 Paso 5. Geología básica con fines de ordenación de cuencas hidrográficas a escala 1:25000

Con base en el control de campo efectuado a escala 1:25.000, se debe consolidar el mapa geológico definitivo con los siguientes atributos: tipos de rocas (composición, textura, estructura, sorteamiento, porosidad y permeabilidad) existentes en la cuenca, tipos de depósitos y suelos, rasgos estructurales, familias predominantes de diaclasas y fracturas, leyenda litoestratigráficas, convenciones (según estándares del SGC), corte geológico indicativo de la disposición estratigráfica y estructural de las rocas y depósitos identificados en la CO.

Nota: Es importante aclarar que este mapa es de utilidad únicamente para las necesidades del POMCA y no cumple con los controles de campo, levantamientos de columnas estratigráficas, muestreos de rocas y sedimentos activos para análisis de laboratorio y demás técnicas que utiliza el SGC para el levantamiento geológico misional.

1.1.6 Paso 6. Informe Geológico

Se debe elaborar un informe que debe contener:

- Resumen
- Introducción
- Generalidades del área
- Marco Geológico Regional
- Litoestratigrafía
- Geología Estructural
- Densidad de Fracturamiento
- Evolución Geológica
- Conclusiones
- Bibliografía.

1.2 MAPA DE GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA (UGS)

El propósito de elaborar un mapa de geología para ingeniería a escala 1:25.000 o Geológicas Superficiales (UGS) es definir el conjunto de materiales superficiales (rocas y suelos (depósitos)) junto con sus rasgos estructurales y caracterizar su comportamiento geomecánico mediante estimaciones de propiedades índices o a través de correlaciones de parámetros comparativos, la toma de muestras y los respectivos análisis de laboratorio. Parámetros requeridos para la evaluación de la amenaza en la Gestión del Riesgo de la cuenca. Las áreas objeto de evaluación, serán las que corresponden las zonas de susceptibilidad media y alta tal como lo define el los numerales 1.3.3.2 y 1.3.7.2 de los Alcances Técnicos definidos para la elaboración y/o ajuste de POMCAS.

La unidad cartográfica a utilizarse es el tipo litológico-LT y para su elaboración se realizan actividades de oficina, campo y laboratorio que permiten caracterizar los materiales superficiales (rocas, suelos y depósitos) mediante la definición de parámetros tales como: litología, dureza, porosidad, permeabilidad, humedad, condición de discontinuidades, meteorización, densidad de rasgos estructurales y la toma de las muestras requeridas para los análisis de laboratorio de clasificación (humedad, granulometría, límites de atterberg, índice de plasticidad, peso específico y consolidación), resistencia (cortes y compresión inconfined), deformación (consolidación y control de expansión rápida), cohesión, fricción y peso unitario en los sitios definidos previamente en la guía metodológica del POMCA.

La Figura 1-2 sintetiza el diagrama del proceso metodológico en 4 pasos para la obtención del producto.

1.2.1 Paso 1. Elaboración del mapa de geología para Ingeniería (UGS-Cualitativo)

Como una integración de la información bibliográfica disponible compilada, evaluada y debidamente georreferenciada en la cartografía básica y la salida cartográfica de geología básica anteriormente obtenido para la cuenca, mediante actividades de oficina se genera el mapa cualitativo a escala 1:25.000 de los materiales superficiales (roca, suelos y depósitos), tomando como referencia del Anexo A los Formatos 3, 4 y 5., sumado a las características tectónico-estructurales y las principales familias de diaclasas y fracturas identificadas en la primera fase de campo.

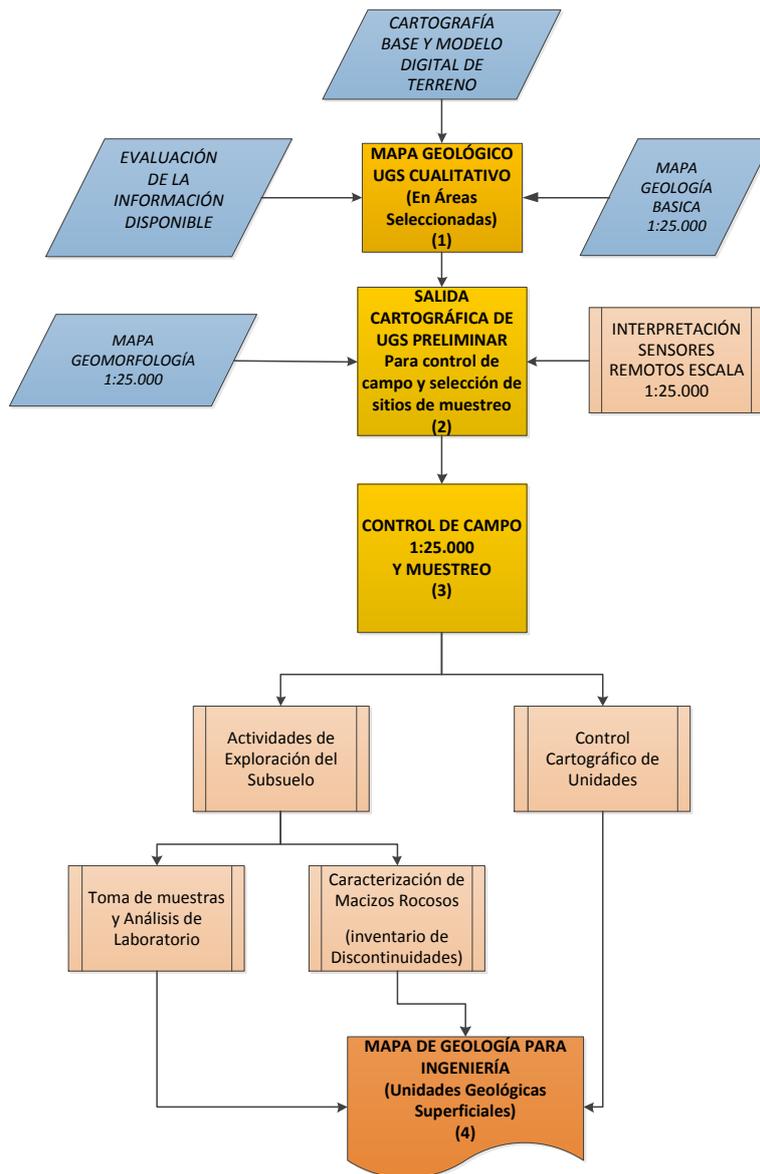


Figura 1-2 Diagrama del proceso para la obtención del producto mapa de geología para Ingeniería (UGS cualitativa). El color azul referencia información secundaria, el amarillo, procesamiento de información en oficina y el verde las actividades de campo.

1.2.2 Paso 2. Consolidación del Mapa preliminar de UGS y selección de sitios de muestreo para control de campo

La interpretación de Sensores Remotos a escala 1:25.000 o mayores, de Imágenes tipo Quick Bird, Aster, ortofotos y fotografías aéreas permite delimitar con mejor precisión las unidades identificadas como homogéneas de los materiales superficiales (macizos rocosos, depósitos y suelo) y las condiciones estructurales identificadas en el paso anterior.

Mediante el uso del SIG se adiciona las geoformas y procesos morfodinámicos identificados en el mapa geomorfológico de Subunidades; integración que redefinirá cartográficamente el mapa de UGS a escala 1:25.000 y orientara la definición de los sitios para control de campo de los materiales superficiales preliminarmente identificados y la selección de sitios prioritarios para la toma de las muestras de caracterización de las UGS como está definido en la guía técnica para la formulación de los planes de ordenamiento y manejo de cuencas hidrográficas "Para cada Unidad de Comportamiento Similar UGS de menos de 100 Has, se debe elegir por lo menos un

sitio de caracterización. Para unidades mayores se debe seleccionar un sitio adicional por cada 100 Has².

Esta última actividad debe ser presentada por el Consultor a los entes de control (Supervisión e Interventoría) para su aprobación, antes de iniciarse las actividades de campo. Producto de esta actividad se generará una salida cartográfica que integre la información geológico – geomorfológica.

1.2.3 Paso 3. Actividades de Campo

Las actividades de campo están dirigidas a efectuar el control cartográfico de los materiales superficiales considerados homogéneos y a la realización de actividades de exploración en apiques y trincheras para la toma de las muestras y la ejecución de los respectivos análisis de laboratorio; labor que debe apoyarse con el diligenciamiento y numeración consecutivamente de los Formatos 3 y 4 del Anexo A, y que alimentara la base de datos de la cuenca.

Los principales parámetros a ser evaluados en las unidades geológicas superficiales identificadas, se desarrollara a partir de estimaciones de las propiedades índices o a través de correlaciones de parámetros comparativos con evaluaciones efectuadas por otros investigadores, debidamente validadas y definidas en Tablas del presente apartado y los respectivo Formato del Anexo A) y los resultados de los ensayos de laboratorio.

En rocas se debe evaluar su composición litológica (Tabla 1-1, Tabla 1-2 y Tabla 1-3), tamaño de grano (dependiendo el tipo de roca se podrá utilizar Streckeisen, (1976), Dott, (1964) en Pettijonh (1973), entre otros), textura (Tabla 1-6) dureza o consistencia (Tabla 1 – 7,), rasgos de esfuerzos (Tabla 1-9 y Tabla 1-10), la, condición de discontinuidades (fracturas, diaclasas, persistencia, humedad, ver Formato 2 del Anexo A), estratificación y estructuras internas, esquistosidad, foliación, laminación), índice de fracturamiento (Jv), densidad de fracturamiento y separación entre las familias de discontinuidades (Formato 2), resistencia del macizo rocoso (Tabla 1-12), grado de meteorización (Tabla 1-13), porosidad y permeabilidad (Tabla 1-20, Tabla 1-21, Tabla 1-22 y Tabla 1-23). Los Rasgos Estructurales deben consolidarse en un salida cartográfica de densidad requerida como producto intermedio.

En suelos color, textura (

Tabla 1-14), consistencia (Tabla 1-15), densidad relativa (

Tabla 1-16), humedad natural (

Tabla 1-17), discontinuidad (Tabla 1-18), características del perfil de meteorización (Tabla 1-13), densidad relativa de arenas y otros suelos gruesos (Weltman & Head 1983), indicadores de resistencia determinada en forma cualitativa, y Humedad Natural o Condición de Humedad (Varnes, 1978), y una estimación del espesor promedio de las unidades de suelos observados.

Las muestras tomadas deben ser georreferenciadas mediante GPS y apoyarse con un registro fotográfico orientado del sitio de la toma de la muestra, empaque, rotulado y almacenamiento. Además, se debe definir el protocolo para el transporte y entrega al respectivo laboratorio.

Dependiendo de las UGS seleccionadas y los tipos de materiales obtenidos se efectuaran los siguientes ensayos:

- Suelos: índice de clasificación: granulometría, límites, peso unitario, humedad, ley de corte y consolidación.
- Macizo rocoso: resistencia (cortes y compresión confinada), deformación (consolidación y control de expansión rápida), cohesión y fricción. En lo posible, efectuar la medida de resistencia de rocas blandas en campo mediante métodos sencillos tipo penetrómetro y la dureza mediante el uso del martillo de Smith.

Todos los anteriores atributos consolidan las UGS cartografiadas y apoyan la evaluación geológico – geotécnica de la cuenca para su inclusión en la Gestión del Riesgo.

Tabla 1-6 Clasificación de las rocas según su textura (tomada de Ingeominas, 2004)

Textura	Tipo genético			Características
Cristalina Masiva	Igneas plutónicas y volcánicas de cualquier litología y composición, con granito, basalto, diabasa etc.	Sedimentarias químicas como la caliza o el chert	Metamórficas masivas, como cuarcita, mármol o neís con poca mica	Las rocas de este grupo son las más resistentes y menos deformables, independientemente de su origen y estas propiedades no está afectadas por direccionalidad
Cristalina Foliada			Metamórficas foliadas, como pizarra, esquistos, filita y neís con bastante mica	Estas rocas son resistentes, algo menos que las anteriores es, y sus propiedades están direccionadas por los planos de esquistosidad y foliación
Clástica Consolidada		Clásticas de granulometría fina, que abarca las lutitas		Estas rocas presenta un comportamiento variable esfuerzo-deformación, y poseen direccionalidad de sus propiedades mecánicas. Las más resistentes son las variedades Shale y argilita. De éstas, las cementadas con sílice y carbonato de calcio, son la más durables.
Clástica Cementada		Clásticas de granulometría gruesa, que abarca las areniscas y los conglomerados		

Tabla 1-7 Clasificación de las unidades geológicas de roca de acuerdo a su dureza (tomada de Ingeominas, 2004).

ROCAS MUY BLANDAS (Resistencia Boja)	Corresponden a las rocas sedimentarias generalmente del Terciario, de baja consolidación diagenética o pobremente litificadas, con estratificación laminar o de capas delgadas, o rocas cristalinas intensamente fracturadas, de moderada a altamente descompuestas. Comprende entre otras las arcillolitas y lodolitas; areniscas y conglomerados friables o rocas en general descompuestas.
MODERADAMENTE BLANDAS (Resistencia baja a Intermedia)	Esta categoría comprende rocas como las anteriormente mencionadas, pero un poco más litificadas y con estratificación gruesa, en el caso de las sedimentarias o moderadamente descompuestas en el caso de las cristalinas. Comprenden en general , arcillositas, limonitas, lodositas, shales yareniscas friables en estratificación muy delgada en general moderadamente fracturadas. En el caso de las rocas clasificadas como muy blandas y blandas, la falla de estas rocas en excavaciones no está estructuralmente controlada, es decir que la falla se propaga predominantemente a través del material rocoso.
ROCAS MODERADAMENTE DURAS o INTERMEDIAS (Resistencia Intermedia a alta)	Esta categoría comprende rocas sedimentarias del Cretáceo o más antiguas, bien litificadas o de alta consolidación diagenética, con estratificación delgada a gruesa, o rocas cristalinas en general, débil a moderadamente descompuestas y poco fracturadas. Comprende rocas como calizas, areniscas y conglomerados bien cementados, limolitas silíceas; lutitas; esquistos y otras rocas foliadas y las rocas ígneas en general. Igualmente comprenden las secuencias sedimentarias donde alternan rocas duras y blandas en capas delgadas.
ROCAS DURAS A MUY DURAS (Resistencia alta a muy alta)	Comprende rocas cristalinas de consistencia muy dura y alta resistencia, o las rocas sedimentarias de la más alta consolidación o litificación; en general masivas, sanas y frescas o solo débilmente descompuestas. En el caso de las rocas clasificadas como duras y muy duras la falla de estas rocas en excavaciones están controladas predominantemente por las discontinuidades estructurales. Se trata en general de rocas con edades del precambriano, paleozoico y del cretáceo.

Tabla 1-8 Clasificación genética de las unidades de suelo (tomada de Ingeominas, 2004).

Origen-Mecanismo	Nombre de los depósitos	Nombres de las geoformas
Residual	Suelo Laterítico y Suelo Saprolítico	No tienen un nombre en particular
Aluvial – Transportado	Aluviones en el lecho o fuera de él	Llanura de Inundación, Barras, Terrazas, Abanicos, Deltas
Eólico- Transportado	Loess y Dunas	Barras, lomas, otras
Glacial – Transportado	Drift: Till (no estratificado) Drift: Depósitos fluvioglaciales (con alguna estratificación)	Morrenas Eskers y Kames
Volcánico	Tefra: material piroclástico en general	Mantos y coladas de piroclastos Flujos de lodo volcánico y Lahares
De Ladera	De gravedad: depósitos coluviales y flujos	Coluviones y Flujos de tierras
Antrópico	Materiales diversos, naturales o no	Rellenos sanitarios, presas, escombreras y rellenos de disposición

Tabla 1-9 Sistema unificado de clasificación de suelos – clasificación textural USCS (Tomado de Ingeominas, 2004)

Divisiones Principales		Simbolos del Grupo	Nombres típicos	Criterios de Clasificación			
Suelos de partículas gruesas Más del 50 % es retenido por la Malla No. 200.	Gravas 50% o más de la fracción gruesa se retiene en la Malla No. 4	Gravas limpias	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arenas, con poco o nada de finos.	$C_u = D_{60} / D_{10}$	Mayor que 4	
			GP	Gravas mal graduadas, mezclas de gravas y arena, con poco o nada de finos.	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	Entre 1 y 3.	
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo.	No satisfacen ambos criterios para GW		
			GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcillas.	Los límites de Atterberg quedan debajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4.		
	Arenas Más del 50% la fracción gruesa pasa la Malla No. 4	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con gravas, con poco a nada de finos.	$C_u = D_{60} / D_{10}$	Mayor que 6	
			SP	Arenas mal graduadas, arenas con gravas, con poco a nada de finos.	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	Entre 1 y 3.	
		Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo.	No satisfacen ambos criterios para SW		
			SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.	Los límites de Atterberg quedan debajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4.		
Suelos de grano fino. 50 % o más pasa la Malla No. 200.	Limos y Arcillas con Límite Líquido de 50 % o menor.	ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.	Los límites de Atterberg quedan arriba de la línea "A", y el índice plástico es mayor que 7.			
		CL	Arcilla inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas dobles.	Los límites de Atterberg quedan en el área sombreada son clasificaciones indeterminadas que requieren el uso de símbolos dobles.			
	Limos y Arcillas con Límite Líquido mayor de 50 %	OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.	Los límites de Atterberg quedan debajo de la línea "A", o el índice plástico es menor que 4.			
		MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o distomáceos, limos elásticos.	Los límites de Atterberg quedan arriba de la línea "A", y el índice plástico es mayor que 7.			
		CH	Arcillas inorgánicas, de alta plasticidad, arcillas francas.	Los límites de Atterberg quedan en el área sombreada son clasificaciones indeterminadas que requieren el uso de símbolos dobles.			
		OH	Arcilla orgánicas de media a alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.	Los límites de Atterberg quedan en el área sombreada son clasificaciones indeterminadas que requieren el uso de símbolos dobles.			
		Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos.	Identificación visual o manual.			

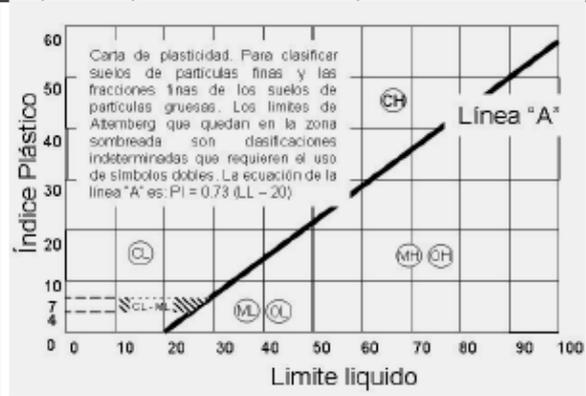


Tabla 1-10 Relación entre clasificación SUCS y propiedades ingenieriles más importantes (Tomado de Ingeominas, 2004)

NOMBRE DEL GRUPO	SIMBOL O	PROPIEDADES INGENIERILES MAS IMPORTANTES			
		Permeabilidad (compacto)	Resistencia al corte (compacto y saturado)	Compresibilidad (compacto y saturado)	Facilidad de tratamiento en obra
Gravas bien gradadas, mezclas de arena y grava, contenido de finos bajo o nulo	GW	Permeable	Excelente	Despreciable	Excelente
Gravas mal gradadas, mezclas de arena y grava, contenido de finos bajo o nulo	GP	Muy permeable	Buena	Despreciable	Buena
Gravas limosas, mezclas de grava mal gradada, arena y limo	GM	Semi-permeable a impermeable	Buena	Despreciable	Buena
Gravas arcillosas, mezclas de grava mal gradada, arena y arcilla	GC	Impermeable	Buena a regular	Muy baja	Buena
Arenas bien gradadas, arenas con gravas, contenido de finos bajo o nulo	SW	Permeable	Excelente	Despreciable	Excelente
Arenas mal gradadas, arenas con gravas, contenido de finos bajo o nulo	SP	Permeable	Buena	Muy baja	Regular
Arenas limosas, mezclas de arena mal gradada y limos	SM	Semi-permeable a impermeable	Buena	Baja	Regular
Arenas arcillosas, mezclas de arena mal gradada y arcillas	SC	Impermeable	Buena a regular	Baja	Buena
Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas ligeramente plásticas	ML	Semi-permeable a impermeable	Media	Media	Regular
Arcillas inorgánicas de plasticidad media a baja, arcillas con gravas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras	CL	Impermeable	Media	Media	Buena a regular
Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	OL	Semi-permeable a impermeable	Mala	Media	Regular
Limos inorgánicos, suelos finos arenosos o limosos con mica o diatomeas, limos elásticos	MH	Semi-permeable a impermeable	Regular a mala	Alta	Mala
Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas	CH	Impermeable	Mala	Alta	Mala
Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta	OH	Impermeable	Mala	Alta	Mala
Turba y otros suelos altamente orgánicos	Pt	-	-	-	-

USBR, 1963

Tabla 1-11 Terminología par a describir la dureza o consistencia de las rocas (Tomada de Ingeominas, 2004)

TIPO	DESCRIPCIÓN
Muy dura	El golpe del martillo no la afecta. No se deja fracturar, ni rayar con el martillo, ni con la navaja de acero
Dura	El golpe del martillo la fractura muy levemente, se raya con dificultad con la navaja o con cualquier objeto metálico punzante.
Moderadamente Dura	Al golpe del martillo se fractura ligeramente y se deja rayar fácilmente con la navaja o con cualquier objeto metálico punzante.
Blanda	Se fractura al golpe del martillo, se deja penetrar fácilmente con la navaja.
Quebradiza	Se quiebra con facilidad o se desprende al golpe del martillo; deja bordes cortantes.
Frágil	Puede ser quebrada por presión fuerte entre de los dedos
Deleznable	Se pulveriza al golpe del martillo, se desintegra fácilmente la presión de los dedos y puede cortarse con la navaja.

Tabla 1-12 Factor GSI para macizos rocosos (tomado de Ingeominas 2004)

Geological Streng Index (G.S.I)									
<p>ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA DE UNA MASA ROCOSA BASADA EN SUS CARACTERÍSTICAS. Con base en la apariencia de la roca, escoja la categoría que mejor describe en su concepto las condiciones promedio del macizo. Note que las caras de macizos que han sido expuestas por voladuras pueden dar una impresión incorrecta de la calidad de la roca. En consecuencia se puede hacer algún ajuste que considere esta circunstancia, un examen de los núcleos de perforación o de caras creadas por precorte o voladuras suaves (Smooth blasting) ayuda mucho a hacer este ajuste. Es también importante reconocer que el criterio de falla de Hoek - Brown se puede aplicar a masas rocosas solamente cuando el tamaño de los bloques es pequeño comparado con el tamaño de la excavación.</p>	<p>CONDICIONES DE SUPERFICIE</p> <p>MUY BUENO, Muy rugoso, superficies de roca fresca.</p> <p>BUENO, Rugoso, ligeramente descompuesta, superficie con manchas de oxidación.</p> <p>REGULAR, Suave, moderadamente descompuestas, descomposición penetrativa.</p> <p>POBRE, Superficies pulidas, alta descomposición de superficie, con cutículas (adherencias) compactas o rellenos de fragmentos angulares.</p> <p>MUY POBRE, Superficies pulidas, alta descomposición de superficie, con cutículas (adherencias) o rellenos arcillosos.</p>								
	<p>DECRECIMIENTO DE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →</p>								
<p>BLOCKY - FRAGMENTADO EN BLOQUE Bloques aproximadamente cúbicos, bien ajustados y muy bien entabados, formados por tres conjuntos de diaclasas.</p> 	<p>DECRECIMIENTO DEL ENTABAMIENTO EN LOS BLOQUES DE ROCA ↓</p> <table border="1"> <tr> <td>80</td> <td>70</td> <td>60</td> <td>50</td> <td>40</td> <td>30</td> <td>20</td> <td>10</td> </tr> </table>	80	70	60	50	40	30	20	10
80		70	60	50	40	30	20	10	
<p>VERY BLOCKY- MUY FRAGMENTADOS EN BLOQUE Bloques algo desajustados pero aun bien entabados, con varias caras angulares, formados por cuatro o más conjuntos de diaclasas.</p> 									
<p>BLOCKY DISTURBED - FRAGMENTOS EN BLOQUE DESAJUSTADOS Bloques angulares desajustados formados por muchos conjuntos de diaclasas, a causa de plegamiento y/o fallamiento, con cizallamiento moderado.</p> 									
<p>DESINTEGRATED - DESAJUSTADO Bloques sueltos con entabamiento pobre, en un macizo muy fracturado y cizallado con una mezcla de fragmentos de roca angulares y redondeados.</p> 									
<p>Estimativo del Índice de Resistencia de la masa rocosa IRMR (GSI - Geological strength Index), basado en descripciones geológicas.</p>									

Tabla 1-13 Perfil de Meteorización Deere-Patton (Tomado de Ingeominas, 2004).

	Deere y Patton, 1971		Dearman, 1976		CONTROL DE LA FALLA	MECANISMO DE LA FALLA	
	I SUELO RESIDUAL	HORIZONTE A I A	U I	SUELO	FABRICA TEXTURAL HEREDADA	EROSION	
		HORIZONTE B I B		RESIDUAL		SUPERFICIE CURVA O IRREGULAR	
		HORIZONTE C (Saprolite) I C	U	ROCA COMPLETAMENTE DESCOMPUESTA			
	II ROCA METEORIZADA	TRANSICION II A	I U	ROCA ALTAMENTE DESCOMPUESTA	FABRICA TEXTURAL O ESTRUCTURAL HEREDADA	PLANAR	CUNA VOLCAMIENTO CAIDA
		ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA II B	II I	ROCA MODERADAMENTE DESCOMPUESTA			
	I ROCA NO METEORIZADA	ROCA FRESCA	II I	ROCA DEBILMENTE DESCOMPUESTA	ESTRUCTURALMENTE CONTROLADA	PLANAR	CUNA VOLCAMIENTO CAIDA
			I	ROCA FRESCA			SUPERFICIE CURVA EN ROCA TRITURADA

Tabla 1-14 Descripción de la textura de suelos-tamaño (tomado de Ingeominas, 2004)

Tamaño (mm)	Término
> 300	Bloques
300 – 75	Cantos
75 – 19 19 – 4.75	Gravas Gruesas Finas
4.75 – 2.0 2.0 – 0.425 0.425 – 0.075	Arenas Gruesas Medias Finas
< 0.075	Finos (Limos y Arcillas)

Tabla 1-15 Terminología para describir la consistencia de un suelo arcillosos (Tomada de Ingeominas, 2004)

Término	Resistencia al corte no drenada (kN/m ²)	Prueba de campo
Muy Blanda	< 20	Se escurre entre los dedos al apretarse en la mano
Blanda	20 – 40	Se puede penetrar fácilmente con el dedo pulgar y se puede moldear mediante ligera presión de los dedos
Media	40 – 75	El pulgar penetra con esfuerzo y puede ser moldeado con una presión fuerte de los dedos
Alta	75 – 150	El pulgar deja solo una marca y no se puede ser moldeado entre los dedos
Muy Alta	150 – 300	Se puede marcar con la uña del pulgar y el cuchillo penetra cerca de 15 mm
Dura	> 300	No puede ser marcado con la uña del pulgar

Tabla 1-16 Terminología para describir la densidad relativa de los suelos arenosos (Tomada de Ingeominas, 2004)

TÉRMINO	PRUEBA DE CAMPO
Suelta	Puede ser excavada con pala. Se puede introducir fácilmente una puntilla de 50 mm. Fácilmente triturado entre los dedos
Densa	Se requiere pica para ser excavado. Una puntilla de 50 mm es introducida con dificultad. Se puede triturar entre los dedos con una presión fuerte.
Muy Densa	Con la pica se remueven terrones que pueden ser desintegrados

Tabla 1-17 Terminología para describir la humedad en el campo (Tomada de Ingeominas, 2004)

DESCRIPCIÓN DE LA HUMEDAD POR OBSERVACIÓN DEL MATERIAL DESPLAZADO	
Seco	No hay humedad visible
Húmedo	Contiene algo de humedad pero no se observa agua libre; el material se puede comportar Plásticamente pero no fluye.
Mojado	Contiene humedad suficiente para comportarse en parte como un líquido, pero éste no fluye
Muy Mojado	El agua fluye de la pasta de suelo

Tabla 1-18 Terminología para la descripción de discontinuidades en masas de suelo (tomada de Ingeominas, 2004).

TÉRMINO	DESCRIPCIÓN
Estructuras relictas	Discontinuidades de la roca parental que se conservan en la masa de suelo, tales como diaclasas, bandeamiento, clivaje, estratificación o fallas.
Fisuras	Discontinuidades cerradas generadas en la masa de suelo posteriormente a su formación por esfuerzos de tensión o corte.
Grietas	Discontinuidades abiertas generadas en la masa de suelo posteriormente a su formación por esfuerzos de tensión o corte.

1.2.4 Paso 4. Mapa de geología para Ingeniería (UGS Cuantitativo)

Mapa de geología para Ingeniería (UGS Cuantitativo) con la información obtenida en el paso 3, más la integración de los resultados de los análisis de las propiedades físicas y mecánicas, se consolida en el mapa de geología para Ingeniería (UGS) definitivo, el cual contendrá polígonos que representan rocas y suelos (depósitos) de superficie.

Las unidades representadas en el mapa, tendrán como guía metodológica las clasificaciones propuestas por la IAEG (1981) complementado con las Tablas respectivas del presente apartado y los formatos del Anexo A, apoyado con los resultados de las actividades de campo y los ensayos de laboratorio:

- Las rocas, según los criterios establecidos del nivel de resistencia se clasificaran en duras, medias y blandas
- La masa rocosa debe caracterizarse con base en su génesis, litología, color, alterabilidad, grado de meteorización y resistencia.
- El macizo rocoso debe incluir los rasgos estructurales, perfil de meteorización, discontinuidades, resistencia y permeabilidad secundaria.
- Los suelos deben reflejar su clasificación de acuerdo a su génesis y composición, color, textura, consistencia, resistencia (indicador), humedad, densidad relativa, ángulo de fricción interna, peso unitario, perfil del suelo y espesor, estructuras y discontinuidades.

Finalmente, se deben generar los productos cartográficos a escala 1:25.000 acompañada de su leyenda y convenciones: el primer producto es el mapa preliminar de UGS cualitativo obtenido en el paso 2. El segundo es la salida cartográfica de densidad estructural obtenido en el paso 3 y el mapa final de Geología para Ingeniería o mapa de UGS cuantitativo (producto 3), acompañado de su memoria técnica como lo establece la guía metodológica del POMCA, información que debe ser elaborada con los estándares definidos por el SGC (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).

Tabla 1-19 Nomenclatura para materiales superficiales (UGS) utilizada por el SGC (tomada del Ingeominas, 2004)

Tipo de material	Unidades	Origen	Tipo de UGS	Simbolo/composición	Simbología resumida	Color	
Suelos	Transportados (st)	fluvial	Aluviones de lechos fluviales	St/al/ar,lm	Stf1	342	
		Fluvial (Stf)	Llanura de inundación	Stf/Lli/a,ar	Stf2	66	
			Terraza aluvial	Stf/tz/gr,ar	Stf3	46	
			Abanico/cono-aluvial	Stf/ab-co/gr,ar	Stf4	44	
			Depósitos torrenciales	Stf/dt/bl,gr,ar	Stf5	53	
			Depósitos fluvio-torrenciales	Stf/ft/bl,gr,a	Stf6	63	
		Lagunar (Stl)	Depósitos lacustres	Stl/a,ar,lm	Stl1	286	
			Depósitos paludales	Stl/a,lm,tur	Stl2	290	
			Depósitos fluvio-lacustres	Stlf/ar,a,gr	Stlf1	300	
		Glaciar (Stg)	Morrenas	Stg/mr/bl,gr,ar	Stg1	40	
			Tillitas	Stg/tll/gr,ar	Stg2	47	
		Fluvio-Glaciar (Stfg)	Abanicos fluvio-glaciares	Stfg/tz/gr,ar,a	Stfg1	61	
			Terrazas fluvio-glaciares	Stfg/tz/gr,ar,a	Stfg2	58	
		Volcanico (Stv)	Depósitos de ceniza	Stv/c/lm,ar,a	Stv1	127	
			Lapilli	Stv/lp/bl,gr,ar,lm	Stv2	131	
			Tefras	Stv/t	Stv3	130	
			Lahares	Stv/lh/bl,gr,ar	Stv4	133	
			Flujos de piroclastos	Stv/fp/gr,ar,lm	Stv5	134	
			Flujos de lodos volcanicos	Stv/flv/ar,lm,a	Stv6	132	
			Ignimbritas Stv/igni	Stv/igni	Stv7	128	
			Coladas de lava	Stv/cl/ar,lm,a	Stv8	129	
		Eolico (Ste)	Depósitos de loess	Ste/l/ar,lm	Ste1	110	
			Depósitos de dunas	Ste/d/ar,lm	Ste2	100	
			Barjanes	Ste/b/ar,lm	Ste3	102	
		Costero (Stc)	Depósitos de deltas	Stc/d/a,ar,lm	Stc1	96	
			Barras	Stc/p/ar,a,bl	Stc2	109	
			Playas	Stc/p/ar,a,lm	Stc3	116	
			Arrecifes	Stc/lm,a,ar	Stc4	108	
			Terrazas	Stc/tz/ar,a,gr	Stc5	40	
			Planicies	Stc/pi/a,lm	Stc6	95	
		Translocado (Str)	Coluvial (Strc)	Coluviones	Strc/ar,a,bl	Strc1	13
				Talus/cono de talus	Strt/bl,cl,gr	Strc2	1
				Derrubios de pendiente	Strc/bl,fr,gr	Strc3	29
				s (de lodo, tierra y de escombros)	Strc/fl,t,e/ar,gr,lm	Strc4	31
		Residuales (Sr)	De Rocas sedimentarias (Srs)	S.residual de roca parental de textura clástica, cementada y granulometría gruesa areniscas y conglomerados	Srs/ar,cng	Srs1	91
			De Rocas Igneas Intrusivas o extrusivas (Srii-Srie)	S.r. de roca parental de granulometría gruesa, textura cristalina masiva	Srii/ar,lm,a	Srii1	204
				S.r. de roca parental de composición básica y granulometría fina	Srii/a,lm,ar	Srii2	196
			De rocas Igneas Volcanicas (Sriv)	S.r de roca parental de origen volcánico y granulometría fina a gruesa	Sriv/ar,lm,a,bl	Sriv1	268
			De rocas Metamórficas (Srm)	S.r de roca parental de textura cristalina y bien foliada	Srm/a,lm,ar	Srm1	125
				S.r. de rocas parentales de textura cristalina masivas y granulometría gruesa (cuarcita, marmol y neis)	Srm/ar,a,lm	Srm2	120
		Depósitos antropogenicos (Sa)	Depósitos Antropogenicos	Rellenos sanitarios o de basuras	Composición heterogenea	Strab	480
				Rellenos de excavaciones o de escombros o botaderos	Composición heterogenea	Strae	362

Tabla 1-20 Relación ente porosidad y granulometría (Tomado de Carrera, 2005).

Clasificación de materiales por tamaño (mm)					
ARCILLA	LIMO FINO	LIMO GRUESO	ARENA	GRAVA	PIEDRAS
$10^{-4} - 2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-1} - 2$	2 - 30	> 30

Origen de la porosidad

Fracturación	→	Grietas en rocas
Disolución	→	Karst
Deposición de material	→	Medios porosos homogéneos

Tabla 1-21 Porosidad total y eficaz en función del Material (Tomado Collazos & Montaña, 2012)

MATERIAL	POROSIDAD TOTAL (%)	POROSIDAD EFICAZ (%)
Rocas masivas	0,3 -8	0,2 -0,5
Rocas volcánicas	2 -30	1-20
Rocas sedimentarias consolidadas	5-20	1-10
Rocas sedimentarias sueltas	25-50	2-25

Tabla 1-22 Valores de Permeabilidad en diferentes terrenos naturales (Tomado de Collazos & Montaña, 2012)

Valores normales de K en terrenos naturales (m/día)	
Grava limpia	1000
Arena gruesa limpia	1000 a 10
Arena fina	5 a 1
Arena limosa	2 a 0,1
Limo	0,5 a 0,001
Arcilla	<0,001

Tabla 1-23 Valores de Permeabilidad y capacidad de drenaje (Tomado de Collazos & Montaño, 2012)

Permeabilidad (m/día)	10^4	10^3	10^2	10^1	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	
Tipo de terreno	Grava limpia		Arena limpia; mezcla de grava y arena		Arena fina; arena arcillosa; mezcla de arena, limo y arcilla; arcillas estratificadas			Arcillas no meteorizadas				
Calificación	Buenos acuíferos				Acuíferos pobres				Impermeables			
Capacidad de drenaje	Drenan bien								Drenan mal		No drenan	

Tabla 1-24 El suelo edáfico (Tomado de Carrera, 2005).

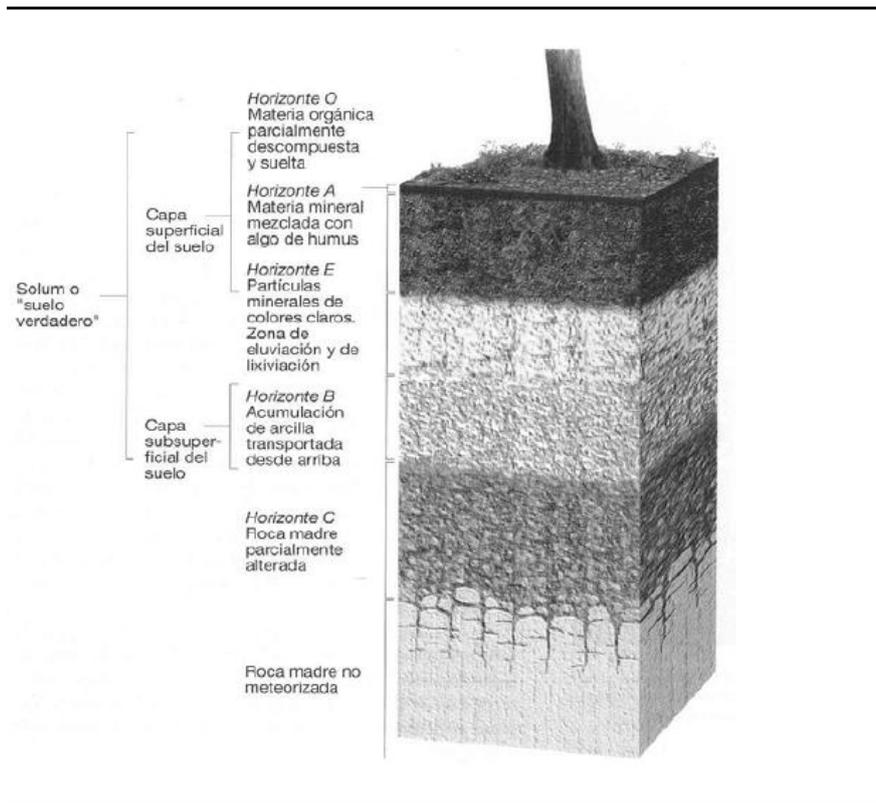


Tabla 1-25 Visión de la jerarquización geomorfológica propuesta y aspectos generales de la nomenclatura y la relación entre geoforma en cada división o categoría. (Tomada de Carvajal, 2011)

Geomorfo estructura	Provincia	Región	Unidades	Subunidades	Componente
Sistema montañoso de la Guyana Sistema orogénico Andino Sistema orogénico costero y márgenes continentales	Peneplanicies de la Orinoquía Peneplanicies de la Amazonia	Ambiente denudacional Serranías denudacionales	Inselbergs Glasis Cerros residuales	Glasis erosión Deslizamientos Ladera denudada Conos deslizamiento	Barrancos Escarpes Coronas deslizamiento
		Ambiente fluvial Planicies Aluviales	Llanuras Inundación Abanico fluvial Terrazas fluviales	Basines Terrazas fluviales Deltas desborde Deltas lagunares Barras	Escarpe terraza Albardones Cauces
	Cinturón montañoso de San Jacinto Cinturón montañoso del Sinú	Ambiente marino Planicies Costeras	Espigas Terraza marina Tómbolo Plataformas de abrasión elevadas Isla Barrera	P. Abrasión Playas Llanuras Intermareales	Acantilados Crestas de playa Frente de playa Paleoacantilados
		Ambiente eólico Planicies desérticas	Planos de deflación Dunas Parabólicas Salares Wadis	Yardangs Hoyos de deflación Dunas de sombra	Planos interdunares Planos de Tafoni
		Ambiente estructural Serranías estructurales	Sierras homoclinales Sierras anticlinales Espinzos Cuestas	Laderas estructurales Laderas de contrapendiente Cornisas estructurales	Escarpes de falla Facetas triangulares Lagos de falla Trincheras de falla
	Cordillera Central Plataforma Continental Pacífica	Ambiente volcánico Edificios volcánicos	Cráter volcánico Cono volcánico Flujo de lava Lahar	Ladera interna de cráter Cuello volcánico Ladera volcánica	Túnel de lava Cuello volcánico
		Ambiente glacial Serranías glaciadas	Kames Morrenas Sierras glaciadas	Arista glaciada Ladera estructura glaciada	Circo glaciar Planos de estrías glaciaria
		Ambiente kárstico Serranías karstificadas	Poljes Torres kársticas Cerro Pepino	Cañadas karstificadas Fondo de Polje	Dolinas Uvalas Depresión kárstica
		Ambiente antropogénico Planicies antrópicas	Lóbulos de escombros Embalses Canteras	Flancos de cantera Planos de explanación	Canales Espolones Banca de caminos

Tabla 1-26 Tabla de Travis para clasificación de Rocas Ígneas (Tomada de Suelos de Colombia- 2007)

MINERALES ESENCIALES	FELDESPATO POTASICO > 2/3 TOTAL DE FELDESPATOS			FELDESPATO POTASICO 1/3 - 2/3 FELDESPATO TOTAL			FELDESPATO PLAGIOCLASA > 2/3 DEL TOTAL DE LOS FELDESPATOS				POCO O NADA DE FELDESPATO			
	CUARZO > 10 %	CUARZO < 10 % FELDESPATOIDES < 10 %	FELDESPATOIDES > 10%	CUARZO > 10%	CUARZO < 10 % FELDESPATOIDES < 10%	FELDESPATOIDES > 10 %	FELDESPATO POTASICO > 10 %	FELDESPATO POTASICO < 10 % DEL TOTAL DE LOS FELDESPATOS				PRINCIPALMENTE PIROXENO Y OLIVINO	PRINCIPALMENTE MINERALES FERROMAGNESIANOS Y FELDESPATOIDES	
								PLAGIOCLASA SODICA		PLAGIOCLASA CALCICA				
MINERALES ACCESORIOS CARACTERISTICOS	PRINCIPALMENTE: HORNBLENDA - BIOTITA - PIROXENO MUSCOVITA TAMBIEN: ANFIBOLES SODICO - EGERINA - CANCRINITA SODALITA - TURMALINA			PRINCIPALMENTE: HORNBLENDA - BIOTITA, PIROXENO TAMBIEN: ANFIBOLES SODICOS - EGERINA - EGIRINA			PRINCIPALMENTE: HORNBLENDA, BIOTITA TAMBIEN: PIROXENO, FELDESPATOIDES ANFIBOLES SODICOS		PIROXENO (En Andesita)		PRINCIPALMENTE: PIROXENO - URALITA - OLIVINO TAMBIEN: HORNBLENDA - BIOTITA CUARZO - ANALCITA EGERINA ANFIBOLES SODICOS		PRINCIPALMENTE: SERPENTINA - MINERALES DE HIERRO TAMBIEN HORNBLENDA Y BIOTITA	
INDICE DE COLOR	10	15	20	20	25	30	20	20	25	50	60	95	55	
SiO ₂	71.5	69.4	58.0	66.8	57.0	54.1	85.3	81.6	58.2	46.6	47.4	41.1	42.0	
Al ₂ O ₃	14.0	17.0	19.2	15.8	17.1	21.0	16.1	16.2	17.0	16.6	15.4	4.8	17.9	
PROMEDIO DE FeO	1.5	2.7	2.9	2.3	3.4	1.6	2.1	2.5	3.2	4.8	4.8	4.0	6.7	
COMPOSICION QUIMICA														
FeO	1.4	2.9	1.6	1.3	3.6	3.3	2.3	3.6	3.7	6.0	6.4	7.1	6.7	
MgO	0.6	1.8	0.6	1.0	2.3	1.1	1.7	2.8	3.5	5.1	5.0	32.2	3.4	
CaO	1.6	3.7	2.0	2.8	5.4	3.2	3.9	5.4	6.3	8.9	8.7	4.4	10.3	
Na ₂ O	3.4	4.2	6.5	3.7	4.7	6.2	3.6	3.4	5.5	3.7	3.8	0.5	8.0	
K ₂ O	4.3	5.1	5.3	4.2	3.7	6.9	2.7	2.1	2.1	1.9	3.5	1.0	2.4	
FANERITICA EQUIGRANULAR Batolitos, Lopolitos, Stocks, grandes lacolitos espesos diques y sillós	GRANITO x ALASKITA GRANITO GRAFICO GRANITO ALCALINO CHARNOCKITA LUXULIANITA	SIENITA SIENITA CUARZOSA SIENITA ALCALINA PIULASKITA NORMARKKITA LARVIKITA SHONKNITA	SIENITA NEFELINICA SIENITA LEUCITICA SIENITA SODALITA FOYAITA MALIGNITA DITROITA	CUARZOMONZONITA x (ADAMELITA)	MONZONITA x	MONZONITA x NEFELINICA	GRANODIORITA x	CUARZO DIORITA x TONALITA	DIORITA	GABRO x GABRO NORITA GABRO OLIVINICO TRACTOLITA ANORTOSITA CUARZO: GABRO	DIABASA DOLENTA BRITANICA Textura doleñtica, fenofitica normalmente grano fino o medio	PERIDOTITA x PERIDOTITA HARZBURGITA PICRITA DUNITA PIROXENITA SERPENTINITA		
PORFIRITICA MATRIZ FANERITICA: Lacolito, diques, sillós pequeños, stock, margenes de grandes masas endurecidas, plaga MATRIZ AFANITICA: Diques, sillós lacolitos superficiales de flujo, margenes de masas endurecidas	GRANITO PORFIRITICO	SIENITA PORFIRITICA	SIENITA NEFELINICA PORFIRITICA	CUARZO MONZONITA PORFIRITICA	MONZONITA x PORFIRITICA	MONZONITA NEFELINICA PORFIRITICA	GRANODIORITA x PORFIRITICA	CUARZO DIORITA x PORFIRITICA	DIORITA x PORFIRITICA	GABRO x PORFIRITICO		TERALITA PORFIRITICA	PERIDOTITA x PORFIRITICA KIMBERLITA	
AFANITICA MICROCISTALINA Diques, sillós, superficies de flujo, margenes de grandes masas. Tobas endurecidas	RIOLITA x	TRAQUITA x	FONOLITA LEUCITA FONOLITICA, LEUCITA TINGUAITE WYOMINGITA	CUARZO LATITA	LATITA x (TRAQUIANDESITA)	LATITA NEFELINICA	DACITA PORFIRITICA	ANDESITA x	BASALTO x	TEFRITA	LMBURGITA	NEFELINICA: pirox y Nefelina LEUCITA: Piroxeno y Leucita MELILITITA: Pirox y Melilita BASALTO Leucitico NEFELINICO: Pirox Nefe. y Olivino		
VITREA Superficies de flujo, margenes de diques y sillós. Tobas endurecidas	OBSIDIANA - Negra x PITCHSTONE - Resinoso x VITROFIRO - Porfítico x PERLITA - Fracturas concéntricas		PUMITA - Finamente celular, color claro x ESCORIA - Células gruesas, color cacaró x				X Límite en 1 mm diámetro		x ROCAS COMUNES ROCAS NO COMUNES EL RESTO SON ROCAS RARAS					

Tabla 1-27 Clasificación Rocas Sedimentarias Químicas y Orgánicas.

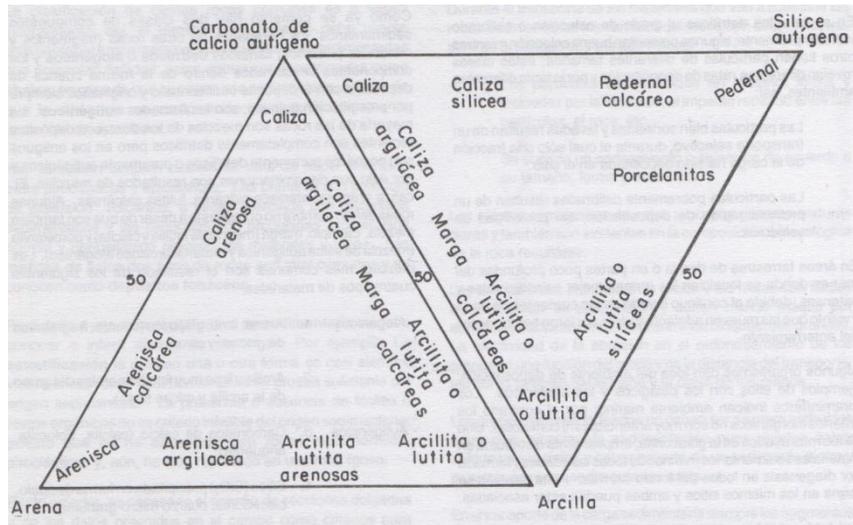
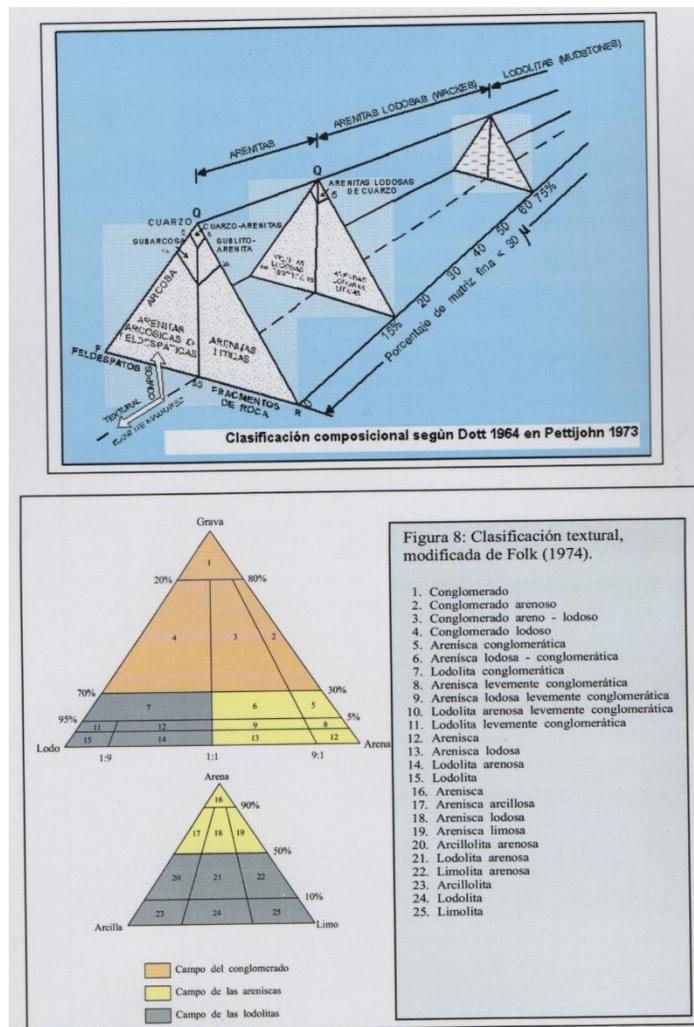


Tabla 1-28 Clasificación de Rocas Sedimentarias Detríticas.



2 GEOMORFOLOGIA

El levantamiento geomorfológico está dirigido a proporcionar información concisa, sistemática y debidamente jerarquizada de las geoformas de la cuenca, la definición y caracterización de los procesos morfodinámicos y los fenómenos naturales conexos. Para su caracterización se consideran las metodologías de trabajo que desarrollan las entidades del Estado cuya misión es el avance del conocimiento de los suelos (IGAC- Metodología Zinck, 2012), y la evaluación de las amenazas naturales (SGC-metodología Carvajal-2011), cuyo marco de jerarquía difiere ligeramente en los niveles de categorización y conceptualización genérica.

Por lo tanto, el desarrollo de la componente de geomorfología en los POMCA jerarquiza las geoformas del relieve con base en los Ambientes Morfogenéticos, los Sistemas de Terreno y las Unidades de Terreno o Unidades Geomorfológicas y define atributos de morfografía, morfometría, morfodinámica y morfocronología; de tal forma que al final del proceso se generaran dos (2) salidas cartográficas a escala 1:25.00: la primera (1) a nivel de “Subunidades” que responde a las necesidades de la zonificación de la Gestión del Riesgo (Tabla 4 de Carvajal, 2011; Tabla 1-25), y la segunda (2) como formas del terreno caracterizados por su geometría, historia y dinámica, utilizada por el IGAC, numeral “6.2.6” de la metodología de Zinck (2012), requeridas para la caracterización de la componente edafológica, (técnicas metodológicas existentes en el anexo A-Carpeta documentos)

El **Ambiente morfogenético** considerado como el primer nivel de jerarquía, agrupa las geoformas mayores del relieve, originadas y controladas genética y geográficamente por un estilo de dinámicas interna y/o externa (Zinck, 2012), afectados por procesos geomorficos parecidos, Carvajal (2011). Las Unidades de mapeo se diferencian tomando como referencia la categoría de “Provincia, *Tabla 4*” propuesta por Carvajal (2011) y el numeral “6.2.2, *Ambiente morfogenético*”, Zinck (2012).

Los **Sistemas de terreno** son consideradas las unidades más apropiadas para ser usadas como unidades de mapeo de terreno a mediana escala, Verstappen (1991), Zinck, (2012). Esta categoría considerada como el segundo nivel de jerarquía, agrupa las unidades del paisaje definidas por un macrorrelieve y una génesis geológica similar, o una amplia porción de terreno caracterizada por su expresión fisiográfica Carvajal (2011). Zinck (2012) define los sistemas de terreno como “una repetición de tipos de relieve/modelado similares o a una asociación de tipos de relieve/modelado disímiles”. Para los fines cartográficos del POMCA, se toman las siete (7) categorías del paisaje o geoformas definidas por Zinck (2012) en el numeral “6.2.3.2”.

Las **unidades de Terreno (Geomorfológicas)** son las geoformas particulares del terreno consideradas dentro del nivel inferior del sistema jerárquico, relacionadas con las formas del relieve (Ambiente Morfogenético y los Sistemas de Terreno), en donde priman los criterios genéticos, morfológicos y geométricos del relieve, Ej: En un ambiente morfogenético mixto, generalmente predomina el Sistema montañoso en donde se relacionan la presencia de estructuras geológicas desarrolladas sobre un tipo de rocas con rasgos intrínsecos morfológicos y morfométricos específicos.

La metodología del SGC, (Carvajal, 2011) la categoriza las Unidades del Terreno por los “*contrastos morfológicos y morfométricos que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de estos con la correspondiente topografía del terreno*” definidas en la Tabla 1-25, como “Subunidades”, que corresponden a formas particulares del terreno consideradas en un ambiente morfogenético y morfodinámico específico.

La metodología IGAC, (Zinck, 2012) categoriza las Unidades de Terreno y las ordena con base a un juicio experto y experiencia de campo en dos grupos: *“las formas de terreno predominantemente controladas por la estructura geológica (geodinámica interna) y las formas de terreno predominantemente controladas por los agentes morfogenéticos (geodinámica externa, Tablas 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9, 6.10, 6.11)”*

La Figura 2-1 sintetiza en un diagrama el proceso metodológico en 7 pasos para la obtención del producto requerido por el POMCA.

2.1 PASO 1. DEFINICIÓN DE AMBIENTES MORFOGENÉTICOS

Mediante la integración de la información análoga y cartográfica evaluada, el mapa geológico a escala 1:100.000 y el MDT se definen los ambientes morfogenéticos existentes en la CO, Zinck (2012), numeral “6.2.2” y/o los definidos en la propuesta de estandarización geomorfológica propuesta por Carvajal (2011), categoría de *“Región geomorfológica”*.

2.2 PASO 2. INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS

Un primer momento de Interpretación de imágenes de satélites tipo Landsat, Radar y fotografías aéreas a escalas 1:50.000 o menores, para identificar grandes porciones de terreno caracterizados por sus rasgos fisiográficos con relieves o modelados similares o a una asociación de relieves o modelados disimiles.

2.3 PASO 3. DEFINICIÓN DE LOS SISTEMAS DE TERRENO

Teniendo en cuenta los ambientes morfogenéticos existentes en la cuenca objetivo - CO, más la Interpretación de Sensores Remotos elaborada a escalas 1:50.000 o menores mediante superposición temática se deben definir los paisajes fotogeológicos existentes en la cuenca con los criterios definidos por Zinck, (2012), numeral “6.2.3”: y/o definido en forma general en la propuesta de estandarización geomorfológica de Carvajal (2011), categoría de *“Provincia geomorfológica”*

2.4 PASO 4. INTERPRETACIÓN DE SENSORES REMOTOS

Mediante un segundo momento de fotointerpretación de Sensores Remotos a escala 1:25.000 o mayores, de Imágenes tipo Quicly Bird, Aster, ortofotos y fotografías aéreas se definen y delimitan cartograficamente los procesos morfodinámicos existentes en la CO y geoformas con rasgos específicos del relieve (escarpes naturales o antropicos , relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), determinados por la morfometría detallada del terreno dentro de un determinado sistema o paisaje geomorfológico que relaciona características particulares del relieve con un patrón de componentes de Unidades del Terreno, ej: Escarpes, relieves internos de laderas o flancos, crestas ramificadas, lomas, vertientes, glacis colubial, gargantas, planos de inundación, terrazas, cañones. Geoformas que reflejan características internas y externas del relieve o el modelado, denominadas Unidades de Terreno o Unidades geomorfológicas. Tablas 6.3 a 6.11, Zinck (2012).

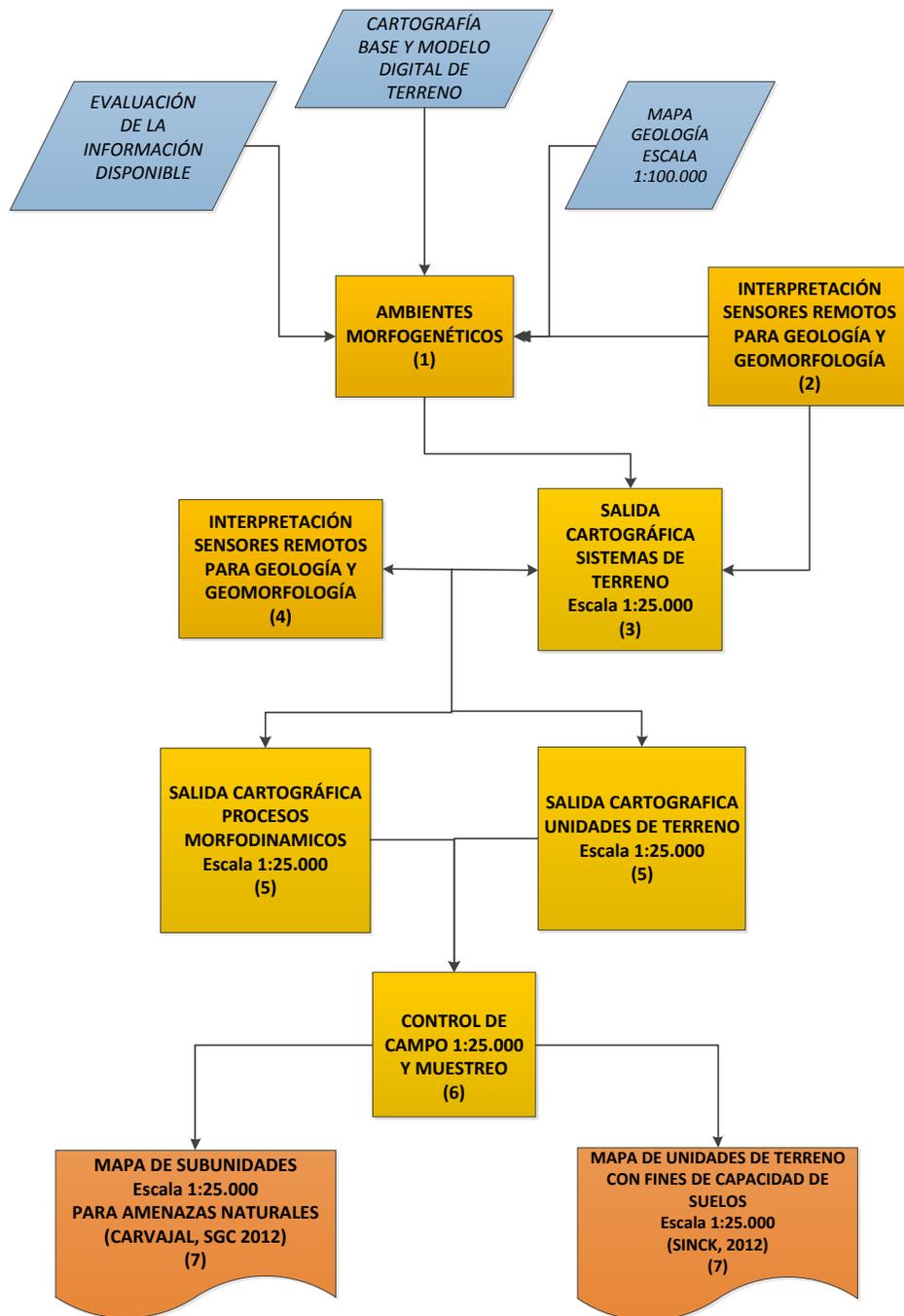


Figura 2-1 Diagrama del Proceso para la obtención del producto de Geomorfología requerido para los POMCA.

2.5 PASO 5. DEFINICIÓN DE UNIDADES DE TERRENO

Con base en las unidades geomorfológicas identificadas y los procesos caracterizados en el paso anterior se deben generar salidas cartográficas preliminares 1:25.000 de los procesos morfodinámicos identificados tales como: Erosión, MM, Torrencialidad e Inundaciones, (PMA,

2007); Parra (1998) y las Unidades geomorfológicas para control de campo definidas con los criterios del numeral “6.2.6 *Formas del terreno*” definidos por Zinck (2012) y definidas en la propuesta de estandarización geomorfológica de Carvajal (2011), como categoría “*Subunidades*”

2.6 PASO 6. CONTROL DE CAMPO

Con la salida cartográfica 1:25.000 obtenida en el numeral anterior y unido al control definido para la salida de campo de geología, se deben controlar los procesos morfodinámicos, (van Zuidam 1985), y las unidades geomorfológicas identificadas en la CO (Formato 6).

El desarrollo del trabajo de campo debe estar direccionado a complementar información respecto de contrastes morfométricos, litología, geología estructural, perfiles de suelos, (Dearman & fookes, 1991) y los procesos morfodinámicos, PMA (2007)

Al igual que en la interpretación de las imágenes, en el levantamiento de campo se procede de lo general a lo particular. Primero, debe obtenerse una visión general, de los ambientes morfogenéticos, los paisajes predominantes en la cuenca, para luego llevar a cabo la observación detallada y el respectivo control de la cartografía geomorfológica identificada.

Estas labores de campo contribuirán en la definición de criterios para la localización de puntos de interés en la fase exploratoria de la caracterización de los suelos y UGS para geotecnia.

Por lo tanto, teniendo en cuenta que las 60 cuencas definidas en ordenación (CO) están clasificadas como: cuencas 1- < 100.000 ha, 2- De 100.001-300.000 ha, 3-De 30.001- 600.000 ha, 4- De 600.001- 900.000 ha y 5- > 900.001 ha; se estima por análisis de expertos que por cada plancha 1:25.000 o su equivalente, deberá efectuarse 6 puntos de control.

2.7 PASO 7. MAPAS DE GEOMORFOLOGÍA A ESCALA 1:25:000

Una vez realizados los ajustes a la cartografía de las unidades geomorfológicas y los procesos morfodinámicos se deben generar 2 mapas con sus respectivas memorias:

- Un mapa de Unidades geomorfológicas compuestas por geoformas del terreno caracterizados por su geometría, historia y dinámica, Zinck (2012), que contribuye en la caracterización de la componente edafológica a escala 1:25.000.
- Un mapa Unidades geomorfológicas a escala 1:25.000 equivalentes al nivel jerárquico de “Subunidad” definidas en la Tabla 4 de la propuesta metodológica de Carvajal (2011) (ver Tabla 1-25), que aporta los elementos requeridos para la caracterización del componente de la Gestión del Riesgos.

PARTE II: GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS POMCA

3 ALCANCES DE LA GESTIÓN DEL RIESGO EN LOS POMCA

3.1 GENERALIDADES

Los alcances de la gestión del riesgo en los POMCA se resumen en los siguientes hitos:

- Ordenación y manejo de la cuenca de manera participativa buscando establecer consensos en la **zonificación ambiental** que conduzcan a: a) la protección, conservación, uso y aprovechamiento de los recursos naturales renovables; b) una ocupación del territorio de forma segura; y c) evitar nuevas condiciones de riesgo en la cuenca, objetivos que hacen parte de la gestión integral del riesgo.
- Definición de **acciones y medidas** para el manejo y administración de los recursos naturales renovables, así como para el conocimiento, reducción y manejo del riesgo en la cuenca.
- Referente fundamental para ser incluido (**Determinantes y Asuntos Ambientales**) en los procesos de ordenamiento territorial y planificación del desarrollo.

En resumen, los principales procesos organizados por fases se resumen en la Figura 3-1 y Figura 3-2.

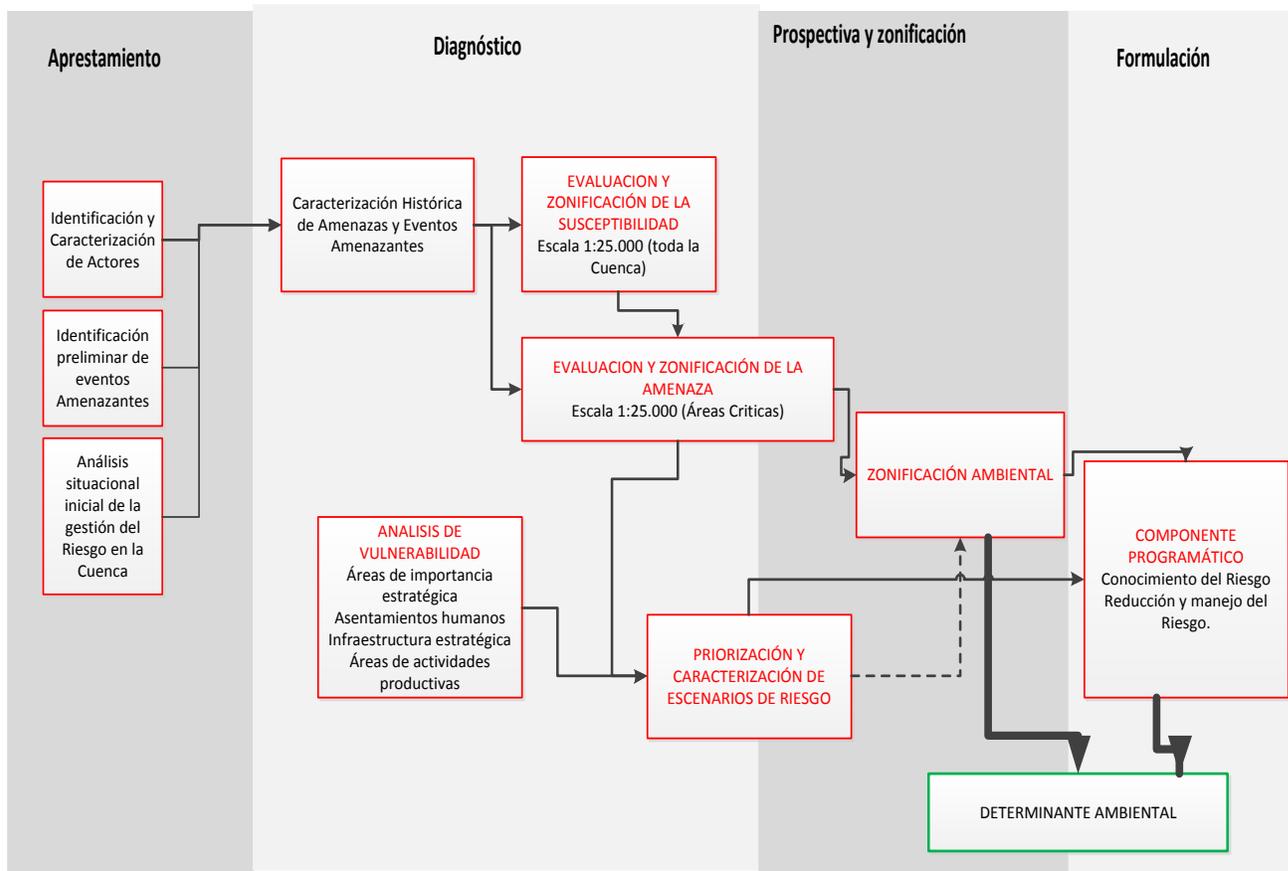


Figura 3-1 Principales procesos de la gestión del riesgo en las fases del POMCA

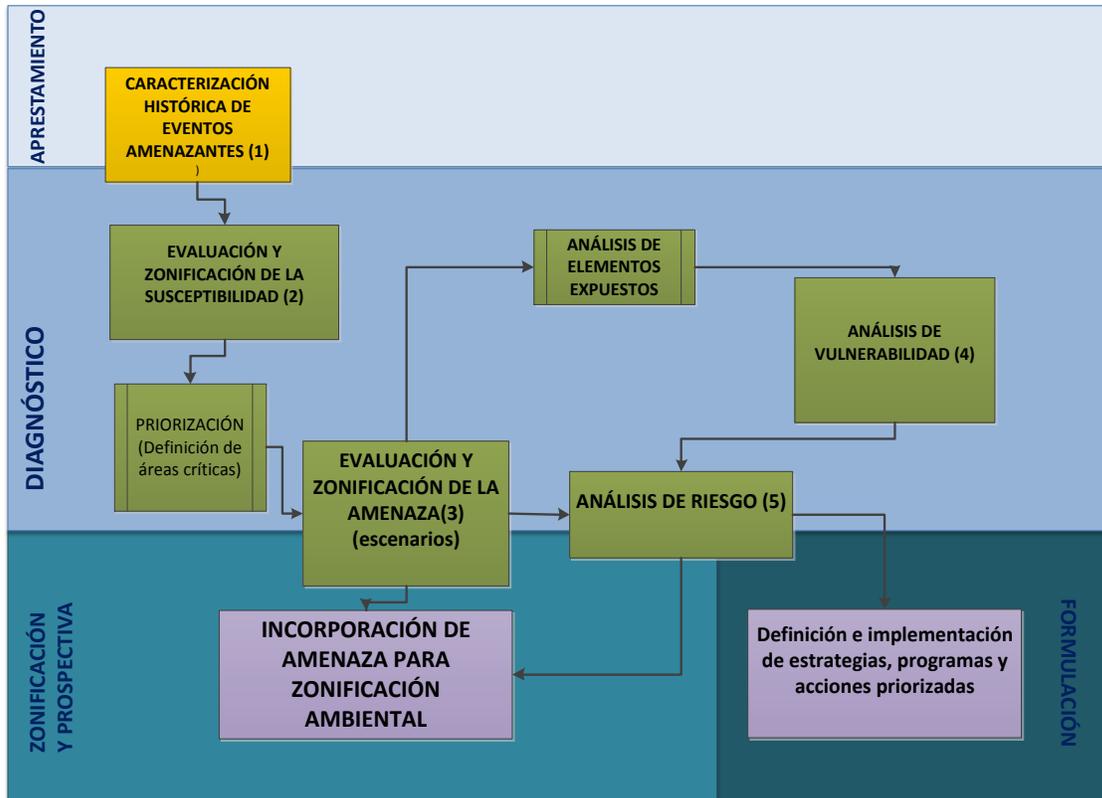


Figura 3-2 Diagrama conceptual para la incorporación de la Gestión del Riesgo en las fases del POMCA.

Inicialmente se hace una introducción a la temática, y luego se abordan cada uno de los procesos y actividades relacionados con los alcances técnicos planteados en la elaboración o ajuste de los POMCA.

Partiendo de la existencia de limitantes intrínsecas o condicionantes y extrínsecas o detonantes que condicionan la aparición de amenazas de diferente tipo en el territorio, los alcances técnicos definen una metodología que se aborda en cuatro pasos básicos:

1. Conocimiento de la susceptibilidad del territorio de toda la cuenca a la ocurrencia de los eventos en evaluación: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.
2. Evaluación de la amenaza en las zonas críticas obtenidas a partir de los estudios de susceptibilidad como zonas de susceptibilidad media y alta tal como se presenta en la Figura 3-3.
3. Análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante los diferentes eventos amenazantes.
4. Análisis del riesgo producto de la concurrencia de la amenaza y la vulnerabilidad para los diferentes escenarios de la amenaza evaluada.

La metodología planteada y ajustada para la evaluación de las diferentes tipos de amenazas partió del análisis y entendimiento efectuado a las diferentes metodologías disponibles, labor que concluyo con la definición de las variables claves requeridas para la evaluación de la amenaza y aplicación dentro del contexto de la Gestión del Riesgo en los POMCA; posteriormente, se definieron los procedimientos más apropiados, sintetizados en los respectivos protocolos que se describen a continuación para cada tipo de evento en evaluación.



Figura 3-3 Diagrama para la definición de zonas críticas para evaluación de amenaza

3.2 CARACTERIZACIÓN HISTÓRICA DE EVENTOS AMENAZANTES (1)

Corresponde a la caracterización histórica de amenazas y eventos amenazantes, que se presenta en el numeral 1.3.7.1 de los alcances técnicos.

Con el fin de obtener los objetivos mínimos del análisis situacional, es decir, la identificación de los principales eventos que han afectado la cuenca, la frecuencia de su ocurrencia y los posibles daños que pueden ser asociados a los eventos se requiere:

1. Con base en los actores identificados se debe elaborar un inventario (catálogo) de eventos históricos ocurridos en la cuenca para lo cual se requiere la toma de por lo menos los datos que se muestra en el Formato 1 (Figura 3-4) de este protocolo, datos que se sistematizarán y alimentaran la base de datos de la cuenca en ordenación.
2. Efectuar la espacialización de los diferentes eventos incluidos en el catálogo por tipo de evento y de acuerdo a las convenciones mínimas planteadas en los alcances técnicos, generando una salida cartográfica que incluya todos los eventos inventariados en la siguiente forma:
 - Rojo: eventos más recurrentes, es decir, más de un evento en los últimos quince años.
 - Naranja: un evento en los últimos quince años o los ocurridos en un período de tiempo comprendido entre los 15 a 50 años.
 - Amarillo: para los eventos pasados, es decir para los ocurridos por encima de los 50 años.

3.3 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD (2)

3.3.1 Susceptibilidad a movimientos en masa (MM)

El procedimiento planteado para la evaluación de la susceptibilidad a MM de acuerdo a lo descrito en los alcances técnicos (Numeral 1.3.7.2.1), se apoya con las referencias bibliográficas definidas al final de este protocolo.

La Figura 3-5, muestra el mapa conceptual para la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa (MM).

En este método se muestrean todos los factores relevantes en una grilla o en cada unidad morfométrica y a la matriz resultante se le aplica un análisis diferencial, por lo tanto se utiliza en un grado muy bajo la experiencia de los profesionales. Los análisis estadísticos propuestos cubren el área total de la cuenca, y para cada unidad se recogen los datos de un número de factores de tipo geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, y morfométricos, que se analizan utilizando análisis discriminantes (Nuria, 2001). El análisis se plantea a partir de un modelo simple de ladera con las siguientes condiciones del entorno:

- Las laderas o la ladera están constituidas por un substrato impermeable (roca) y no recibe aguas de infiltración procedentes de otras cuencas vecinas; esto con el fin establecer un modelo sencillo y de fácil manejo.
- Sobre este substrato se tiene un depósito de material superficial de diverso origen (residual, coluvial, etc.) permeable y susceptible a la generación de fallas.
- Si el substrato es de tipo arcilloso, la parte superior puede meteorizarse, desarrollando fisuras por donde se puede infiltrar el agua y dar lugar a fallas del material. La metodología adaptada plantea como elemento o agente desencadenante principal el agua procedente de la precipitación.

Con base en estos criterios y teniendo en cuenta el mapa conceptual presentado a continuación se describen en forma secuencial los principales elementos a tener en cuenta para la aplicación del método.

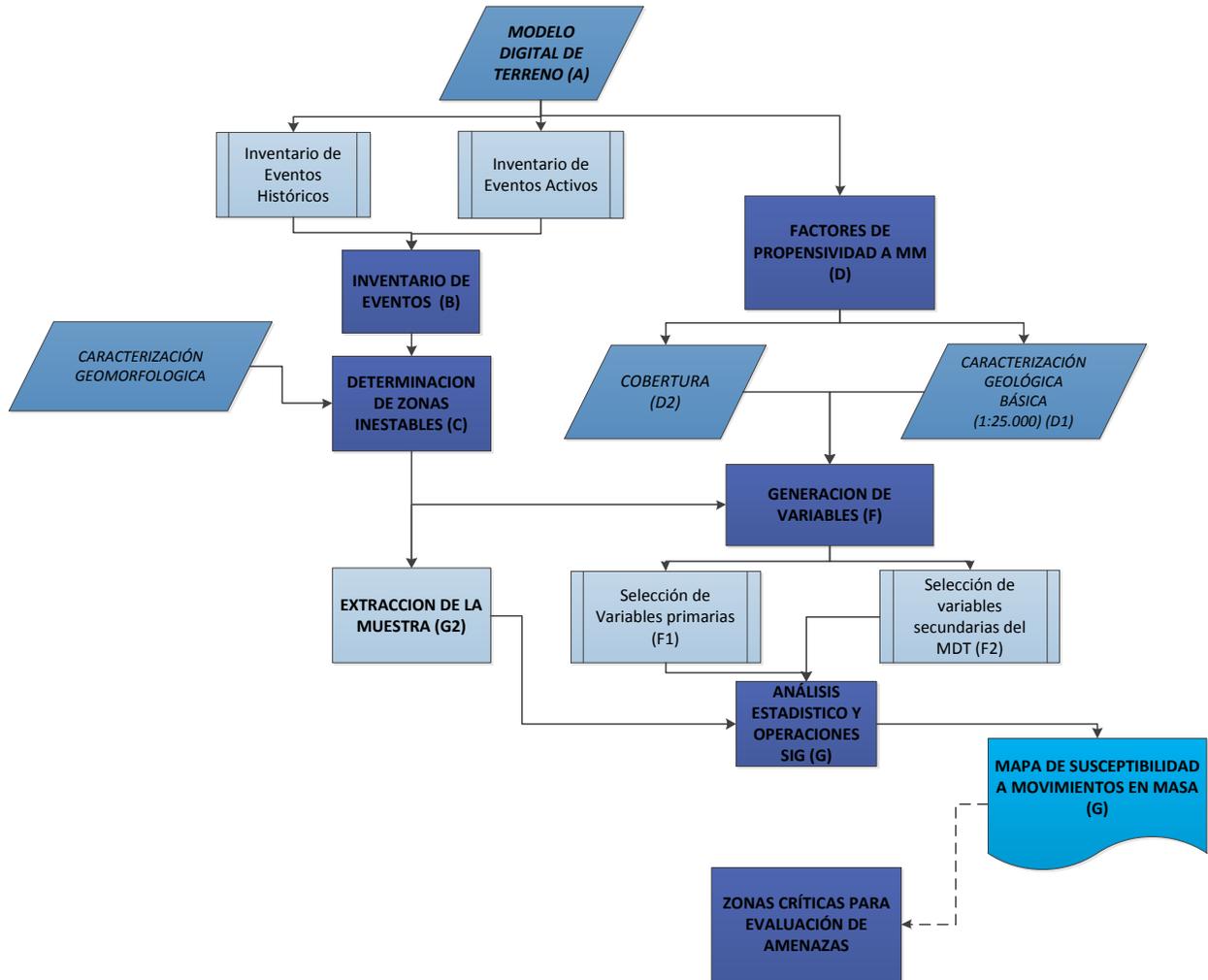


Figura 3-5 Diagrama conceptual para la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa (MM)

3.3.1.1 Paso A: modelo digital de terreno (MDT)

Debido a que la mayor parte de variables que entran al modelo de evaluación se obtienen a partir de la cartografía base, es necesaria la generación de un modelo digital de Terreno a escala 1:25.000 con base en la cartografía básica existente. A partir de este MDT y con el uso de herramientas SIG, se generarán las variables secundarias a que se hace referencia posteriormente.

3.3.1.2 Paso B: inventario de eventos

Se trata de identificar los diferentes movimientos en masa que han sido inventariados en la cuenca en evaluación por diferentes métodos, entendiendo que algunos eventos son antiguos, otros recientes y solo algunos están activos en el momento de la evaluación. Para ello se requiere la integración de los siguientes datos:

- Eventos obtenidos del catálogo de eventos: son los obtenidos en la fase del análisis situacional y que deben encontrarse espacializados, tal como se describió en el numeral 1 de este protocolo. Estos eventos se presentan en tipología punto.
- Eventos recientes y/o activos

B.1 Eventos obtenidos del catálogo de eventos

Son los obtenidos en la fase del análisis situacional y que deben encontrarse espacializados, tal como se describió en el numeral 1 de este protocolo. Estos eventos se presentan en tipología punto.

B.2 Eventos activos

Estos eventos se obtienen a partir de un inventario de eventos en campo (numeral 1.3.7.2.1 de alcances técnicos). El inventario de los principales movimientos en masa se llevará a cabo mediante el diligenciamiento de un formato de campo tal como se presenta en la Figura 3-7, el cual incluye las principales características de los procesos inventariados para la escala de trabajo. Dicha información se compilará en una base de datos y se estructurará sobre la cartografía implementada en plataforma SIG para el proyecto. El inventario permitirá:

- Identificar los movimientos en masa que se encuentran activos en el área de estudio, asociados a la cartografía geológica y geomorfológica específica para el proyecto. La actividad se refiere a lo definido por Varnes (1978) y Gonzales de Vallejo (2002), tal como se presenta en la Figura 3-6.
- Compilar en una base de datos las principales características de cada uno de los procesos, permitiendo estimar los tipos de movimientos presentes en el área de estudio a partir del trabajo de campo.

El método para el logro del objetivo requerido se puede resumir en la siguiente forma:

- Con base en el mapa geomorfológico obtenido a partir de (SGC, 2012, SGC, 2005) en el cual se presenta la cartografía de procesos morfodinámicos definir el plan de trabajo de campo para la toma de información y captura de datos en campo por medio del formato presentado en la Figura 3-7y Figura 3-8.
- Trabajo de campo consistente en la toma de información básica en el formato referido de los procesos activos e identificación litológica, rasgos geomorfológicos y parámetros morfométricos.
- Elaboración de una base de datos en Excel con la información recopilada.
- Estructurar la información en el SIG con el fin de espacializar la información recopilada, resultados que se pueden presentar en tipología punto o polígono.

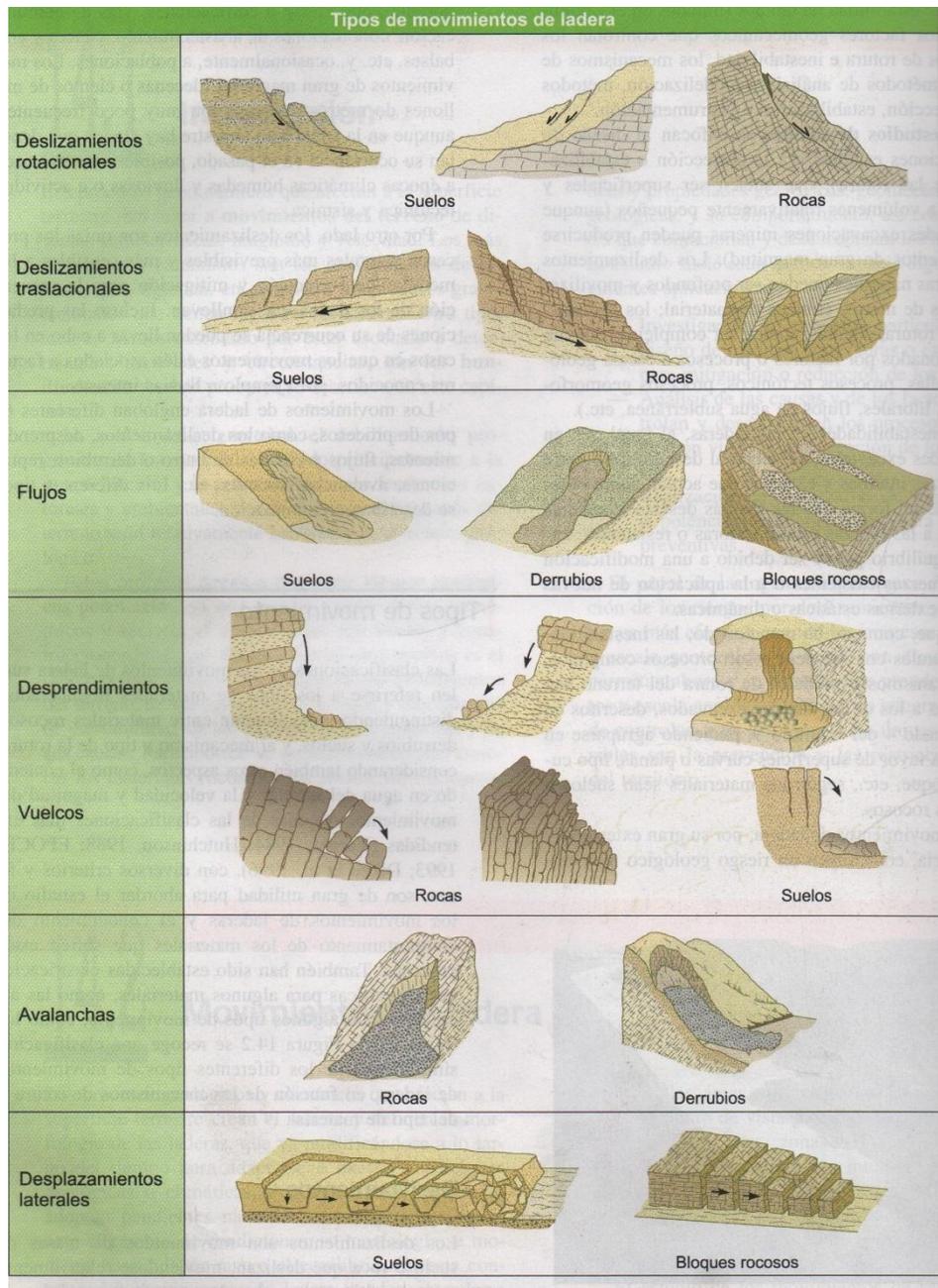


Figura 3-6 Clasificación general de los movimientos en masa (tomado de Gonzáles de Vallejo, 2002).

3.3.1.3 Paso C: Determinación de zonas inestables

La definición de zonas inestables se efectúa a partir del inventario de eventos descrito en el numeral y las geoformas asociadas a los eventos antiguos obtenidos a partir de cartografía geomorfológica descrita en este protocolo. De la cartografía geomorfológica se delimitaran zonas homogéneas geomorfológicas a nivel de sub unidad, estableciéndose zonas de inestabilidad reciente, lo que amplía el rango de zonas inestables. En el protocolo de geomorfología se definen las sub unidades que se tomarán como zonas de inestabilidad reciente y que deberán incluirse en esta delimitación. Finalmente la determinación de las zonas inestables se realiza con el uso del SIG mediante la suma de tres componentes:

ZONAS INESTABLES: CATÁLOGO DE EVENTOS (geometría de punto)+ INVENTARIO DE EVENTOS (geometría de polígono y/o punto) + Sub- unidades geomorfológicas asociadas a la inestabilidad (mapa geomorfológico- geometría de polígono)

Las zonas inestables se convierten en la variable de agrupación que se usará para el análisis estadístico y la selección de la muestra. Esta variable deberá ser denominada y codificada.

3.3.1.4 Paso D: Factores de propensividad

D.1 Caracterización geológica básica (1:25.000)

Del producto cartográfico de geología básica en el cual se obtienen polígonos de unidades de roca y depósitos y suelos a escala 1:25.000, tal como se expresa en los alcances técnicos numeral 1.3.3.2 (página 14) se obtendrán posteriormente las variables que entran al modelo estadístico tal como se explica posteriormente.

D.2 Cobertura

A partir del mapa de cobertura y uso de la tierra obtenido como resultado del numeral 1.3.3.11 de los alcances técnicos, se obtendrán los polígonos que identifican las coberturas y usos actuales de la tierra a escala 1:25.000 para la totalidad del área de la cuenca en ordenación (metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia con utilización de la leyenda IDEAM (2010) y uso de la tierra con base en la metodología IGAC (2002)). Estos polígonos serán reclasificados para obtener unas variables categóricas tal como se explica en los siguientes numerales.

3.3.1.5 Paso F: Generación y selección de variables

Los parámetros geológicos, geomorfológicos y cobertura y uso del suelo y geométricos propios del área en estudio, generan un conjunto de variables las cuales permiten explicar la potencial aparición de zonas de inestabilidad en el área. A cada una de las variables se le atribuye de forma general un significado en relación a su papel de favorecer o reducir la posibilidad de inestabilidad en el área. El método trata en lo posible de obtener en forma automática o semiautomática el mayor número de variables que influyen en la estabilidad de las laderas, razón por la cual la mayor parte de las variables utilizadas se derivan del modelo digital de elevación (MDT). Descripciones completas del método pueden encontrarse en Baeza (1996) y Santacana (2001, 2003), Nuria (2001), entre otras. Aquí se presenta una adaptación a dichos métodos para su aplicación en POMCA.

Para clasificar las variables se requiere analizar el tipo de información que proporcionan, convirtiéndose estas variables en factores de propensividad a la ocurrencia o generación de MM. En el documento de alcances técnicos numeral 1.3.7.2.1, se plantea el uso de las siguientes

variables como mínimo, sin embargo, pueden incluirse otras de acuerdo al nivel de información existente:

- Con base en la cartografía base (variables cuantitativas):
 - Modelo digital del Terreno (MDT)
 - Pendiente
 - Orientación de las laderas
 - Insolación: es una variable derivada del MDT genera mediante el SIG
 - Distancia a vías y carreteras
 - Distancia a cauces
 - Densidad de drenaje
 - Tamaño de la cuenca

- Con base en la cartografía temática:
 - Unidades de rocas y suelos (depósitos) producto de la salida cartográfica de geología básica escala 1:25.000.
 - Cobertura y uso: salida cartográfica reclasificada producto del mapa de cobertura de la tierra
 - Densidad de fracturamiento obtenido a partir de la cartografía geológica básica.

En la Tabla 3-1 se presentan los factores de propensividad a los MM y las variables asociadas.

VARIABLES PRIMARIAS		
GRUPO	VARIABLE	DEFINICIÓN
1. Localización de zonas inestables 2. Cobertura del suelo 3. Geología	1.1 ZON INES	Centroide de la zona de falla
	2.1 VEG	Densidad de vegetación
	3.1 ROC -SUE	Tipo de Cobertura
	3.2 ESPESOR	Presencia o ausencia de depósito de suelo
	3.3 ORIGEN	Espesor del depósito y clasificación del material
	3.4 DENS FRAC	Litología o clasificación del material por su origen
		Densidad de fracturamiento
VARIABLES DERIVADAS DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN		
GRUPO	NOMBRE	DEFINICIÓN
4. Elevación	4.1 MDT	Altura snm
GRUPO	NOMBRE	DEFINICIÓN
5. Geometría de la ladera	5.1 PEND	Pendiente de la ladera (numeral 1.3.3.6 de los alcances técnicos)
	5.2 ORIENT	Orientación o dirección de exposición de la ladera
	5.3 INSOL	Insolación o coeficiente de iluminación de la ladera
	5.4 ACUENCA	Área de cuenca acumulada
	5.5 LONG	Longitud máxima de cuenca acumulada ponderada con la pendiente
	5.6 DENS -DREN	Densidad de los drenajes en la cuenca
	5.7 DIST - CAUCES	Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta el cauce, quebrada o río más cercano
	5.8 DIST - VIAS	Distancia euclidiana desde cada punto del terreno hasta la vía más cercana

Tabla 3-1 Factores de propensividad a la generación de inestabilidad (adaptado de Nuria, 2001, Cardona, 2013)

F.1 Variables Primarias

- **SUSC = ZON INES**

Se trata de la variable que identifica las zonas inestables antiguas y recientes, la cual actúa como variable de agrupación para el análisis estadístico. Es una variable en formato vectorial que utiliza un polígono y/o punto para situar la zona de falla o zona inestable. El polígono representa la zona de falla, la zona de transición y la zona de acumulación de la masa inestabilizada. Esta variable se obtiene tal como expreso en el numeral 3 de este protocolo.

Se usa como variable de agrupación para el análisis estadístico, la que indica la existencia o ausencia de zonas inestables recientes (estabilizadas) y activas, permitiendo establecer las relaciones estadísticas con las variables condicionantes; de esta forma, se muestra las evidencias de procesos recientes ya estabilizados, a partir de los cuales es posible establecer una predicción.

F.2 Variables Categóricas

- **Variable VEG**

La variable VEG hace referencia a la vegetación o cobertura vegetal que cubre el suelo de la zona de estudio. Se considera desde el punto de vista de la densidad de vegetación (aunque también refleja los principales estratos vegetales como el bosque, prado, matorral, etc. y tipo de vegetación). También incluye el uso del suelo puesto que contempla dentro de sus categorías los prados y terrazas antrópicas, núcleos urbanos, explotaciones a cielo abierto y escombreras, de acuerdo a la escala de trabajo. El tipo de cobertura y su densidad influyen en la estabilidad del depósito mediante mecanismos que se pueden clasificar como hidrológicos y mecánicos. Los hidrológicos comprenden la capacidad de infiltración en el suelo, la humedad del suelo, la evapotranspiración, entre otros, mientras que los mecánicos traducen el aumento de resistencia que proporcionan las raíces y la protección frente a la erosión (Geenway, 1987; Mulder, 1991). La vegetación puede influir de manera beneficiosa o adversa en la estabilidad de las laderas, dependiendo de cómo actúen los mecanismos mencionados (Baeza, 1994). Un ejemplo de ello es mientras que las raíces aumentan la resistencia del suelo, al mismo tiempo favorecen una mayor infiltración del agua de lluvia. Se establece generar una ponderación en rangos de 1 a 10 como máximo teniendo en cuenta para dicho análisis la relación de la cobertura con: infiltración y profundidad de protección como mínimo, de acuerdo al tipo de cobertura existente en el área de estudio.

- **Variable ROC SUE**

Esta variable define la presencia o ausencia de un depósito o de suelo en la celda; el tamaño de la celda viene dado de acuerdo a la escala 1:25.000. Es una variable cualitativa obtenida de forma manual constituyendo una cobertura vectorial de polígonos. Es una variable binaria con sólo dos valores: 1 para celdas sin depósito y 2 para celdas donde existe depósito.

- **Variable ESPESOR**

Expresa el espesor del depósito de suelo (depósitos superficiales y regolitos de alteración). Es una variable cualitativa obtenida de forma manual y representada en una cobertura vectorial de polígonos. A esta variable se le deben asignar valores ponderados para dar categorías que vayan desde valores para celdas sin depósitos hasta celda con valores variables de alturas en el depósito; se obtiene del mapa de geología básica.

- **Variable ORIGEN**

Hace referencia al origen y composición de los depósitos de suelo de la zona de estudio. Se considera desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales de superficie. Considera su composición y origen directamente relacionados con las propiedades de resistencia y

deformación de los mismos (suelos residuales, transportados, etc.). Es una variable cualitativa obtenida de forma manual representada mediante una cobertura vectorial de polígonos en SIG. Según la zona la variable puede presentar categorías diferentes que serán ponderadas para el análisis estadístico según la relación entre el origen, la composición y la estabilidad de la ladera. A esta variable se le asignan valores ponderados para dar categorías de acuerdo a su comportamiento mecánico. Para el análisis estadístico estas categorías ponderan en valores numéricos.

La litología de la formación superficial influye en la resistencia del material y la cantidad de agua que puede contener, así como en la magnitud de las presiones que pueden generarse.

- **Variable DENS FRAC**

Expresa la densidad de fracturamiento que afecta los materiales rocosos presentes a partir de una visión general del área en estudio. Es una variable semi cuantitativa obtenida a partir de la información estructural del mapa geológico básico es representada en una cobertura vectorial de polígonos en SIG. A esta variable se le deben asignar valores ponderados para obtener categorías que vayan desde valores para celdas sin fracturas hasta celda densamente fracturadas. Para el análisis estadístico estas categorías se ponderan en valores numéricos.

F.3 Variables obtenidas a partir del MDT

Estas variables son obtenidas a partir de la cartografía base escala 1:25.000. De la resolución y calidad de esta cartografía dependerá la calidad de los datos finales obtenidos. Producto de la cartografía base se obtendrá el modelo digital de elevación (MDT) y a partir de él las diferentes variables asociadas, las cuales se obtienen con la herramienta SIG.

3.3.1.6 Paso G: Análisis estadístico y SIG

G.1 Procedimiento para efectuar el Análisis

El análisis discriminante tiene como objetivo encontrar, dado un número de variables independientes, combinaciones lineales de aquellas variables que mejor separen los grupos de casos estables de los inestables. Esta combinación de variables es conocida como función discriminante y tiene la siguiente forma (Cardona, 2013):

$$d_i = b_0 + b_1 x_{i1} + \dots + b_p x_{ip} \quad (1)$$

Donde

d_i es el valor de la función discriminante para el caso i

p es el número de predictores

b_j es el valor del j -ésimo coeficiente de la función

x_{ij} es el valor del caso i -ésimo para el predictor j

El esquema de procesos para efectuar el análisis estadístico se muestra en la Figura 3 y redefine el procedimiento para efectuar el análisis. Los pasos para efectuar el análisis son los siguientes:

1. Selección de las variables a utilizar (según el tipo de análisis, los mecanismos que se presentan, la disponibilidad de información digital y de campo, etc).
2. Generación del modelo digital de terreno.

3. Reducir al máximo las variables primarias no derivadas del MDT, es decir reducir al máximo las variables categóricas a usar en el modelo.
4. Generar las variables derivadas del MDT.

Los pasos 1 a 4 fueron explicados en los párrafos anteriores y los pasos siguientes se refieren a aplicaciones que se pueden obtener a partir de paquetes estadísticos comerciales.

5. Rasterización de las variables vectoriales (SIG)
6. Ajuste / categorización de las variables (SIG)
7. Obtención de la muestra (SIG): malla con presencia o ausencia de zonas de inestabilidad). Cada celda se caracteriza de acuerdo a las variables definidas.
8. Depuración de los datos mediante el uso de análisis estadísticos (análisis de errores). Dentro de este proceso se ejecutan los siguientes pasos:
 - Chequeo del ajuste a una distribución normal de las variables: se debe verificar que todas las variables se ajustan a una distribución normal mediante un test Kolmogorov – Smirnov (KS); uso de la media y la desviación estándar de la muestra. Se corrige mediante distribuciones lognormales.
 - Chequeo de variables independientes: las variables usadas en análisis discriminante no deben tener un alto grado de dependencia (98%). Los factores de interés son los que tienen asociada una mayor varianza. No son recomendables las dependencias lineales.
 - Realizar un análisis de contraste entre las variables con mayor grado de dependencia : (análisis de la media y análisis múltiple de la varianza), para definir cuales variables excluir del análisis discriminante
 - Selección de las variables independientes de mayor importancia estadística para construir la función discriminante.
 - Creación de variables compuestas: por ejemplo la función Senoidal de la pendiente.
 - Recodificación cuantitativa de las variables cualitativas, calificación de atributos o adopción de pesos o valores numéricos de acuerdo al criterio experto.

Los pasos anteriores permiten seleccionar un número reducido de variables independientes y de gran valor estadístico. Si estas variables tienen una distribución normal multivariante con igual Matriz de varianza – covarianza para cada unidad de evaluación, se aplica entonces el análisis discriminante.

- Construcción y definición de la función discriminante: Se puede utilizar el método por pasos, mediante el cual las variables entran una a una en la función discriminante hasta que se encuentre la función más significativa con el menor número de variables. De este proceso se pueden obtener distintas combinaciones de variables y se selecciona la función discriminante óptima, es decir la que con menor combinación de variables obtenga la mejor clasificación de la población inestable. Luego de este proceso se obtiene la malla regular discriminante, para lo cual se utiliza una herramienta SIG.
- Definición de la susceptibilidad y del mapa de susceptibilidad mediante el uso de herramientas SIG. Los métodos se basan en los valores de la función discriminante.
- Validación de la función y el mapa de susceptibilidad (SIG).

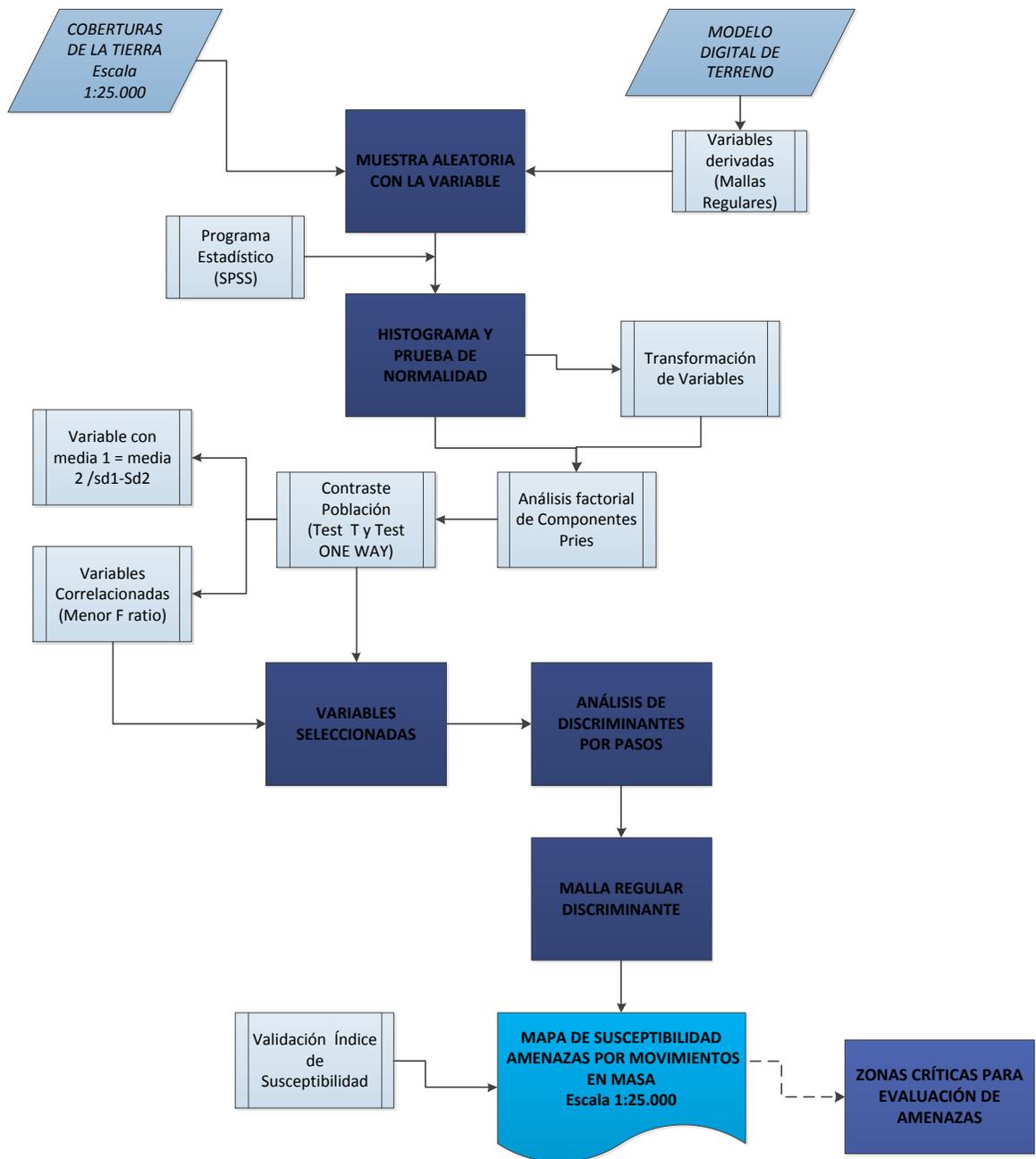


Figura 3-9 Esquema de procesos para la aplicación de métodos estadísticos para la evaluación de la susceptibilidad por MM (tomado de Calderón, et al., 2008)

G.2 Obtención de la Muestra (zonas estables e inestables) utilizada para el Análisis

Para realizar el análisis estadístico se puede usar cualquier paquete estadístico, tal como el SPSS, del cual se requiere extraer una muestra de las zonas de estudio, dado que no es necesario llevar la información de toda el área al programa. Se debe tener en cuenta que el número de deslizamientos, y por tanto de celdas con fallas, será en general muy pequeño en relación con el número total de celdas sin ellas o estables obtenidas a partir de la rasterización de la variable ZON INES. El análisis discriminante trabaja bien cuando las dos poblaciones (celdas estables e

inestables) tienen un tamaño similar en la muestra extraída (Baeza, 1994) de forma que ninguna de las dos poblaciones tenga una mayor influencia en los resultados finales. Por lo tanto se debe obtener una muestra aleatoria de las celdas clasificadas como estables y que el número de esta muestra debe ser muy similar al de celdas con fallas o inestables.

El proceso se puede resumir como sigue:

- Una vez calculada el tamaño total de pixeles de la población se debe extraer un porcentaje de la población total o muestra que deberá ser escogida de forma aleatoria y que sea representativa de la población total. Una fórmula muy extendida que orienta sobre el cálculo del tamaño de la muestra para datos globales es la siguiente:

$$n = \frac{k^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{(e^2 \cdot (N-1)) + k^2 \cdot p \cdot q}$$

N: es el tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados).

k: es una constante que depende del nivel de confianza que asignemos. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5%.

Los valores k más utilizados y sus niveles de confianza son:

K	1,15	1,28	1,44	1,65	1,96	2	2,58
---	------	------	------	------	------	---	------

Nivel de confianza	75%	80%	85%	90%	95%	95,5%	99%
--------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-----

e: es el error muestral deseado. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de ella.

p: es la proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Este dato es generalmente desconocido y se suele suponer que p=q=0.5 que es la opción más segura.

q: es la proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es 1-p.

n: es el tamaño de la muestra (número de encuestas que vamos a hacer).

- Para realizar la extracción de la muestra cada pixel deberá tener un identificador único de tal forma que el método utilizado extraiga uno a uno los individuos, según los porcentajes propuestos.
- Mediante la herramienta SIG se convierten los pixeles en puntos que tienen un identificador único, de esta forma se tienen poblaciones con individuos completamente independientes.
- Una vez hecho esto se, se divide de aleatoria la población en dos grupos, la muestra y el residuo aplicando un porcentaje de extracción., con el uso de herramientas estadísticas en el software SIG utilizado.

G.3 Obtención de la Susceptibilidad y Validación

Tal como se indicó previamente, el mapa de susceptibilidad se obtiene a partir de la función discriminante seleccionada y el uso de herramientas SIG. Los métodos se basan en los valores de la función discriminante. Para establecer los niveles o categorías de susceptibilidad se dividen

los valores de la malla regular discriminante en rangos iguales, en este caso tres. Este criterio aunque presenta ciertas desventajas tales como no tener en cuenta la situación de los centroides de las dos poblaciones en la función, ni los rangos que toman las dos poblaciones en la función, ni el índice discriminante $F = 0$ que limita las poblaciones estable e inestable, tiene la ventaja de que suprime la subjetividad para establecer los rangos (Nuria, 2001, Carrara 1984, Baeza, 1994). Las descripciones de las categorías de susceptibilidad deben estar asociadas a los resultados de la función discriminante y los valores obtenidos para cada variable, como la geometría (pendiente), geología (unidades de roca y suelo), cobertura, etc.:

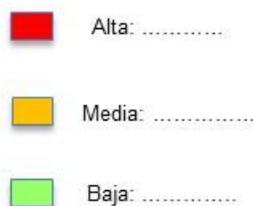


Figura 3-10 Leyenda del mapa de susceptibilidad

El modelo de susceptibilidad deberá ajustarse para lo cual se sigue el siguiente procedimiento general (Cardona, 2013): *“A partir de la muestra de datos inicial, se extraen los valores de susceptibilidad correspondientes a cada modelo. Valores superiores a 0.5 corresponden a terreno con susceptibilidad y valores menores, a terreno estable. Con estos datos es posible establecer matrices que den cuenta de los grados de ajuste del modelo en cuanto a clasificación correcta de deslizamientos (sensibilidad), de zonas estables (rendimiento) y al total de ajuste del modelo (precisión). Con estos tres criterios es posible analizar cuál de los modelos probados es el mejor. Es preferible obtener un modelo con mayor sensibilidad que clasifique correctamente la mayor cantidad de deslizamientos”*. Un procedimiento detallado para efectuar el análisis de confiabilidad detallado se presenta en Nuria (2001).

A partir del mapa de susceptibilidad se seleccionarán para la evaluación de la amenaza por MM las zonas de susceptibilidad alta y media, y otras que se seleccionen de acuerdo a criterios técnicos establecidos entre la interventoría, la supervisión del proyecto y el consultor; a las zonas seleccionadas se les efectuarán los estudios de geología para ingeniería descritos en la Parte I de este protocolo y posteriormente la evaluación de amenaza por MM.

3.3.2 Evaluación de la susceptibilidad a inundaciones

Las inundaciones son un fenómeno de anegamiento temporal de terrenos que no están normalmente cubiertos de agua y sedimentos. Debido a la amplia variedad de definiciones existente en el ámbito técnico, científico y de toma de decisiones, se resume a continuación una síntesis de tipología de inundaciones de acuerdo con UNAL (2013) para dar mayor claridad al tipo que se evaluará en el POMCA.

De acuerdo con el mecanismo de generación, las inundaciones pueden ser: fluviales, pluviales, costeras o de otro tipo. Las **inundaciones fluviales** son inundaciones producidas por el flujo excedente de agua y sedimentos transportados por corrientes (ríos, quebradas), el cual desborda la capacidad de transporte del cauce. Las inundaciones fluviales pueden ser lentas y repentinas. Las inundaciones fluviales lentas son producidas normalmente por precipitaciones prolongadas, pero también pueden ser producidas por huracanes, ciclones tropicales, deshielo, entre otras. Las inundaciones fluviales repentinas son producidas normalmente, por precipitación convectiva, pero también pueden ser producidas por la movilidad de grandes volúmenes de flujos provenientes de glaciares, movimientos en masa, escombros o represas. Las **inundaciones pluviales** se producen

por: la acumulación de agua precipitada en una determinada superficie (generalmente plana o cóncava) sin que esta provenga del desbordamiento del cauce; también puede ser producida por la incapacidad de los sistemas de alcantarillado o canales de desagüe en eventos de lluvia de gran magnitud o intensidad. Las **inundaciones costeras** pueden ser originadas por el aumento en la marea causada por fuertes vientos de tormenta, ciclones tropicales o extra tropicales, o también por las tormentas de mar y los tsunamis. **Otro tipo** de inundaciones puede ser el producido por eventos extraordinarios como: terremotos, erupciones volcánicas, rotura de infraestructuras hidráulicas de almacenamiento de agua.

De acuerdo con la duración, las inundaciones pueden ser: súbitas o de tipo torrencial; lento o de tipo aluvial; y encharcamiento. Las **inundaciones súbitas o de tipo torrencial** suelen producirse en ríos de montaña o en corrientes cuyas áreas de drenaje presentan fuertes pendientes y suelen ser producidas por crecidas repentinas y de corta duración (minutos a horas). Las **inundaciones lentas o de tipo aluvial** se producen por el desbordamiento del cauce anegando áreas planas aledañas al mismo y suelen ser originadas por crecidas progresivas y de larga duración (horas a días, inclusive meses en algunas zonas del país). El fenómeno de **encharcamiento** se origina por la saturación del suelo en zonas moderadamente onduladas a planas con duración de horas a días y en general pueden darse por ausencia o falencia en los sistemas de drenaje de aguas pluviales en áreas urbanizadas.

En este apartado se abordan las inundaciones fluviales lentas. En el siguiente numeral se abordarán las inundaciones fluviales repentinas o avenidas torrenciales con una descripción más en detalle de su diversa tipología. El resto de inundaciones, en caso de existir en la cuenca, deberán ser incluidas en el componente programático para que sean estudiadas en detalle.

De acuerdo con las actividades planteadas en los alcances técnicos se deben seguir los diagramas de flujo que se presentan a continuación, tanto para la evaluación de la susceptibilidad (Figura 3-13) como de la amenaza (Figura 3-21), con el fin de ir desarrollando cada una de las actividades y obtener. Considerando el diagrama de flujo planteado en la Figura 3-13, el inicio del proceso de evaluación de la susceptibilidad para toda la cuenca a escala 1:25,000, se da considerando:

- Integrar los eventos de inundaciones fluviales lentas identificados en el análisis situacional inicial (numeral 1.3.7.1) y descrito al inicio del presente protocolo, en el análisis de eventos históricos para que estos sean validados y sistematizados como se enuncia a continuación.
- Realizar análisis de eventos históricos considerando:
 - Estudio evolutivo del medio fluvial mediante análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos o fotografías aéreas que estén disponibles por el proyecto;
 - Trabajo de campo con comunidades de la zona. Para ello utilizar el formato “Anexo_entrevistas_comunidades_inundaciones” que se indica en la Figura 3-11.
 - Validación de eventos históricos: comparación de diferentes fuentes de información.
 - Jerarquización de la magnitud de eventos validados a partir de variables como: caudales registrados en estaciones más próximas al área o tramo de estudio; magnitud registrada en los formatos de eventos históricos; número de encuestas que aluden a un mismo evento; extensión de la inundación; otras fuentes de datos.
 - Sistematización en el respectivo formato (Ver Figura 3-12 “Anexo_sistematización_eventos_inundaciones” .

FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES			
¿SE HAN PRESENTADO INUNDACIONES EN LA ZONA?			
SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	NS/R <input type="checkbox"/>	
FECHA DE PRESENTACIÓN			
< 5 AÑOS <input type="checkbox"/>		Entre 31 y 50 años <input type="checkbox"/>	
Entre 5 y 15 años <input type="checkbox"/>		Entre 51 y 75 años <input type="checkbox"/>	
Entre 16 y 30 años <input type="checkbox"/>		Mayor a 75 años <input type="checkbox"/>	
¿Conoce la fecha exacta? <input type="checkbox"/>		¿Cuál fué?	
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS?			
Departamento		Municipio o Distrito	
Barrio o Localidad		Vereda o Centro Poblado	
Nombre de la corriente			
Delimitación del lugar			
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA INUNDACIÓN? <input type="checkbox"/>			
Nivel alcanzado:		Duración (horas, días):	
Personas afectadas:		Daños:	
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR :			
ACERCA DE LA FECHA:			
Segura <input type="checkbox"/>	Con Dudas <input type="checkbox"/>		
ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN:			
Segura <input type="checkbox"/>	Con Dudas <input type="checkbox"/>		
LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES:			
Fiable <input type="checkbox"/>	Poco Fiable <input type="checkbox"/>	Nada Fiable <input type="checkbox"/>	
JUSTIFICACIÓN :			
PERSONA ENCUESTADA			
Anónimo <input type="checkbox"/>		PERSONA QUE ENCUESTA	
Nombre y Apellidos		Nombre y Apellidos:	
Dirección		Responsabilidad:	
Teléfono			
EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA			
15-20 <input type="checkbox"/>		41-50 <input type="checkbox"/>	
21-30 <input type="checkbox"/>		51-75 <input type="checkbox"/>	
31-40 <input type="checkbox"/>		76-100 <input type="checkbox"/>	
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA:			
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA :			

Figura 3-11 Anexo_entrevistas_comunidades_inundaciones

FORMATO PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS			
FUENTE			
Análisis multitemporal	<input type="checkbox"/>	Encuesta	<input type="checkbox"/>
Hemeroteca	<input type="checkbox"/>	Estudios/investigaciones	<input type="checkbox"/>
Otro	<input type="checkbox"/>	¿Cuál?	
DATOS SOBRE EL EVENTO			
Fecha			
Subzona hidrográfica		Municipio/distrito	
Nivel subsiguiente		Barrio/Localidad	
Cuerpo de agua		Vereda/Centro poblado	
MECANISMO DE FORMACIÓN DE LA INUNDACIÓN			
Desbordamiento	<input type="checkbox"/>	Oleaje/Pleamar	<input type="checkbox"/>
Encharcamiento	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>
Insuficiencia del sistema de drenaje	<input type="checkbox"/>	¿Cuál?	<input type="checkbox"/>
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS			
Precipitación	<input type="checkbox"/>	Caudal	<input type="checkbox"/>
Estación		Estación	
Magnitud (mm)		Magnitud (m ³ /s)	
Duración (hrs)		Duración (hrs)	
CLASIFICACIÓN DEL EVENTO RESPECTO A OTROS EVENTOS EN EL MISMO LUGAR			
El más grande	<input type="checkbox"/>	Mayor que el de:	
De los más grandes	<input type="checkbox"/>	Menor que el de:	
Recurrencia media	<input type="checkbox"/>	Similar al de:	
Periódico	<input type="checkbox"/>	Como el de los años:	
LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA			
Coordenadas Punto			
Coordenadas Polígono			
Indicaciones de lugares			
Ocupación de la unidad inundable respecto a la geoforma			
<10%	<input type="checkbox"/>	10-25%	<input type="checkbox"/>
26-50%	<input type="checkbox"/>	51-75%	<input type="checkbox"/>
76-100%	<input type="checkbox"/>		
CARACTERÍSTICAS DE LA MAGNITUD DEL EVENTO			
a) Profundidad alcanzada por la inundación			
<20cm	<input type="checkbox"/>	76-100cm	<input type="checkbox"/>
20-50cm	<input type="checkbox"/>	101-200cms	<input type="checkbox"/>
51-75cm	<input type="checkbox"/>	>2cms	<input type="checkbox"/>
b) Velocidad			
Rápida	<input type="checkbox"/>	Lenta	<input type="checkbox"/>
c) Características del material depositado:			
d) Descripción de las afectaciones y daños producidos por el evento			
Número de vidas perdidas:		Pérdidas económicas:	
Número de damnificados:		Impactos ambientales:	
Sectores económicos afectados:			

Figura 3-12 Anexo sistematización eventos inundaciones

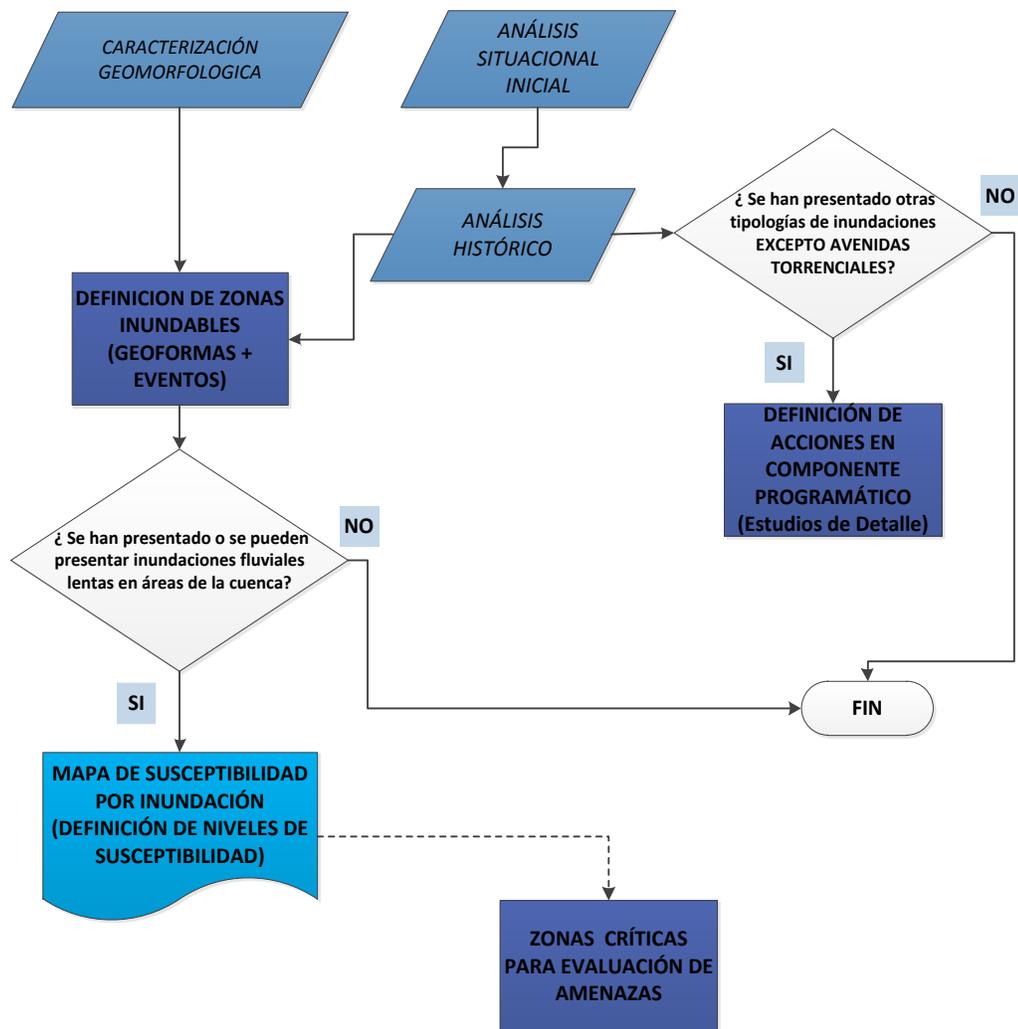


Figura 3-13 Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por inundaciones fluviales lentas

- Realizar análisis geomorfológico considerando las salidas cartográficas de la temática y que se describen en la parte I, de este protocolo. De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica establecida para el POMCA que define tres niveles jerárquicos para el entendimiento de la evolución paisajística de la cuenca, describir los “sistema de terreno” que tengan incidencia en el área, con énfasis en el paisaje de valle en donde se deben considerar las “Unidades de terreno o unidades geomorfológicas” clasificadas como subunidades descritas en el protocolo de la temática. Además, considerar los procesos morfodinámicos identificado en la componente geomorfología. Por ejemplo, tener en cuenta las siguientes subunidades geomorfológicas Carvajal (2011) o formas del terreno Zinck (2012) asociadas a procesos de inundación identificadas a la escala de trabajo.
 - De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Carvajal (2011) considerar principalmente la región geomorfológica: Ambiente Fluvial con sus respectivas unidades y subunidades geomorfológicas (ej. Terrazas Fluviales, Deltas Desborde, Deltas Lagunares, Barras).
 - De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Zinck (2012) considerar paisajes geomorfológicos de Valle y Planicie, tipos de relieve y

modelado principalmente deposicional y erosional, y geoformas aluviales (ej. albardón de orilla, napa de desborde, cubeta de desborde, cubeta de decantación) formando terrazas y llanuras de inundación.

- A partir de los anteriores pasos se definen unidades inundables desde: los puntos o polígonos identificados en el análisis de eventos históricos y desde el análisis geomorfológico (identificación de geoformas tales como: valles aluviales, planos de inundación, terrazas, albardones, meandros, deltas de desborde, entre otros). Los puntos o polígonos de eventos históricos y las geoformas asociadas a procesos de inundación fluvial lenta se sintetizan en una salida cartográfica intermedia para delimitar áreas susceptibles de inundarse.
- Cuando el análisis de eventos históricos refleja la existencia de otra tipología de inundaciones (pluviales, costeras u otras), dicho fenómeno deberá ser estudiado en detalle y por lo tanto deberá ser propuesto en el componente programático del POMCA.
- Las áreas identificadas como susceptibles de inundarse son consideradas para la definición de tres grados de susceptibilidad a partir de los siguientes criterios:
 - Susceptibilidad Alta: Geoformas que denotan procesos activos o inundaciones periódicas (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras) y áreas en donde coincidan dos o más puntos o polígonos de eventos históricos.
 - Susceptibilidad Media: Geoformas que denotan procesos intermitentes (ej. terrazas medias, meandros, entre otras), y áreas en donde al menos un punto o polígonos de evento histórico haya sido identificada.
 - Susceptibilidad Baja: Geoformas que denotan procesos antiguos (ej. terrazas altas).
- La definición de áreas críticas sujetas a evaluación de amenaza se realiza considerando las categorías de susceptibilidad alta y media, tal como se describió previamente.

3.3.3 Evaluación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales

Las avenidas torrenciales se caracterizan por: su carácter súbito o impredecible; la alta velocidad y corta duración que desarrollan; gran cantidad de sedimento en volumen con relación al flujo de agua, es decir es un flujo denso, incluido material de arrastre de gran tamaño (rocas, troncos); frecuencia de recurrencia baja para una misma localización comparado con las inundaciones fluviales lentas; en general no existe una llanura de inundación bien establecida debido a que la distribución espacial y temporal suele ser errática, los desbordamientos son extensos y violentos, los procesos de erosión y sedimentación son bruscos, en ocasiones se dan procesos de profundización de cauce dentro de una misma zona de depósito de eventos previos. Los eventos torrenciales abarcan un enorme rango de formas de drenaje que van desde una pequeña cárcava que aparece espontáneamente en una ladera, a un gigantesco abanico aluvial del orden de decenas de kilómetros (Garzón y otros, 2009). De acuerdo con UNAL (2013) los principales factores que favorecen la ocurrencia de este tipo de fenómeno son:

Tamaño de la cuenca: Las avenidas torrenciales se presentan en cuencas pequeñas, de entre 0,3 y 150 km², para que ésta pueda ser afectada por una sola lluvia al mismo tiempo, puesto que para áreas más grandes la probabilidad es muy baja de que sean cubiertas en su totalidad por un solo aguacero (Riedl y Zachar, 1984 en Universidad Nacional, 2009). Por su parte González y otros (2004), amplían el rango hasta cuencas con áreas de 300 km².

Forma de la cuenca: Cuencas con formas circulares presentan mayores posibilidades de generar avenidas torrenciales que cuencas alargadas. La causa es que las líneas de flujo de escorrentía siguen una trayectoria corta y son más sincrónicas en cuencas con forma circular. La relación de circularidad es un indicador morfométrico de cuencas con perímetros aproximadamente circulares.

Pendiente: La pendiente de la cuenca y del perfil longitudinal del cauce, influyen en la velocidad de la escorrentía y la cantidad de infiltración. Es por ello que las cuencas de mayor pendiente media y con cambios drásticos en la gradiente en diferentes segmentos del cauce principal o sus tributarios, son más susceptibles a la ocurrencia de avenidas torrenciales.

Geomorfología: Las avenidas torrenciales se generan en zonas montañosas, escarpadas y de piedemonte, en donde se configuren notorios cambios de la pendiente del cauce. En Colombia las regiones más propensas sufrir este fenómeno se hallan en la región Andina, en las estribaciones de la Sierra Nevada de Santa Marta y en la parte media del Piedemonte Llanero. A nivel más local, la torrencialidad es común en frentes donde predomina la erosión sobre la sedimentación, en cañones en “V” y morfologías que configuren relieves abruptos.

Densidad de drenaje: Una red densa de drenaje contribuye significativamente a la reducción en el tiempo de concentración, lo que significa un rápido escurrimiento y formación de crecientes súbitas en poco tiempo.

Cantidad y aporte de sedimentos: Para la generación de un flujo torrencial, es indispensable una combinación de materiales gruesos heterométricos y finos especialmente arenas y limos. Por esta razón el tipo de material geológico superficial es determinante en la ocurrencia y tipo de fenómeno. Por ejemplo, en cuencas de alta pendiente modeladas en suelos residuales, compuestos por materiales finos, los fenómenos comunes no son las avenidas torrenciales sino los flujos de lodos como el caso de Útica en Cundinamarca.

Permeabilidad y humedad del suelo: La humedad del suelo es considerado como el factor importante en la generación de avenidas, especialmente en zonas húmedas con suelos profundos. Si el suelo está saturado durante una precipitación, no permitirá infiltración adicional y toda la lluvia se convierte en escorrentía. Por otro en zonas secas se tiene una tasa específica a la que puede absorberse la lluvia, llamada la capacidad de infiltración. Si el índice de pluviosidad excede la capacidad de infiltración, conduce a una producción rápida y eficiente de escorrentía superficial. La tasa de infiltración también se ve afectada por la permeabilidad del suelo (University Corporation for Atmospheric Research, 2010)

Susceptibilidad a movimientos en masa: Cuencas con alta probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa favorecen el aporte de sedimentos, árboles y demás desechos, así como formación de represamientos en los cauces.

Alta precipitación: Cuencas localizadas en climas húmedos a muy húmedos, donde los aguaceros son frecuentes y presentan alta intensidad y duración, son propensas a la generación de avenidas torrenciales.

La clasificación de los flujos densos y los depósitos es bastante variada en función de la disciplina desde la que se analice, principalmente desde la hidráulica o desde la geología, donde muchas veces los enfoques y definiciones son muchas veces contrapuestos (Mainali y Rajaratman, 1994). Desde la geología se hace hincapié en los productos (sedimentos, depósitos) a los que conducen estos procesos, mientras que desde la hidráulica se ha puesto mayor atención a las cuestiones hidrológicas y reológicas, es decir, al funcionamiento de estos mecanismos de transporte en masa (Brea y otros, 2005). Por ejemplo, Costa (1988) clasifica los tipos de flujos y depósitos de acuerdo con la magnitud de la huella que deja: a) de escombros: bloques decimétricos y métricos en una matriz fina; b) de lodos: guijarros en una matriz fina; c) hiperconcentrados: gravas finas y arenas en una matriz limo-arcillosa; d) turbulentos: bloques y clastos en contactos tangenciales entre sí, limos de desborde en los de menor contenido de sólidos, se pueden dar por crecientes con bajo contenido de sólidos. Coussot (1997) utiliza como parámetros para la clasificación de avenidas, flujos de barro, flujo hiperconcentrado, flujos de detritos y caídas de rocas, la relación de los parámetros concentración en volumen del sólido total y el ratio entre fracción fina y fracción sólida total. Suarez (2001) presenta una clasificación en función del perfil del tipo de flujo relacionando la altura y la distancia respecto al pie del flujo para definir si el flujo es de detritos, hiperconcentrado o

de lodos. Finalmente, Caballero (2011) menciona que desde el punto de vista de la geomorfología, una avenida torrencial es un tipo de movimiento en masa caracterizado por el flujo rápido de una mezcla caótica de sólidos y agua que pueden desplazarse a grandes velocidades, y que una clasificación de éstas podría darse como flujos hiperconcentrados, flujos de lodo, flujos de escombros y transición entre éstos.

Desde la Geología por ejemplo, los movimientos de remoción en masa han sido considerados como el desplazamiento coherente de detritos bajo su propio peso (Allen, 1985). De acuerdo con la clasificación de Sharpe (1960), los movimientos de remoción en masa subaéreos pueden ser: deslizamientos (desmoronamientos, deslizamientos y caídas de detritos); flujos en masa (lentos o imperceptibles; rápidos o perceptibles -flujos de tierra, flujos de barro, avalanchas de detrito-); subsidencia. Sin embargo, más recientemente se viene dando una clasificación de los flujos en masa¹ como: flujos gravitacionales de sedimentos (Middleton y Hampton, 1973, 1978; Middleton y Southard, 1984); flujos de sedimentos inducidos por la gravedad (McLane, 1995); flujos gravitacionales (Lewis y McConchie, 1994). En Brea y otros (2005) puede verse una clasificación y descripción que se da a los flujos densos cohesivos desde la geología como: flujos de detritos; flujos de barro; flujos de tierra; avalanchas de detritos de acuerdo con la clasificación que se resume en la Figura 3-14. Sin embargo para los estudios de POMCA y específicamente en el componente de movimientos en masa del presente protocolo.

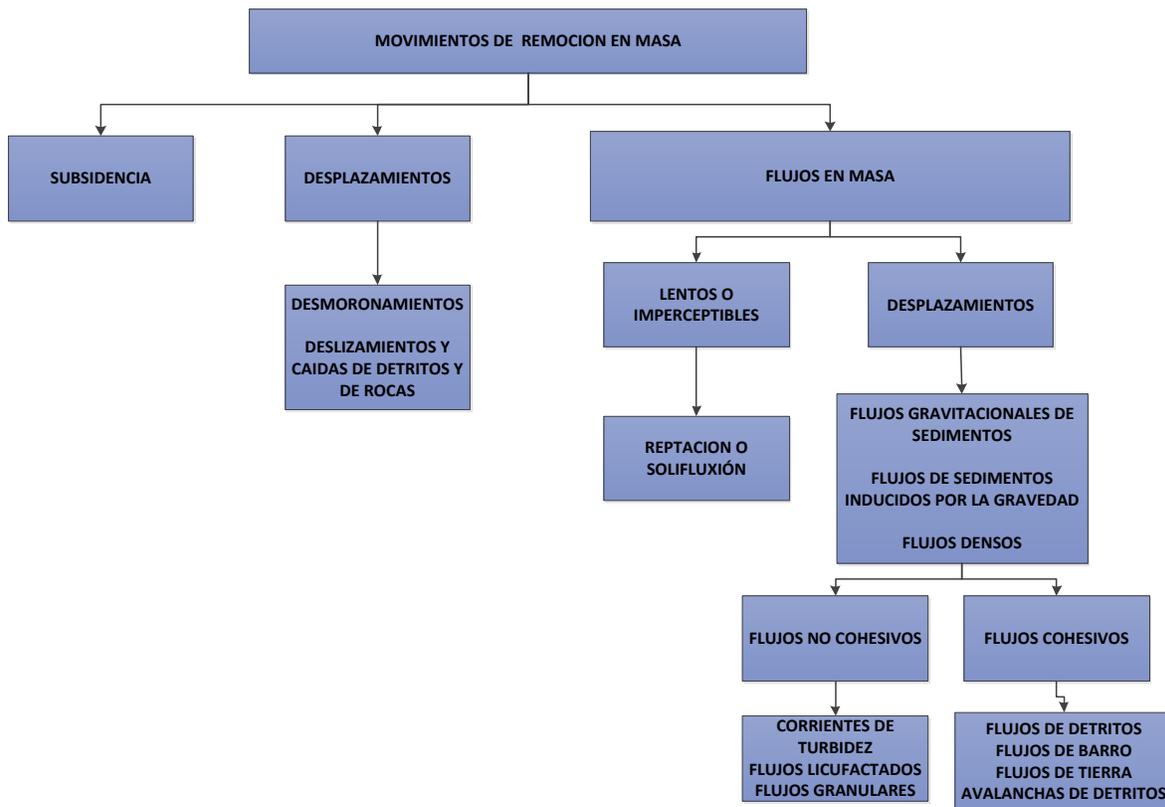


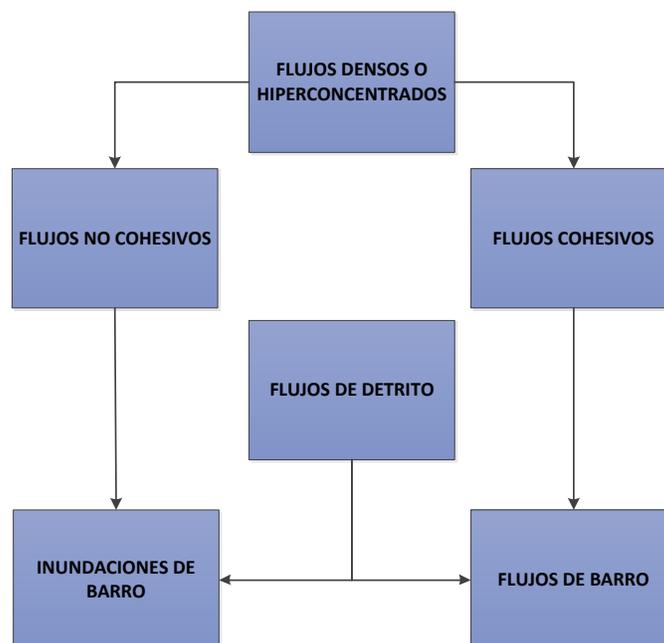
Figura 3-14 Ejemplo de una clasificación de movimientos en masa volumétrica desde la geología (Fuente: Adaptado de Brea y otros, 2005)

¹ El desplazamiento del fluido es producido por el efecto de la gravedad que actúa sobre las partículas sedimentarias. La masa se mueve debido al efecto directo de la aceleración gravitacional sobre las partículas. Dicho proceso puede darse en cualquier ambiente sedimentario con al menos la existencia de los siguientes factores: pendiente, acumulación inestable de sedimentos y un mecanismo detonante.

Desde la hidráulica, la clasificación se da en el marco de los flujos hiperconcentrados de sedimentos, entendidos éstos como la presencia de grandes cantidades de partículas de sedimentos influye notablemente cambiando las propiedades del fluido y el comportamiento del flujo (Wan y Wang, 1994). Las tipologías están en función de los procesos físicos involucrados y la reología de la mezcla agua-sedimento y pueden ser de acuerdo con Julien y León (2000) los siguientes: inundaciones o crecidas de barro (concentración de sedimento en volumen –CV- menor al 40%); flujos de barro (CV entre 45-55%); flujos de detritos (mezcla de clastos – grandes piedras, troncos-). Los análisis reológicos involucran cuatro tipos de tensiones de corte (Julien y León, 2000): tensión de cedencia (función de la cohesión); tensión viscosa (función de la viscosidad de la mezcla); tensión turbulenta del fluido (para bajas concentraciones de sedimento); tensión dispersiva (función de la colisión entre las partículas más grandes). A partir de lo anterior, Julien y León (2000) proponen unos valores guía para clasificar los flujos densos o hiperconcentrados considerando los parámetros adimensionales Dv (relación dispersiva-viscosa) y Td (relación turbulenta-dispersiva):

- Inundaciones de barro ocurren cuando son dominantes las tensiones turbulentas, con $Dv^{*2} > 400$ y $Td^{*3} > 1$
- Flujos de barro ocurren cuando son dominantes las tensiones viscosas y de cedencia, con $Dv^{*} < 30$
- Flujos de detritos o flujos granuales son esperados cuando son dominantes las tensiones dispersivas, con $Dv^{*} > 400$ y $Td^{*} < 1$
- Un régimen de transición existente entre el rango del parámetro $30 < Dv < 400$

Desde el punto de vista de la hidráulica, los flujos densos podrían resumirse entonces como se muestra en la Figura 10.



² Para grandes Dv^{*} , el flujo es dispersivo, para valores pequeños el flujo es viscoso.

³ Para grandes Td^{*} , el flujo es turbulento, para valores pequeños el flujo es dispersivo.

Figura 3-15 Clasificación de flujos densos o hiperconcentrados desde la hidráulica (Adaptado desde Brea 2006)

Indiferente de la clasificación de la tipología de flujos densos, lo importante para los POMCA es la identificación y caracterización de los eventos históricos o de las áreas del territorio susceptibles de presentar esta tipología de fenómenos, principalmente geoformas como abanicos torrenciales, fondos de valles, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, y zonas de avulsión o pérdida de confinamiento, además de canales por donde se puedan transportar flujos desde movimientos en masa. Considerar, al menos, la propuesta que se desarrolla a continuación para la evaluación de la susceptibilidad en toda la cuenca, la definición de áreas críticas y la evaluación de la amenaza para estas últimas.

De acuerdo con las actividades planteadas en los alcances técnicos se deben seguir los diagramas de flujo que se presentan a continuación, tanto para la evaluación de la susceptibilidad (Figura 12) como de la amenaza, con el fin de ir desarrollando cada una de las actividades que se describen.

Considerando el diagrama de flujo planteado en la Figura 3-16, el inicio del proceso de evaluación de la susceptibilidad para toda la cuenca a escala 1:25,000, se da considerando los ítems que se describen a continuación.

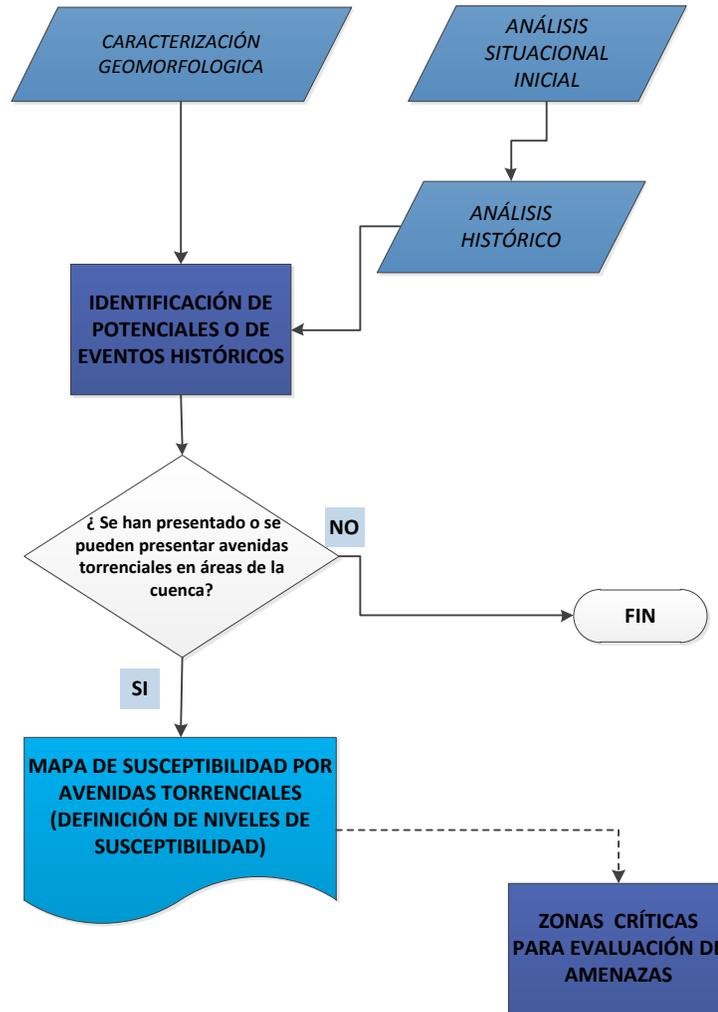


Figura 3-16 Diagrama de flujo para la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales

- Integrar los eventos de avenidas torrenciales identificados en el análisis situacional inicial (numeral 1.3.7.1) y descrito al inicio del presente protocolo, en el análisis de eventos históricos para que estos sean validados y sistematizados como se enuncia a continuación.
- Realizar análisis de eventos históricos considerando:
 - Análisis multitemporal de imágenes de sensores remotos o fotografías aéreas que estén disponibles por el proyecto;
 - Trabajo de campo con comunidades de la zona. Para ello utilizar el formato “Anexo_entrevistas_comunidades_avenidas” que se adjunta al presente documento (ver Figura 3-17).
 - Validación de eventos históricos: comparación de diferentes fuentes de información.
 - Jerarquización de la magnitud de eventos validados a partir de variables como: precipitación y caudales registrados en estaciones más próximas al área o tramo de estudio; magnitud registrada del sismo o del movimiento en masa; magnitud registrada en los formatos de eventos históricos; número de encuestas que aluden a un mismo evento; extensión del área afectada; otras fuentes de datos.
 - Sistematización en el respectivo formato anexo (Ver Figura 3-18 “Anexo_sistematización_eventos_avenidas”) que se adjunta al presente documento.
- Realizar análisis geomorfológico considerando las salidas cartográficas de la temática y que se describen en el respectivo apartado del presente protocolo. Tener en cuenta las siguientes subunidades geomorfológicas o formas del terreno asociadas a procesos de avenidas torrenciales:
 - De acuerdo con la salida cartográfica geomorfológica basada en el método de Zinck (2012) considerar formas del terreno como: abanicos, fondos de valle, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, comparables con la unidad geomorfológica tipo abanico aluvial y sus respectivas subunidades geomorfológicas de la metodología de Carvajal (2011), que son equivalentes a los “Sistemas de Terreno” y “Unidades de terreno” definidos para la jerarquía del POMCA.
- Estimar el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) de acuerdo con los lineamientos definidos por el IDEAM para la escala de trabajo (IDEAM, 2013) el cual tiene como entrada el *Índice Morfométrico de Torrencialidad* (obtenidos desde el insumo de caracterización geomorfológica de la fase de diagnóstico) e *Índice de Variabilidad* (obtenido desde la curva de duración de caudales obtenida en la caracterización hidrológica de la fase de diagnóstico). En el protocolo de estimación de indicadores se presenta un resumen del procedimiento de cálculo de este indicador.
- Identificar y delimitar zonas susceptibles de ser afectadas por avenidas torrenciales o donde han ocurrido dichos eventos. Considerar los siguientes criterios:
 - Tener en cuenta al menos los siguientes contextos genéricos asociados a la actividad torrencial: considerar formas del terreno (Zinck, 2012) como abanicos, fondos de valle, flujo de tierra, flujo de detritos, flujo de lodo, Alud (lava) torrencial, comparables con la unidad geomorfológica tipo abanico aluvial y sus respectivas subunidades geomorfológicas de la metodología de Carvajal (2011). Incluir igualmente zonas de avulsión o de pérdida de confinamiento
 - Áreas donde el IVET tiene la categorías de torrencialidad de media, alta y muy alta.
 - Áreas donde se ha identificado uno o más eventos históricos.

- Las zonas críticas para evaluar la amenaza son las identificadas en el anterior paso.

FORMATO PARA ENCUESTA CON COMUNIDADES AVENIDAS TORRENCIALES			
¿SE HAN PRESENTADO AVENIDAS TORRENCIALES EN LA ZONA?			
SI	<input type="checkbox"/>	NO	<input type="checkbox"/>
		NS/R	<input type="checkbox"/>
FECHA DE PRESENTACIÓN			
< 5 AÑOS	<input type="checkbox"/>	Entre 31 y 50 años	<input type="checkbox"/>
Entre 5 y 15 años	<input type="checkbox"/>	Entre 51 y 75 años	<input type="checkbox"/>
Entre 16 y 30 años	<input type="checkbox"/>	Mayor a 75 años	<input type="checkbox"/>
¿Conoce la fecha exacta?	<input type="checkbox"/>	¿Cuál fué?	_____
¿QUÉ LUGARES HAN SIDO AFECTADOS?			
Departamento		Municipio o Distrito	
Barrio o Localidad		Vereda o Centro Poblado	
Nombre de la corriente			
Delimitación del lugar			
¿DESCRIBA LA MAGNITUD Y EFECTOS DE LA AVENIDA TORRENCIAL? <input type="checkbox"/>			
Nivel alcanzado:		Duración (horas, días):	
Tipo Depósitos (rocas, árboles, barro)			
Tamaño de los depósitos:			
Personas afectadas:		Daños:	
¿La avenida coincidió con un evento de?			
Precipitación	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>
Movimiento en masa	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>
¿Cuál?	_____		
LA PERSONA ENCUESTADA MANIFIESTA ESTAR :			
ACERCA DE LA FECHA:			
Segura	<input type="checkbox"/>	Con Dudas	<input type="checkbox"/>
ACERCA DE LA DESCRIPCIÓN:			
Segura	<input type="checkbox"/>	Con Dudas	<input type="checkbox"/>
LA PERSONA QUE ENCUESTA, VALORA QUE LA ENCUESTA ES:			
Fiable	<input type="checkbox"/>	Poco Fiable	<input type="checkbox"/>
		Nada Fiable	<input type="checkbox"/>
JUSTIFICACIÓN :			
PERSONA ENCUESTADA			
Anónimo	<input type="checkbox"/>	PERSONA QUE ENCUESTA	
Nombre y Apellidos		Nombre y Apellidos:	
Dirección		Responsabilidad:	
Teléfono			
EDAD APROXIMADA DE LA PERSONA ENCUESTADA			
15-20	<input type="checkbox"/>	41-50	<input type="checkbox"/>
21-30	<input type="checkbox"/>	51-75	<input type="checkbox"/>
31-40	<input type="checkbox"/>	76-100	<input type="checkbox"/>
OTRA INFORMACIÓN RELEVANTE BRINDADA POR LA PERSONA ENCUESTADA:			
OBSERVACIONES DE LA PERSONA QUE ENCUESTA :			

Figura 3-17 Anexo entrevistas comunidades avenidas

FORMATO PARA SISTEMATIZACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS AVENIDAS TORRENCIALES			
FUENTE			
Análisis multitemporal (evidencias)	<input type="checkbox"/>	Encuesta	<input type="checkbox"/>
Hemeroteca	<input type="checkbox"/>	Estudios/investigaciones	<input type="checkbox"/>
Otro	<input type="checkbox"/>	¿Cuál? _____	
DATOS SOBRE EL EVENTO			
Fecha			
Subzona hidrográfica	Municipio/distrito		
Nivel subsiguiente	Barrio/Localidad		
Cuerpo de agua	Vereda/Centro poblado		
DETONANTE DE LA AVENIDA TORRENCIAL			
Precipitación	<input type="checkbox"/>	Sismo	<input type="checkbox"/>
Movimiento en masa	<input type="checkbox"/>	Otro	<input type="checkbox"/>
¿Cuál? _____			
REGISTROS HIDROMETEOROLÓGICOS			
Precipitación	<input type="checkbox"/>	Caudal	<input type="checkbox"/>
Estación	Estación		
Magnitud (mm)	Magnitud (m ³ /s)		
Duración (hrs)	Duración (hrs)		
REGISTROS SISMICOS			
Acelerógrafo	Aceleración (m ² /s)		
Duración (s)			
CLASIFICACIÓN DEL EVENTO RESPECTO A OTROS EVENTOS EN EL MISMO LUGAR			
El más grande	<input type="checkbox"/>	Mayor que el de:	
De los más grandes	<input type="checkbox"/>	Menor que el de:	
Recurrencia media	<input type="checkbox"/>	Similar al de:	
Periódico	<input type="checkbox"/>	Como el de los años:	
LOCALIZACIÓN ESPECÍFICA			
Coordenadas Punto			
Coordenadas Polígono			
Indicaciones de lugares			
Ocupación de la unidad potencialmente afectable respecto a la geoforma			
<10%	<input type="checkbox"/>	10-25%	<input type="checkbox"/>
26-50%	<input type="checkbox"/>	51-75%	<input type="checkbox"/>
76-100%	<input type="checkbox"/>		
CARACTERÍSTICAS DE LA MAGNITUD DEL EVENTO			
a) Profundidad alcanzada por el flujo de barro o derrubios			
<20cm	<input type="checkbox"/>	76-100cm	<input type="checkbox"/>
20-50cm	<input type="checkbox"/>	101-200cms	<input type="checkbox"/>
51-75cm	<input type="checkbox"/>	>2cms	<input type="checkbox"/>
b) Características de las rocas depositadas:			
Descubiertas	<input type="checkbox"/>	Semidescubiertas	<input type="checkbox"/>
Casi cubierta en totalidad	<input type="checkbox"/>		
c) Color de la cubierta de líquenes:			
Ninguno	<input type="checkbox"/>	Negro	<input type="checkbox"/>
Negros-Blancos	<input type="checkbox"/>	Negros-Blancos-Verdes	<input type="checkbox"/>
d) Estado de los clastos			
Sin meteorizar	<input type="checkbox"/>	En meteorización	<input type="checkbox"/>
Meteorizados	<input type="checkbox"/>		
e) Espesor del suelo:			
0-10 cm	<input type="checkbox"/>	11-20 cm	<input type="checkbox"/>
> 20cm	<input type="checkbox"/>		
f) Incisión de la ladera:			
Angulada	<input type="checkbox"/>	Semiangulada	<input type="checkbox"/>
Redondeada	<input type="checkbox"/>		
d) Descripción de las afectaciones y daños producidos por el evento			
Número de vidas perdidas:	Pérdidas económicas:		
Número de damnificados:	Impactos ambientales:		
Sectores económicos afectados:			

Figura 3-18 Anexo sistematización eventos avenidas torrenciales

3.4 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA (3)

Los métodos y herramientas establecidos para la evaluación y zonificación de la amenaza así como sus escenarios varían de acuerdo al nivel de información existente y la escala de trabajo requerida para el alcance de los objetivos propuestos. Se aclara nuevamente que la evaluación de la amenaza para los eventos en evaluación (movimientos en masa, inundación, avenidas torrenciales e incendios forestales) solo se efectuará para las zonas definidas como críticas, descripción efectuada en los apartes previos. Enseguida se presenta una descripción de los diferentes métodos de evaluación de la amenaza de acuerdo al evento en estudio.

3.4.1 Evaluación de la amenaza por MM

De acuerdo a lo descrito en los alcances técnicos en el Numeral 1.3.7.2.1 aparte 2, en el tema de la evaluación de la amenaza a MM se establece: *“Tomando en consideración las zonas establecidas como de susceptibilidad alta y media y los levantamientos de geología para ingeniería a escala 1:25.000 en áreas críticas, se establecerá la evaluación de la amenaza por MM en la cuenca, siendo como mínimo requerido el uso de métodos determinísticos para dicho análisis con base en el Factor de seguridad”*. Se describe enseguida el procedimiento planteado para el objetivo propuesto e igualmente al final de este protocolo se presentan los datos bibliográficos detallados que se referencian.

La

Figura 3-19 y Figura 3-20, muestran el mapa conceptual para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa (MM). Enseguida se hace una descripción de los pasos principales para la aplicación del método definido en los alcances técnicos.

Con base en lo expuesto por Alzate (2012) y modificado para esta propuesta, la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se desarrolla a través de los siguientes pasos:

- Determinación de los parámetros geológico – geotécnicos de las áreas en estudio (A).
- Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: niveles freáticos (B) y amplificación sísmica (C).
- Cálculo del Factor de Seguridad (FS) para las áreas en evaluación (D).
- Generación del mapa de amenaza en función de probabilidades, teniendo en cuenta la afectación del material debido a la ocurrencia de sismos y al cambio del volumen de infiltración de aguas en los taludes (agentes detonantes) (E).
- Validación y calibración de la amenaza con las áreas dinámicas por procesos naturales y antrópicos existentes (F).
- Determinación de incertidumbres en la producción del mapa de amenaza

La cuantificación del factor de seguridad tiene en cuenta las fuerzas resistentes al corte y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla. Entre menor sea el factor de seguridad mayor será el potencial de inestabilidad del talud analizado (Alzate, 2012). Un análisis de estabilidad implica básicamente hacer un estimativo del modelo de falla y de la resistencia al corte; el modelo de falla requiere la predicción de las cargas que serán resistidas y el efecto del agua. El estimativo del agua requiere consideración de las fuerzas de filtración y pesos unitarios saturados y efectivos. La forma del modelo de falla suele ser definida aproximadamente.

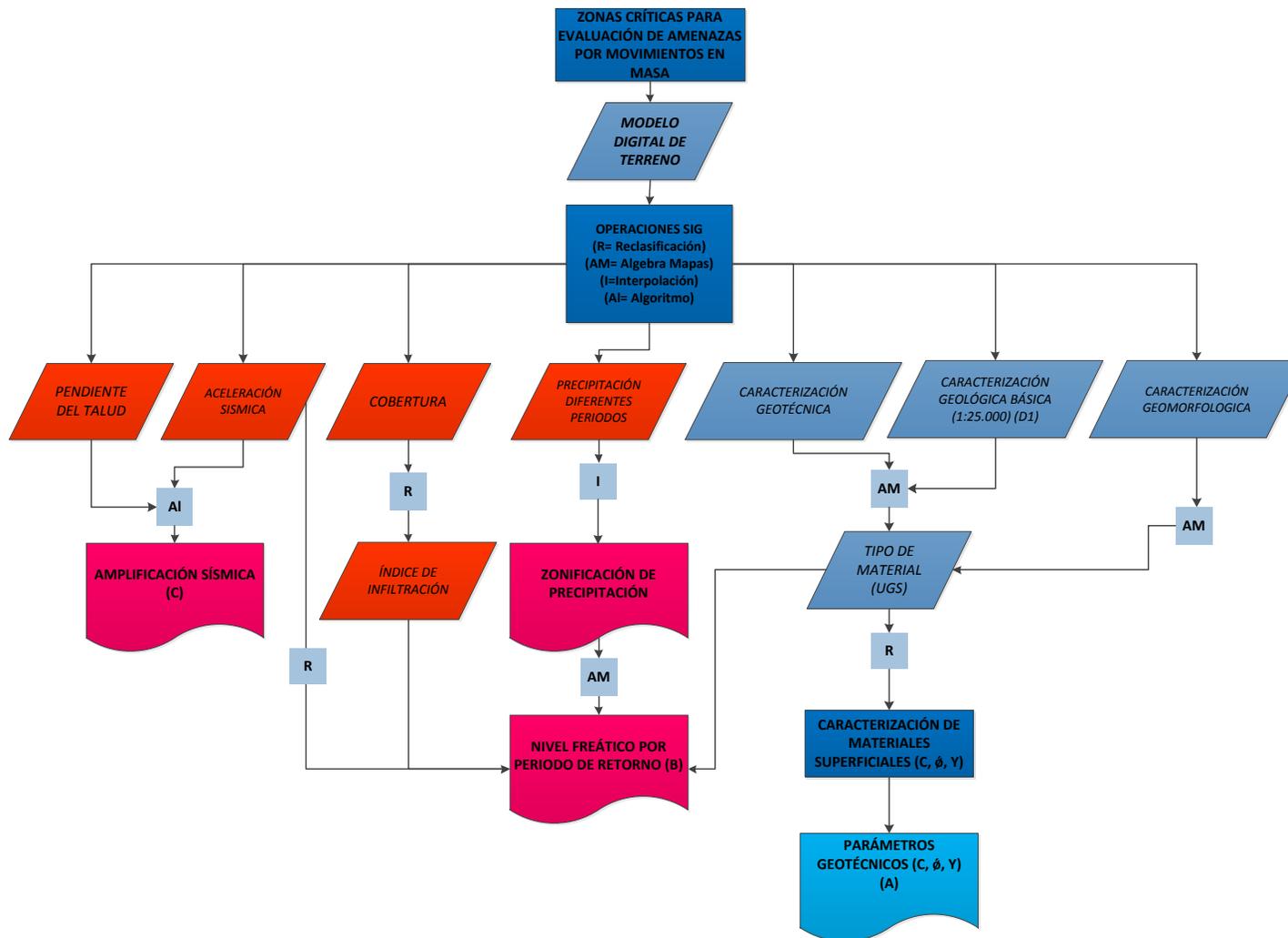


Figura 3-19 Mapa conceptual para la evaluación de la amenaza por MM en POMCA (parte 1)

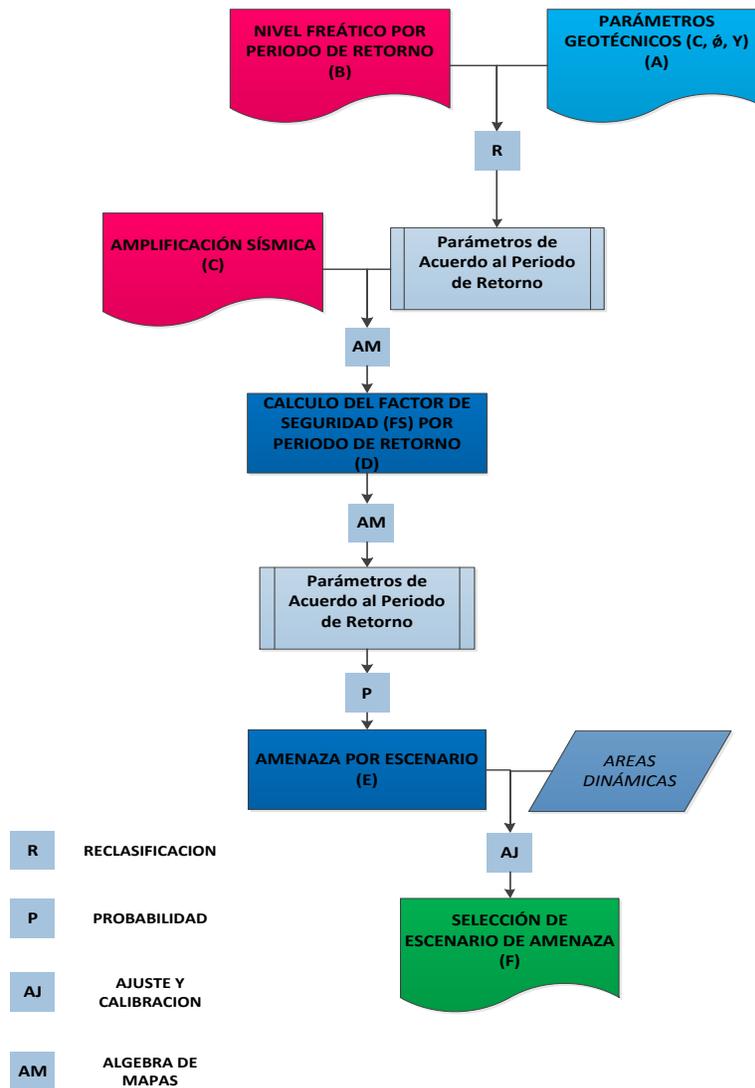


Figura 3-20 Mapa conceptual para la evaluación de la amenaza por MM en POMCA (parte 2)

Se define como método el de talud infinito para la totalidad de las áreas en evaluación de amenazas, ya que de acuerdo a lo establecido por diferentes autores la determinación del FS mediante la aplicación del método de talud infinito (Torres Suárez, 2014), “ tiene aplicación en zonificaciones a escalas intermedias y grandes extensiones de territorio, ya que se ajusta bien a requerimientos básicos del modelo, en donde las laderas son largas en relación con el espesor a la cual se esperaría encontrar la superficie potencial de falla, como tratándose de laderas estructurales sujetas a mecanismos similares; además resulta razonablemente aceptable para mecanismo como la falla planar por discontinuidades, falla en cuña cuya intersección es semi-paralela a la pendiente e incluso procesos de desprendimientos (caídas) por discontinuidades en laderas de contrapendiente. Otros procesos como creep estacional e incluso grandes superficies de falla compuestas que combinan traslación y rotación, pueden ser considerados mediante el análisis de talud infinito”, y entendiendo que se ha obtenido un modelo adecuado de susceptibilidad del territorio, la modelación de la amenaza mediante el uso de esta técnica genera un adecuado acercamiento a la realidad del territorio en estudio. Se asume la interfaz depósito de ladera - roca

como plano de falla. Los mecanismos de falla tipo rotacional serán evaluados para los sitios seleccionados a partir del análisis geomorfológico con métodos de equilibrio límite.

A. Paso 1: Determinación de parámetros geológico – geotécnicos

El comportamiento de los materiales frente a los agentes naturales y antrópicos es un parámetro esencial en el análisis de la estabilidad de taludes. Los datos se generan para cada unidad homogénea del mapa de Unidades geológicas superficiales cuantitativo (UGS) con base en los análisis de muestras de campo y bibliografía.; los procedimientos para generar estos datos se describen en detalle en el protocolo de UGS.

Como datos de entrada a cualquier modelo de equilibrio límite para el cálculo del factor de Seguridad (FS) se requiere tener por lo menos los siguientes datos de entrada, los cuales se obtendrán a partir de la cartografía de Unidades geológicas Superficiales (UGS) las cuales se describen en el protocolo de Geología y Geomorfología:

- El espesor (h) promedio del suelo y/o depósito (metros) de cada UGS para los casos de suelos, depósitos y materiales intermedios.
- Las características geológico – geotécnicas de los materiales potencialmente inestables, las cuales se definen con base en los datos generados a partir de la caracterización de unidades geológicas superficiales (UGS). Se requieren como mínimo los parámetros de cohesión (C), peso unitario del suelo (Y), ángulo de fricción (ϕ).
- Capacidad de carga y descarga de las rocas (Porosidad y Permeabilidad). Este valor se obtiene a partir de los atributos del mapa de UGS cuantitativo (unidades geológicas superficiales) y su obtención se plantea a partir de correlaciones empíricas y de datos bibliográficos para las unidades definidas.

B. Paso 2: Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: nivel freático por período de retorno

Si es posible y existen los datos se obtendrá un índice de lluvias en 24 horas; si no se tienen los datos para generar dicha información se deberá establecer con claridad la ausencia total de la misma y se planteará el uso de escenarios extremos (seco, saturado y parcialmente saturado) para los análisis lo que obliga al uso de métodos geotécnicos para la evaluación de la amenaza.

Con base en el inventario de eventos activos efectuados en la fase del análisis de susceptibilidad se requiere correlacionar las fechas de los deslizamientos con las de los eventos activadores, especialmente lluvia, con el fin de definir los periodos de retorno que se usarán en los diferentes escenarios de análisis. Estos datos se llevarán a una base de datos. Basados en esta información y a partir de correlaciones plantear los niveles freáticos esperados para diferentes períodos de retorno; si existen los datos el Nivel freático se evaluará para períodos de retorno de lluvias de 2, 20, 50 y 100 años, igualmente para escenario seco y saturado.

Con base en lo planteado por Alzate (2012) y Torres et al., (2014) para determinar la tabla de agua en condiciones normales del área, se puede usar una correlación semi empírica de los diferentes factores que influyen en el proceso de infiltración de las aguas lluvias con base en la ecuación empírica que se plantea a continuación (Ecuación 1).

$$\text{Nivel del agua máxima (cm) para cada celda} = \frac{1}{(3 R + P + 2 A) + V} \times 100 \quad (4)$$

(Ecuación 1)

Donde:

El nivel del agua máxima (cm) corresponde al valor de Z_w que entra en la fórmula de cálculo del factor de seguridad.

R = Capacidad de carga y descarga de las rocas (Porosidad y Permeabilidad). Este valor se obtiene a partir de los atributos del mapa de UGS cuantitativo (unidades geológicas superficiales).

P = Valor de la Precipitación; este valor es variable y es el que permite junto con la aceleración sísmica generar los diferentes escenarios de evaluación de amenaza.

A = Pendiente del terreno.

V = Uso del suelo y cobertura vegetal

Sin embargo, se pueden usar otras correlaciones de tipo semi empírico tal como lo establecen otros autores (Aristizábal, Martínez, Vélez, 2010) de acuerdo al conocimiento que se tenga sobre la zona de estudio y los datos existentes.

C. Paso 3: Determinación de los detonantes a aplicar para diferentes escenarios: amplificación sísmica

Los sismos pueden activar deslizamientos al aumentar el esfuerzo cortante, disminuir la resistencia por aumento de la presión de poros y por deformaciones asociadas por la onda sísmica, llegando a la falla por esfuerzo cortante. Se deben tener en cuenta varios factores en taludes expuestos a eventos sísmicos tales como el valor de la fuerza sísmica aplicada sobre los materiales potencialmente inestables, disminución de la resistencia de los materiales producto de las fuerzas dinámicas, que generan deformaciones cíclicas, el aumento de la presión de poros especialmente en materiales granulares limo arenosos, la amplificación sísmica, entre otros.

Valiéndose de análisis pseudo estáticos, la fuerza que reciben los materiales del talud durante el sismo es modelada con una fuerza horizontal la cual se aplica sobre todos los elementos del talud y se puede obtener utilizando un coeficiente sísmico A_h o k multiplicado por el peso del elemento. Usualmente no se tienen en cuenta las aceleraciones verticales y estas se asumen como cero, sin embargo, este valor no es representativo para zonas ubicadas en la zona epicentral donde la aceleración vertical es significativa (Barragán, Suárez, 2008).

La importancia de la onda en cada sitio ha sido demostrada en los sismos recientes, habiéndose usado los resultados de estos estudios para desarrollar recomendaciones específicas de espectro de diseño que se aplican en los códigos.

Para la aplicación de la aceleración en los POMCA se requieren como mínimo los siguientes pasos:

1. Para evaluar el grado de afectación que produce un evento sísmico en la estabilidad de las laderas se introduce la incidencia de la aceleración horizontal, tomada como una fuerza horizontal, sobre un elemento infinito del talud. El valor de la aceleración horizontal está determinado por la magnitud máxima de un evento sísmico en un periodo de retorno determinado. Los valores de la aceleración del sitio se obtendrán a partir de los datos o mapas de sismicidad regional generados por el SGC o la entidad competente (SGC, 2010), mapas de estudios locales si ellos existen, o los datos generados por la norma Sismo Resistente NSR10, para diferentes ubicaciones en el país. El período de retorno del estudio es de 475 años y la aceleración máxima regional.
2. Modificar la aceleración obtenida por un factor de amplificación que depende de las características del sitio. Para este caso se tomarán el factor de amplificación producto del efecto topográfico que depende de la altura y la inclinación o pendiente del talud (Jibson, 1987), y el factor de amplificación por materiales (NSR10). Para determinar esta amplificación se utilizará el modelo digital del terreno (MDT) y funciones de vecindad para marcar las zonas de cambios topográficos importantes (mayor de 40° de pendiente). En

cada una de estas zonas se origina una ampliación, que corresponde a un porcentaje de la aceleración horizontal.

3. Si es posible, se puede modificar el espectro respuesta para este valor de aceleración.
4. Si es posible para obtener los factores de ampliación más adecuados a los sitios en estudio, se puede plantear una red de monitoreo que permita establecer con menor incertidumbre estos factores de ampliación.

D. Paso 4: Cálculo del factor de seguridad por período de retorno

La amenaza está definida como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno dado, en un área determinada. Esta probabilidad se calcula con base en la recurrencia de detonantes como la lluvia y los sismos. La expresión utilizada para el cálculo de los factores de seguridad en un talud infinito de una unidad de área (Graham, 1984):

$$FS = \frac{c' + (\gamma h \cos^2 \beta - \alpha h \gamma \sin \beta \cos \beta - m \gamma_w h \cos^2 \beta) \tan \phi'}{\gamma h \sin \beta \cos \beta + \alpha \gamma h \cos^2 \beta}$$

Donde:

c' = intercepto de cohesión

ϕ' = ángulo de fricción

γ = peso unitario de la capa de suelo

β = inclinación del terreno

α = coeficiente de aceleración horizontal y ampliación sísmica

h = espesor de la capa de suelo

$m h = Z_w$: Profundidad de la tabla de agua o posición del nivel freático que posteriormente será definida su obtención.

FS = Factor de seguridad

La anterior expresión será programada en el SIG considerando condiciones estáticas y pseudoestáticas utilizando el tamaño de pixel correspondiente a la escala de trabajo.

En los casos en los cuales y de acuerdo a los resultados del inventario de eventos se considere necesario incluir el modelo de falla rotacional, se efectuarán los correspondientes análisis con el uso de software básico, tal como SLIDE (Rocscience, 2003), SLOPE, entre otros asumiendo superficies de falla circulares y generando a partir de la cartografía base los perfiles correspondientes para efectuar la modelación. Seguidamente estas zonas se ubicarán sobre el mapa con los resultados del análisis de talud infinito, y con un criterio geomorfológico serán espacializados para generar la cobertura de amenaza final. Es importante aclarar que para estos análisis también se incluirán los detonantes de lluvia y sismo.

Dado que los valores de precipitación que entran en el cálculo del nivel freático (fórmula 1) son una función del período de retorno, el valor final del factor de seguridad se verá afectado por el mismo. Dentro del proceso del cálculo del factor de seguridad se utiliza el SIG para espacializar los valores matemáticos de las diferentes unidades, así como para el cruce de los mapas lógicos.

La profundidad de la superficie de falla se calcula considerando la existencia en el área de estudio de fenómenos de traslación en el contacto o interfaz suelo – roca, o interfaz entre materiales que rocosos que se comporten de forma similar; este espesor se define como la profundidad de la

posible zona de falla. El valor de la pendiente corresponde a la pendiente del talud natural en evaluación y se obtiene a partir del MDT para cada pixel.

Una vez consideradas las diferentes variables que se introducen para el cálculo del FS se generan con la ayuda del SIG los productos cartográficos para diferentes escenarios de amenaza de acuerdo a lo que se presenta en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 Escenarios de análisis de escenarios de evaluación de amenaza por MM

Escenario	periodo de retorno	
	Precipitación	Sismicidad
1	SECA	CON SISMO
2	SECA	SIN SISMO
3	2	CON SISMO
4	2	SIN SISMO
5	20	CON SISMO
6	20	SIN SISMO
7	50	CON SISMO
8	50	SIN SISMO
9	100	SIN SISMO
10	100	CON SISMO

Para cada uno de los escenarios se obtendrá un valor del FS para cada celda, los cuales se agruparán en categorías de diferente grado de amenaza. De esta forma se podrá establecer con mayor certeza que áreas son potencialmente inestables, cuales estables y cuales pueden pasar a ser inestables para cada uno de los escenarios en evaluación. Los grados de estabilidad de acuerdo al Factor de Seguridad (FS) para POMCA se define con base en la Tabla 3-3 para movimientos en masa:

Tabla 3-3 Grados de estabilidad según rangos del FS para MM en POMCA

RANGOS	GRADOS DE ESTABILIDAD
< 1.2	ALTA
1.2 - 1.5	MEDIA
> 1.5	BAJA

E. Paso 5: cálculo de la amenaza final

Como la amenaza es la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, en este caso de inestabilidad, se pueden ponderar los diferentes escenarios calculando la varianza de FS final para cada celda de cada uno de los diez escenarios. Con el valor de la varianza se calcula la desviación estándar y el área bajo la curva normal (Alzate, 2012), se calcula la probabilidad de ocurrencia de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{1 - F_s}{\sigma F_s}$$

$$P = (0.5 + Z) 100$$

$$P = (0.5 - Z) 100$$

Donde:

Z = distancia entre el FS y la ordenada en la curva normal. Siempre representa un área menor a 1.

σ (FS) = Desviación estándar del Factor de Seguridad.

P = Probabilidad de ocurrencia de falla

Una vez obtenido la cartografía del FS con las condiciones actuales del terreno se efectuará un control en campo del mismo con el propósito de verificar si los resultados obedecen a las condiciones reales del área en estudio y se efectuará la correspondiente calibración. El mapa de amenaza final será afinado con el mapa de áreas dinámicas (inventario de eventos).

3.4.2 Evaluación de la amenaza por inundaciones

La evaluación de amenaza por inundaciones está mediada, tanto por la información disponible en las áreas críticas previamente identificadas, como por las propias características topográficas y de alteración antrópica de las mismas. El diagrama de flujo a seguir se presenta en la Figura 3-21, presentándose tres vías diferentes para la definición de categorías de amenaza como se resume a continuación.

- Cuando las áreas críticas no tienen relieves complejos o la geomorfología no está muy alterada por la acción humana, y no existe información topográfica y batimétrica que permita realizar una modelación hidrológico-hidráulica de eventos extremos, se deberán identificar en campo evidencias sobre la frecuencia de eventos históricos, integrándola con la información proveniente del análisis geomorfológico-histórico de la fase previa. Se deberán considerar los siguientes criterios diferenciales en el análisis para la definición de las categorías de amenaza:
 - Amenaza Alta: Geoformas asociadas a procesos activos (ej. valles aluviales, planos de inundación, terrazas bajas, albardón, trezado, entre otras), evidencias efímeras (restos flotantes o arribazones fluviales, depósitos sueltos de granulometría) o evidencias erosivas y sedimentarias nítidas (microtopografía muy irregular, altas pendientes y superposición de formas erosivas y sedimentarias, generalmente con morfologías de flujos secundarios representadas por morfologías canaliformes nítidas con un trazado continuo y marcado pero sin evidencias de actividad reciente), además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada identificadas en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores o iguales a 15 años.
 - Amenaza Media: Geoformas asociadas a procesos intermitentes (ej. terrazas medias, meandros, entre otros), procesos erosivos o sedimentarios suavizados (microtopografía irregular con límites suavizados y de baja pendiente) o flujos secundarios representados por evidencias de morfologías canaliformes de poca definición y continuidad pero identificables en campo, además de eventos históricos con recurrencia mayor a 15 y hasta 100 años de período de retorno.
 - Amenaza Baja: Esta categoría que refleja la recurrencia de eventos mayores a 100 y hasta 500 años de período de retorno o mayores, se identificará cuando la información geomorfológico-histórica así lo permita considerando los siguientes criterios: el análisis de eventos históricos señala una unidad inundable con una sola evidencia de evento ocurrido; evidencias topográficas en campo que señalen

terrenos con mayor altura a las dos categorías anteriores y que sea coincidente con una geoforma asociada a procesos fluviales antiguos (terrazas altas).

- Cuando las áreas críticas si tienen relieves complejos o la geomorfología está muy alterada por la acción humana se requiere de modelación hidrológico-hidráulica de eventos extremos para la definición de categorías de amenaza. En los casos de no existir información topográfica y batimétrica de detalle que permitan una adecuada evaluación de la amenaza, se deberán proponer estudios de detalle en el componente programático del POMCA.

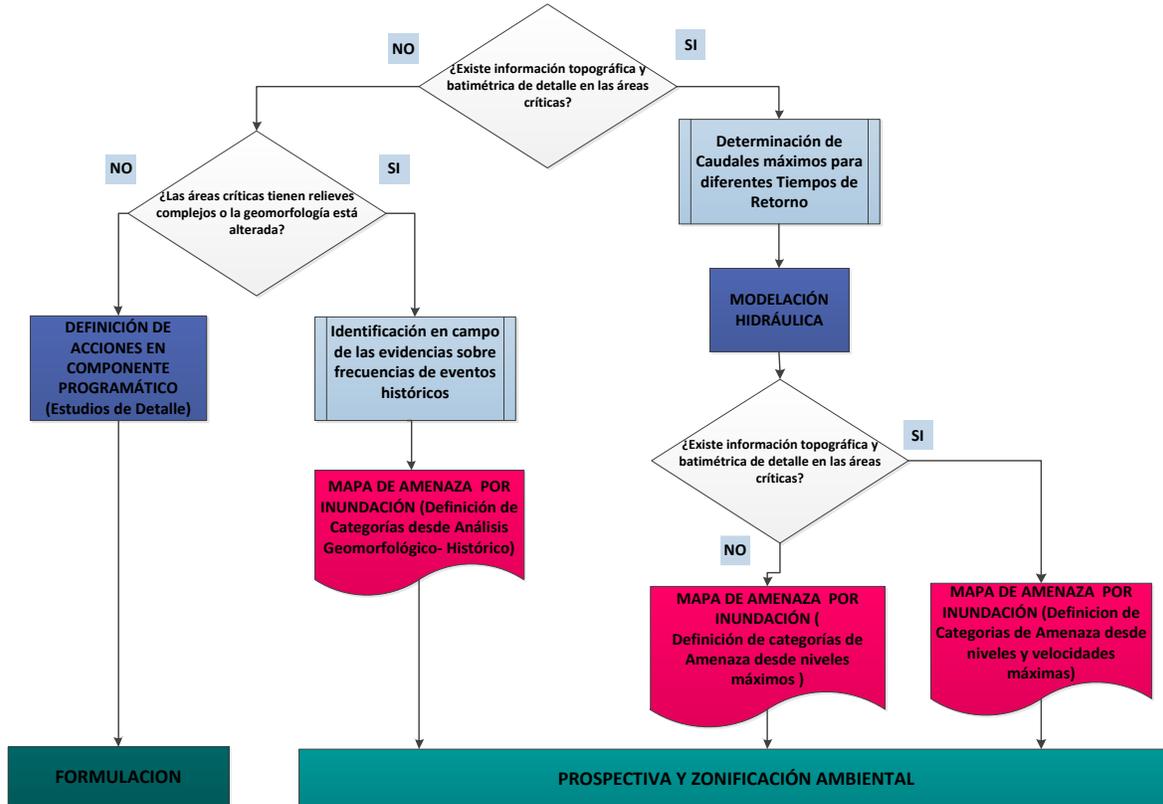


Figura 3-21 Diagrama de flujo para la evaluación de la amenaza por inundaciones fluviales lentas en áreas críticas

- En los casos de existir información topográfica y batimétrica de detalle, las categorías de amenaza se obtendrán desde la modelación hidrológico-hidráulica con la debida comprobación obtenida desde el análisis histórico-geomorfológico. La modelación hidrológica proveerá los caudales máximos para diferentes períodos de retorno tal como se definió en las actividades del componente de hidrología en la fase de diagnóstico. La modelación hidráulica proveerá la magnitud del evento en la zona inundable con características fundamentales tales como el nivel máximo alcanzado por la lámina de agua, velocidad máxima, duración, carga de sedimentos, entre otras.
 - Cuando los resultados de la modelación permiten obtener los niveles máximos y velocidades máximas alcanzadas por el flujo en la zona inundada se seguirá la propuesta dada por Vélez y otros (2011) para la definición de categorías de amenaza (ver Figura 3-22) a partir de los posibles daños que puede provocar de la relación de estas dos variables.

- Amenaza alta: zona comprendida entre la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- Amenaza media: zona ocupada por la manchas de inundación 100 años y velocidades y profundidades que generen daños moderados y/o molestias a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños graves o pérdidas de vidas.
- Amenaza baja: zona comprendida entre las manchas de inundación de 100 a 500 años de periodo de retorno si la combinación de velocidad y profundidad de flujo puede generar daños moderados y molestias.

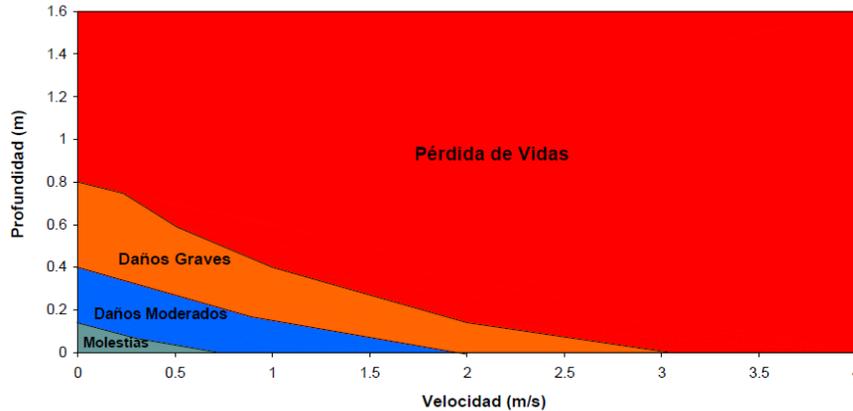


Figura 3-22 Tipos de daños potenciales por características de la inundación (Fuente: UNAL, 2013)

- Cuando los resultados de la modelación permiten obtener sólo los niveles máximos alcanzados por el flujo en la zona inundada, se seguirá la siguiente propuesta de categorización de la amenaza.
 - Amenaza Alta: Niveles máximos obtenidos para el evento con caudal máximo de período de retorno menor o igual a 15 años.
 - Amenaza Media: Niveles máximos obtenidos para el rango entre el evento con caudal máximo de período de retorno mayor a 15 años y el de menor o igual a 100 años.
 - Amenaza Baja: Niveles máximos obtenidos para el rango entre el evento con caudal máximo de período de retorno mayor a 100 años y el de menor o igual a 500 años.

3.4.3 Evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales

Para las áreas críticas definidas en la evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales, se deberá realizar la siguiente caracterización desde trabajo de campo para poder asignar categorías de amenaza integrándolas con el análisis de eventos históricos siguiendo la Figura 3-23.

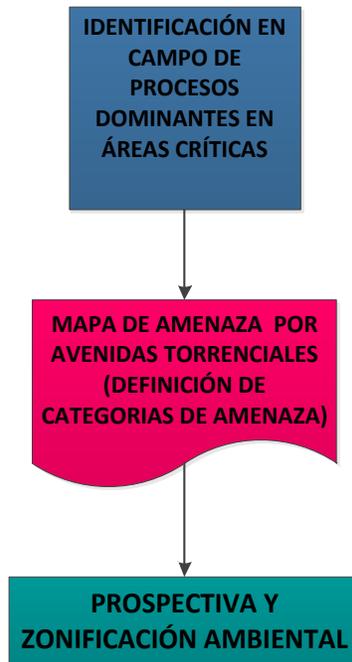


Figura 3-23 Diagrama de flujo para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en áreas críticas

- Interpretación en campo de dos aspectos fundamentales:
 - Textura de los depósitos torrenciales formados por diferentes mecanismos de transporte (depósitos formados por flujos de detritos, flujos de lodo, flujos de tierra o depósitos de origen fluvio-torrenciales);
 - Morfologías superficiales: presencia de diques o muros naturales de material de arrastre (“levees”), lóbulos frontales, bloques de más de 1m de diámetro, daños a la vegetación, canal trapezoidal. Este análisis debe tener como soporte la información de la cartografía geomorfológica y geológica del área en evaluación.

- Considerar en campo los siguientes aspectos adicionales a partir de una adaptación de la propuesta de Parra (1995) que se resume en la Figura 3-24, respecto a la cronología de los eventos:
 - Años: Huellas en el cauce, sin vegetación o rastrojo bajo en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, afectación de la corteza de árboles mayores, ausencia de líquenes en bloques de roca, ausencia de horizontes A y B de suelo. Coronas de cicatrices agudas.
 - Decenas de años: Rastrojo alto o árboles mayores en márgenes, depósito y cicatrices de movimientos en masa asociados, líquenes en bloques, matriz fresca, coronas de cicatrices subredondeadas.

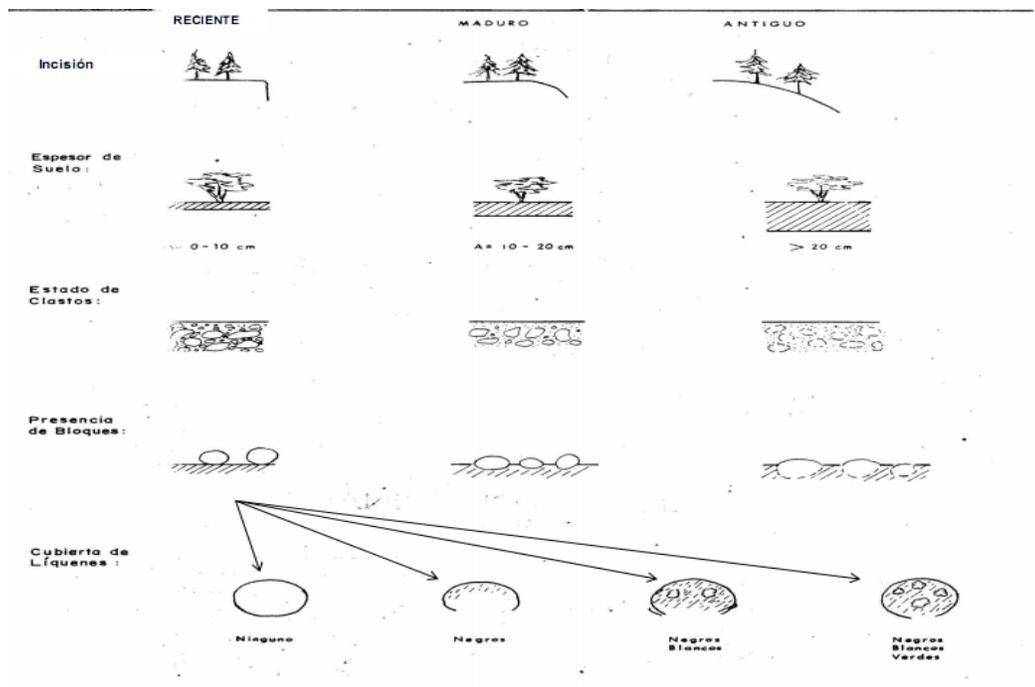


Figura 3-24 Indicadores sobre la cronología de flujos densos asociados a procesos torrenciales (Fuente: Adaptado de Parra, 1995)

- Definición de categorías de amenaza considerando los siguientes criterios:
 - Amenaza torrencial alta: zonas identificadas con actividad reciente y con evidencias históricas claras (más de un evento histórico identificado). Indicadores cronológicos en la categoría de reciente de acuerdo con la Figura 3-24.
 - Amenaza torrencial media: zonas con actividad torrencial que cumplen al menos uno de los siguientes aspectos: existencia de evidencias históricas de al menos una avenida torrencial; elevación insuficiente por encima del canal torrencial de acuerdo con las características de la cuenca, principalmente del área de drenaje (en general diferencias de elevaciones menores a 1.5 metros); aguas abajo de un punto de avulsión potencial (disminución brusca de la sección, puentes o entubaciones de poca sección que puedan ser obstruidos por el material arrastrado). Indicadores cronológicos en la categoría de maduro de acuerdo con la Figura 3-24.
 - Amenaza torrencial baja: áreas torrenciales identificadas por fotointerpretación (a la escala de trabajo o mayores), las cuales no pueden ser identificadas dentro de las categorías anteriores (zonas alejadas de los canales torrenciales y sin evidencias claras de eventos históricos y sus afectaciones). Indicadores cronológicos en la categoría de antiguo de acuerdo con la Figura 3-24.

3.4.4 Evaluación de la susceptibilidad y la amenaza por incendios de la cobertura vegetal

El presente desarrollo es una adaptación de la fuente original UNAL, (2013): Metodología para la evaluación del riesgo en los POMCAS (Informe final inédito), Convenio UNAL-MADS. En dicha fuente se propone una adaptación de la metodología de IDEAM (2011) para la escala de trabajo en los POMCA, temática con desarrollo novedoso en el país.

Para hacer una evaluación de amenaza por incendios de la cobertura vegetal se requiere un análisis del contexto en el que se han desarrollado históricamente los incendios en Colombia y sus efectos sobre los ecosistemas. Se estima que casi la totalidad de los incendios forestales son de

origen antrópico, bien sean generados intencionalmente para la ampliación de la frontera agropecuaria, o por negligencia al no tomar las precauciones adecuadas, con mayor influencia por quemas agrícolas; por descuido (fumadores, fogatas, pólvora y cacería de animales, entre otros.); accidentales (caída de líneas eléctricas sobre la vegetación o roce de las mismas con los árboles) y por atentados terroristas (Ministerio de Ambiente, 2000).

De acuerdo con los registros parciales del período comprendido entre 1986 y 2002, en Colombia han sido reportados 14.492 eventos de incendios en la cobertura vegetal y se ha presentado una afectación de cerca de 400.788 hectáreas. En el año 1997 se presentó el mayor número de reportes con 10.289 eventos (70.9 % del total de reportes) situación que coincidió con el fenómeno del Pacífico o del “Niño”, originando consecuencias severas para el país y provocando un déficit de humedad en la vegetación, con altas temperaturas que incidieron en la ocurrencia de incendios, afectando un área de 164.736 hectáreas. Igualmente se registran valores altos en los años 1991, 1998 y 2001, coincidiendo regularmente con el mismo fenómeno climático (Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, 2012).

Los procesos de degradación de los ecosistemas asociados al fuego muestran que entre 2002 y 2008, la superficie afectada por incendios fue de 281.350 ha, producto de 6651 eventos de fuego. La región Andina es la más afectada por incendios, especialmente en los departamentos de Huila (1.256 ha), Valle del Cauca (985 ha), Cundinamarca (740 ha) y Tolima (529 ha) (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2009). Las sabanas y pastizales aparecen como unos de los tipos de coberturas más afectados a nivel nacional por estos fenómenos (57.564 ha). Para el mismo período 2002 – 2008, el área quemada en parques nacionales ascendió a 97.390 ha (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2009). Recientemente, la evaluación de la susceptibilidad del territorio nacional a incendios, calcula que las áreas con susceptibilidad baja son las de mayor extensión ocupando un área de 668.938 km² (58,99%), seguidas por las de susceptibilidad alta con 210.494 km² (18,44%). Las categorías de muy alta, moderada y muy baja con áreas de 57.625 Km², 79.676 Km² y 75.582 km², respectivamente, son las que representan una menor extensión a nivel nacional (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2009)

También es importante conocer que los incendios contribuyen con la deforestación, donde las principales causas son la expansión de la frontera agropecuaria (73,3% de la deforestación), la extracción maderera (11,7%), el consumo de leña (11%) y en menor cantidad, pero no menos importante, los incendios forestales (2%) (Dirección Nacional de Planeación, 2007) sumado a la construcción de obras de infraestructura, los cultivos ilícitos y la tala ilegal sobre los cuales no se tienen datos claros.

A la hora de elaborar un análisis sobre incendios de la cobertura vegetal se debe partir entonces del reporte histórico con el que se pueden determinar las causas, factor importante para entenderlos, ya que en Colombia los incendios se generan intencionalmente o por descuido. Estos incendios generan afectaciones a personas, bienes y servicios ecosistémicos; a ecosistemas, tales como la pérdida de biodiversidad; propician eventos de erosión de suelos, producen severos procesos de desertificación, y eventualmente pueden disminuir y contaminar el recurso hídrico, colmar los embalses y producir inundaciones, entre otros.

La amenaza por incendios está dada por la susceptibilidad de la vegetación a que se presenten estos eventos. La vegetación y los ecosistemas presentan características intrínsecas (carga, disposición e inflamabilidad de los combustibles), que les brindan cierto grado de probabilidad de incendiarse, propagar y mantener el fuego.

Los insumos requeridos para analizar la amenaza son los siguientes:

Cartografía base:

- Cartografía base a escala 1:25.000.

Cartografía temática:

- Coberturas vegetales actuales, de acuerdo con la metodología Corine Land Cover para Colombia a escala 1:25000, generado en el POMCA en la fase de diagnóstico.
- Registros de información climática (precipitación, temperatura, brillo solar y vientos) que hayan podido ser incorporados en la caracterización climática, y que hayan podido ser representados espacialmente, en la fase de diagnóstico del POMCA.
- Registros históricos de incendios ocurridos en el territorio objeto de estudio, espacializados y representados en la caracterización histórica de los eventos amenazantes (cantidad de incendios y causas de los mismos) (Ver Salida Cartográfica “Localización de eventos recientes y afectaciones históricas en la cuenca”).
- Modelo Digital del Terreno y mapa de pendientes derivados.

Se pueden usar dos tipos de metodologías para evaluar la amenaza por incendios de la cobertura vegetal que se describen enseguida. En la Figura 3-25 se muestra el proceso metodológico que permite la evaluación de la amenaza por incendios de la cobertura en la cuenca hidrográfica.

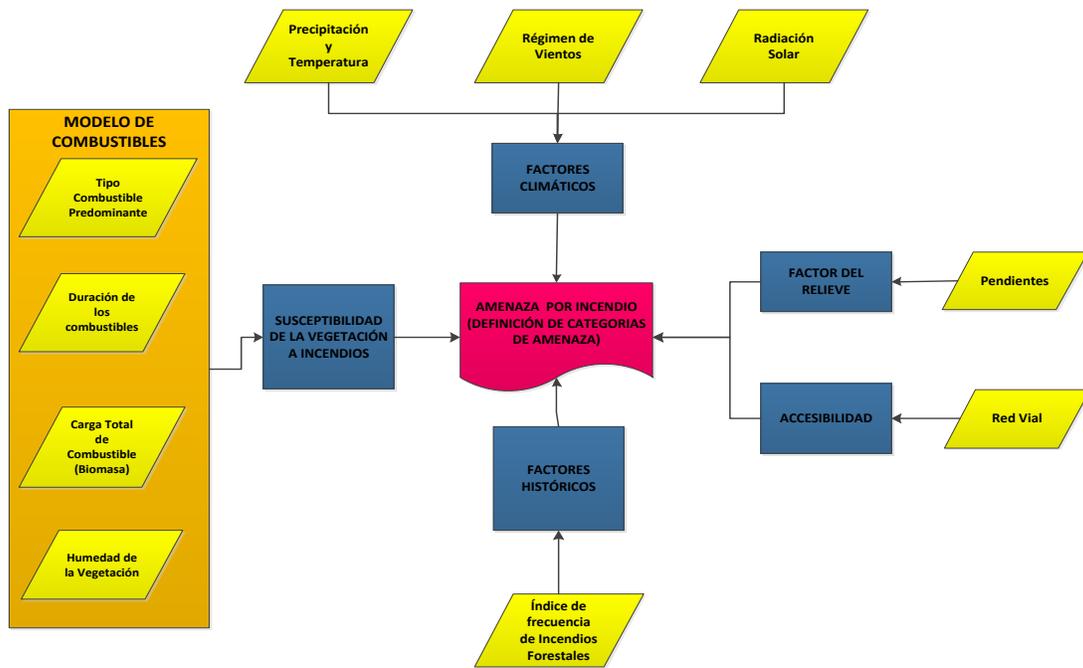


Figura 3-25 Factores evaluados para determinar la amenaza a incendios de las coberturas vegetales (Adaptado de IDEAM, 2011)

Metodología 1: Índice de aridez

Un factor que permite determinar la susceptibilidad de la vegetación a incendios de la cobertura vegetal, es el índice de aridez, el cual se define como una característica cualitativa del clima, que permite medir el grado de suficiencia o insuficiencia de la precipitación para el sostenimiento de los ecosistemas de una región. Identifica áreas deficitarias o de excedentes de agua, calculadas a partir del balance hídrico superficial. La resolución del índice está en función de la densidad de la red de estaciones hidrometeorológicas con series históricas mayores a 15 años. Con este índice, se generan mapas que permiten analizar y caracterizar áreas hidrográficas deficitarias o con excedentes de agua, con definición temporal media mensual multianual. Existe la opción de generar este tipo de mapas temáticos a nivel anual y mensual multianual. Para su construcción se

requiere información de las variables: precipitación, temperatura y caudal, así como otras variables que permiten calcular la evapotranspiración potencial (ETP). El índice se obtiene siguiendo el protocolo de cálculo de indicadores de estado y presión sobre el recurso hídrico superficial

Metodología 2: Combinación de factores históricos, climáticos, de relieve, de vegetación y sociales

Para la aplicación de la metodología recomendada, propuesta por el IDEAM, se deben evaluar los siguientes aspectos:

Factor histórico:

Los inventarios históricos georreferenciados sobre incendios forestales, recopilados en bases de datos de la respectiva Corporación Autónoma, IDEAM, u otras entidades, se deben integrar en salidas cartográficas. De no existir un inventario histórico o si éste está incompleto, se puede construir a partir de información de sensores remotos como el sensor MODIS (Producto BURNT AREAS), que se puede descargar gratuitamente de la siguiente página web: http://modis-fire.umd.edu/BA_getdata.html y <http://reverb.echo.nasa.gov>.

A partir de estos inventarios históricos georreferenciados, ya sea que estén disponibles, o que se hayan construidos a partir de información de sensores remotos, se calcula el índice de frecuencia de incendios forestales (IDEAM, 2011), de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$f(i) = \frac{1}{a} \sum_{1}^a (ni)$$

(Ecuación 2)

fi: Frecuencia de incendio de la cobertura vegetal

a: Número de años

ni: Número de incendios de cada año

Este índice se calcula por tipo de cobertura y se representa en la salida cartográfica de frecuencia de incendios.

Factores climáticos

El clima es uno de los factores fundamentales en la generación y la propagación de los incendios de la cobertura vegetal, ya que determina la duración y la severidad de las estaciones secas y calurosas en un área geográfica determinada. El clima influye directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible presente, ya que la humedad hace que la vegetación sea más o menos resistente a la afectación del fuego, lo que conlleva a que exista una mayor disponibilidad de combustible de fácil ignición y con mayor probabilidad de ser afectado por el fuego, razones que hacen del clima un factor de uso indispensable para la evaluación de la amenaza.

Las variables climáticas que se consideran en esta propuesta, son la temperatura media multianual y la precipitación media multianual, bajo condiciones normales y bajo la incidencia de anomalías climáticas como el Fenómeno del Niño (ver temática de clima en los alcances técnicos). La distribución espacial de la temperatura media multianual se presenta en una salida cartográfica de isotermas en grados centígrados y la de la precipitación media anual en una salida cartográfica de isoyetas en milímetros tal como se ha establecido en los alcances técnicos. En caso de no contar con información hidrometeorológica, se podrían usar datos recopilados a partir de información satelital, como las bases de datos de WorldClim (resolución de 30 arcosegundos) <http://www.worldclim.org/>.

Otras variables importantes para analizar el comportamiento y desarrollo de los incendios son: en primer lugar los vientos (en magnitud, velocidad y dirección), en segundo la intensidad del brillo solar. Estas variables difieren en condiciones climáticas normales y bajo Fenómeno de El Niño. La influencia del brillo solar sobre los combustibles muertos de menor diámetro e inclusive la

vegetación viva determinan los cambios en el contenido de humedad, dejándolos vulnerables ante un incendio.

Factor de relieve

La propagación del fuego aumenta con el ángulo de inclinación de la pendiente del terreno, cuando se presenta a favor de la pendiente es rápida y peligrosa. Los incendios no ocurren al azar, sino que son más frecuentes en ciertas posiciones topográficas. Con el propósito de incorporar este factor en la evaluación de la amenaza, es pertinente considerar la salida cartográfica de pendientes planteada para el POMCA en la fase de diagnóstico.

Factor de accesibilidad

Expresada como la densidad vial, este factor se considera parte de la amenaza, debido a que aumenta la probabilidad de que la población pueda llegar a las áreas de cobertura vegetal y generar focos de incendio.

A partir de toda la infraestructura vial se determinará y elaborará una salida cartográfica obtenida a partir de la generación de buffer (áreas de influencia) sobre vías (Buffer 250 m vías primarias, 100 m vías secundarias y 50 m vías terciarias).

Susceptibilidad de las coberturas

La susceptibilidad de la cobertura vegetal, se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por (Páramo, 2007).

El modelo de combustibles representa la condición pirogénica de la vegetación colombiana, aspecto clave en la evaluación del comportamiento de los ecosistemas frente al fuego, tanto en el inicio de un incendio, como en la modelación de su comportamiento, en caso de presentarse eventos de esta índole.

El modelo de combustibles desarrollado, se estructuró mediante una clasificación jerárquica, conformada por los siguientes factores:

- Tipo de combustible vegetal predominante por bioma y ecosistema: tipo de cobertura vegetal y biotipo dominante.
- Duración del tipo de combustible dominante: duración en horas de cada tipo de combustible, definidos en horas de ignición (1h, 10h, 100h),
- Carga total de combustibles: caracterización cualitativa dependiente de la correlación de la altura en metros, cobertura en valores porcentuales, biomasa aérea en Ton/ha y humedad media de la vegetación obtenida a través de una distribución cualitativa de los rangos determinados a partir del índice de vegetación NDII. Este último nivel define el modelo de combustible para una determinada unidad de vegetación.

Una vez detallada toda la información necesaria se efectúan los siguientes procedimientos:

Salida cartográfica de tipo de combustibles vegetales

Producto cartográfico obtenido a partir de la reclasificación del mapa de coberturas actuales del territorio objeto de estudio, según la clasificación Corine Land Cover, para escala 1:25.000. Una vez establecidas las coberturas y definido el tipo de combustible se elaborará el mapa de tipo de combustibles basado en la clasificación de (Páramo, 2007).

Salida cartográfica de duración de combustibles vegetales

Producto cartográfico obtenido a partir del mapa de coberturas vegetales según el Sistema Corine Land Cover, para escala 1:25.000, una vez se tenga la información se clasificará de acuerdo al modelo de combustibles definido por Páramo (2007), en el que se determina según el tipo de cobertura vegetal la duración del combustible.

Salida cartográfica de carga total de combustibles vegetales

Producto cartográfico obtenido a partir de las coberturas vegetales según el Sistema Corine Land Cover, para escala 1:25.000. Para realizar la clasificación se debe asignar el valor de carga de combustible correspondiente al tipo de cobertura vegetal definido por Páramo (2007), en el que se determina según el tipo de cobertura vegetal la cantidad de combustible, en términos de biomasa.

Mapa de susceptibilidad de Incendios de la cobertura Vegetal

Mapa obtenido a partir de la suma ponderada de las variables normalizadas de los mapas de tipo, duración y carga total de combustibles. En esta metodología se analiza mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la vegetación, según lo propuesto en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia por Páramo (2007) y se calcula con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$Sv=Cal (tc)+Cal (dc)+Cal (ctc)$$

(Ecuación 3)

Dónde,

Sv: susceptibilidad de la vegetación

Cal (tc): calificación del tipo de combustible

Cal (dc): calificación de la duración del combustible

Cal (ctc): calificación de la carga total de combustible

Mapa de Amenaza de Incendios Forestales de la Cobertura vegetal

Mapa obtenido a partir de la suma ponderada de las variables normalizadas de los mapas de susceptibilidad de la vegetación, precipitación media anual multianual, temperatura media anual multianual, pendientes, accesibilidad, así como vientos, brillo solar e índice de aridez (según sea el caso). Así, con herramientas de álgebra de mapas, tenemos que la amenaza total por incendios de la cobertura vegetal es como se expresa en la Ecuación 4.

$$At = Sv*(0,17)+P*(0,25)+T*(0,25)+P*(0,03)+F*(0,05)+A*(0,03)$$

(Ecuación 4)

Dónde,

At: amenaza total

Sv: susceptibilidad de la vegetación

P: precipitación

T: temperatura

P: pendiente del terreno

F: frecuencia de ocurrencia de incendios

A: accesibilidad

Respecto a la Zonificación Ambiental y el componente de Gestión del Riesgo en el POMCA, es determinante ambiental la amenaza alta por incendios de la cobertura vegetal, que se define en la categoría de conservación y protección ambiental en la zona de uso y manejo de áreas de protección. En áreas que no estén bajo la categoría de protección, se deben condicionar los usos del territorio hasta tanto se realicen estudios detallados de riesgos por parte de los municipios para la toma de decisiones que permitan elaborar la reglamentación de los usos del suelo.

Considerando que la escala de trabajo es 1:25.000, la zonificación de la amenaza a incendios de la cobertura vegetal permitirá realizar estimaciones que dirijan la generación de políticas de

intervención locales y regionales para establecer actualizaciones de la zonificación cada 4 años como mínimo, acorde con la vigencia de los planes de desarrollo y ordenamiento territorial.

Una vez aplicada la propuesta metodológica se obtendrán por lo menos los siguientes productos:

- Salida cartográfica de reclasificación del Índice de aridez.
- Salida cartográfica de tipo de combustibles
- Salida cartográfica de duración de los combustibles vegetales.
- Salida cartográfica de carga total de combustibles
- Salida cartográfica de accesibilidad
- Mapa de susceptibilidad de Incendios de la cobertura Vegetal
- Mapa de Amenaza por incendios de la cobertura vegetal.
- Base de datos con el registro histórico de incendios y registro de los eventos que se produzcan a partir de la fecha de ejecución de la metodología.
- Base de datos con información relevante para analizar los incendios de la cobertura vegetal.

4 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Tal como se estableció en los párrafos anteriores, los alcances técnicos definen una metodología que se aborda en cuatro pasos básicos:

1. Conocimiento de la susceptibilidad del territorio de toda la cuenca a la ocurrencia de los eventos en evaluación: movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales.
2. Evaluación de la amenaza en las zonas críticas obtenidas a partir de los estudios de susceptibilidad como zonas de susceptibilidad media y alta tal como se presenta en la Figura 3-3.
3. Análisis de la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante los diferentes eventos amenazantes.
4. Análisis del riesgo producto de la concurrencia de la amenaza y la vulnerabilidad para los diferentes escenarios de la amenaza evaluada.

Los análisis de vulnerabilidad y riesgo se efectuarán solo para las áreas que tienen evaluación de amenaza, es decir para las áreas definidas como críticas en la evaluación de susceptibilidad: áreas de susceptibilidad media y alta. Igualmente y de acuerdo a la metodología planteada para la escala de análisis, se define un solo método de análisis para la exposición y la vulnerabilidad para las amenazas en evaluación para POMCAS : movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales; esto debido a que este tipo de amenazas presentan una energía muy alta y por consiguiente su intensidad es lo suficientemente severa que cualquier elemento expuesto en términos prácticos estará sujeto a un daño total o casi total en caso de presentarse o desencadenarse, igualmente no se tiene información validada a nivel nacional e internacional respecto de muchas de las variables de entrada para el análisis de la fragilidad en términos de los elementos expuestos en análisis dentro del POMCA. El tema para cada una de las variables se desarrollará en forma más extensa en este documento en párrafos posteriores.

4.1 MARCO CONCEPTUAL GENERAL

4.1.1 Marco General Legal de la Gestión del Riesgo en POMCAS

El gobierno nacional actualizó su legislación en materia de gestión del riesgo de desastres mediante la expedición en abril de 2012 de la Ley 1523, por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres; Esta ley genera un marco conceptual e institucional enfocado al riesgo y su construcción así como en su reducción y la rendición de cuentas de los municipios entorno al mismo. Definiéndose en el Artículo 1 de la misma que: *“la gestión del riesgo de desastres [...] es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programa, regulaciones, instrumentos y medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible”*; igualmente se reconoce que la planificación es una de las estrategias para reducción del riesgo, en el párrafo 1: *“La gestión del riesgo se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y la comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población”*.

El POMCA continuando con las disposiciones legales en materia de gestión del riesgo involucra este componente en el manejo de cuencas (Decreto 1640 de 2012), lo que permitirá que progresivamente se consideren las exigencias del riesgo en la planificación de forma más explícita y tratando de disminuir las dificultades referidas a la estandarización (resolución, escalas, modelación) de las metodologías técnico científicas que deben utilizarse para identificar las zonas inestables, manchas de inundaciones, flujos torrenciales, etc.

4.1.2 Conceptos básicos

Existen diferentes puntos de vista en el entendimiento del concepto de exposición, vulnerabilidad, y por lo tanto diversidad de modelos, métodos y metodologías que han sido construidos por expertos (Cannon, 2000; Ford, 2002; Smit & Wandel, 2006; Turner et al., 2003, White, 1974); igualmente parte de estos estudios se plantean dentro de los conceptos básicos expuestos por la Ley 1523 descrita brevemente en párrafos anteriores.

Entendiendo la vulnerabilidad como la incapacidad de una comunidad para absorber los efectos de los cambios en su ambiente, cambios que pueden ser producto de causas naturales o no, podemos decir en este sentido, que todo ser vivo por el hecho de serlo posee una vulnerabilidad intrínseca determinada por los límites ambientales dentro de los cuales es posible su existencia y por las exigencias de su propio organismo. La vulnerabilidad surge como una consecuencia de una serie de factores y características (internas y externas) que convergen en una comunidad en particular (comunidades urbanas o rurales).

La vulnerabilidad, puede tener varias dimensiones dependiendo de los diferentes aspectos que la caracterizan, vistos desde diferentes perspectivas estas dimensiones la describen diferentes autores (Wilches-Chaux, 1989; Cardona, 2007; EIRD, 2004). Para el análisis de riesgos es necesario el conocimiento de la vulnerabilidad global (Wilches – Chaux, 1993) que es la vulnerabilidad objeto de análisis dentro de los POMCAS, y ésta se puede dividir en varias “vulnerabilidades” las cuales están interconectadas entre sí. Igualmente es importante anotar que existe una relación de doble vía entre el riesgo y la vulnerabilidad, entendiendo que cualquier evento amenazante solo adquiere la condición de riesgo cuando su ocurrencia afecta a una comunidad ya sea de forma directa o indirecta (pérdidas y daños físicos, económicos, sociales, culturales, etc.)

Desde el marco de la ley 1523 la vulnerabilidad se entiende como *“la susceptibilidad, o fragilidad física, económica social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.”*. Igualmente desde el marco de la ley 1523 la exposición *“se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza...”*. Se puede observar que los términos planteados a partir del marco normativo guardan consistencia con las diferentes acepciones de la vulnerabilidad, respecto de las múltiples variables que intervienen en el análisis de la misma, así como la complejidad de sus interrelaciones.

Brevemente se describen los diferentes tipos de vulnerabilidades que se evaluarán para los POMCAS en el componente de gestión de riesgos, haciendo especial énfasis en el hecho de que los análisis de riesgos se enfocan directamente en los efectos en las comunidades rurales e indirectamente en las urbanas, dada la escala de trabajo. De acuerdo a los elementos expuestos al evento, hay varias clases de vulnerabilidad: física, social, económica, ambiental, etc., (Ocola, 2013).

- *“La vulnerabilidad física se refiere a la susceptibilidad de la población y ambiente constructivo o tecnológico a la exposición ante los peligros.*

- *La vulnerabilidad social incluye los factores de educación, infraestructura de salud, seguridad, acceso a los derechos humanos básicos, sistemas de buen gobierno, equidad social, valores tradicionales, costumbres y creencia ideológica, entre otros.*
- *La vulnerabilidad económica caracteriza a la población de acuerdo a los ingresos económicos, edad, género, entre otros.*
- *La vulnerabilidad ambiental y/o ecosistémica se refiere a la extensión de la degradación de la naturaleza y sus recursos”.*

Para efectos de la gestión del riesgo en POMCAS las diferentes metodologías analizadas buscan trabajar tres dimensiones: económica, social y ambiental. Por lo tanto el análisis del riesgo se efectuará desde un punto de vista interdisciplinar que abarque estas tres dimensiones y no solamente contemple aquellos aspectos relacionados con el daño físico, la pérdida de vidas o económicas, etc.

4.1.3 Análisis de la vulnerabilidad en POMCAS a partir del uso de un Modelo de Índices e indicadores

De acuerdo a lo descrito previamente, la vulnerabilidad es el factor del riesgo interno al sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. El análisis del riesgo tiene como objetivo fundamental determinar las pérdidas que pueden sufrir en lapsos dados los activos expuestos, como consecuencia de la ocurrencia de amenazas naturales, integrando de manera racional las incertidumbres que existen en las diferentes partes del proceso.

El ISDR define vulnerabilidad como las condiciones determinadas por los factores o procesos sociales, económicos y ambientales, los cuales aumentan la susceptibilidad de una comunidad o ente expuesto al impacto de las amenazas (ISDR, 2004). Se le puede definir, en una manera amplia, como la capacidad de resistir el impacto de un evento amenazante y a recuperarse después. Al igual que la exposición de las poblaciones a las amenazas, el desarrollo modifica las condiciones de la sociedad en el espacio y en el tiempo, resultando diferentes sectores sociales y económicos con diferente grado de capacidades de resistir y recuperarse del impacto negativo de los eventos peligrosos (ISDR, 2007).

Para la evaluación de la vulnerabilidad bajo el enfoque de la exposición se ha seleccionado el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (O. D. Cardona et al., 2003; Omar Darío Cardona, 2001), con el fin de no dejar excluidos las dimensiones social, económica y ambiental (Unal, 2013). La vulnerabilidad se relaciona no solamente con la exposición tal como se estableció en párrafos anteriores; también se relaciona con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un evento y con la fragilidad social y la falta de resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto.

Los indicadores para la descripción del grado de exposición, las condiciones socio – económicas prevalentes y la resiliencia se deben formular en forma consistente, es decir deben representar en la mejor forma la calidad y confiabilidad del dato, por lo tanto se debe procurar evitar el uso repetido del mismo indicador pues se le está dando un mayor peso respecto de los demás (Davidson 1997, Cardona, 2001, Briguglio 2003).

Desde el contexto teórico presentado, la vulnerabilidad como componente del riesgo se presenta en la siguiente forma:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad

Donde la vulnerabilidad a su vez se define como:

$$\text{Vulnerabilidad} = [\text{Exposición} \times \text{fragilidad} \times \text{falta de resiliencia}]$$

Que mediante el uso de índices se convierte en la siguiente expresión:

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{Índice de pérdidas o índice de exposición IP} * \text{Índice fragilidad} / \text{índice de resiliencia})$$

Para el uso de estas expresiones e incorporando los criterios técnicos presentados y el marco normativo existente se tiene que se entenderá por exposición, fragilidad y resiliencia lo que enseguida se describe:

Exposición: corresponde al inventario de bienes naturales o no (elementos expuestos), que pueden ser afectados por los diferentes eventos amenazantes y se expresa en términos de activos y de población; la exposición se mide de acuerdo al porcentaje de daño y se calcula mediante el **índice de pérdidas (IP)**, el cual está afectado por los niveles de confianza de la valoración y varía entre 0 y 1. Es un componente fundamental en el análisis o evaluación de riesgo y de su resolución y detalle depende el grado de precisión de los resultados. El modelo puede evaluarse con diferentes niveles de resolución y cuando no se cuenta con información al detalle es necesario realizar estimaciones aproximadas que representen o den cuenta de dicho inventario de activos expuestos en forma aproximada. Los elementos expuestos se deben definir a partir de por lo menos los siguientes parámetros, que califican el elemento:

- Valor físico o costo de reposición del bien
- Valor humano o número de ocupantes estimado en el área de análisis
- Clasificación del bien

Para analizar la exposición o susceptibilidad física, los indicadores más adecuados son los que reflejan población, activos medios de sustento, inversiones, producción, patrimonio y actividades humanas.

El decreto 1523 define la exposición así: *“Se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura, que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza”.*

Susceptibilidad (fragilidad): se define para los POMCAS como el grado de fragilidad de los diferentes elementos y sectores (económico, social y ambiental) para soportar el embate de los eventos amenazantes involucrados dentro del estudio de cuencas hidrográficas, establecido a través del análisis de índices e indicadores particulares que los caracteriza; se mide como un **índice de fragilidad y varía de acuerdo a esta propuesta entre cero y tres.**

La fragilidad socio económica puede representarse mediante indicadores de pobreza, analfabetismo, desempleo, inflación, inseguridad, degradación ambiental, etc.

Resiliencia: Como factor de vulnerabilidad la falta de resiliencia se refiere a la falta de capacidad para enfrentar el impacto de los fenómenos amenazantes y se relaciona con el nivel de desarrollo y la existencia explícita de una gestión del riesgo, esta se puede representar mediante indicadores de gobernabilidad, protección financiera, capital humano, desarrollo tecnológico, etc. La fortaleza de este tipo de indicadores radica en la posibilidad de desagregar los diferentes resultados aportados por la medición de los indicadores, llenar vacíos de información y aportar a la toma de decisiones. Además se convierten en una poderosa herramienta de monitoreo y seguimiento a la gestión del riesgo. Se mide como **un índice de falta de resiliencia y varía entre 0 y 1 para este trabajo.**

Los principales procesos organizados por fases para el análisis de la vulnerabilidad y el riesgo en la fase de diagnóstico de los POMCAS se resumen en la Figura 3-1.

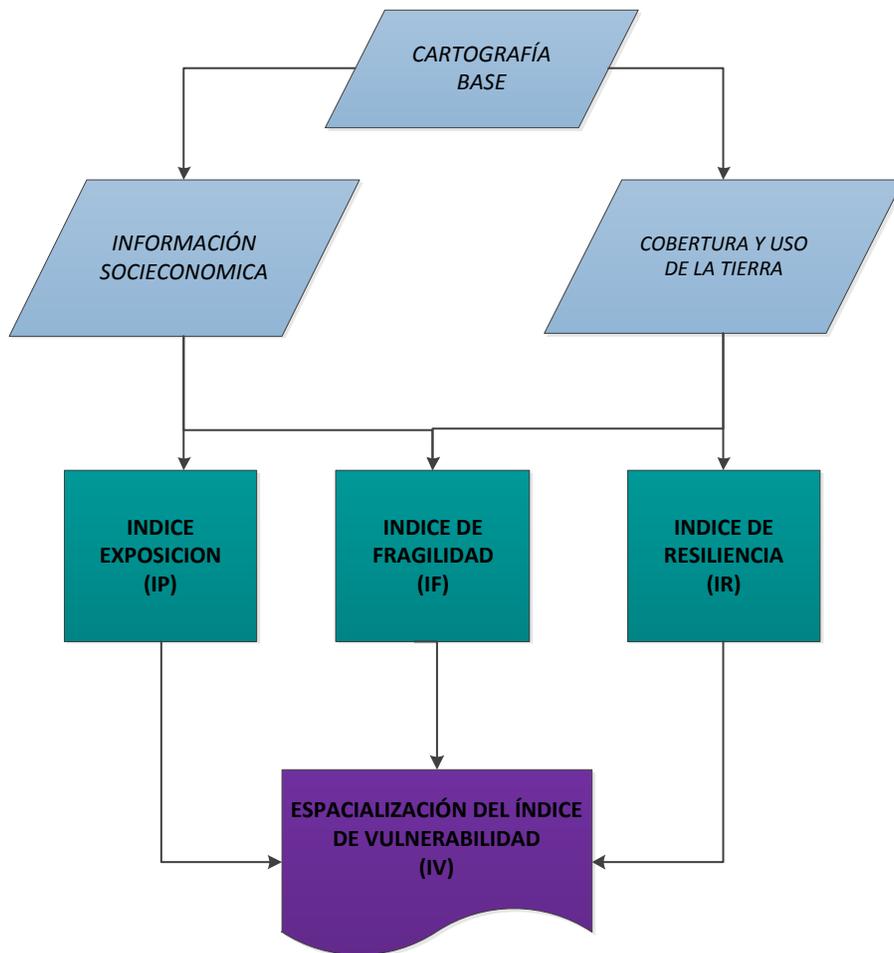


Figura 4-1 Mapa conceptual para el análisis de la vulnerabilidad en los POMCAS

4.2 ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN

Para analizar la exposición, la cual entrará para el análisis de la vulnerabilidad teniendo en cuenta la escala 1:25000 que requieren los POMCA, se contemplarán como elementos expuestos aquellos que se encuentren dentro de la descripción de las coberturas adaptadas para Colombia en la Metodología de Corine Land Cover, tal como se presenta en la Guía Técnica de POMCAS.

Con base en lo propuesto por Cardona (2003) y adaptado para POMCAS, con base en el mapa de coberturas los pasos a seguir para obtener la exposición son los siguientes:

1. Efectuar una zonificación para obtener zonas homogéneas para centros poblados (ZHCP) y zonas homogéneas rurales (ZHR).
2. Asignar a las zonas homogéneas obtenidas previamente una serie de índices e indicadores que permitan establecer el modelo de exposición de la zona en estudio.

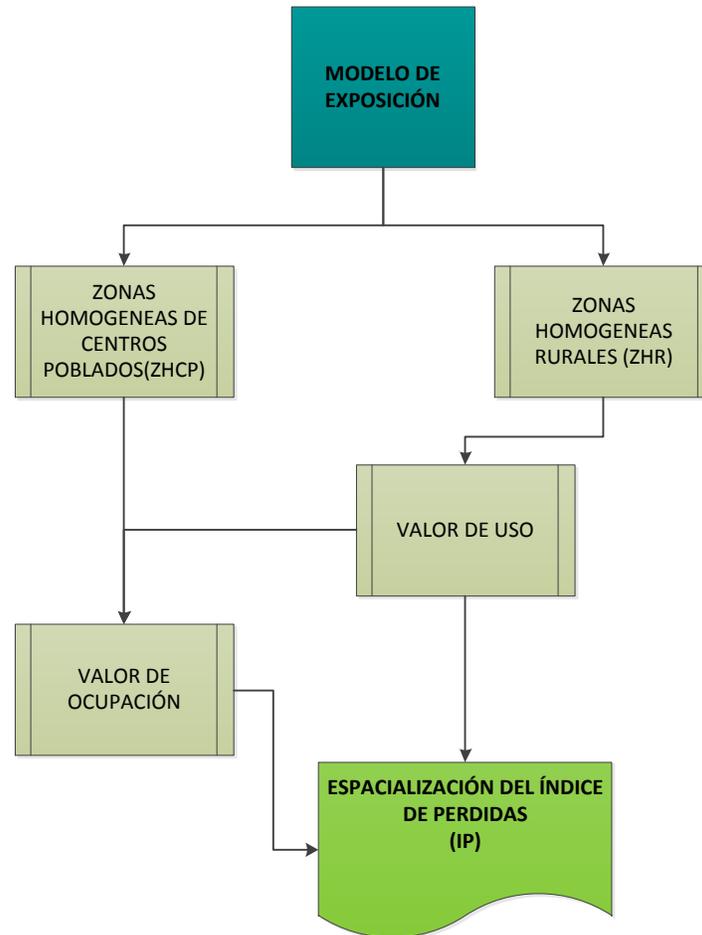


FIGURA 4.2 mapa conceptual para el análisis del modelo de exposición en los POMCAS

4.2.1 Zonas homogéneas

1. Zona homogéneas centros poblados (ZHCP): Del mapa de cobertura y uso se extraerán los polígonos que definan centros poblados ya sean en la zona urbana o rural de la cuenca, a los cuales se les asignará como mínimo los siguientes atributos:

- **Área** de la zona (km²)
- **Uso** de la zona: **se** refiere a uso del tipo residencial, comercial, educación, salud, etc., obtenido del mapa de cobertura y uso de Corine Land Cover.
- **Densidad de población** de cada una de las zonas en:
 $DP = \text{número de habitantes} / \text{km}^2 \text{ de construcción para el período del día en el cual se prevé la mayor ocupación, ya sea el día o la noche.}$

Esta información se puede buscar en censos de población o estadísticas oficiales. Las zonas homogéneas se obtendrán a partir de la combinación de estos factores, teniendo en cuenta que la densidad de población se dividirá como mínimo tres rangos de acuerdo a análisis estadísticos básicos: Densidad baja. (DB), Densidad media. (DM) y Densidad alta. (DA). En la tabla 4-1 se presentan valores recomendados de densidad (adaptado UNAL, 2013).

Tabla 4-1. Categorías sugeridas de densidad poblacional para POMCAS (adaptado UNAL, 2013)

Densidad poblacional	Categoría
Menor de 25 hab/ Km ²	Baja
Entre 25 y 75 hab/ Km ²	Media
Mayor de 75 hab/ Km ²	Alta

- **Densidad promedio de construcciones** que se obtiene a partir del SIG en:

$DC = \text{número de construcciones} / \text{Km}^2 \text{ de terreno}$

Otros datos como edad de construcciones y altura promedio no aplica para la escala de trabajo. En la tabla 4-2 se presentan los atributos mínimos para POMCA que se deben tener en cuenta para obtener las zonas homogéneas para centros poblados.

Tabla 4-2. Atributos zonas homogéneas centros poblados (ZHCP)

Polígono	Area (km ²)	Area construida (km ²)	% sobre área construida	DC (construcciones/km ²)	Tipo de cobertura y Uso (Corine Land Cover)	DP (Hab/Km ²)	ZHCP (zona homogénea centros poblados)
1							
2							

El número mínimo de zonas homogéneas será de tres, sin embargo el mismo puede variar de acuerdo a las condiciones propias de cada zona.

2. Zonas rurales homogéneas (ZHR): La zonificación rural se debe realizar con base en tipos de cultivos, bosques, densidad de vegetación mediante una reclasificación del mapa de cobertura y uso obtenido para el POMCA. Se extraerán de estas zonas todos los centros poblados que entran en la anterior categoría. La zona homogénea quedará conformada con la siguiente información y tendrá los atributos que se presentan en la tabla 4-3:

- Área de la zona (Has)
- Cobertura y Uso principal: tipo de cultivos(ej: maíz, café, etc.), bosques, desiertos, pastos, latifundios, minifundios, etc. Teniendo en cuenta que se usará como mínimo la clasificación de cobertura y uso nivel 4.
- Relieve: plana, ondulada, montañosa
- Categoría socio-económica: alta, media, baja

Tabla 4-3. Atributos zonas homogéneas zonas rurales (ZHR)

Polígono	Area (Has)	Tipo de cobertura y Uso (Corine Land Cover)	Tipo de relieve	Categoría socio económica	ZHR (zona homogénea rural)
1					
2					

El número mínimo de zonas homogéneas será de tres, sin embargo el mismo puede variar de acuerdo a las condiciones propias de cada zona.

4.2.2 Índice de Pérdida o daño (IP)

Para el cálculo del índice de pérdida o daño (IP) se requiere el cálculo de indicadores económicos y de desarrollo que se describen enseguida.

4.2.2.1 Indicadores económicos y de desarrollo

Estos indicadores se obtendrán para la fecha estimada o escenario de amenaza definido previamente. Este indicador se puede obtener a partir del precio por metro cuadrado de construcción en cada zona. Para el efecto se usan indicadores de valores per cápita o normalizados con el PIB. El objetivo de estos indicadores es obtener los valores de reposición estimados del bien en los casos que ello aplique.

a. Para los centros pobladores y/o infraestructura

Para la Infraestructura a nivel de cuenca, se requiere indicar el tipo de infraestructura y el valor total de reposición por lo menos. El valor de reposición se calcula con base en los índices de precio por metro cuadrado para la zona en estudio, valores que se obtendrán del análisis socio – económico desarrollado en el POMCA, multiplicándolo por el área construida calculada. Se compara con una tabla de precios mínimos y máximos por metro cuadrado en función del estrato socio-económico, dato que se obtendrá de las estadísticas desarrolladas por diferentes entidades a nivel nacional.

La infraestructura considerada y los indicadores que pueden usarse para estimar los valores de reposición, si no se tienen valores o indicadores más específicos, son los siguientes:

- Red vial primaria y secundaria: se puede obtener este dato de la cartografía base existente; si no se tiene suficiente información, se pueden utilizar indicadores en correlación con la densidad de población por km² de territorio para estimar longitud total de vías, de los diferentes tipos (pavimentada o no, doble o triple carril, etc). Los costos asociados harían referencia a costo por unidad de longitud para el mismo número de carriles y tipo de vía.

- Puentes en la red vial primaria y secundaria: se puede estimar como la longitud total de puentes en porcentaje de la longitud total de red vial tanto primaria como secundaria. También se pueden hacer estimativos del número de cruces importantes entre la red vial y la red fluvial. El costo de los puentes se plantea como un costo unitario por unidad de longitud para puentes estándares de dos carriles.
- Infraestructura de servicios: para los sectores de generación de energía, distribución de energía, comunicaciones e hidrocarburos, se asignan valores globales per cápita a nivel del país con base en indicadores similares de otros países.

Para cada zona homogénea de análisis y con base en la densidad de habitantes por km² previamente calculado, el cual sirve como índice de referencia para estimar los tamaños de diferentes componentes de infraestructura se obtendrá el IVE o índice de precios por Km² de la zona. En forma complementaria se realizan estimativos de valores de exposición unitarios para cada una de las obras de infraestructura con base en lo cual se pueden calcular los valores expuestos totales para cada sector y en cada región.

Como **indicadores de exposición para centros poblados** se requieren por lo menos:

- **Área total construida en la zona**= (área ocupada promedio/km²) * área del polígono
- **Valor total de reposición** = (área total construida de la zona)* índice de precios unitarios por m² promedio de la zona; este valor se deberá convertir a precio por Km².

$$Vuso(US\$) = CM (km^2) * IVE(US\$/km^2)$$

Donde:

Vuso: valor expuesto de cada uso o valor total de reposición

CM: cantidad de área construida para cada uso

IVE: índice de precios unitarios por Km² promedio de la zona

- **Ocupación**= (índice promedio de ocupación) * área total construida en la zona; se define en la siguiente forma

$$Ouso(Hab)= CM [km^2] * IH[Hab/km^2] * PO [%]$$

Donde:

Ouso: cantidad de personas ocupando un uso, Ocupación

CM: cantidad de área construida para cada uso

IH: índice de ocupación para cada uso

PO: porcentaje de ocupación de cada uso y para cada escenario (día o noche). Si no se tiene este dato se puede definir este valor como uno (1) pensando en una ocupación total ya sea en el día o en la noche.

Con base en este proceso en la tabla 4.4 se resume la información que se requiere para obtener los índices requeridos para emplear para el cálculo del modelo de exposición.

Tabla 4.4: indicadores para el modelo de exposición para centros poblados

Polígono	Area (km2)	Tipo de Uso y cobertura (Corine Land Cover)	CM (Km2/Tipo de uso)	IVE (\$US/km2)	IH (HAB/km2)	PO %	V uso (\$Us)	Ouso (Hab)
1								
2								

a. Para las zonas rurales

Estos Indicadores económicos y de desarrollo se obtendrán para la fecha estimada o escenario de amenaza definido para las zonas productivas o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales. Este indicador se puede obtener a partir del precio estimado por Ha en cada zona. Las áreas en las cuales se presenten ecosistemas estratégicos, zonas de reserva o áreas protegidas serán excluidas de este análisis por estar por fuera de los alcances de este trabajo su valoración, estas últimas se tendrán en cuenta en el análisis de fragilidad.

- **Valor de reposición para las zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc.) o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales:** el cual se puede calcular con base en los índices de precio por Ha estimados para Colombia multiplicándolo por el área del polígono calculado. La valoración misma del bien no incluye el valor del terreno en el cual está localizado. Corresponde únicamente a un valor de reposición de la pérdida del mismo.

Como **indicadores de exposición para zonas rurales se tiene el Vuso**, para el cual se requieren por lo menos (Tabla 4.5):

- **Área total zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc.) o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales** = (área ocupada promedio por tipo de uso/Ha) * área del polígono
- **Valor total de reposición** = área total zonas productivas (agrícolas, ganaderas, etc.) o áreas estratégicas generadores de servicios ambientales de la zona* índice de precios unitarios por Ha promedio de la zona.

$$Vuso(US\$) = CM (Ha) * IVE(US\$/Ha)$$

Donde:

Vuso: valor expuesto de cada uso o valor total de reposición

CM: cantidad de área dedicada a cada uso (Ha)

IVE: índice de precios unitarios por Ha promedio de la zona

Tabla 4.5: indicadores para el modelo de exposición para zonas rurales

Polígono	Area (Has)	Tipo de cobertura y Uso (Corine Land Cover)	CM (Has/Tipo de uso)	IVE (\$US/Ha)	V uso (\$Us)
1					
2					

Una vez analizada la exposición en función de los indicadores o estimativos presentados anteriormente o mejores datos si están disponibles, es posible estimar los valores expuestos totales para lograr una cuantificación global de cifras. Igualmente es posible obtener una serie de indicadores a nivel de la cuenca que permiten comparar una cuenca con otra e identificar posibles problemas gruesos con los estimativos realizados. Estos indicadores permiten tener un modelo consistente y calibrado entre cuencas.

4.2.2.2 Índice de pérdida o índice de daño (IP)

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$

Donde,

Vi : Valor inicial del bien (antes del evento).

Vf : Valor final del bien (después del evento o valor de reposición (Vuso)).

Este índice se obtendrá para cada una de las zonas homogéneas analizadas

Este mismo índice se usará para la pérdida de vidas.

4.2.3 ANÁLISIS DE FRAGILIDAD (IF)

Bajo el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad, la vulnerabilidad se plantea como un factor interno de riesgo y se relaciona con la exposición, con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados por la ocurrencia de un desastre o fragilidad física, la fragilidad social y ecosistémica y la resiliencia de las comunidades para responder ante un desastre o absorber su impacto. El índice de fragilidad varía entre 0 y 1 tal como se detalla enseguida.

Para efectos de los análisis en POMCAS se considera necesario señalar las siguientes definiciones:

1. Fragilidad física: es la condición de susceptibilidad de los asentamientos humano de ser afectados por estar en el área de influencia de los fenómenos peligrosos y por su falta de resistencia física ante los mismos
2. Fragilidad social: predisposición que surge como resultado de nivel de marginalidad y segregación social del asentamiento humano y sus condiciones de desventaja y debilidad relativa por factores socio-económicos.

3. Falta de resiliencia: expresa las limitaciones de acceso y movilización de recursos del asentamiento humano, su incapacidad de respuesta y sus deficiencias para absorber el impacto.

El análisis de la fragilidad, la resiliencia y por lo tanto el análisis de la vulnerabilidad se efectuará para todas las zonas que tienen evaluación de amenaza, es decir para las zonas críticas.

4.2.3.1 Fragilidad física (Ff)

Esta fragilidad depende del tipo de evento amenazante y desde el punto de vista del ordenamiento territorial, y teniendo en cuenta lo definido al principio de este capítulo “*no todas las amenazas son realmente relevantes en la definición de los usos del suelo; es decir, no todos los fenómenos tienen una alta incidencia en la posibilidad de que ciertas áreas deban ser ocupadas o que se puedan realizar actividades que signifiquen la exposición permanente de activos, bienes o servicios y, sobretodo, de personas que puedan permanecer en dichas áreas consideradas como propensas a ser afectadas por fenómenos peligrosos. A este tipo de amenazas se pueden asociar fenómenos como los deslizamientos o movimientos en masa, los flujos de lodo o de escombros, las avalanchas, las inundaciones de alta pendiente o comportamiento torrencial, entre otros, cuya energía es tan alta que su intensidad se considera lo suficientemente severa que cualquier elemento expuesto, en términos prácticos, esté sujeto a un daño total o casi total en caso de presentarse o desencadenarse el evento peligroso. En otras palabras, estar expuesto en las áreas propensas a este tipo de fenómenos implica un alto potencial de consecuencias o una situación de “riesgo implícito” ...*” (Cardona, 2013). En este sentido la fragilidad física o susceptibilidad física se evaluará en la misma forma para los eventos amenazantes en evaluación en los POMCA: movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, y será uno o cero si el elemento expuesto está ubicado en la zona de amenaza alta o baja respectivamente. Es con base en este criterio entre otros, que la Ley 388 de 1997, identifica las zonas de amenaza como determinante ambiental. En la tabla 4.6 se presenta el índice de fragilidad física propuesta para los POMCA.

Tabla 4.6: Fragilidad física

Nivel de Amenaza	Índice de Fragilidad física
Alta	1
Media	0.5
Baja	0

4.2.3.2 Fragilidad Socio – cultural (Fsc)

La adopción de este índice es una adaptación a la metodología de evaluación de la vulnerabilidad presentada por la Universidad Nacional (2013). En la evaluación de la fragilidad sociocultural se debe tener en cuenta que las coberturas que indican la presencia de los asentamientos humanos son el tejido urbano y el tejido urbano discontinuo. La fragilidad socio cultural es la suma del índice de **Calidad de Vida (ICV)** que se presenta en la tabla 4.7 y **el índice de fragilidad cultural** que se muestra en la tabla 4.8.

El primer índice (Tabla 4.7) y con fines de POMCAS se calcula con base en el uso de la variable Índice de Condiciones de Vida (ICV), información disponible en el Departamento Administrativo

Nacional de Estadística (DANE) y en el Sistema de información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial nacional (SIGOT).

Se optó por esta variable porque el ICV está vinculado con la susceptibilidad desde los niveles de marginalidad o exclusión social. El Índice de Calidad de Vida (ICV) refleja las condiciones socioeconómicas de los hogares urbanos y rurales de las áreas en estudio en cuanto a las variables de análisis que están relacionadas con educación y capital humano, calidad de la vivienda y tamaño y composición del hogar. El mínimo normativo garantizado por la Constitución es de 67 (Departamento Nacional de Planeación, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Humano, Equipo Técnico del Programa Nacional de Desarrollo Humano, & Agencia Alemana de Cooperación al Desarrollo, n.d.). La tabla 4-7 muestra los valores y las categorías para la evaluación del ICV. Entre más bajo sea el valor del ICV la fragilidad será mayor. El índice de calidad de vida (ICV) varía entre 0 y 0.5.

La dimensión cultural (Tabla 4.8) se incluye de forma indirecta puesto que existen coberturas, que aunque no están ocupadas por población, se constituyen en patrimonio natural o en áreas apropiadas para el desarrollo de actividades de aprovechamiento del espacio público o de fuentes de subsistencia de comunidades, como por ejemplo los bosques, las áreas verdes, los cuerpos de agua, entre otros; para ello es necesario que el grupo de expertos defina las áreas de interés o patrimonio natural propios de la región en estudio.

Las áreas que se definan como de dimensión cultural y que definen la “**fragilidad cultural**” se deben determinar a través del juicio de expertos, si es positivo en alguno de los casos anteriores el valor de la **calificación es 0,5 pero si es negativo se calificará con 0,0.**

Tabla 4.7. Valores ICV y categorías para la evaluación de coberturas “tejido urbano” y “tejido urbano discontinuo”. (tomado de UNAL, 2013, tabla 16)

ICV y fragilidad socio-cultural		
Valor	ICV	Categoría
0,1	Mayor de 80	Baja
0,25	Mayor de 67 y menor que 80	Media
0,5	Menor de 67	Alta

Tabla 4.8. Categorías para la evaluación de la “fragilidad cultural” (adaptado de UNAL, 2013)

Fragilidad cultural (Fc)		
Valor	Áreas de Patrimonio Natural o Dimensión cultural	Categoría fragilidad
0,0	Baja
0,25	Media
0,5	Alta

Finalmente la fragilidad socio cultural se define como la sumatoria de:

$$\text{Fragilidad sociocultural} = \text{Condiciones de vida (ICV)} + \text{Dimensión cultural}(Fc)$$

4.2.3.3 Fragilidad ecosistémica (Fe):

El análisis se hará sobre todas los elementos que están en amenaza alta y media y deben ser evaluados porque constituyen áreas protegidas o prestan servicios ambientales; igualmente ellos permiten la satisfacción de necesidades básicas como el acceso al agua, a la energía o al aire y garantizan el equilibrio natural a través de su conservación o protección; y son soporte de la productividad de alimentos (Unal, 2013). Este índice se presenta en la tabla 4.9.

El índice propuesto varía entre 0 y 1. En caso de que la cobertura esté localizada en un área protegida, el valor de la fragilidad siempre será de 1, por lo que la categoría será alta. Sin embargo, si la cobertura no se encuentra dentro de un área protegida, a juicio de expertos o de acuerdo a categorizaciones existentes en ecosistemas similares; se debe determinar si es un ecosistema estratégico y su evaluación se hará teniendo en cuenta lo siguiente:

Tabla 4.9. Indicador de la fragilidad de ecosistemas estratégicos (Adaptado de UNAL, 2013, Tabla 18)

Valor	Áreas y Ecosistema estratégico	Categoría
1,00	Satisfacción de necesidades básicas y equilibrio natural	Alta
0,75	Productividad y equilibrio natural	Media
0,30	Productividad	Baja
0,00	No constituye un área o ecosistema estratégico en la cuenca	Ninguna

La fragilidad ecosistémica puede ser evaluada con mayor nivel de detalle a partir de la metodología propuesta por Pérez Vizcaino (2010).

De acuerdo con las calificaciones, la fragilidad total se establece de la siguiente forma:

$$Fragilidad = \frac{Fragilidad\ física + Fragilidad\ sociocultural + Fragilidad\ ecosistémica}{3}$$

Tal como se indicó previamente el índice varía entre 0 y 1. Si el valor final es menor a 0.5 la fragilidad es baja. Si el valor final está entre 0.5 y 0.75 la fragilidad es media, y si el valor está entre 0.75 y 1 la fragilidad es alta, tal como aparece en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Indicador de fragilidad propuesto

Valor	Categoría Índice de Fragilidad
0.75 -1	Alta
0.5-0.75	Media
0 - 0.5	Baja

4.2.4 RESILIENCIA (IR)

En primer lugar, este indicador aborda la afectación de las actividades productivas y de la infraestructura estratégica de transporte, servicios públicos, etc. Y en segundo lugar, ya que la falta de resiliencia mide la incapacidad de absorber los impactos y recuperarse a ellos, también se evalúa la recuperación en el corto, mediano y largo plazo.

De este modo, la evaluación se realizará con base en los siguientes términos:

Tabla 4.11. Indicador de la Falta de resiliencia económica (adaptado Unal, 2013, Imiriland, 2007)

Valor	Falta de resiliencia económica	Categoría
1,00	Se localizan las más importantes actividades productivas para el desarrollo económico de la región y/o hay presencia de infraestructura estratégica o vital. Hay destrucción total del medio ambiente físico Recuperables en el largo plazo.	Muy Alta
0,75	Se desarrollan algunas actividades económicas y se localiza infraestructura estratégica. Daños ambientales muy grandes difíciles de reparar. Recuperable en el mediano plazo.	Alta
0,50	Hay poca actividades productivas o de servicios. Pérdidas ambientales serias pero reparables. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	Media
0,25	Hay poca actividades productivas o de servicios locales. Pérdidas ambientales locales. La recuperación se puede dar en el corto plazo.	baja
0,0	No se desarrollan actividades productivas y no hay infraestructura. Elementos ambientales intactos	Cero

4.3 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

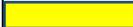
De acuerdo a lo establecido previamente y luego de evaluados cada uno de los elementos que hace parte del modelo de vulnerabilidad, ésta se establece de la siguiente forma:

Índice de Vulnerabilidad (IV) = [Índice de Pérdida x Índice de fragilidad x Índice de falta de resiliencia]

$$IV = [IP \times IF \times IR] / IP_{max}$$

La clasificación de los niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS se presenta en la tabla 4.12.

Tabla 4.12: Niveles de vulnerabilidad propuestos para POMCAS

Valor	Categoría Índice de Vulnerabilidad (IV)	Símbolo
0.75 -1	Alta	
0.30-0.75	Media	
0 - 0.30	Baja	

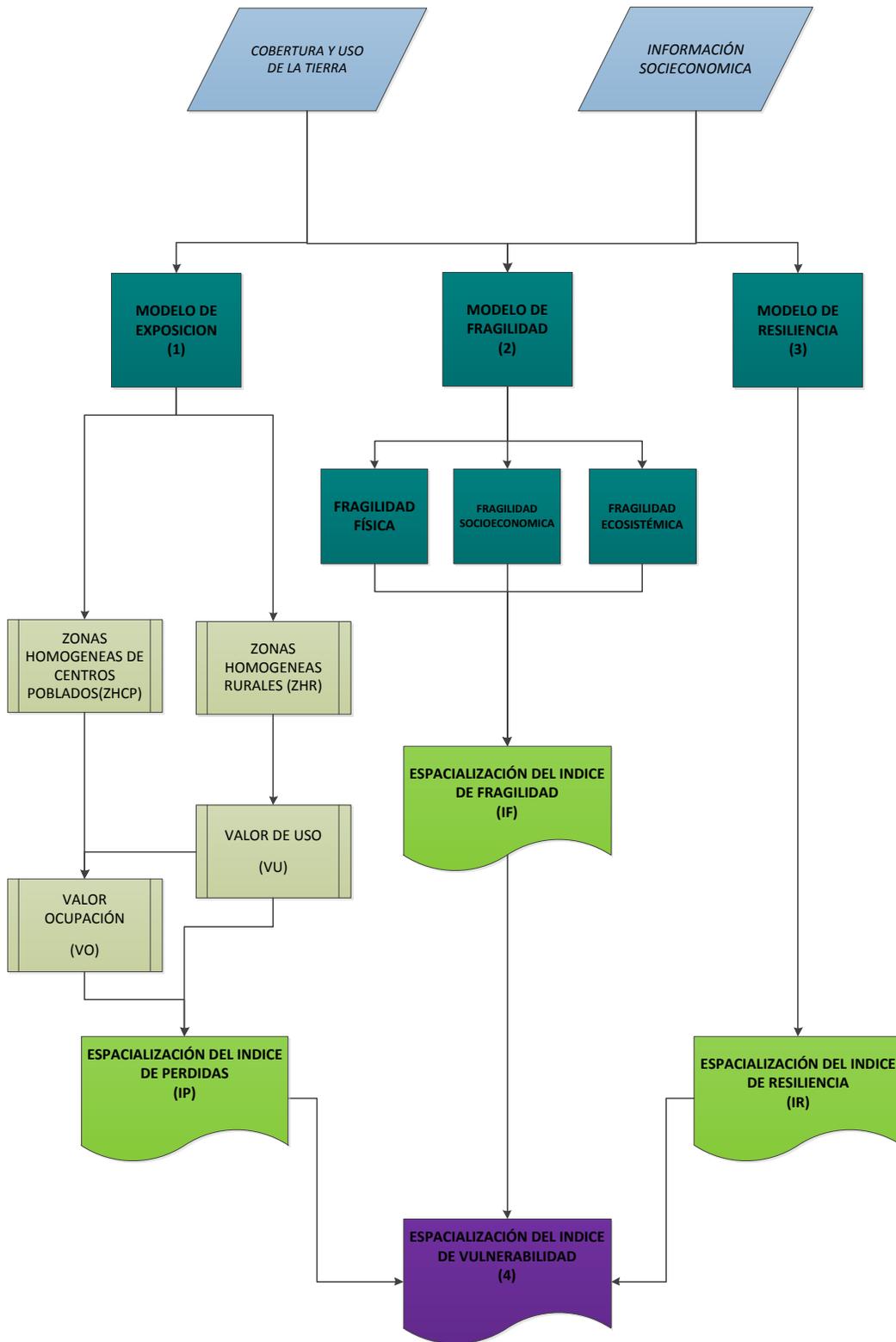


FIGURA 4.3 mapa conceptual detallado para el análisis del modelo de vulnerabilidad en los POMCAS

4.4 ANÁLISIS DE RIESGO

En este tema, se han tenido avances en la construcción de metodologías con el uso de sistemas de información geográfica, destacándose metodologías como el proyecto RADIUS (Botero, 2009), cuyo objetivo es el estudio del riesgo sísmico para nueve ciudades del mundo, los proyectos SERGISAI y Risk-UE a nivel europeo y el programa HAZUS®, que proporciona una herramienta de análisis y cuantificación de diferentes riesgos naturales en Estados Unidos. El HAZUS® (Federal Emergency Management Agency-FEMA, 2004), es una herramienta informática que permite la evaluación de riesgos por inundación, teniendo en cuenta parámetros como evaluación de daños físicos a los edificios e infraestructura, pérdidas económicas, incluyendo costos de reparación y reposición, lucros cesantes, desempleo e impactos sociales y la población expuesta a las amenazas. Dichos cálculos se realizan con base la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), específicamente en el programa ARC-GIS (Unal, 2013).

A nivel de latinoamerica, se ha desarrollado el Modelo de CAPRA (Central American Probabilistic Risk Assessment) el cual hace una aproximación a partir de un análisis de las causas, efectos e impactos de inundaciones, amenaza sísmica, proponiendo una metodología para la evaluación, zonificación y reducción de riesgos por inundaciones y avenidas torrenciales y su articulación con los POT.

El riesgo por amenazas naturales es comúnmente descrito mediante la llamada *curva de excedencia de pérdidas (loss curve)* que especifica las frecuencias, usualmente anuales, con que ocurrirán eventos en que se exceda un valor especificado de pérdidas (CAPRA, 2010). Esta frecuencia anual de excedencia se conoce también como tasa de excedencia, y puede calcularse mediante la siguiente ecuación, que es una de las múltiples formas que adopta el teorema de la probabilidad total:

$$v(p) = \sum_{i=1}^{\text{Eventos}} \Pr(P > p | \text{Evento } i) F_A(\text{Evento } i)$$

En la ecuación anterior $v(p)$ es la tasa de excedencia de la pérdida p y $F_A(\text{Evento } i)$ es la frecuencia anual de ocurrencia del evento i , mientras que $\Pr(P > p | \text{Evento } i)$ es la probabilidad de que la pérdida sea superior a p , dado que ocurrió el i -ésimo evento. La suma en la ecuación anterior se hace para todos los eventos potencialmente dañinos. El inverso de $v(p)$ es el periodo de retorno de la pérdida p , identificado como Tr .

La curva de pérdidas contiene toda la información necesaria para describir en términos de probabilidad el proceso de ocurrencia de eventos que produzcan pérdidas. La pérdida p a que se refiere la ecuación 1 es la suma de las pérdidas que acontecen en todos los bienes expuestos. Conviene hacer notar lo siguiente:

- La pérdida p es una cantidad incierta, cuyo valor, dada la ocurrencia de un evento, no puede conocerse con precisión. Debe, por tanto, ser vista y tratada como una variable aleatoria y deben preverse mecanismos para conocer su distribución de probabilidad, condicionada a la ocurrencia de cierto evento.
- La pérdida p se calcula como la suma de las pérdidas que se presentan en cada uno de los bienes expuestos. Cada uno de los sumandos es una variable aleatoria y entre ellos existe cierto nivel de correlación, que debe ser incluido en el análisis.

En vista de la Ecuación presentada, la secuencia de cálculo probabilista de riesgo es la siguiente:

1. Para un escenario, determinar la distribución de probabilidades de la pérdida en cada uno de los bienes expuestos.
2. A partir de las distribuciones de probabilidad de las pérdidas en cada bien, determinar la distribución de probabilidad de la suma de estas pérdidas, tomando en cuenta la correlación que existe entre ellas.
3. Un vez determinada la distribución de probabilidad de la suma de las pérdidas en este evento, calcular la probabilidad de que esta exceda un valor determinado, p .
4. La probabilidad determinada en el inciso anterior, multiplicada por la frecuencia anual de ocurrencia del evento, es la contribución de este evento a la tasa de excedencia de la pérdida p .

Para aplicación en POMCAS y dado los niveles de información existente y los desarrollos propuestos, se plantea que el riesgo se calcule como la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia del evento amenazante por el Índice de Vulnerabilidad (IV) descrito atrás, es decir:

$$IR = Pf \text{ (de cada evento amenazante) } * IV$$

En donde Pf es la amenaza en términos de la probabilidad de ocurrencia del evento amenazante e IV es el índice de vulnerabilidad calculado previamente. De igual manera que la vulnerabilidad, el riesgo se cataloga dependiendo de las pérdidas esperadas a nivel anual, tal como se presenta en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Criterio de categorización del riesgo para los diferentes eventos en POMCAS con base en amenaza probabilística

CATEGORÍA DEL RIESGO	CRITERIO
ALTA	Las pérdidas esperadas anuales superan el 50% (IR promedio \geq 0.5)
MEDIA	Las pérdidas esperadas anuales se encuentran entre el 25% y 50% (IR promedio =entre 0.25 y 0.50)
BAJA	Las pérdidas esperadas anuales son inferiores al 25% (IR promedio $<$ 0.25)

El método de análisis de riesgo depende del método de evaluación de amenaza aplicado, tal como se describe enseguida:

1. **Amenaza probabilística:** Con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenario seleccionado y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo para el escenario seleccionado, tal como se presenta en la tabla 4.14.

Este análisis se debe efectuar para los diferentes tipos de amenazas.

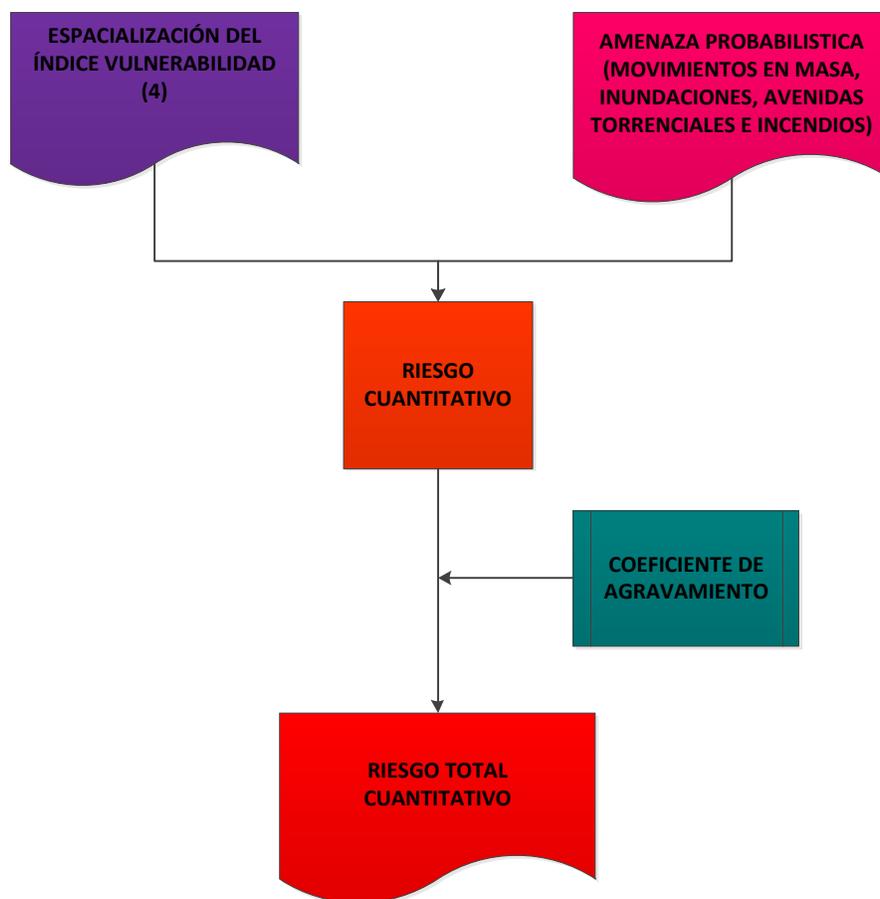


FIGURA 4.4 mapa conceptual para el análisis del Riesgo Cuantitativo en los POMCAS.

Tabla 4.14. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo del IR para la zona de estudio con amenaza probabilística

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)			NIVEL DE RIESGO (IR)
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA (30% A 75 %)	NIVEL 1: BAJA (<30%)	
ALTA (75% a 95%)				
MEDIA (30% a 75%)				
BAJA (menor del 30%)				

Las pérdidas físicas y humanas asociadas a cada uno de los niveles de riesgo se calculan a partir de los índices descritos previamente para el escenario seleccionado.

Según Zapata (2004) de acuerdo con la experiencia de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, aunque los efectos económicos indirectos de un desastre natural dependen del tipo de fenómeno (CEPAL 2003), se puede considerar apropiado que si se trata de desastre “húmedo” (por ejemplo, causado por una inundación) los efectos económicos indirectos podrían llegar a ser del orden del 50% al 75% de los efectos directos. Por otra parte, en el caso de un

desastre “seco” (por ejemplo, un sismo), los efectos indirectos podrían llegar a ser del orden de 75% al 100% de los efectos directos. La diferencia radica en el tipo de daños que ocasionan (destrucción de cultivos, de medios de sustento, infraestructura, vivienda, etc.). Esto significa que el impacto total podría ser del orden de 1.5 y 2 veces el impacto directo. Teniendo en cuenta esta apreciación general y para simplificar aquí se asume que el impacto indirecto de un evento, puede llegar a ser del mismo orden que el impacto directo. Es decir, que como máximo, el impacto total (que para este caso corresponde al índice de riesgo IR corresponde al doble del impacto directo). Por lo tanto el índice de riesgo total será el IRt afectado por un coeficiente de agravamiento F.

Como en el estudio de cuencas hidrográficas la mayor parte de los factores de agravamiento no son conocidos en forma cuantitativa, se propone el uso de un factor de 1.7 para condición para el caso de inundaciones y avenidas torrenciales y 1.5 para movimientos en masa. Por lo tanto el índice de riesgo total sería el que se presenta en la tabla 4.15.

$$IRt = IR * F$$

Donde:

IRt = índice de riesgo total

IR= índice de riesgo

F= coeficiente de agravamiento: 1.5 para MM y 1.7 para avenidas torrenciales e inundaciones

Este proceso de análisis de la amenaza probabilística requiere del uso de técnicas avanzadas de geo estadística para aplicar de manera adecuada los índices al factor de agravamiento para conservar la rigurosidad estadística en el tratamiento de los datos.

Tabla 4.15. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo del IRt para la zona de estudio

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)			NIVEL DE RIESGO (IR)	NIVEL DE RIESGO (IRt)	NIVEL DE RIESGO (IR) inundaciones y avenidas torrenciales
					MM IR *1.5	IR*1.7
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA (30% A 75 %)	NIVEL 1: BAJA (<30%)			
ALTA (75% a 95%)						
MEDIA (30% a 75%)						
BAJA (menor del 30%)						

La leyenda asociada a cada uno de los niveles de riesgo deberá describir los aspectos referidos al evento amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, pérdidas en vidas y bienes, etc.

2. Amenaza determinística

Con los datos presentados para los niveles de amenaza para el escenario seleccionado y los niveles de vulnerabilidad calculados a partir de los índices propuestos, se calculan los niveles de riesgo con el uso del SIG por superposición de la capa de amenaza para el evento en evaluación y los niveles de vulnerabilidad dados por el índice de vulnerabilidad, para el escenario seleccionado, tal como se presenta en la tabla 4.16.

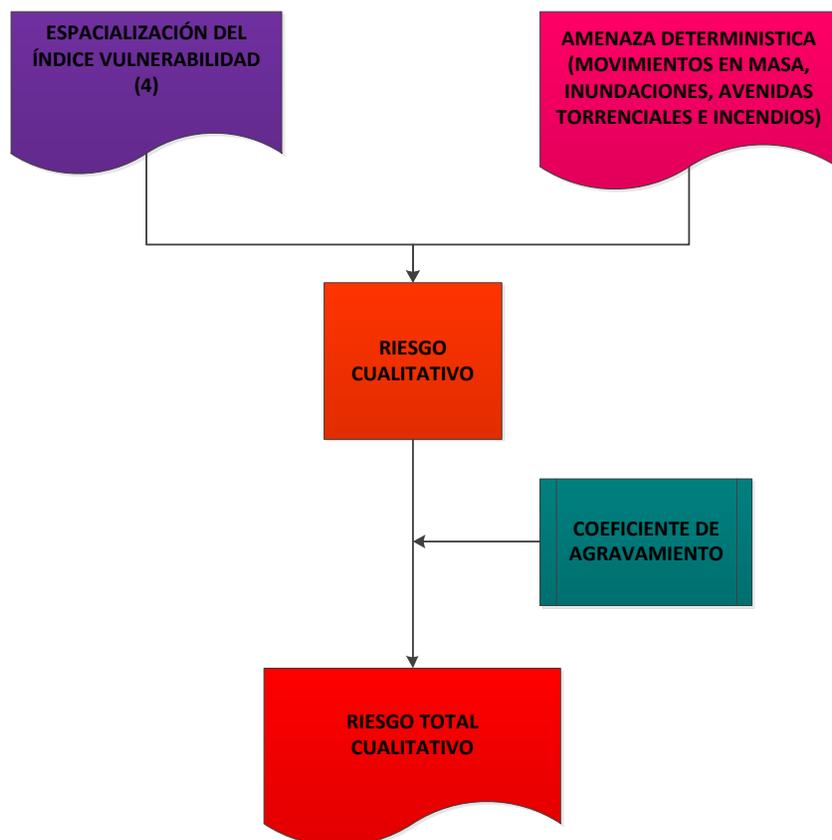


FIGURA 4.4 mapa conceptual para el análisis del riesgo probabilístico en los POMCAS

Tabla 4.16. Matriz propuesta para la Categorización de niveles de riesgo del IRt para la zona de estudio con amenaza determinística

NIVELES DE AMENAZA (Pf)	NIVELES DE VULNERABILIDAD (IV)		
	NIVEL 1: ALTA (75% A 100%)	NIVEL 1: MEDIA (30% A 75 %)	NIVEL 1: BAJA (<30%)
ALTA	AITO	ALTA	MEDIA
MEDIA	ALTO	MEDIA	BAJA
BAJA	MEDIA	MEDIA	BAJA

Al igual que en el caso anterior la leyenda asociada a cada uno de los niveles de riesgo deberá describir los aspectos referidos al evento amenazante y las condiciones de vulnerabilidad asociadas a las características de la zona homogénea, pérdidas en vidas y bienes, etc.

5 BIBLIOGRAFÍA

- Allen, J.R.L. (1985) : "Principles of Physical Sedimentology". Allen & Unwin, 272 pp. London.
- Alzate et al., (2012): Zonificación a escala grande de amenaza por fenómenos de remoción en masa, empleando la herramienta del SIG.
- Aristizábal Edier, Martínez Hernán, Vélez Jaime Ignacio (2010): Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 34 (131): 209-227, 2010. ISSN 0370-3908.
- Baeza, C., and J. Corominas. (1996) : Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques, ed. K. Senneset.
- Baeza, C. y Corominas, J. (2001) : Assessment of shallow landslide susceptibility by means of multivariate statistical techniques. Earth Surface Processes and Landforms, 26: 1251-1263.
- Barragán Rodríguez, L.Y., (2008): Manual para el análisis sísmico de estabilidad de taludes usando método pseudoestáticos y métodos de desplazamiento. Universidad Industrial de Santander, Proyecto de Grado para optar al Título de Ingeniera Civil, Director: Jaime Suarez Díaz, 144 pp.
- BID, Universidad Nacional de Colombia - IDEA. "Indicadores para la gestión de Riesgos – Fundamentos Metodológicos". Manizales, Colombia, 2003.
- Brea, J. D. (2006) : Flujos densos en la región andina argentina: Problemática, tratamiento, soluciones, Presentación oral en el I Encuentro Latinoamericano de Hidráulica, Construcción y Medio Ambiente, UPAO, 14 al 19 de agosto de 2006, Trujillo-Perú.
- Brea, J. D., Spalletti, L., Hopwood, H. J., & Spalletti, P. (2005) : Conceptos y aplicaciones sobre flujos densos en la hidráulica de ríos. Ingeniería del Agua, 12(3), 189-200.
- Caballero A., H. (2011) : Las avenidas torrenciales: una amenaza potencial en el valle de Aburrá. Gestión y Ambiente, 14(3), 45-50.
- Calderon, Y., Murcia, C., (2004) : Propuesta metodológica para el desarrollo de una zonificación geotécnica para cartografía de zonificación geomecánica Volumen III. Informe Interno Ingeominas, Bogotá.
- Calderón, et al., 2007. Metodología para la zonificación de amenaza por movimientos en masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Girón y Piedecuesta, departamento de Santander, Colombia. SGC.
- Cardona, O. D., Londoño, J.P., (2013) : Piloto de asistencia técnica para incorporar la gestión integral de riesgos hidroclimáticos en el ordenamiento territorial municipal. Parte II. PRCC-PNUD.
- Carrara A., (1992): Landslide hazard assesment. Proc. Er. Primer Simposio Internacional sobre sensores remotos y sistema de Información Geográfica para el estudio de riesgos naturales. Bogotá, Colombia, 329-335 pp.
- Carvajal, H. (2011) : Propuesta de estandarización de La cartografía Geomorfológica en Colombia, Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS.
- CEPAL, (2003), Manual para la evaluación de impacto socioeconómico y ambiental de desastres , Chile.
- CIIFEN – USAID. "Estudio de la vulnerabilidad frente al cambio climático de la RPF Manglares del Salado". Ecuador, 2011
- CIIFEN. "Implementación de un sistema de información de vulnerabilidad sectorial de la Provincia de Guayas frente al cambio y la variabilidad climática". Ecuador, 2011

- Collazos, P., Montaña, X., (2012) : Manual de Aguas Subterráneas. Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo, Paraguay.
- Cooke, R., and Doornkamp, J. (1990) : Geomorphology in environmental management. A new introduction. editorial Clarendon Press-Oxford University, New York.
- Costa, J. E. (1988) : Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows. Flood Geomorphology. John Wiley & Sons New York.
- Coussot, P. (1997) : Mudflow Rheology and Dynamics, International Association for Hydraulic Research. Monograph Series, 255 pp.
- González de Vallejo, L.I. (2002) : Ingeniería geológica, Pearson Educación, ISBN 8420531049, 9788420531045, 715 pp.
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. "Metodología de análisis Probabilista de Riesgos. Informe TRN – CAPRA – TR2". <http://www.ecapra.org>. 2010
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. "Propuesta de funciones e indicadores de Vulnerabilidad. Informe ERN – CAPRA 2.2". <http://www.ecapra.org>. 2010
- Evaluación de Riesgo ERM . América Latina. "Caracterización, clasificación y valoración de elementos expuestos. Informe ERN – CAPRA T2.1". <http://www.ecapra.org>. 2010
- Hoek, E, & Bray, J. (1977) Rock Slope Engineering. The Institute of Mining and Metallurgy, London.
- IDEAM (2013): Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua-ERA 2013, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Bogotá D.C., 275 pp., ISBN: 978-958-8067-62-9.
- ISDR. 2002. Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives. UN Inter-Agency Secretariat for the International Strategy for Disaster Reduction. Geneva 10, Switzerland.
- Julien, P. Y., & Leon, C. (2000) : Mud floods, mudflows and debris flows. Classification, rheology and structural design. Jornadas de Investigación JIFI.
- Lewis, D.W. & McConchie, D. (1994) : "Practical Sedimentology". Chapman & Hall, 213 pp. New York.
- Mainali, A. & Rajaratman, N. (1994) : "Experimental study of debris flow". Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. Vol 120. No.1. Discussion by P. Coussot and M. Meunier in Journal of Hyd. Eng. ASCE. May 1995.
- Mclane, M. (1995) : "Sedimentology". Oxford University Press, 423 pp. Oxford.
- Middleton, G.V. & Hampton, M.A. (1973) : "Sediment gravity flows: mechanics of flow and deposition". In: Middleton, G.V. & Bouma, A.H. (Eds.): Turbidites and Deep Water Sedimentation. Short Course 1, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists: 1-38. Tulsa.
- Middleton, G.V. & Hampton, M.A. (1978) : "Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows". In: Stanley, J.D. & Swift, D.J.P. (Eds.) Marine Sediment Transport and Environmental Management. John Wiley & sons: 197-218. New York.
- Middleton, G.V. & Southard, J.B. (1984): Mechanics of Sediment Movement. Lecture Notes, Short Course 3, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 401 pp. Tulsa.
- Norma Colombiana de Diseño y Construcción sísmo resistente. NSR10.
- Nuria Santacana, Quintas, Jordi Corominas, Dulcet. (2001) : Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de SIG – Aplicación a la cuenca alta del río Llobrega". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona.

- Padilla, J. et al., (2004) Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía geológica para Ingeniería Vol., II. Ingeominas, Informe Interno PROYECTO: COMPILACION Y LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACION GEOMECANICA.
- PMA, Geociencias para las comunidades Andinas., (2007). Movimientos en masa en la región Andina- Guia para la evaluación de amenazas. Publicación Geologica Multinacional No. 4.
- Parra, E., Viana, R., González, M. (1995) : Metodología para la evaluación de la torrencialidad caso oriente antioqueño, 189-201.
- Pérez Vizcaino, Iván Roberto, (2010), Análisis de vulnerabilidad de los sistemas biológicos aplicado a la evaluación de impacto ambiental (eia) en Colombia.
- Randall W., Jibson, Harp, Edwin L. and Michael. John A. (2000) : A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps. Engineering Geology 58, no. 3 (2000): 271-289.
- Reineck, H & Sing, I. (1975).Depositional Sedimentary Environments. Editorial Springer-Verlag. New York.
- Santacana, N. (2001) : Análisis de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales y grandes deslizamientos mediante el uso de sistemas de información geográfica. aplicación a la cuenca alta del río llobregat. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartografía ETSECCPB., Universidad Politécnica de Cataluña.
- Santacana, N., B. Baeza, J. Corominas, A. De Paz, and J. Marturia, (2003) : A GIS-based multivariate statistical analysis for shallow landslide susceptibility mapping in la pobla de lillet area (eastern pyrenees, spain). Natural Hazards 30 (3) (Nov): 281-95Sharpe, C.F.S. (1960) : "Landslides and related phenomena" Columbia University Press, 138 pp. New York.
- Suarez, J., (1998). Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Suarez D., J. (2001) : "Control de Erosión en Zonas Tropicales". Librería Universidad Industrial de Santander. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos — Ingeniería de Suelos Ltda. ISBN 958-33-2734-4. www.erosion.com.co
- Suárez Olave, Dora Catalina, (2003), Conceptos y formulación de indicadores, BID/Universidad de Manizales, 17 páginas.
- Tarbut, E. Lutgen, F. (2001): Ciencias de la tierra, una introducción a la geología física.Editorial Prentice Hall. Madrid, España.
- UNAL, (2013): Metodología para la evaluación del riesgo en los POMCA (Informe final inédito), Convenio UNAL-MADS.
- van Zuidam, Robert., (1985) Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping. ITC-Holanda.
- Varnes, D. (1978) : Slope movements, types and processes. In R. L. Schuster and R. J. Kries editions, Landslides, analysis and control. Transportation Res. Board. Washington. Special report 176.
- Vélez, J. I., Rave, C., Caballero, H., Montes, L. F., Escobar, D., Arango, A., ... & Smith, R. (2003) : Definición de Retiros en Cuencas Urbanas. Revista Avances en Recursos Hidráulicos, (10).
- Wan, Z. & Wang, Z. (1994) : "Hyperconcentrated Flow". IAHR Monograph Series. A.A.Balkema.
- Zaldúa Cifuentes Liliana. "Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos asociadas a deslizamientos". Universidad Nacional de Colombia. 2011

Zinck, A. (2012) : GEOPEDOLOGIA: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Special Lecture Notes Series, ISBN: 90 6164 339 2.

ANEXO A: FORMATOS PARA LAS TEMÁTICAS DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

Formato 2. Información de discontinuidades

Dist., diaci-fract	Tipo	D. Estructurales	Persistencia	Abertura	Jv	Flujo de Agua en la Sup.

Tipo	Persistencia	Abertura	
0- Plano de Falla ?	1- Muy baja	1- Muy cerrada	< 0,1 mm
1- Falla	2- Baja	2- Cerrada (?)	0,10-0,25 mm
2-Diaclasa	3- media	3- Parcialmente abierta	0,25-0,5 mm
3- Clivaje	4- alta	4- Abierta	0,5 - 2,5 mm
4-Esquistocidad	5-Muy alta	5- Moderadamente am	2,5- 10 mm
5- Cizalla		6- Amplia	> 30 mm
6-Fisura (?)		7- Muy amplia	1-10 cm
7- Grieta de tensión		8- Extremadamente am	10-100 cm
8-Foliación		9- Cavernosa	> 1 m
9-Ferrificación			

0- no hay posibilidad de flujo de agua
 1- Discontinuidad seca sin evidencia de flujo de agua
 2- Discontinuidad seca pero con evidencia de flujo de agua (manchas de oxidos)
 3- Discontinuidad humeda sin flujo de agua presente
 4- Discontinuidad humeda, gotas, no hay flujo continuo de agua
 5- Discontinuidad con flujo corriente de agua (describa el flujo y defina la presión Alta, media, Baja)

Formato 3. Caracterización de suelos para cartografía de mapas de Geología para Ingeniería (tomado del SGC, 2004).

INFORMACIÓN GENERAL						
DEPARTAMENTO _____	LATITUD _____	NOMBRE _____				
MUNICIPIO _____	LONGITUD _____	FECHA _____				
VEREDA _____	ALTITUD _____					

CLASE DE AFLORAMIENTO	SECUENCIA ESTRATIGRAFICA
NATURAL <input type="checkbox"/>	HORIZONTE VI <input type="checkbox"/> DEPÓSITO DE GRAVEDAD <input type="checkbox"/>
CORTE SUPERFICIAL <input type="checkbox"/>	V <input type="checkbox"/> SUELO TRANSPORTADO <input type="checkbox"/>
EXCACACIÓN SUBTERRANEA <input type="checkbox"/>	IV <input type="checkbox"/> ROCA, DEPÓSITO PIROCLÁSTICO <input type="checkbox"/>
TRICHERA, APIQUE <input type="checkbox"/>	

NOTA: Indicar con números la secuencia de materiales encontrados, empezando con 1 para el material en superficie.

CARACTERIZACIÓN						
HORIZONTE CAPA	COLOR	TEXTURA	CONSISTENCIA DENSIDAD REL.	PENETRÓMETRO	ESTRUCTURAS	OBSERVACIONES
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	
		<input type="text"/> %	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	

COLOR :	PENETRÓMETRO:	TEXTURA - (% Composicional)	CONSISTENCIA	DENSIDAD RELATIVA	FORMA DE LOS CLASTOS	ESTRUCTURAS
Registre el color de cada horizonte o capa.	Tome y registre tres lecturas del penetrómetro.	1. Arcillosas 2. Arcillo limosas Limo arcillosas 3. Limosa 4. Limo Arenosa Areno limosa 5. Arenosa 6. Areno Gravosa Gravo Arenosa 7. Gravosa 8. Gravas y Cantos 9. Cantos y Bloques	1. Muy Blanda 2. Blanda 3. Firme 4. Media 5. Alta 6. Muy Alta 7. Dura	1. Suelta 2. Densa 3. Muy densa	1. Angular 2. Subangular 3. Subredondeado 4. Redondeado	1. Estruct. Heredadas 2. Fisuras 3. Grietas

FOTOGRAFÍAS	DESCRIPCIÓN
<input type="text"/>	
<input type="text"/>	
<input type="text"/>	

OTROS:

Formato 4. Caracterización de macizos rocosos para cartografía de mapas de Geología para Ingeniería (tomado del SGC, 2004).

INFORMACIÓN GENERAL		
DEPARTAMENTO _____	LATITUD _____	NOMBRE _____
MUNICIPIO _____	LONGITUD _____	FECHA _____
VEREDA _____	ALTITUD _____	

CLASE DE AFLORAMIENTO	SECUENCIA ESTRATIGRAFICA	
NATURAL <input type="checkbox"/>	HORIZONTE III <input type="checkbox"/>	DEPÓSITO DE GRAVEDAD <input type="checkbox"/>
CORTE SUPERFICIAL <input type="checkbox"/>	II <input type="checkbox"/>	SUELO TRANSPORTADO <input type="checkbox"/>
EXCABACIÓN SUBTERRANEA <input type="checkbox"/>	I <input type="checkbox"/>	SUELOS RESIDUALES <input type="checkbox"/>
TRICHERA, APIQUE <input type="checkbox"/>	NOTA: Indicar con números la secuencia de materiales encontrados, empezando con 1 para el material en superficie.	

MATERIAL ROCOSO							
HORIZONTE CAPA	TAMAÑO GRANO	FABRICA	RASGOS DE ESFUERZO	MARTILLO SCHMIDT VALOR	MARTILLO SCHMIDT ORIENTACIÓN	DUREZA	COMPOSICIÓN
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Tamaño de grano	Fabrica	Rasgos de esfuerzo	Dureza	Orientacion del Martillo	Martillo Schmidt
1. Grueso	1. Cristalina Masiva	1. Superficie pulida	1. Muy dura	1. ↓	Registre el valor obtenido con el martillo y la orientación de este.
2. Fino	2. Cristalina Foliada	2. Cicatrices	2. Dura	2. ↙	
	3. Clástica cementada	3. Otras	3. Moderadamente dura	3. ←	
	4. Clástica Consolidada		4. Blanda	4. ↗	
			5. Quebradiza	5. ↑	
			6. Frágil		
			7. Desleznable		

MACIZO ROCOSO							
DIRECCIÓN BUZAMIENTO α / β°	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5	FAMILIA 6	J.V
	<input type="checkbox"/>						

CONDICIONES DE SUPERFICIE			ESTRUCTURA	GSI	HUMEDAD	TAMAÑO DE BLOQUES
RUGOSIDAD <input type="checkbox"/>	METEORIZACIÓN <input type="checkbox"/>	RELLENO <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
1. Rugosa	1. Ninguna	1. Ninguno	1. Fragmentado		1. Seco	
2. Lisa	2. Débil	2. Material granular	2. Muy fragmentado		2. Humedo	
3. Pulida	3. Moderada	3. Material Fino	3. Fragmentado / desajustado		3. Con flujo	
	4. Alta		4. Muy desajustado			

FOTOGRAFIAS		DESCRIPCIÓN:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
OTROS:		
<input type="text"/>		
<input type="text"/>		

3. INFORMACIÓN DE LA MASA ROCOSA

FABRICA	TAMAÑO DE BLOQUE	ESTADO DE METEORIZACIÓN	LINEA DE INVESTIGACIÓN PARA DETERMINAR EL ESPACIAMIENTO DE DISCONTINUIDADES								
1. Bloque	1. Muy Grande >8m ³	1. Fresca	LINEA								
2. Tabular	2. Grande 0.2 - 8 m ³	2. Débil	LINEA								
3. Columnar	3. Medio 0.08 - 0.2 m ³	3. Moderada	LINEA								
	4. Pequeño 0.002 - 0.008m ³	4. Alta									
	5. Muy pequeño <0.0002m ³	5. Completamente meteorizada									
		6. Suelo Residual									
				PLUNGE	DIRECCION DE LA LÍNEA	DISTANCIA DE LA LÍNEA	No FRACTURA	ESPACIAMIENTO			

OBSERVACIONES

ESPACIAMIENTO
1. Juntas <6mm
2. Extremadamente estrechas 6 - 20 mm
3. Muy estrecha 20 - 60 mm
4. Estrecha 60 - 200 mm
5. Moderadamente Separada 200 - 600 mm
6. Sepada 600 - 2000 mm
7. Muy separada >2000 mm

Formato 7. Libreta de campo Geomorfología

Datos del Formato 6	Ambiente Morfogenético Formato 8.	Sistemas de Terreno (Paisaje) Formato 9.	Unidades de Terreno		Formato 10.	Datos de Formato 11.	Datos de Formato 12	Datos de Formato 13.	Datos de Formato 14.	Fotos	Notas
			Ver Tabla 1-25. "Subunidades" (SGC-2012)	Ver Formas del Terreno (Sinck-2012)							

Formato 8. Ambiente morfogenético.

Tectónico-Estructural	
Denudacional	
Mixto (Estructural.Denudacional)	
Deposicional	Agradacional (natural)
	Antropico
Fluvial	
Lacustre	
Glaciar	
Gravitacional	
Extraterrestre	
Eólico	

Formato 9. Sistemas del Terreno (Paisajes)

Montañoso
Lomerío
Piedemonte
Altiplanicie
Planicie
Valle

Formato 10. Tipos de erosión

Hídrica	Fluvial	Antropica	Edad	Estado
Laminar	Soc., de fondo	Tala de Bosques	Antigua	Baja
Surcos	Soc., Lateral	Quema	Reciente	Moderada
Carcavas		Trazado de vías		Severa
Hondonadas		Sbre pastoreo		
Tierras Malas		Minería		

Formato 11. Movimientos en Masa

Tipo	Subtipo	Tipo	Subtipo	Tipos de Materiales	Plasticidad	Causas	
Caidas	roca detritos Tierras	Flujos	Rocas Detritos Tierra Lodos Turba	Rocas Detritos Tierras Lodos Turba	alta Media Baja No Plastico	Meteorización	Mant., def., de sistemas de drenaje
						Fallas por corte	Escape de aguas de tuberías
Volcamiento	Flexural de roca Roca Macizo rocoso	Reptación	Turba Hiperconcentrados Turbulentos	Tipos de Humedad		Orientación desf., de discontinuidades	Deforestación
						Contraste de permeabilidad de materiales	Minería
Deslizamiento	Rotacional En cuña Traslacional en cuña Traslacional planar	Solifluxión Gelificación	Suelos Rocas	Mojado Muy Humedo Humedo Ligeramente Humedo Seco		Contraste de rigidez de los materiales	Disposición deficiente de Esteriles/Escombros
						Expansión-Constracción	Vibración Artificial
						Sismos: M E De P	Erosión Pluvial
						Lluvias 24h 48h 72h Mes	
						Soc., pata del talud por...	
						Soc., de marg., de ríos	
						Carga en la corona del Talud	

Actividad del Movimiento			
Edad	Estado	Estilo	Distribución
<1 año	Activo	Complejo	Retrogresivo
1-10 años	Reactivado	Compuesto	Avanzado
10-20 años	Suspendido	Múltiple	Ensanchado
20-30	Inactivo	Sucesivo	Confinado
30-40	Latente	Único	Crecente
40-50	Estabilizado		Decreciente
50-60	Relicto		
60-70			
70-80			
>80			

Esquema del Movimiento	
Planta	Perfil

Formato 12. Avenidas torrenciales e Inundaciones

Estratificación y Granulometría	Causas	Factores contribuyentes	Cronología
Hiperconcentradas de Lodos De Escombros Turbulentas	Hidrometeorológica Sísmica Inestabilidad de vertientes Erupciones Volcánicas	Pendientes Perf., de Meteor ó de suelos Caract., del fondo del cauce Vegetación	Meteorización de la Matriz Meteorización de clastos y bloques Perfil de meteorización Enterramiento de Bloques y diques Redondeamiento de los flancos de los depositos Incisión Liqueles negros: 25 Vegetalizaciones colonizadoras Liqueles Blancos: 45 Liqueles verdes: 60

Formato 13. Morfometría -Morfografía y Morfocronología

Pendientes en %		Indice del Relieve (m)		Inclinación de la ladera (en grados)		Longitud de la ladera (m)		Forma de la ladera	Patron de drenaje
0-3	Plano	< 50	Muy Bajo	<5	Plana a suave	<50	muy corta	rectilinea	Dendritico
3-7	Ligeramente inclinado	50-250	Bajo	5-10	Inclinada	50-250	Corta	Concava	Subdendrit
7-12	Moderadamente inclinado	250-500	Moderado	11-15	Muy inclinada	250-500	Mod. Larga	Convexa	paralelo
12-25	Fuertemente inclinado	500-1000	Alto	16-20	abrupta	500-1000	Larga	Irregular	Subparal
25 - 50	Ligeramente escarpado	1000-25000	Muy alto	21-30	Muy abrupta	1000-2500	Muy Larga	Compleja	Rectangular
50-75	Moderadamente Escarpado			31-45	Escarpada	>2500	Extremad. Larga		radial
> 75	Fuertemente escarpado			>45	Muy escarpada				anular
									Contorcionado
									Otro

Deformación del terreno		Edad morfológica relativa de la Cuenca (años)		Específico para Movimientos en masa (MM)	
Modo	Severidad		actual	General	Dimension terreno
Ondulación	leve	2,600	Subactual	Diferencia de altura de la corona a la pata (m)	Ancho de la masa desplazada Wa (m)
Escalonada	Media	7,100	Reciente	Long., horizontal de la corona a la pata (m)	Ancho de la superf., de ruptura Wr (m)
	Severa	9400-11500	Subreciente	Pendiente de ladera postfalla (°)	Long., de la masa desplazada Ld (m)
		12000-730000	Antiguo	Pendiente de ladera prefalla (°)	Long., de la superf., de ruptura Lr (m)
		730000-3600000	Muy antiguo	Dirección del Movimiento (°)	Espesor de la masa desplazada Dd (m)
				Azimet del Talud (°)	Prof., de la superf., de ruptura Dr (m)
					Longitud total L (m)

Formato 14. Daños

Población afectada	Infraestructura	Económica	Ambiental
	Edificios	Agricultura	Parques
	Carreteras	Ganaderia	Bosques
	Inst. educativas	Semovientes	Plantas de trat., de aguas
	Puentes	Trans., pasajeros	
	S. Publicos	Trans., carga	
	V. Ferreas		
	T. de conducción		
	O. Lineales		
	Galpones		
	T. de almacenamiento		
	Distritos de riego		
	Acueductos Veredales		