

METODOLOGÍA SIG PARA OBTENER LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZAS NATURALES EN MEDINA CUNDINAMARCA

Camilo Santiago Salcedo Patarroyo

Artículo científico presentado como requisito para optar al Título de especialista en geomática.

Tutor:

Luis Giovanni Carvajal Rodríguez



**Universidad Militar Nueva Granada
Facultad de Ingeniería – Especialización en Geomática
Bogotá D.C.
2017**

METODOLOGÍA SIG PARA OBTENER LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD DE AMENAZAS NATURALES EN MEDINA CUNDINAMARCA

GIS METHODOLOGY TO OBTAIN THE ZONING OF SUSCEPTIBILITY OF NATURAL THREATS IN MEDINA CUNDINAMARCA

Camilo Santiago Salcedo Patarroyo
Ingeniero Geógrafo y ambiental

RESUMEN

El Municipio de Medina, localizado al Sur-Este del Departamento de Cundinamarca, ha sido continuamente afectado por amenazas naturales como deslizamientos, inundaciones, flujos, avalanchas, socavación lateral de ríos y caídas de rocas. Estos eventos en su mayoría están ligados a intensas precipitaciones y a un sistema orogénico muy particular que compone el piedemonte llanero Colombiano. Estos eventos son objeto de estudio para la elaboración de un mapa de susceptibilidad de amenazas naturales a una escala 1/100.000, en el que establece la identificación de las áreas con mayor y menor probabilidad de que se presenten estos eventos. La cartografía para la elaboración del mapa de susceptibilidad se realizó a partir de un análisis multicriterio, donde las capas temáticas y/o factores condicionantes son: Geomorfología, Pendiente, Geología, Suelos y Coberturas de la Tierra, a las cuales se les asignó un peso porcentual por su nivel de influencia. Este mapa constituye un insumo cartográfico muy importante que muestra la susceptibilidad del terreno a eventos naturales. En él se muestra tres grados de susceptibilidad, que varían de amenaza media a muy alta y por el cual se encontró que el 90% del Municipio se encuentra en alta a muy alta amenaza debido a la influencia de abanicos de acumulación, las altas pendientes, suelos erosionados e intervenidos antrópicamente, suelos muy arcillosos con presencia de porosidad, altas precipitaciones, entre otros factores, causando remociones de material.

Palabras clave: Amenazas Naturales, Mapa de susceptibilidad, SIG, Análisis Multicriterio, Factores condicionantes.

ABSTRACT

The Municipality of Medina, located south-east of the Department of Cundinamarca, has been continuously affected by natural threat such as landslides, floods, avalanches, avalanches, lateral undermining of rivers and rock falls. These events are mostly linked to the intensens precipitations and a very particular orogenic system that makes up the Colombian llanero piedmont. These events are the object of study for the elaboration of a map of susceptibility of natural threats at a scale of 1 / 100,000, in which it establishes the zoning of the areas with greater and lesser probability that these events present themselves. Mapping for the elaboration of the susceptibility map was performed based on a multicriteria analysis, where thematic layers and / or conditioning factors are: Geomorphology, Slopes, Geology, Soils and Covering of the Earth, which were assigned a weight percentage, by its level of influence. This map constitutes a very important cartographic input that shows the susceptibility of the terrain to natural events. It shows three degrees of susceptibility, varying from

average to very high threat and by which it was found that 90% of the Municipality is in high to very high threat due to the influence of terraces of accumulation, high slopes, Soil erosion and anthropic actions, very clayey soils with presence of porosity, high precipitations, among other factors, causing removal of material.

Keywords: Natural threats, Susceptibility map, GIS, Multicriteria analysis, conditionants facts.

INTRODUCCIÓN

El concepto de amenaza y fenómenos naturales se ha venido construyendo en los últimos tiempos, a partir de todas las consecuencias sociales, económicas y ambientales, que traen consigo la ocurrencia de eventos naturales, los cuales se presentan en toda la superficie del planeta tierra. Una definición asertiva para amenaza está en la Ley 1523 de 2012 como el “Peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (Ley 1523 de 2012).

En Colombia uno de los grandes detonantes para que surgieran e implementarán leyes, políticas, consejos y una serie de normas para el control, gestión y seguimiento de todos los fenómenos naturales en Colombia, fue el fenómeno de la niña que ocurrió entre los meses de septiembre de 2010 y mayo de 2011, donde las intensas lluvias generaron inundaciones, avalanchas y procesos de remoción en masa, en todo el territorio nacional. Tras la ola invernal, el número de emergencias se elevó a 2.219, conformadas por 1.233 inundaciones (55,6% del total de emergencias), 778 deslizamientos (35,1%), 174 vendavales y 24 avalanchas. En particular con daños considerables en infraestructura (vías, viviendas, redes de servicios públicos) y en la población (108 muertos por inundación y 338 muertos por fenómenos de remoción en masa en general) (CEPAL, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, 2012)

En los últimos años, una serie de metodologías de evaluación y detección de peligros naturales se han implementado, las cuales se han apoyado en la herramienta de la cartografía, en un intento de determinar las estrategias adecuadas para prevenir y mitigar los desastres naturales. Un método óptimo que contribuye al análisis de amenazas son los mapas de susceptibilidad que expresan la mayor o menor “probabilidad o posibilidad de que suceda una amenaza en un determinado territorio a través de un tiempo en función de la correlación de los factores condicionantes de la inestabilidad (Fernández et.al., 2004)

La metodología de la investigación, se realizó a partir de un análisis multicriterio, siendo un método eficaz, rápido, razonable y apropiado con las condiciones físicas de la zona de estudio, además permite contemplar los diferentes factores detonantes como un conjunto que incide en la inestabilidad del terreno, permitiendo obtener una

jerarquización de las factores considerados, a partir de una ponderación con métodos matemáticos, y de acuerdo al nivel de influencia en los PRM (procesos de Remoción en Masa), lo que brinda una mayor exactitud en el modelo de susceptibilidad. (Muñiz & Hernández, 2012)

1 MATERIALES Y METODOS

La riqueza Hídrica del Municipio de Medina Cundinamarca enmarcada dentro de un relieve inclinado, conformado por depósitos aluviales y aluviotorrenciales recientes, han producido una serie de eventos relacionados fenómenos naturales como Deslizamientos, Avalanchas, Caídas de Rocas, Flujos, Avenidas Torrenciales, inundaciones, entre otros, dada la acumulación de sedimentos que posteriormente se depositan en las llanuras de inundación y en las laderas con pendientes fuertes.

La Caracterización general del escenario de riesgo por deslizamiento del Municipio de Medina, Cundinamarca señala cuales han sido los eventos relacionados con Fenómenos de Remoción en masa en los últimos años y analiza la importancia de crear mecanismos que ayuden a identificar cuáles han sido los factores detonantes y realizar una categorización de las zonas donde se han presentado incidentes (CMGRD; Consejo Municipal para la Gestión de Riesgos de Desastres, 2012)

Dentro del marco de la investigación se registraron algunas zonas afectadas por los fenómenos naturales, desarrollando un inventario y un registro fotográfico del tipo de amenaza, las zonas afectadas y así estructurar un sistema de georreferenciación de los eventos, que sirve de insumo para la posterior zonificación. (Ver Mapa 1), a través de los inventarios de la ocurrencia de eventos naturales, observaciones en campo y revisión de información disponible (Cartografía, imágenes satelitales, Fotografías aéreas, informes, entre otros), con el fin de conocer la probable ubicación y la gravedad que traen consigo las amenazas naturales, así como la probabilidad de que ocurran en un tiempo y espacio determinado, da como resultado la elaboración de un mapa de susceptibilidad de amenazas naturales, el cual representa una herramienta importante para el ordenamiento del territorio y constituye un insumo para la evaluación de riesgos naturales actuales y potenciales. (ALARN, Apoyo Local para el Análisis y Manejo de los Riesgos Naturales, 2002)

Para identificar en campo los fenómenos naturales, se tuvo en cuenta una tabla, la cual clasifica por inundaciones, avenidas torrenciales y movimientos en masa, los posibles eventos que se pueden encontrar (ver Tabla 1),

Tabla 1 Amenaza natural por procesos geodinámicas externos

Amenazas por fenómenos naturales externos		
Inundaciones	Avenidas torrenciales	Movimientos en masa
Desbordamientos	Avalanchas	Caídas
Represamientos	Crecidas súbitas	Desplazamientos
	lahares	Flujos

Fuente: Adaptado (UNAL, 2009)



Fotografía 1 Deslizamiento



Fotografía 2 Deslizamiento



Fotografía 3 Avalancha

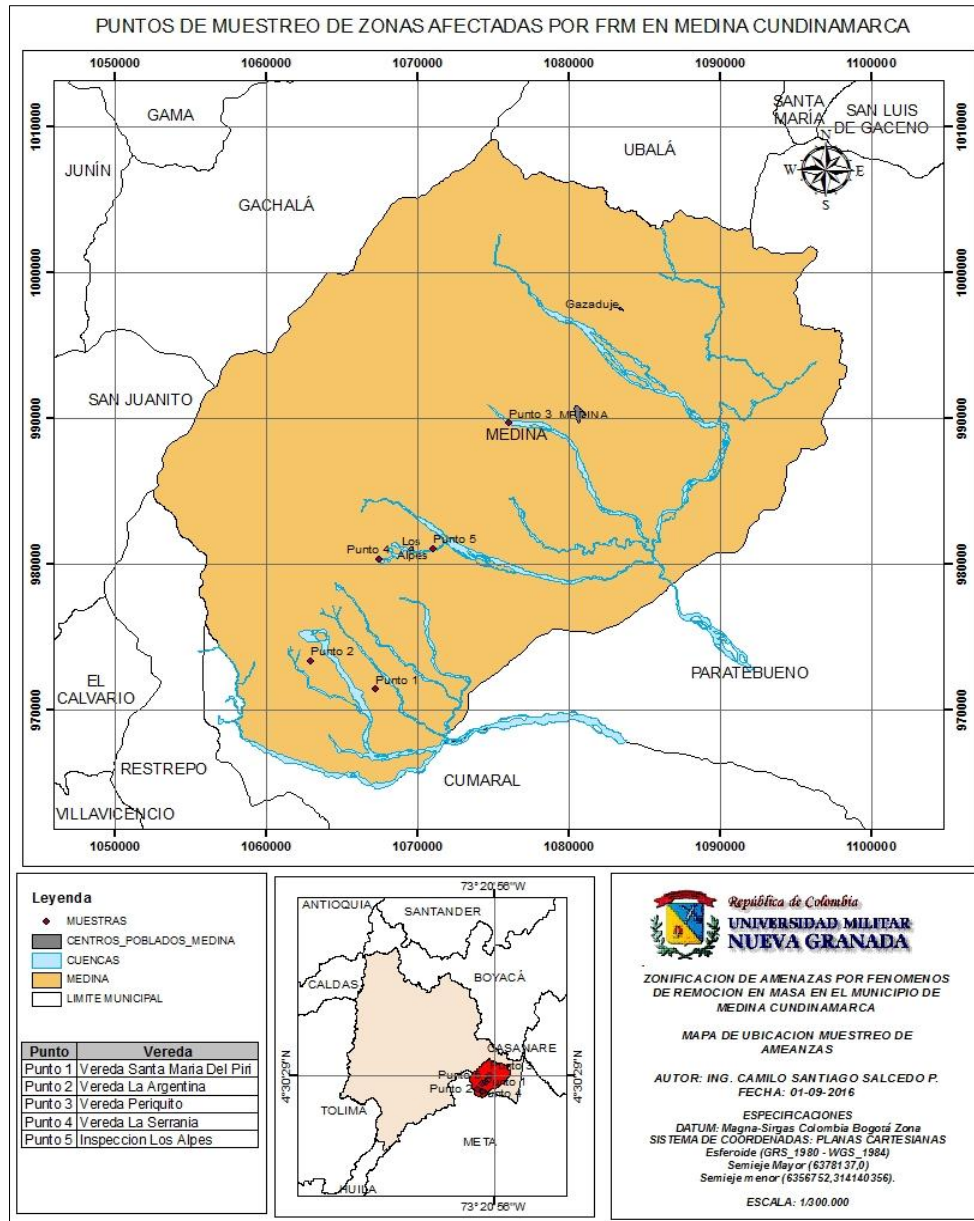


Fotografía 4 Avalancha



Fotografía 5 Desbordamientos

Fuente: Elaboración propia, 2016



Mapa 1. Puntos de muestreo de las zonas afectadas por fenómenos naturales, Medina Cundinamarca
Fuente: Elaboración propia, 2016

Han sido distintas las metodologías, que se han aplicado en Colombia para elaborar la caracterización de amenazas en un determinado Municipio, Cuenca hidrográfica, Región natural, Cabecera Municipal o simplemente uso académico, metodologías más importantes son:

- Metodología Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Metodología para la identificación de amenazas Corporación Autónoma Regional-CAR
- Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Sistema de Información Ambiental)..

La metodología elaborada por IDEAM, contempla la Geomorfología, Geología, Suelos y Cobertura de la tierra, factores detonantes para la generación de una zonificación de susceptibilidad general del terreno a los fenómenos naturales, considera muy importante el porcentaje del ponderamiento de las capas (ver Figura 1). La determinación de los pesos ponderados de las variables se realizó a través de la calificación por panel de expertos, en la cual cada experto, en una matriz, comparo por pares las variables de cada tema (IDEAM, 2012).

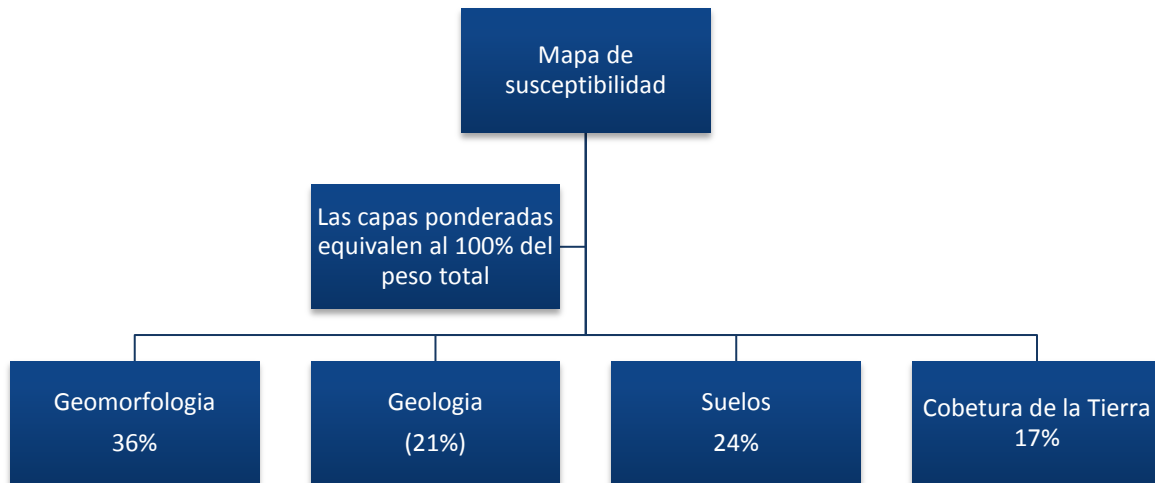


Figura 1. Factores detonantes y pesos para realización del mapa de susceptibilidad
Fuente: IDEAM, 2012

Las categorías que debe presentar el mapa de susceptibilidad de amenaza por fenómenos naturales según la metodología del IDEAM está compuesta por cuatro (4) niveles donde el nivel 1 será la categoría inferior y el nivel 4 la categoría mayor (Ver Figura 2).



Figura 2. Categorías del mapa de susceptibilidad,
Fuente: IDEAM, 2012

Los factores condicionantes relacionados a estas amenazas naturales corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable. Estos corresponden principalmente a la geomorfología, geología, geotecnia, suelos y vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, donde la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso endogeno determinado. Cada uno de los distintos procesos de remoción en masa tiene génesis y comportamientos distintos, por lo cual cada uno podrá ser influenciado por diversos factores de maneras y grados diferentes (Lara & Sepúlveda, 2008).

1.1 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es el factor que más incide en la magnitud de los eventos Naturales, considerando las pendientes de las laderas, la geoforma de la zona y la topografía. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de los materiales que puedan transportarse.

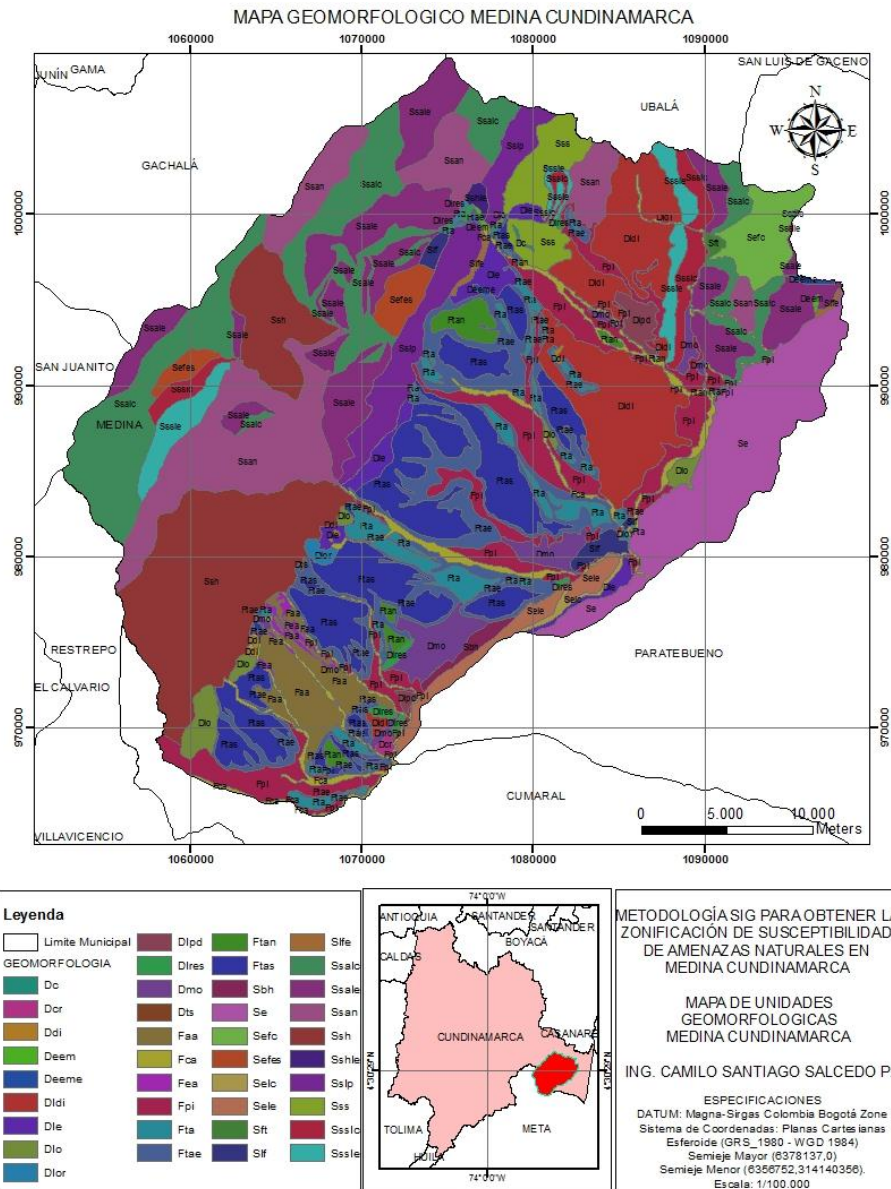
La topografía y las altas pendientes de las laderas son el primer factor geomorfológico a tener en cuenta en el análisis de susceptibilidad de amenazas naturales, de estos se desprenden los flujos, deslizamientos y derrumbes. Los flujos se ven favorecidos por las altas laderas, afectando la estabilidad de los depósitos y sumado al escurrimiento de agua superficial que actúa como agente desestabilizador. Las pendientes tanto de laderas como de los cauces (ejes hidráulicos), mientras mayores son, otorgan una alta capacidad de transporte y energía a los flujos. (Lara & Sepúlveda, 2008). Considerando estas características, la geomorfología del Municipio de Medina, se categorizan de uno a cuatro, donde la categoría 1 (uno) es la geoforma, que no potencializa la generación de eventos naturales y la categoría 4 (cuatro) es la geoforma que más los potencializa. (Ver Tabla 2).

Tabla 2 Categorías para la clasificación de las unidades geomorfológicas

Código	Unidad geomorfológica	Categoría
Dc	Cima	3
Dcr	Colina residual	3
Ddi	Cono de deslizamiento indiferenciado	4
Deem	Escarpe de erosión mayor	2
Deeme	Escarpe de erosión menor	2
Dldi	Lomeríos disectados	4
Dle	Ladera erosiva	4
Dlo	Ladera ondulada	3
Dlor	Loma residual	2
Dlpd	Lomeríos poco disectados	1
Dlres	Lomo residual	3
Dmo	Montículo y ondulaciones denudacionales	2
Dts	Terrazas sobre elevadas "colgadas"	1
Faa	Abanico fluvio-torrencial	4
Fca	Cauce aluvial	4
Fea	Escarpe de abanico fluvial	4
Fpi	Plano o llanura de inundación	4
Fta	Terraza de acumulación	4
Ftae	Escarpe de terraza de Acumulación	4
Ftan	Terraza de acumulación antigua	4

Código	Unidad geomorfológica	Categoría
Ftas	Terraza de acumulación subreciente	3
Sbh	Barra homoclinal	3
Se	Cuesta	3
Sefc	Espolón faceteado	3
Sefes	Espolón festoneado	3
Selc	Ladera de contrapendiente de espinazo	2
Sele	Ladera estructural de espinazo	3
Sft	Faceta triangular	3
Slf	Lomo de falla	3
Slfe	Escarpe de línea de falla	3
Ssalc	Ladera de contrapendiente sierra anticlinal	3
Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	3
Ssan	Sierra anticlinal	3
Ssh	Sierra homoclinal	3
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal	3
Sslp	Sierras y lomos de presión	3
Sss	Sierra sinclinal	3
Ssslc	Ladera de contrapendiente sierra sinclinal	3
Sssle	Ladera estructural de sierra	3

Fuente: Elaboración propia, 2016



Mapa 2. Mapa geomorfológico de medina Escala 1:100.000
Fuente: Adaptado Servicio Geológico Colombiano, 2016

1.2 GEOLOGÍA

Para generar las categorías de cada uno de los estratos litológicos del Municipio de Medina, se creó una tabla comparativa entre textura y porosidad (ver Tabla 3). La textura fue evaluada por el tamaño del grano; donde las rocas de grano grueso como los bloques, cantos, gravas arenas gruesas y conglomerados se clasifican dentro de las categorías menores en la evaluación de amenazas, ya que pueden tener un efecto estabilizante en el suelo, debido a su tamaño, si no están afectadas por presiones de poro. En tanto, la clasificación de amenazas se crea a partir de la evaluación de textura de grano fino, como los limos y arcillas, por su tendencia a ser inestables en estado saturado, son clasificadas dentro de una categoría mayor. (Gomez et.al., 2015).

Adicionalmente, en la Tabla 3 se presenta la categoría de permeabilidad, la cual tiene una evaluación inversa a la textura, considerando que una permeabilidad rápida en materiales de textura fina, conlleva a una mayor filtración hídrica, la cual es detonante de los movimientos en masa, a diferencia de materiales de textura fina en los que se presenta una permeabilidad lenta.

Tabla 3 Clasificación geológica según permeabilidad y textura del material

Categoría	Textura	Valor	Permeabilidad
1	Gruesa	4	Muy Rápida
2	Medianamente Gruesa	3	Rápida
3	Arcillosa	2	Moderadamente lenta
4	Fina	1	Muy Lenta

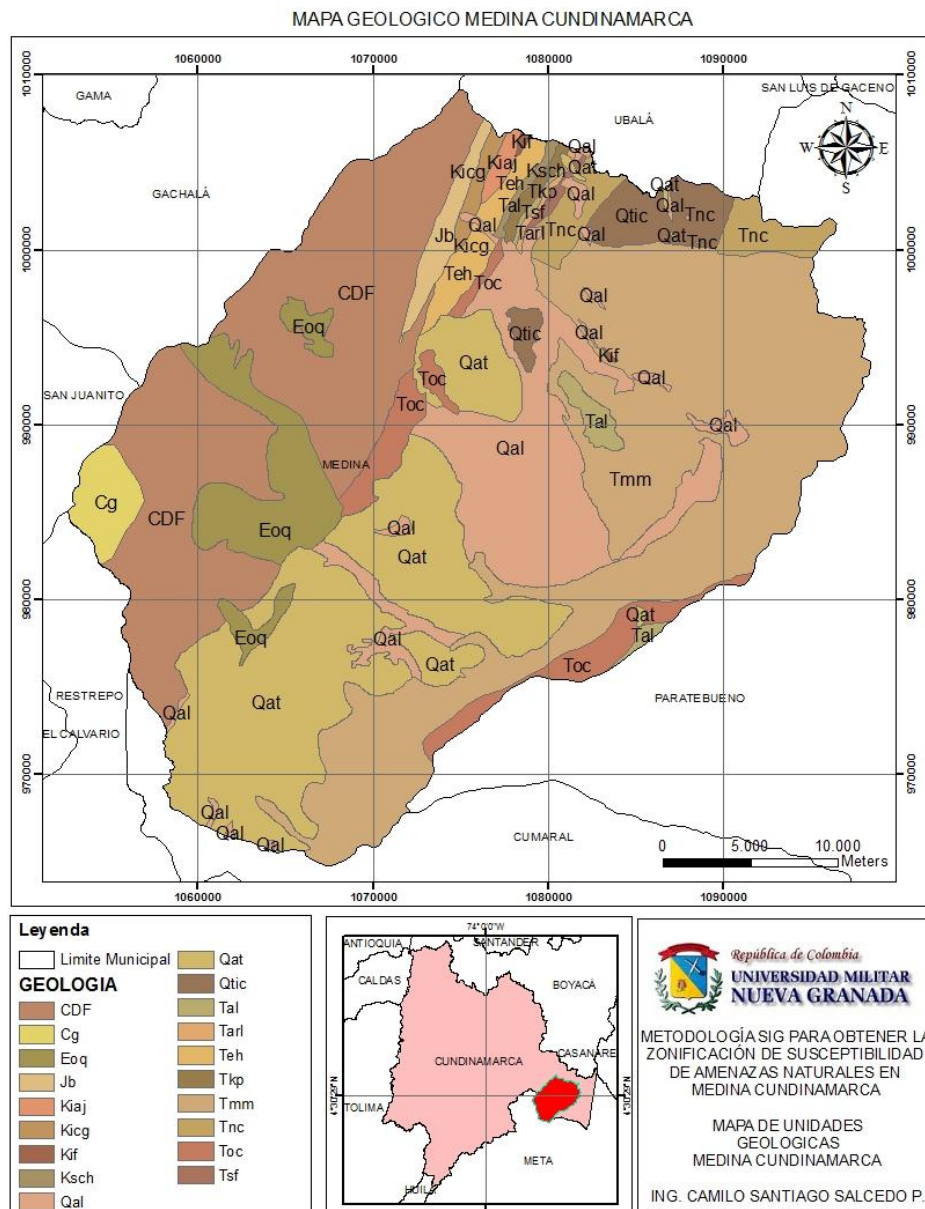
Fuente: Adaptado (Gomez et.al., 2015).

Considerando la clasificación de la tabla 3, se asignaron las categorías por susceptibilidad de amenazas naturales, a cada uno de los estratos litológicos que se encuentran en el Municipio de Medina. (Ver Tabla 4).

Tabla 4 Categorías para la clasificación de las unidades geológicas a partir de permeabilidad y textura

Geología	Códi	Textura	Permeabilidad	Categoría
Calizas arenosas, limolitas, silíceas, cuarcitas y areniscas. Granodioritas de origen ígneo	CDF	2	3	3
Arenisca, Lutita, Conglomerado	Cg	1	4	2
Sedimentitas constituidas por calizas, arcillolitas rojas y limolitas	Eoq	4	2	4
Conglomerados, areniscas, limolitas con tonalidades verdes y lutitas grises con niveles fosilíferos	Jb	1	3	1
Areniscas macizas con intercalaciones de limolitas	Kiaj	2	3	3
Calizas, areniscas, separados por lutitas	Kicg	4	2	4
Lutitas negras, limolitas grises, arcillolitas limonosas y calizas, con areniscas cuarzosas	Kif	3	1	2
Lutitas gris oscuro con capas de caliza, porcelanitas y lodolitas	Ksch	3	2	3
Gravas, arenas, arcillas lacustres limonosas y conglomerados	Qal	3	2	3
Cantos redondeados de areniscas cuarzosas y conglomerados cuarzosos en matriz arcillosa	Qat	4	2	4
Conglomerados gruesos poco compactos	Qtic	1	4	2
Arcillas y limolitas con intercalaciones de areniscas de colores	Tal	2	3	3
Areniscas y conglomerados cuarzosos con intercalaciones de arcillolitas	Tarl	3	3	4
Areniscas, conglomerados y arcillas negras	Teh	2	2	2
Areniscas cuarzosas, limolitas y arcillolitas con intercalaciones de lutitas	Tkp	3	3	3
Conglomerados, areniscas, arcillas y limolitas	Tmm	3	1	2
Areniscas arcillosas con intercalaciones de arcillolitas	Tnc	3	2	3
Arcillas, limolitas y capas de carbón	Toc	4	2	4
Arcillolitas con intercalaciones de areniscas con lentejuelas de carbón	Tsf	3	1	2

Fuente: elaboración propia, 2016



Mapa 3. Mapa geológico de Medina Cundinamarca
Fuente: Servicio Geológico Colombiano, 2016

1.3 SUELOS

La capa de suelos en el ecosistema son la entrada y el regulador inicial de la precipitación pluvial. Los movimientos del agua en el suelo (escurrimiento o flujo superficial, infiltración, capilaridad, percolación, entre otros), tienden a alterar el estado físico-químico del suelo, afectando sus propiedades y esfuerzos, pero sin alterar su naturaleza. La determinación de las variables físicas de suelos, muestran el comportamiento a lo largo del perfil de suelos; donde, cada uno de ellos presenta diferentes características y cualidades que lo hacen complejo, en la determinación del comportamiento de la estabilidad (IDEAM, 2012).

Los suelos que han sufrido algún tipo de afectación requieren la implementación de prácticas de estabilización y control de erosión, debido a que se encuentran altamente degradados, lo cual conlleva a la pérdida total de su cobertura vegetal y a una mayor ocurrencia de fenómenos de remoción en masa; ello está relacionado, con una inadecuada utilización de las tierras y con la presencia de fenómenos erosivos naturales activos, estos suelos tendrán una categoría mayor de susceptibilidad de amenazas naturales (IGAC, 2014) (Ver Tabla 5).

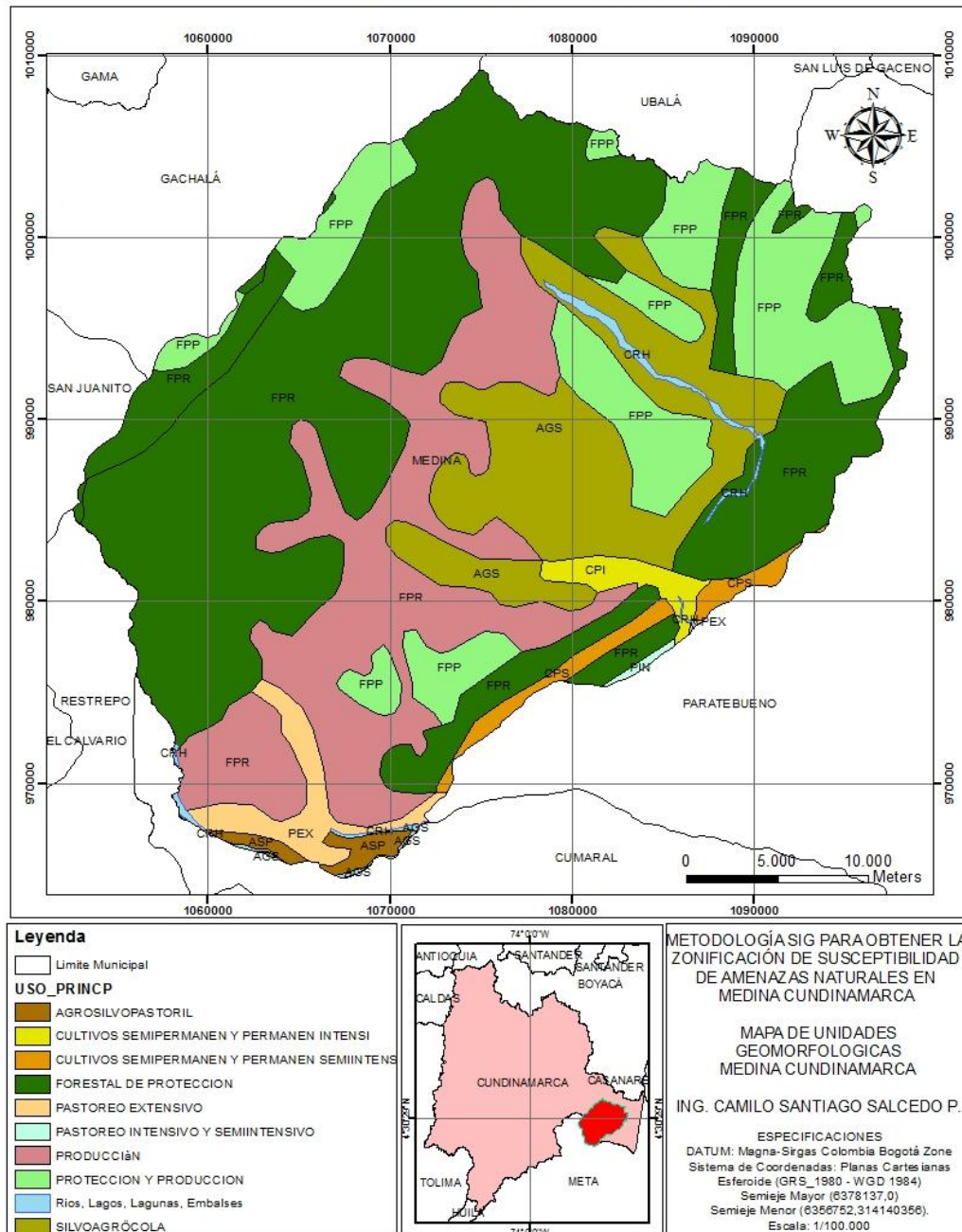
Tabla 5 Categorías para la clasificación de las unidades de uso del suelo

Uso principal	Descripción	Códig	Categor
AGROSILVOPASTORIL	Tierras planas a quebradas con pendientes hasta del 50%, en donde la presencia de erosión en grado moderado, la pedregosidad en superficie, los zurales e inundaciones frecuentes, aumenta las limitaciones para el establecimiento exclusivo de un sistema agrícola.	ASP	3
CULTIVOS SEMIPERMANENTES Y PERMANENTES INTENSIVOS	Tierras de relieve plano a moderadamente ondulado con pendientes hasta del 25%. Presentan limitaciones moderadas como suelos de baja fertilidad con altos contenidos de aluminio intercambiable y pedregosidad superficial en sectores. Requieren prácticas moderadas de conservación y manejo, enmiendas, fertilización y drenaje.	CPI	2
CULTIVOS SEMIPERMANENTES Y PERMANENTES SEMIINTENSIVO	Tierras onduladas a quebradas con pendientes hasta del 50%. Presentan pedregosidad en superficie, erosión en grado moderado y suelos superficiales de fertilidad baja a muy baja. Necesitan prácticas manuales de preparación de suelos, manteniéndolos provistos de una cobertura vegetal protectora, excepto por periodos breves; las prácticas de conservación de suelos y aguas deben ser intensas.	CPS	3
FORESTAL DE PROTECCIÓN	Tierras muy frágiles de relieve moderado a muy fuertemente escarpado con pendientes superiores al 50%. Los suelos se caracterizan por su baja profundidad efectiva, muy baja fertilidad, presencia de afloramientos rocosos y procesos de erosión activa, desde ligeros hasta severos.	FPR	3
PASTOREO EXTENSIVO	Tierras planas a onduladas con pendientes hasta del 25%. Presentan altos contenidos de aluminio o sales, grado moderado de erosión, pedregosidad en superficie e inundaciones frecuentes; en sectores hay presencia de zurales. El manejo debe enfocarse a evitar el sobrepastoreo, controlar las quemas y mejorar la composición de la pastura mediante la introducción de leguminosas forrajeras.	PEX	2
PASTOREO INTENSIVO Y SEMIINTENSIVO	Tierras de relieve plano a ondulado con pendientes que no superan el 25%. Las limitaciones están relacionadas con pedregosidad en superficie o en el perfil y suelos superficiales de baja fertilidad; requiere prácticas adecuadas de fertilización, rotación de potreros, pasturas mejoradas y manejadas, control fitosanitario y la dotación de riego. Pueden necesitar obras para drenaje o control de inundaciones	PIN	1
PRODUCCIÓN	Tierras de relieve plano a quebrado prioritariamente en el Pacífico, con pendientes que no superan el 50%. Presentan restricciones como la excesiva precipitación, alta humedad relativa y suelos pobremente drenados. Requieren normas estrictas de aprovechamiento para mantener el equilibrio ecológico y la sostenibilidad de los bosques, control de incendios y selección de especies.	FPR	3
PROTECCIÓN Y PRODUCCIÓN	Tierras de relieve ondulado a escarpado con pendientes hasta de un 75%. Las limitaciones se relacionan con una alta pluviosidad al año, pendientes escarpadas, suelos superficiales y de muy baja fertilidad, erosión en grado moderado, presencia de pedregos.	FPP	4
RÍOS, LAGOS, LAGUNAS, EMBALSES	Áreas constituidas por ríos y cuerpos de agua en movimiento que a una escala 500,000 puedan especializarse.	CRH	4

Uso principal	Descripción	Código	Categor
SILVOAGRICOLA	Tierras con pendientes hasta de un 75%. De acuerdo con su localización pueden presentar inundaciones o estar en climas con excesivas precipitaciones. En la región Andina estas tierras poseen suelos moderadamente profundos a profundos, generalmente desarrollados a partir de cenizas volcánicas.	AGS	4

Fuente: Elaboración Propia, 2016

MAPA DE SUELOS MEDINA CUNDINAMARCA



Mapa 4 Mapa de suelos de Medina Cundinamarca

Fuente: (IDEAM et.al., 2007=

1.4 COBERTURA

Las categorías para cada una de las coberturas, se realizó a partir de la metodología del IDEAM, para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Para cada una de las coberturas se asigna un coeficiente de cobertura (Kc), con el fin de conocer de manera aproximada la cantidad de agua que las coberturas extraen del suelo.

Entre menor sea el Kc menor será la magnitud de la evapotranspiración, lo cual puede favorecer la condición de estabilidad de los terrenos en la medida que sale mayor cantidad de humedad de los suelos y de la cobertura disminuyendo los efectos de saturación de los suelos. (Ver Tabla 6). (IDEAM, 2012)

Tabla 6 Categorías para la clasificación de las coberturas de la tierra a partir del coeficiente de cobertura

Categoría	Clases de cobertura de la tierra	CL C	kc
Cobertura de agrosistemas	Cultivos anuales o transitorios	21	0.9-1.15
	Cultivos semipermanentes y permanentes	22	1-1.25
	Pastos	23	1
	Áreas agrícolas heterogéneas	24	1
	Áreas agroforestales	25	0.8-1.1
Coberturas mayormente naturales	Bosques plantados	26	0.6-1.0
	Bosques naturales	31	0,6
	Vegetación secundaria	32	0.6-0.9
	Arbustales	33	0.3-1.1
	Herbazales	34	0.3-1.1
	Zonas desnudas, sin o con poca vegetación	35	1
	Afloramientos rocosos	36	1
	Glaciares y Nieves	37	0,2
Cobertura de áreas húmedas continentales y costeras	Hidrofitia continental	41	1,2
	Herbáceas y arbustivas costeras	42	1,2
Superficies de agua	Aguas continentales naturales	51	1,05
	Aguas continentales artificiales	52	1,05
	Aguas marines	53	1,05
	Lagunas costeras	54	1,05
sin información	Nubes	61	-
	Sombra de nubes	62	-

En donde CLC: Código CORINE Land Cover, adaptada para Colombia

Fuente: Elaboración propia, 2016

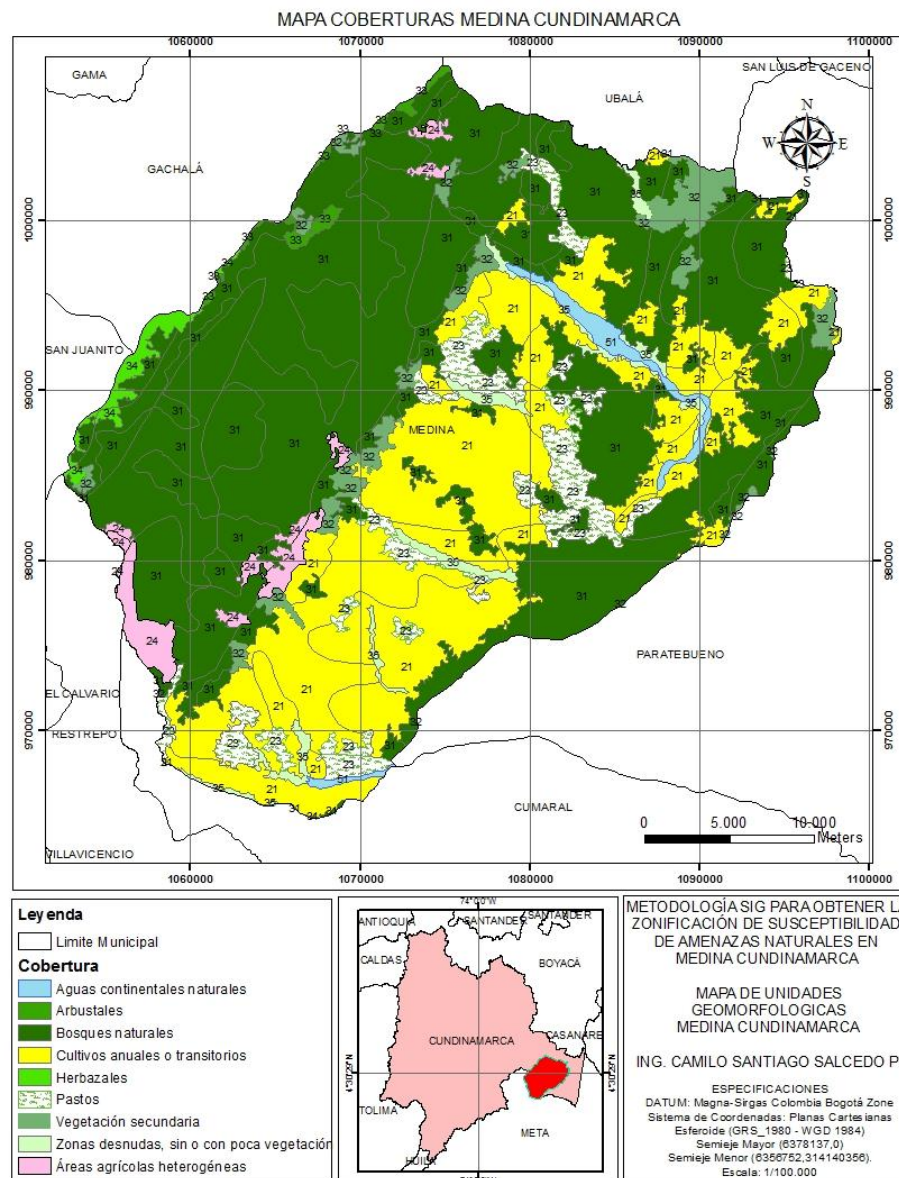
Para todas las coberturas de la tierra que se encuentran en el Municipio de Medina se le asignaron las categorías de susceptibilidad (1 a 4), dependiendo del valor del Kc (ver Tabla 7).

Tabla 7 Categorías para la clasificación de las coberturas de la tierra a partir del coeficiente de cobertura para el municipio de Medina

Código	Clases de cobertura de la tierra	Kc	Categoría
--------	----------------------------------	----	-----------

Código	Clases de cobertura de la tierra	Kc	Categoría
21	Cultivos anuales o transitorios	0.9-1.15	4
23	Pastos	1	3
24	Áreas agrícolas heterogéneas	1	3
31	Bosques naturales	0.6	3
32	Vegetación secundaria	0.6-0.9	3
33	Arbustales	0.3-1.1	2
34	Herbazales	0.3-1.1	1
35	Zonas desnudas, sin o con poca vegetación	1	4
51	Aguas continentales naturales	1.2	4

Fuente: Elaboración propia, 2016



Mapa 5. Mapa de coberturas de Medina Cundinamarca
 Fuente: Adaptado de Corine Land Cover, 2016

1.5 INTEGRACIÓN DE INFORMACIÓN VECTORIAL

Con el objetivo de modelar los factores identificados que condicionan y detonan las amenazas naturales, se aplicaron procesos y modelos matemáticos, a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG). El resultado son capas temáticas que representan una condición que incide en la inestabilidad de los terrenos (Muñiz & Hernández, 2012). Las herramientas utilizadas para el procesamiento de la información espacial, fue el software ArcGis 10.3. Se trabajó tanto con información vectorial como raster. El procedimiento técnico se resume en cuatro (4) paso que se muestran en la Figura 3.

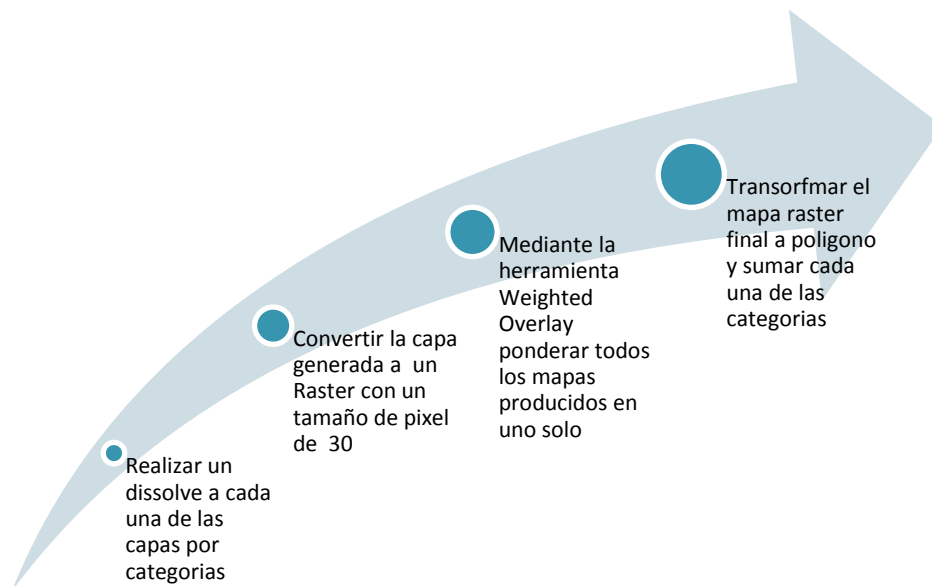


Figura 3. Metodología SIG para crear el mapa de susceptibilidad en la herramienta ArcGIS
Fuente: Elaboración propia, 2016

Para cada una de las capas que conforma el análisis de susceptibilidad (Geología, Geomorfología, Suelos y cobertura) se generó un *dissolve* el cual es un procesamiento espacial que integra capas a partir de una serie de categorías, en la investigación integra los valores (Bajo (1), Medio (2), Alto (3) y Muy Alto (4)) que conforman los niveles de susceptibilidad.

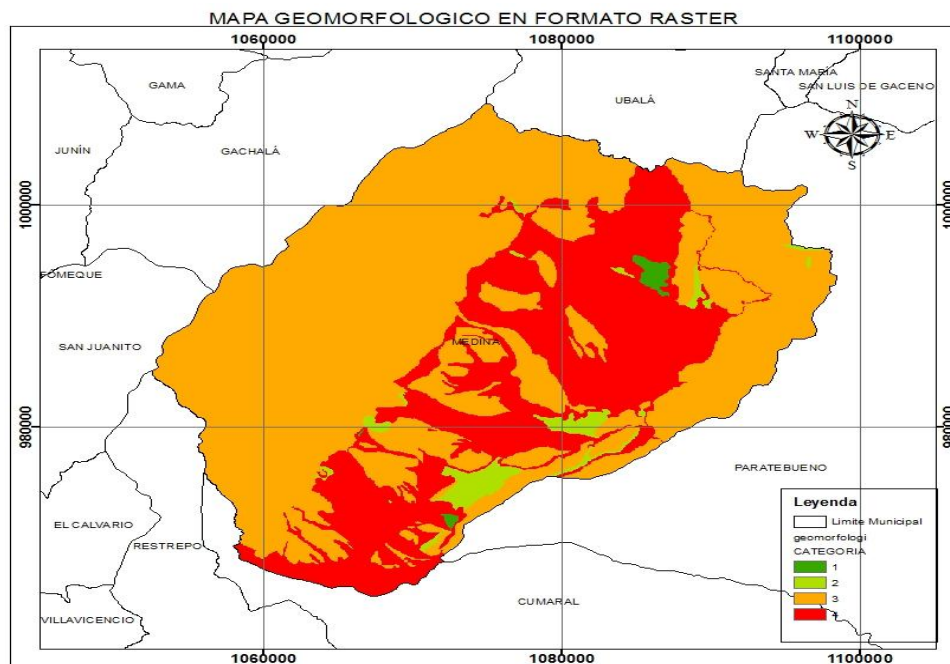
Estos mapas creados en formato vector, se transforman a formato raster teniendo en cuenta las categorías anteriormente creadas, utilizando la herramienta *Feature to Raster*, con un tamaño de pixel de 30 el cual suaviza un poco más los pixeles. Posterior a esto se utiliza la herramienta *weighted overlay* el cual crea un mapa en formato raster, realizando los siguientes pasos: (ESRI, 2016).

- Reclasifica los valores en los rásteres de entrada en una escala de evaluación común de adecuación o preferencia, riesgo, o algo similar a una escala unificadora.

- Multiplica los valores de celda de cada ráster de entrada por el peso de importancia de los rásteres.
- Suma los valores de celda resultantes para producir el ráster de salida

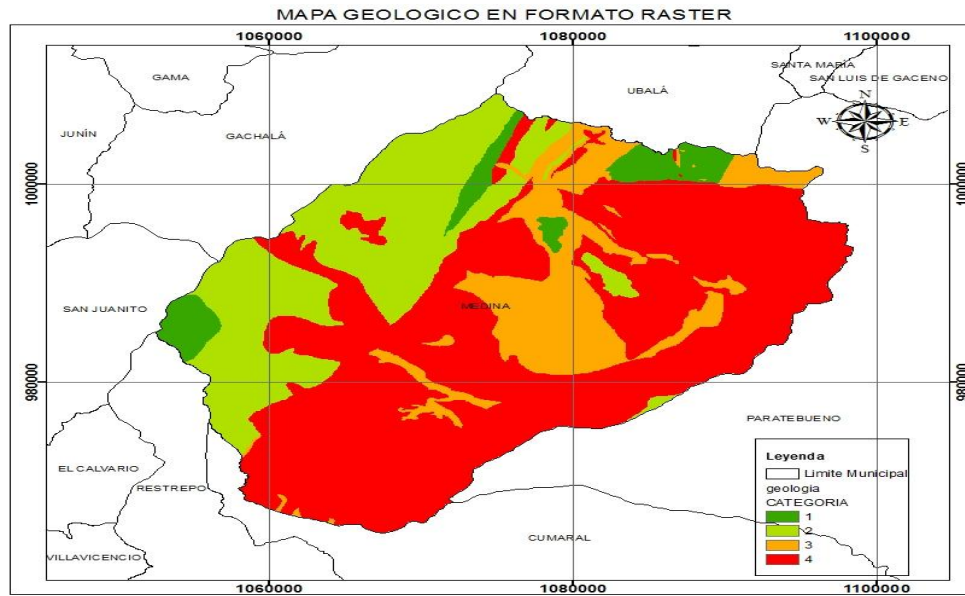
2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los mapas de susceptibilidad de cada uno de los factores detonantes, resaltan zonas que concentran en su mayoría categorías Altas a Muy Altas de susceptibilidad de fenómenos naturales, como es el caso de las cuencas de los Ríos Borrachero, Humea, Gazaunta, Piria, Guacavía, Guajairicito, Gazatavena, Gasamundo y Jagua lo que indica que sus laderas son potencialmente inestables. Esta información se corroboró durante las visitas en campo donde se registraron deslizamientos, avalanchas, caídas de roca, inundación, entre otros, que corroboran esta información (ver Mapa 6)

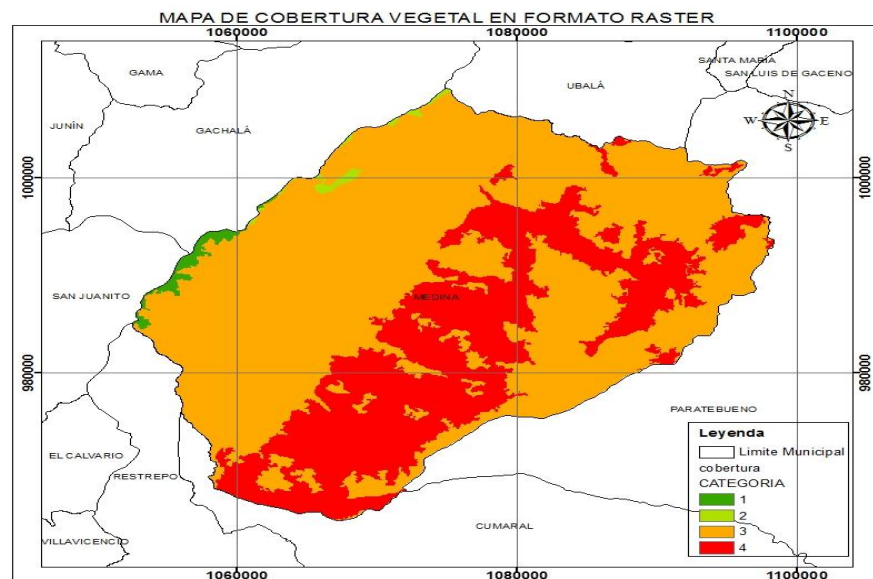


Mapa 6. Mapa de susceptibilidad por el factor geomorfológico
Fuente: Elaboración propia, 2016

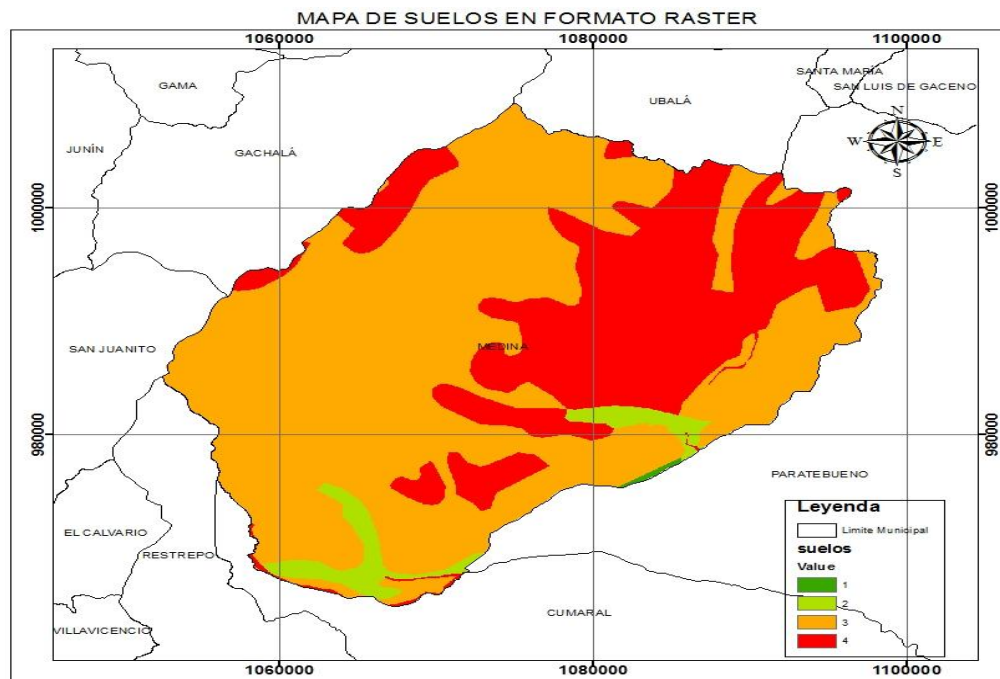
El mapa de geomorfología muestra un gran porcentaje de áreas con susceptibilidad Alta como se observa en la zona del páramo de Chingaza y en el Este del Municipio, la zona de páramo no es considerada estable, puesto que en épocas de alta pluviosidad, puede producir material que posteriormente es arrastrado por las cuencas que atraviesan el Municipio. Las zonas de susceptibilidad muy alta están localizadas en los sectores de transición entre las zonas de alta y baja pendiente del Municipio, compuesta principalmente por terrazas de acumulación potencialmente inestables (ver Mapa 7)



El mapa de susceptibilidad de amenazas naturales por el componente geológico, categoriza pequeñas zonas del páramo de Chingaza como bajas y medias, haciendo una idea de un sector posiblemente estable, esto se debe a que la región del páramo, está compuesta por materiales de textura gruesa como Calizas Arenosas, y presenta una permeabilidad intermedia, produciendo una estabilidad aparente en los suelos. La región Intermedia y el sector Este del Municipio continúan con la categorización de muy alta, dado que geológicamente son zonas con textura arcillosa y limosa de tamaño de grano muy fino y permeabilidad muy alta, que pueden producir eventualmente eventos naturales (Ver Mapa 8).



El mapa de susceptibilidad por el factor de cobertura vegetal, presenta un patrón semejante al mapa geomorfológico, donde la susceptibilidad muy alta se concentra en la región central del Municipio, una zona donde los suelos se encuentran desnudos, sin mucha vegetación, esta zona también presenta cuerpos de agua, que conllevan a la generación de movimientos en masa como avalanchas, flujos y deslizamientos. Se observa en la zona Nor-Occidente del Municipio una región categorizada como baja, su calificación se debe a que presenta un Coeficiente de cobertura (Kc) bajo, asociado a la relación que presentan las coberturas herbazales y arbustales, por el tipo de vegetación que tienen. (Ver Mapa 9).

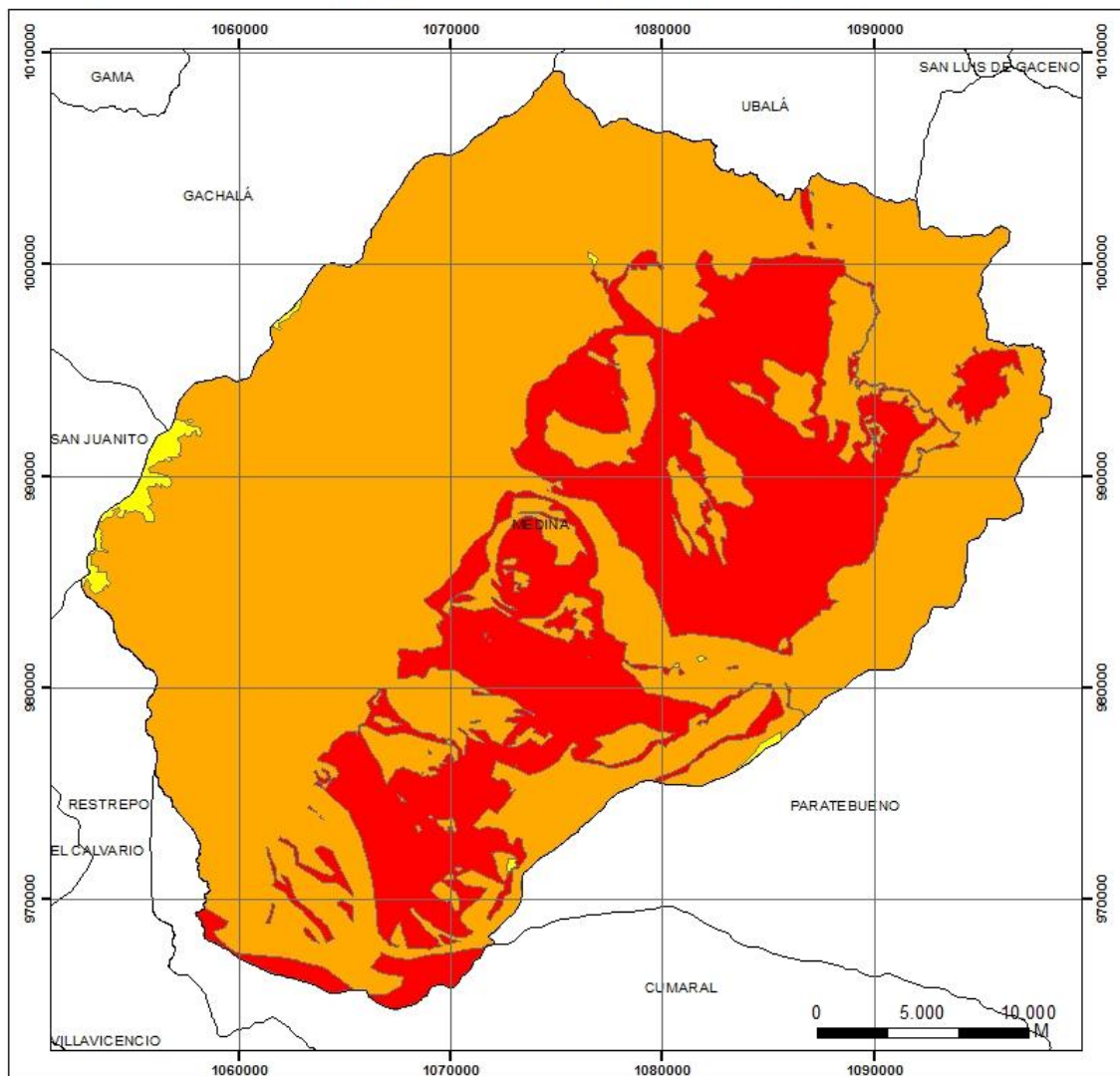


Mapa 9 Mapa de susceptibilidad por el factor de cobertura Vegetal
Fuente: Elaboración propia, 2016

El mapa de susceptibilidad por el componente de suelos representa una distribución espacial diferente con respecto a la categoría muy alta, localizándose principalmente en la región Este del Municipio, asociada en gran medida a los suelos Silvoagricolas, que han sido drásticamente alterados para su aprovechamiento, otro de los suelos que se localizan en esas zonas, son los suelos de producción, que por ser suelos superficiales y de muy baja fertilidad con erosión en grado moderado y presencia de pedregos, pueden generar eventos naturales de gran magnitud debido a los cambios físico-químicos que presentan.

2.1 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A AMENAZAS NATURALES MEDINA, CUNDINAMARCA



Mapa 10 Mapa de susceptibilidad por Amenazas naturales

Fuente: Elaboración propia, 2016

El mapa de la susceptibilidad de amenazas por fenómenos naturales del Municipio de Medina, Cundinamarca, dio como resultado que, para la zona de estudio, el

70,44% presenta susceptibilidad Alta que equivale a 84,399.678 Ha y el 29.56 % del total del área de estudio corresponde a susceptibilidad muy alta (28,86% - 34579,24 Ha) y media (0,71% - 846,642 Ha). Los puntos con mayor concentración de susceptibilidad Muy alta corresponden a 50 veredas entre las que se destacan por su alta ocurrencia de desastres Alto Redondo, Arenales, Bellavista, Brisas de Jagua, Choapal, El Retiro, , Gazaduje, Gazatavena, Gazaire, Gramalote, Guajaray, Isla teresita, Las Argentina, Las Caidas, La serranía, Los Andes, Mesa Reyes, Periquito, San Antonio, San Isidro, Santa María del Pirí, y Varital, lo que compone los sectores Sur-Occidente, centro y Oriente del Municipio.

Se obtuvieron tres (3) grados de susceptibilidad (Medio, Alto y Muy alto), cabe destacar que el grado de susceptibilidad baja no se generó durante el procesamiento SIG, puesto que el factor Geomorfológico que representa el mayor peso en el ponderamiento de capas, no tiene grandes áreas de susceptibilidad baja y al contrastarse con las demás capas de información (Geología, Suelos y Cobertura Vegetal) no tienen zonas en común con relación a este grado. La susceptibilidad Media, se presentó principalmente en el sector Nor-Occidente del Municipio, en la Vereda Los Medios de Humea, zona potencialmente estable, considerando los suelos no tan alterados y una geomorfología estable.

3 CONCLUSIONES

Las concentraciones urbanas de Gasaduje, Los Alpes y la Cabecera de Medina, actualmente se encuentran muy expuestas a amenazas naturales, lo que debe implementarse dentro el Plan Municipal de Gestión del riesgo un sistema de respuesta temprana, mejorando los conocimientos acerca de esas zonas potencialmente amenazadas y la posible ocurrencia de eventos, permitiendo ser un instrumento óptimo para la toma decisiones en el Ordenamiento Territorial. La recolección sistemática de la información disponible de las amenazas del Municipio, así como el levantamiento de información inexistente, que a través de la implementación de herramientas SIG servirán para predecir y analizar las probabilidades de que ocurra un desastre y las pérdidas físicas que se esperan resulten. (IIAP, Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico, 2009)

La investigación de (Guinau et.al., 2005) señala que este tipo de investigaciones que tienen en cuenta la correlación de factores, sirven para mostrar que la implementación de metodologías sencillas y de bajo costo para determinar la susceptibilidad de un territorio a amenazas naturales, pueden ser utilizados para poner en práctica estrategias no estructurales para mitigar el riesgo de un territorio.

Para concluir, un aspecto muy importante de esta metodología es la integración de capas o factores detonantes en el análisis de la susceptibilidad, si se cuenta con más información cartográfica como lo es precipitación, humedad del suelo, sismos, entre otros, se pueden integrar en el procedimiento SIG mejorando los resultados, para la interpretación del territorio con respecto a sus amenazas.

BIBLIOGRAFÍA

- ALARN, A. L. (2002). *Instrumentos de apoyo para el análisis y la gestión de riesgos naturales en el ámbito municipal de Nicaragua*. Managua: EDISA .
- CEPAL, C. E. (2012). Comisión Económica para América Latina y el Caribe, *Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011*. Bogotá: Misión BID - Cepal.
- CMGRD, C. M. (2012). *Consejo Municipal De Gestión Del Riesgo De Desastres Del Municipio de Medina*. Medina, Cundinamarca: Alcaldía Municipal.
- ESRI, e. s. (26 de Octubre de 2016). *desktop.arcgis.com*. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-weighted-sum-works.htm>
- Fernández, T., Irigaray, C., El, H. E., & Chacon, J. (2004). Diseño gráfico de un mapa de susceptibilidad a los movimientos de ladera. *RNM 121 Group of Environmental Researches: Geological Hazards and Terrain Engineering*.
- Gomez, C., Juan, M., & Gacitura, M. (2015). Permeabilidad del suelo de la cuenca del río Chillán, entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile. *Revista Colombiana de Geografía*.
- Guinau, M., Pallas, R., & Manuel, J. (2005). A feasible methodology for landslide susceptibility assessment in developing countries: A case-study of NW Nicaragua after Hurricane Mitch. *Engineering Geology*, 316– 327.
- IDEAM. (2012). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, *Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa*. Bogotá, D.C.: IDEAM.
- IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, Sinchi, I., & IIAP. (2007). *Ecosistemas continentales costeros y marinos de Colombia*. Bogotá D.C: IDEAM, IGAC, IAvH, Invemar, I. Sinchi e IIAP.
- IGAC, I. G. (2014). Instituto Geográfico Agustín Codazzi, *Encuentro internacional sobre asociatividad regional y ordenamiento territorial*. Bogotá D.C.: IGAC.
- IIAP, I. d. (2009). Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. *Evaluación de Amenazas y riesgos ambientales de Carácter Natural y antrópico en el municipio de Quibdó*. Quibdo.
- Lara, M., & Sepúlveda, S. (2008). *Remociones en masa, apuntes del curso*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Ley 1523 de 2012. (2012). *Política y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres*. Bogotá D.C.
- Muñiz, J., & Hernández, V. (2012). Zonificación de procesos de remoción en masa en Puerto Vallarta, Jalisco, mediante combinación de análisis multicriterio y método heurístico. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 29, 103-114.
- UNAL, U. N. (2009). *Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. formulación de propuestas de gestión*. Medellín: Editorial UN.