

LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICOS EN LA ZONIFICACION DE AMENAZA POR DESLIZAMIENTOS

Monografía presentada para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesor: Mg. Geólogo Janer Rafael Cantillo Moreno,.

Autor: JOSE LUIS RANGEL CAÑIZARES



Universidad de Pamplona Colombia
Facultad de Ingenierías y Arquitectura. Ingeniería Ambiental
Pamplona Norte de Santander,
Colombia. 2019.

DEDICATORIA

Quiero dedicarle esto a Dios por haberme dado la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada momento de felicidad y dificultad.

A mi familia entre los más grandes participes de mi meta son José María Rangel anillo y Miriam Cañizares Gómez a ellos después de dios le debo mi existencia, por su constancia y esfuerzo, apoyo incondicional hicieron mi sueño real.

A todas aquellas personas que tuvieron conmigo en los momentos que más necesite y me brindaron su apoyo es una amplia lista los que saben quién es José Luis Rangel principalmente Karen Julieth Muñoz, lilibeth Rangel entre otros.

A todos aquellos que participaron a lo largo de este proceso de estudios mis compañeros que de algún modo compartieron conmigo.

A quienes compartieron con nosotros su experiencia en trabajos de similar naturaleza, y que con sus valiosas ayuda y asesoría, fue posible adelantar este trabajo presente, con mayor interés y facilidad.

AGRADECIMIENTOS

QUIERO AGRADECER a los profesores que me educaron que aportaron un grado de arena a mi formación por su apoyo, constancia los conocimientos transmitido para ser un profesional integral, principalmente a el maestro que le queda pequeña esa palabra Janer Rafael Cantillo Romero director de mi trabajo de grado, por su asesoramiento, su conocimiento, su disposición, y colaboración direccionando la culminación de este trabajo.

A la Universidad de Pamplona, a la Facultad de Ingeniería y arquitectura, y a todos quienes forman parte de la misma, quienes impartieron sus conocimientos para mi formación profesional Y a todas aquellas personas que, de una manera u otra, aportaron en el desarrollo de este proyecto de grado.

Finalmente, a mi familia, por su incondicional apoyo y paciencia durante toda nuestra formación universitaria.

A mi confidente, cómplice y pareja Karen Julieth Muñoz

TABLA DE CONTENIDO

	Pgn
RESUMEN.....	8
ABSTRAC.....	9
INTRODUCCION.....	10
OBJETIVOS:.....	11
CAPITULO I SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO.....	12
1.1 DATOS:.....	13
1.2. Modelo Raster.....	17
1.2.1. Raster en forma de mapa base.....	17
1.2.2.Raster en forma de mapa de superficie	17
1.2.3.Raster en forma de mapa térmico.....	18
1.2.4. Raster en forma de atributos de una entidad.....	19
1.3. Modelo Vectorial	20
Punto, línea y arco.....	21
Poligono y coordenada.....	21
1.4. HERRAMIENTAS DE GEOPROCESAMIENTO.....	23
1.4.1. Herramienta cortar.....	24
1.4.2. Herramienta Intercepción.....	25
1.4.3. Herramienta Union	25
CAPITULO II DESLIZAMIENTOS (MOVIMIENTOS EN MASA.....	27
2.1.USO DE SUELO.....	29
2.1.1 Pendientes.....	29
2.1.2 Precipitación.	30
2.1.3. Zona de influencia de fallas.....	30
2.1.4. Cuencas, drenaje, zonificación y deslizamiento.....	30
2.1.5 Susceptibilidad de deslizamiento.....	31
2.1.6. Amenazas.	34

2.1.6.1 Nivel de Amenaza.....	34
2.1.6.2. Nivel de amenaza relativa.	34
2.1.7. Vulnerabilidad.....	35
2.1.8. Riesgos específicos.	35
2.1.9. Riesgo.....	35
2.2.1. Fenómeno de remoción en masa.....	36
2.2.2. Caídas.....	37
2.2.3. Volcamientos.....	37
2.2.4. Mapa de Pendientes.....	37
CAPITULO III. TECNICAS PARA LA ZONIFICACION DE MOVIMIENTOS DE MASA.....	44
3.1, SIG en movimientos en masa.....	49
3.2. Métodos empleados en la zonificación de amenazas por deslizamiento.....	52
3.3. Métodos Cualitativos (Heurístico).....	52
3.4. Método de proceso de análisis jerárquico	53
3.5. Método estadístico.	58
3.6. Análisis estadístico multivariado.....	59
3.7. Metodo determinístico.....	59
CONCLUSIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1. Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos.....	32
Tabla N° 2 Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base a la observación de la morfología del terreno.....	33
Tabla N° 3. Modelo de Matriz de jerarquía analítica para la ponderación de variable de procesos de remoción de masas.....	46
Tabla N° 4. Modelo de categorías de susceptibilidad a los deslizamientos para mapas específico y final.....	48
Tabla N° 5 Modelo estadístico del peso de cada unidad en la susceptibilidad a deslizamientos.....	49

LISTA DE FIGURAS

Fig N° 1. Entrada de información SIG.....	13
Fig N° 2. Capas de información de un SIG	14
Fig N° 3. Imagen Raster.....	16
Fig N° 4. Raster en forma de mapa.....	16
Fig N° 5. Raster en forma de superficie.....	17
Fig N° 6. Raster en forma de mapa temático.....	18
Fig N° 7. Raster en forma de atributos de una entidad.....	18
Fig N° 8. Modelo vectorial.....	20
Fig N° 9. Coordenada.....	22
Fig N° 10. Latitud y longitud.....	22
Fig N° 11. Herramienta cortar.....	24
Fig N° 12. Herramienta intercepción.....	24
Fig N° 13. Herramienta Unión.....	25
Fig N° 14. Deslizamiento transnacional.....	28
Fig N° 15. Clasificación cinemática de los movimientos en masa según Varnes.....	32
Fig N° 16. Esquema de caídas.....	35
Fig N° 17. Uso del SIG para el análisis de distribución de deslizamiento.....	37
Fig N° 18. Uso del SIG, para el análisis heurístico de susceptibilidad por movimientos en masa.....	45
Fig N° 19. Métodos de zonificación.....	53
Fig N° 20. Diagrama de flujo del proceso analítico Jerárquico.....	55
Fig N° 21. Metodologías para la evaluación de la susceptibilidad.....	60
Fig N° 22. Procedimientos para el cálculo de la Amenaza Relativa a Movimientos en masa.....	61
Fig N° 23. Procedimientos para el cálculo de susceptibilidad a Movimientos en masa.....	62

RESUMEN

Colombia es un país donde se dan diferentes eventualidades naturales siendo el deslizamiento o derrumbes uno de los que principales y frecuentes fenómenos que se dan, estando los departamentos de la zona andina uno de los más afectados por este, particularmente Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Huila, Norte de Santander, Quindio, Risaralda, Santander y Tolima. Por tal razón se hizo pertinente identificar como se da el proceso de utilización del sistema de información geográfica en cuanto a planificación y reducción de impacto en la zonificación de amenaza por deslizamientos en Colombia, sabiendo que aunque este tipo de eventualidades No es posible predecirlas con anterioridad Sin embargo, es posible identificar áreas susceptibles a deslizamiento. Este trabajo ha discutido algunos de los conceptos relacionados con la susceptibilidad a los deslizamientos: conceptos y de las importantes consideraciones relacionadas con deslizamientos y con la cartografía del peligro de deslizamiento. Los diferentes tipos de deslizamientos, la naturaleza relativa de la zonificación del peligro de deslizamiento; También se presentó las diferentes herramientas de geoprocésamiento y el análisis de las técnicas para la zonificación de movimiento de masa

Palabras Claves: Deslizamientos, Zonificación, cartografía, información

ABSTRAC

Colombia is a country where there are different natural eventualities being the landslide or landslide one of the main and frequent phenomena that occur, being the departments of the Andean area one of the most affected by this, particularly Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca , Huila, Norte de Santander, Quindio, Risaralda, Santander and Tolima. For this reason, it was pertinent to identify Identify how the process of using the geographic information system occurs in terms of planning and reducing the impact on the zoning of threat due to landslides in Colombia, knowing that although this type of eventualities cannot be predicted with However, it is possible to identify areas susceptible to landslides. This work has discussed some of the concepts related to susceptibility to landslides: concepts and important considerations related to landslides and the mapping of landslide danger. The different types of landslides, the relative nature of the zoning of the landslide hazard; The different geoprocessing tools and the analysis of the techniques for mass movement zoning were also presented

Keywords: Landslides, Zoning, cartography, information

INTRODUCCION

Los deslizamientos y caídos, han venido incrementando en Colombia en los últimos 35 años, ha sido considerada un área vulnerable a desastres naturales en América. Un informe presentado en septiembre de 2008 por la Dirección Nacional de Planeación (DNP) revela que en promedio cada año ocurren 597 desastres en Colombia, superando a Perú (585), México (241) y Argentina (213). (Vanguardia, 2009). Los desastres naturales principalmente los deslizamientos han dejado en los colombianos dolor y la impotencia ante un fenómeno que no se puede controlar cuando las condiciones están dadas para que se presenten.

Dado a lo anteriormente mencionado se podría decir que este tipo de fenómenos va en incremento por los diferentes factores como el cambio climático, mayor exposición de la población, cambios en el uso de los suelos.

Este trabajo, es útil como herramienta informativa con la cual se pueden definir u orientar a los entes municipales de planeación que contribuyan a la defensa del medio ambiente, conservación y recuperación de ecosistemas. Para obtener la susceptibilidad del suelo se utilizan herramientas de los sistemas de información geográfica –SIG que cuentan con un gran desarrollo de técnicas de análisis y avance en la elaboración de mapas de susceptibilidad, aumentando el grado de objetividad. Complementando la aplicación SIG, En ese sentido, la zonificación de la susceptibilidad identifica las áreas en las cuales se esperaría deslizamientos de tierra, a partir de la aplicación de factores intrínsecos del terreno y detonantes a la susceptibilidad del terreno a los movimientos en masa.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Identificar como se da el proceso de utilización del sistema de información geográficos en cuanto a planificación y reducción de impacto en la zonificación de amenaza por deslizamientos en Colombia.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Analizar casos de la aplicación del SIG en zonificación por deslizamientos
2. Determinar cuáles son las principales causas de amenaza por deslizamientos en Colombia
3. Identificar las variables que se utilizan para la evaluación de la zonificación de la susceptibilidad general del terreno a deslizamientos.

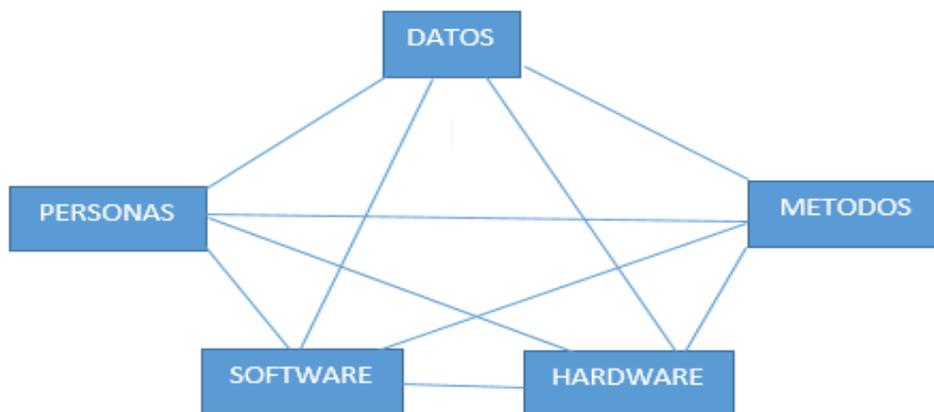
I CAPITULO: SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO

1. Un SIG se define como un conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar coordinada y lógicamente en la captura, almacenamiento, análisis, transformación y presentación de toda la información geográfica y sus atributos, con el fin de satisfacer múltiples propósitos. Los SIG' son una tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato. También es una herramienta base para la solución de problemas en cual lleva componentes integrados o incorporados que nos permiten captar, tratar, transmitir, analizar interpretar etc información geográfica. Este sistema lo han implementado diversos países que aunque utilizarlos no va a hacer que los desastres naturales dejen de generarse, pero si puede prevenir y/o controlar que las consecuencias sean mayores (pérdidas humanas y materiales), ya que por medio de sus componentes se logra captar información veraz en forma real y esto trae consigo que el estudio sea optimo y a partir de lo que arroje se toman las medidas pertinentes para prevenir lo anteriormente mencionado en una zona de estudio determinada.

Los componentes que conforman a un sistema de información geográficos son:
Datos, métodos, hardware, software y personas.

La entrada de información a un SIG se hace a partir de imágenes, tablas, información digital lo cual ya con el debido procesamiento obtenemos los resultados o salidas gráficas (mapas). Estas salidas gráficas lo que nos permiten es tomar decisiones, comunicar ideas, conceptos, planes y diseños para solucionar un problema específico. Con la información captada en una zona propensa a que ocurran deslizamientos entra el SIG a procesar dicha información que permitirá que se realice un análisis de las salidas gráficas con el fin de mitigar o prevenir un desastre, lo cual permite que este sistema y su implementación sean de vital importancia.

Figura N° 1. Entrada de información SIG



1.1 DATOS: Es uno de los componentes principales para trabajar un Sistema de Información Geográfico, son obtenidos por medio de sensores remotos, fotografías, formatos shapefile, formatos Excel. Estos datos son el punto de partida a nuestro análisis e interpretación, se clasifican según su variable:

- Cualitativos
- Cuantitativos

Según su distribución espacial:

- Discretos

- Continuos

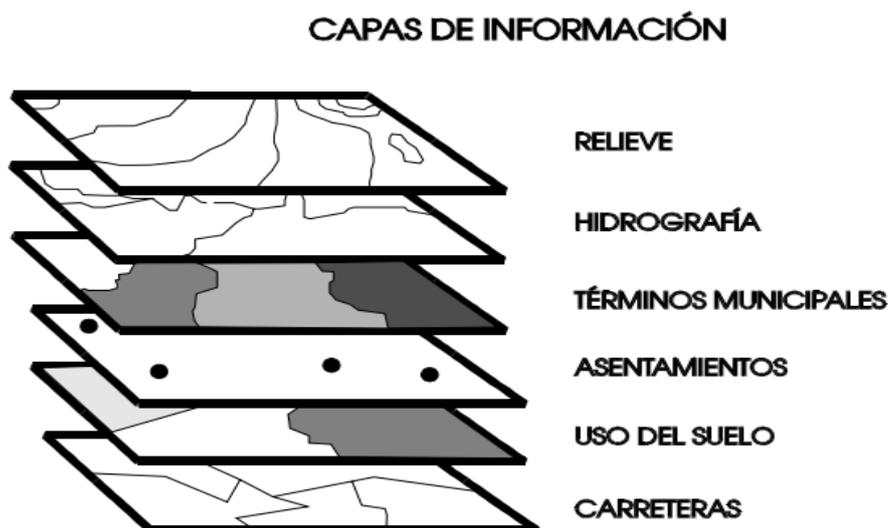
SOFTWARE: Para el análisis e interpretaciones de la información se requiere de un software capaz de procesar con eficacia la información obtenida.

HARDWARE: Para un rendimiento óptimo debemos tener en cuenta las características de la máquina que va a procesar la información.

PROCESOS: Las prácticas de operación deben estar definidas por la organización para que un sistema opere exitosamente necesita ejecutar tareas específicas utilizando tecnologías de punta.

PERSONAS: Toma de decisiones según el proyecto que se esté ejecutando, profesionales capaces en un área determinada.

Fig. 2. Capas de información en un sig



(RUIZ, M., 1995), se puede decir que el inicio de los SIGs se produjo con el cambio del formato analógico (cartografía convencional) al digital. Por tanto, hubo un avance de los Sistemas de Información Geográfica está en estrecha relación con el propio

desarrollo de la informática (en especial, los aspectos del software y del hardware). De esta manera, la aplicación de los ordenadores al análisis de la información espacial en la década de los 60 favoreció de forma revolucionaria al tradicional método de análisis de datos espaciales. Se comenzó a manejar un mayor número de información, con una velocidad de acceso a tales datos impensable unos años antes; además, la reducción de costes para el tratamiento cartográfico, así como para su actualización, disminuyó considerablemente.

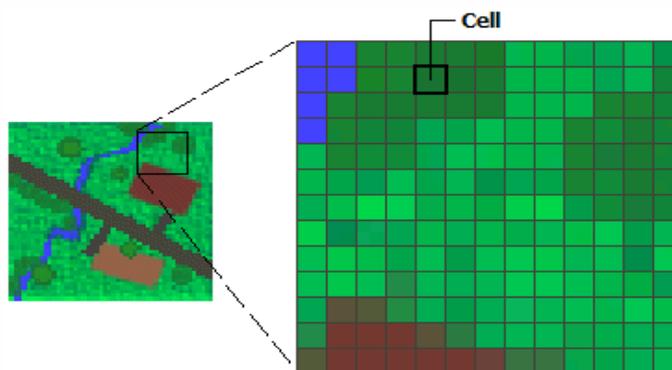
Los años sesenta y setenta, se identificaron por la construcción de SIGs ligados a necesidades específicas, destacando de manera especial, los usos del suelo. Además, casi siempre bajo las pretensiones de organismos públicos como los departamentos de agricultura, ayuntamientos, etc. Pero las capacidades de los programas eran escasas. En este momento, años setenta, y a través de un inventario realizado por la UGI (Unión Geográfica Internacional), aparecieron 600 programas diferentes y 80 SIGs a disposición del público (GUTIERREZ PUEBLA, J. Y GOULD, M., 1994). A pesar de esta comienzo en programas de análisis espacial, el mayor progreso se consiguió a través del denominado método raster. De esta forma, se desarrollaron dos métodos distintos pero complementarios, el vectorial y el raster. En los últimos años, los SIGs han evolucionado de manera exitosa, destacando las aportaciones del NCGIA (Centro Nacional para la Investigación Geográfica y Análisis) de EEUU, creado en 1988 para desarrollar los fundamentos teóricos y conceptuales de futuros SIGs y no para desarrollar software SIG. Sus líneas de investigación fundamentales se adscriben a: - Análisis y estadística espacial - Relaciones espaciales y estructuras de la base de datos - Inteligencia artificial y sistemas expertos - Visualización de datos espaciales - Cuestiones institucionales, sociales y económicas de los SIGs.

Dado a lo anterior se podría decir que a través del tiempo los sistemas de información geográficos han evolucionado y mejorado su aplicación, anteriormente se realizaba de manera análoga, pero con la incorporación de nuevas tecnologías ha hecho que este sistema sea más eficaz pasando de análogo a digital, haciendo que el procesamiento de información sea más amplia en menos tiempo, dependiendo de los dispositivos que se utilicen en el momento de captar la información sus costos varían.

1.2 MODELO RASTER:

El ráster consta de una matriz de celdas organizadas en filas y columnas formando una cuadrícula en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los ráster son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

Figura N° 3. Imagen Raster.



1.2.1 Ráster en forma de mapas base:

Un uso común de los datos ráster en un SIG es en forma de visualización de fondo para otras capas de entidades. Por ejemplo, las ortofotografías que se visualizan debajo de

otras capas ofrecen al usuario de mapas la garantía de que las capas de mapa se alinean espacialmente y representan tanto objetos reales como información adicional. Las tres fuentes principales de mapas base ráster son las ortofotografías de fotografías aéreas, imágenes de satélite y mapas escaneados.

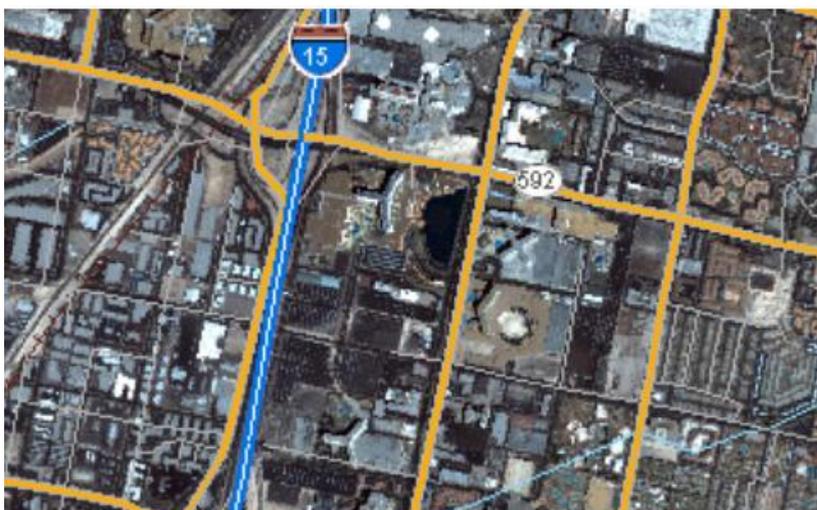
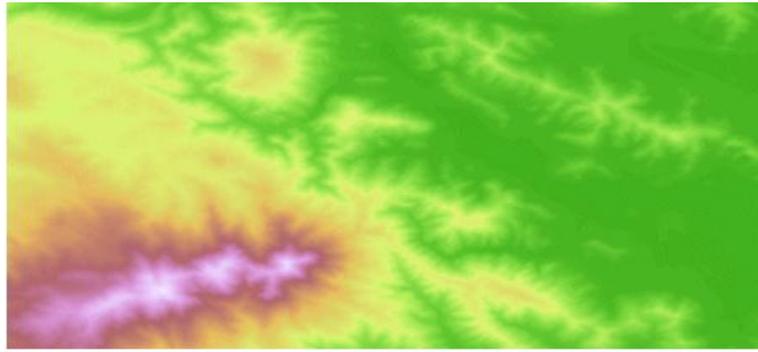


Figura N° 4. Raster en forma de mapa.

1.2.2 Ráster en forma de mapas de superficie

Los ráster son apropiados para representar datos que cambian continuamente en un entorno (superficie). Ofrecen un método efectivo para almacenar la continuidad en forma de superficie. También proporcionan una representación de superficies con espacios regulares. Los valores de elevación que se miden desde la superficie de la Tierra son la aplicación más común de los mapas de superficie, pero otros valores, como las precipitaciones, la temperatura, la concentración y la densidad de población, también pueden definir superficies que se pueden analizar espacialmente. En el siguiente ráster se visualiza la elevación: se utiliza el color verde para mostrar una elevación menor y celdas de color rojo, rosa y blanco para mostrar elevaciones mayores.

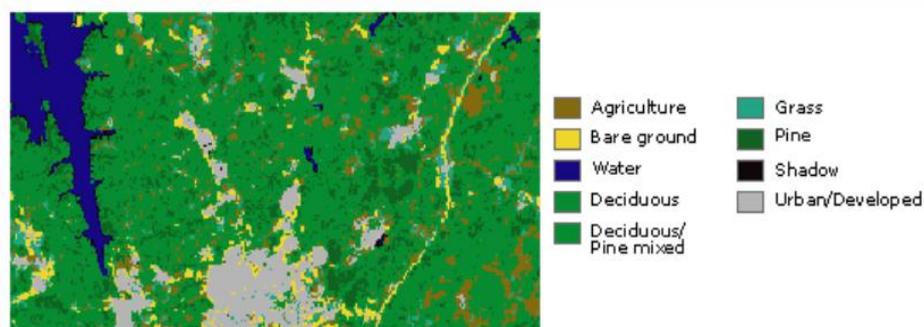
Figura N° 5: Mapa de superficie.



1.2.3 Rásteres en forma de mapas temáticos

Los rásteres que representan datos temáticos se pueden derivar al analizar otros datos. Una aplicación de análisis común consiste en clasificar una imagen de satélite por categorías de cobertura de suelo. Básicamente, esta actividad agrupa los valores de datos multispectrales en clases (como tipo de vegetación) y asigna un valor categórico. También es posible obtener mapas temáticos a partir de operaciones de geoprocésamiento que combinen datos de varias fuentes como, por ejemplo, datos vectoriales, ráster y de terreno.

Figura N° 6. Rasteres en forma de mapa temáticos



Rásteres en forma de atributos de una entidad.

Los rásteres utilizados como atributos de una entidad pueden ser fotografías digitales, documentos escaneados o dibujos escaneados relacionados con un objeto o ubicación geográfica. Una capa de parcela podría tener documentos legales escaneados que

identifiquen la transacción más reciente de dicha parcela, o una capa que represente las entradas a una cueva que podría incluir imágenes de las entradas reales a las cuevas asociadas a las entidades de puntos

. Figura N° 7: rasteres en forma de atributos de una entidad



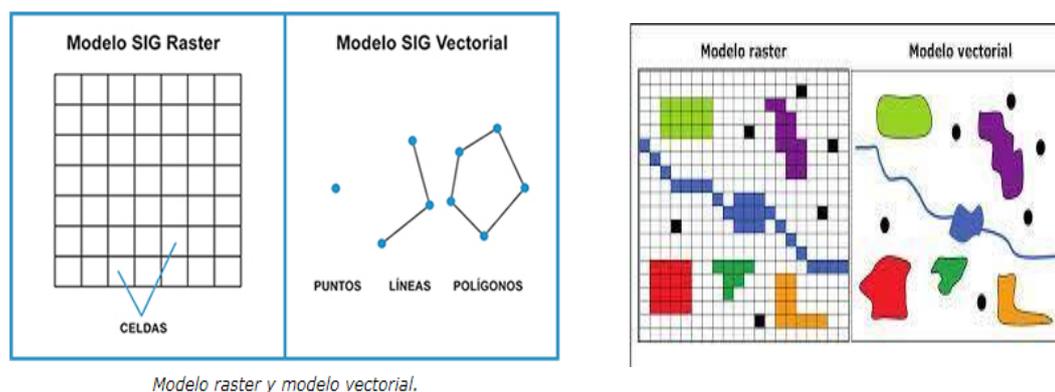
Existen unas ventajas de almacenar datos en forma de raster son las siguientes:

- Estructura de datos simple: matriz de celdas con valores que representan una coordenada y que, en ocasiones, se encuentra vinculada a una tabla de atributos
- Formato potente para análisis espacial y estadístico avanzado
- Capacidad de representar superficies continuas y llevar a cabo análisis de superficie
- Capacidad de almacenar puntos, líneas, polígonos y superficies de manera uniforme
- Capacidad de llevar a cabo superposiciones rápidas con datasets complejos

1.3 MODELO VECTORIAL.

La forma espacial en un modelo vectorial se basa en la colocación de puntos individuales según determinadas coordenadas, viniendo definida por funciones matemáticas, ya que se pueden representar puntos, líneas parábolas, polígonos. En estos casos los datos incluidos en los SIGs deben ser parámetros que se den en una ecuación, tales como radios de círculos, distancias en general, etc. Los puntos, las líneas y los polígonos son las unidades que contienen la información, Este modelo tiene una ventaja a comparación de la raster ya que gráficamente mantiene el mismo tamaño ya que no tiene magnitud. En este modelo la unidad básica de representación gráfica es el punto. Una línea estará determinada por un punto de origen y otro final, cada uno con sus respectivas coordenadas. A su vez un polígono estará determinado por varias líneas.

Figura N°8. Modelo vectorial



En el modelo de datos vectorial (Figura 8), los datos geográficos se representan en forma de coordenadas. Las unidades básicas de información geográfica en los datos vectoriales son puntos, líneas (arcos) y polígonos. Cada una de éstas se compone de uno o más pares de coordenadas, por ejemplo, una línea es una colección de puntos interconectados, y un polígono es un conjunto de líneas interconectadas.

Punto:

Abstracción de un objeto de cero dimensiones representado por un par de coordenadas X,Y. Normalmente un punto representa una entidad geográfica demasiado pequeña para ser representada como una línea o como una superficie.

Línea:

Conjunto de pares de coordenadas ordenados que representan la forma de entidades geográficas demasiado finas para ser visualizadas como superficies a la escala dada (curvas de nivel, ejes de calles, o ríos), o entidades lineales sin área (límites administrativos). Una línea es sinónimo de arco.

Arco

Término específico de ARC/INFO que se utiliza como sinónimo de línea.

Polígono.

Entidad utilizada para representar superficies. Un polígono se define por las líneas que forman su contorno y por un punto interno que lo identifica. Los polígonos tienen atributos que describen al elemento geográfico que representan.

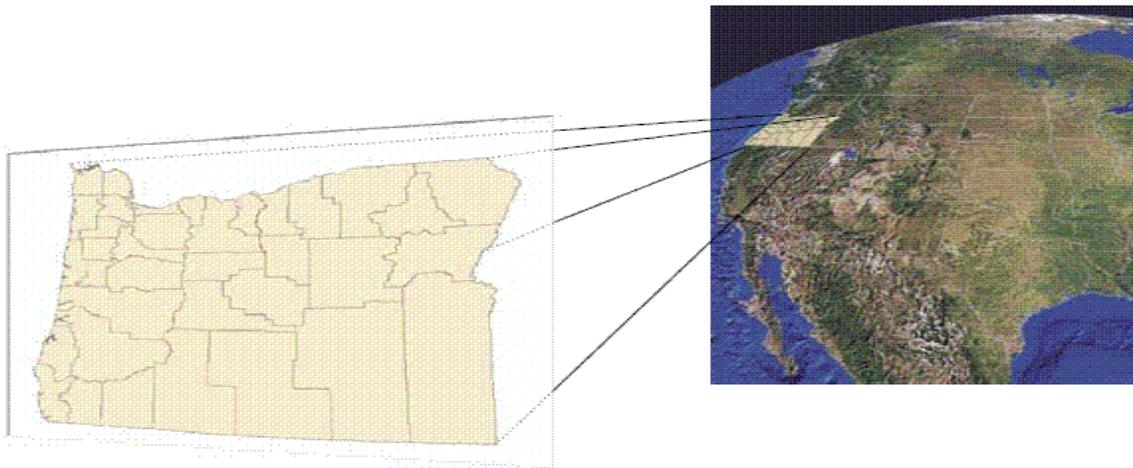
Coordenada:

Son pares de números que enuncian las distancias horizontales a lo largo de ejes ortogonales, o tríos de números que miden distancias horizontales y verticales, o n-números a lo largo de n-ejes que expresan una localización concreta en el espacio n-dimensional. Las coordenadas generalmente representan localizaciones de la superficie terrestre relativas a otras localizaciones.

En la representación cartográfica y en el SIG es esencial saber la ubicación espacial por eso es necesario asignar coordenadas geográficas que permitan situar o localizar los

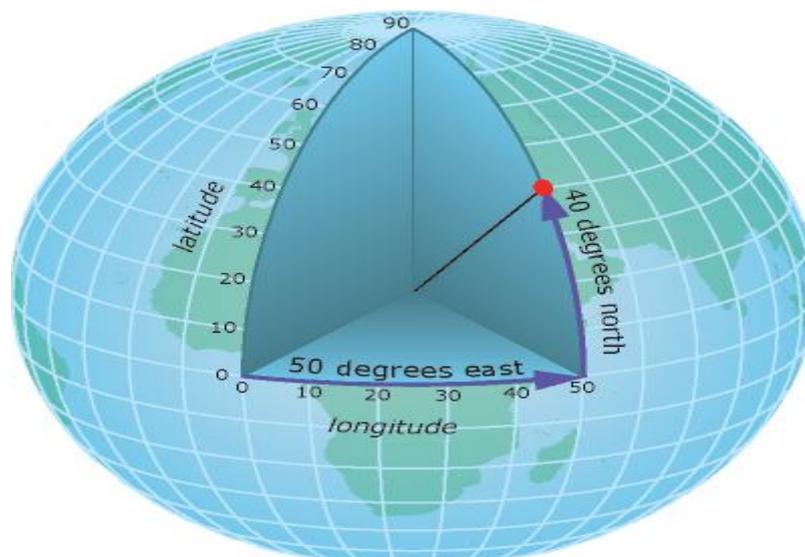
elementos en un punto cercano a la superficie terrestre esto se logra con la georeferenciación. Hay diferentes marcos que permiten la ubicación del mundo real, uno de esos marcos es las coordenadas latitud-longitud, coordenadas cartesianas.

Figura N° 9. Coordenada.



El sistema de coordenadas geográficas asignan la posición por medio de mediciones esféricas de latitud(paralelos) y longitud(estre-oeste) que miden los ángulos que hay desde el centro de la tierra hasta algún punto de la superficie

Figura N°
y longitud



10. Latitud

1.4. HERRAMIENTAS DE GEOPROCESAMIENTOS:

El procesamiento de los SIG consiste en una serie de análisis que se basan en el procesamiento de información geográfica, existen un conjunto de herramientas y un mecanismo que permite la combinación de las mismas en una secuencia de operaciones mediante modelos.

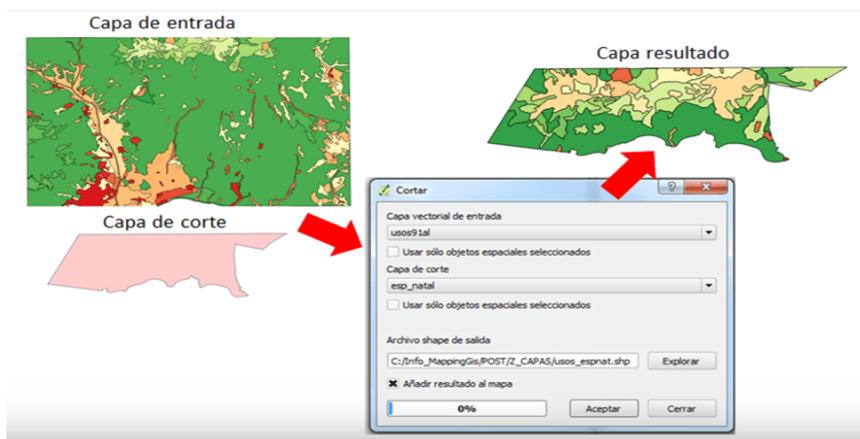
Las herramientas de **geoprocesamiento** pueden realizar pequeñas operaciones pero fundamentales en los *datos geográficos*, tales como extraer o superponer datos, reproyectar una capa, añadir campos a una tabla y calcular sus valores, establecer rutas óptimas, entre otras.

A continuación pretendemos analizar este tipo de herramientas más comúnmente empleadas en **geoprocesamiento** y que, por supuesto, se encuentran disponibles en cualquier software **GIS**, como por ejemplo *ArcGIS*, *QGIS* y *gvSIG*.

1.4.1 Herramienta. (Cortar)

Esta herramienta se utiliza para conocer los elementos geográficos (ya sean de tipo puntual, lineal o poligonal) que se encuentran dentro de unos límites que establecemos mediante una capa poligonal de corte. Esta herramienta, por ejemplo, si deseamos trabajar con la información relativa a los *usos del suelo* dentro de un límite municipal, despreciando toda aquella información que quede fuera de dicho límite.

Figura N° 11 Herramienta Cortar

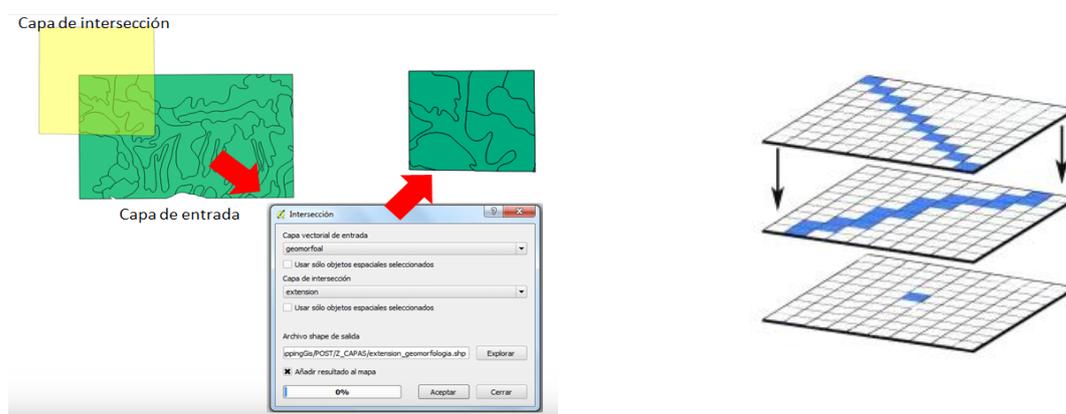


1.4.2 Herramienta (Intersección).

A partir de la operación de intersección de dos capas, los elementos de entrada son cortados a partir de otra capa superpuesta (*capa de intersección*) a la primera. El resultado es una nueva capa que recoge la combinación espacial de los distintos elementos que conforman ambas capas.

Esta herramienta es útil, por ejemplo, cuando deseamos obtener la información sobre las unidades geomorfológicas de una determinada zona de estudio.

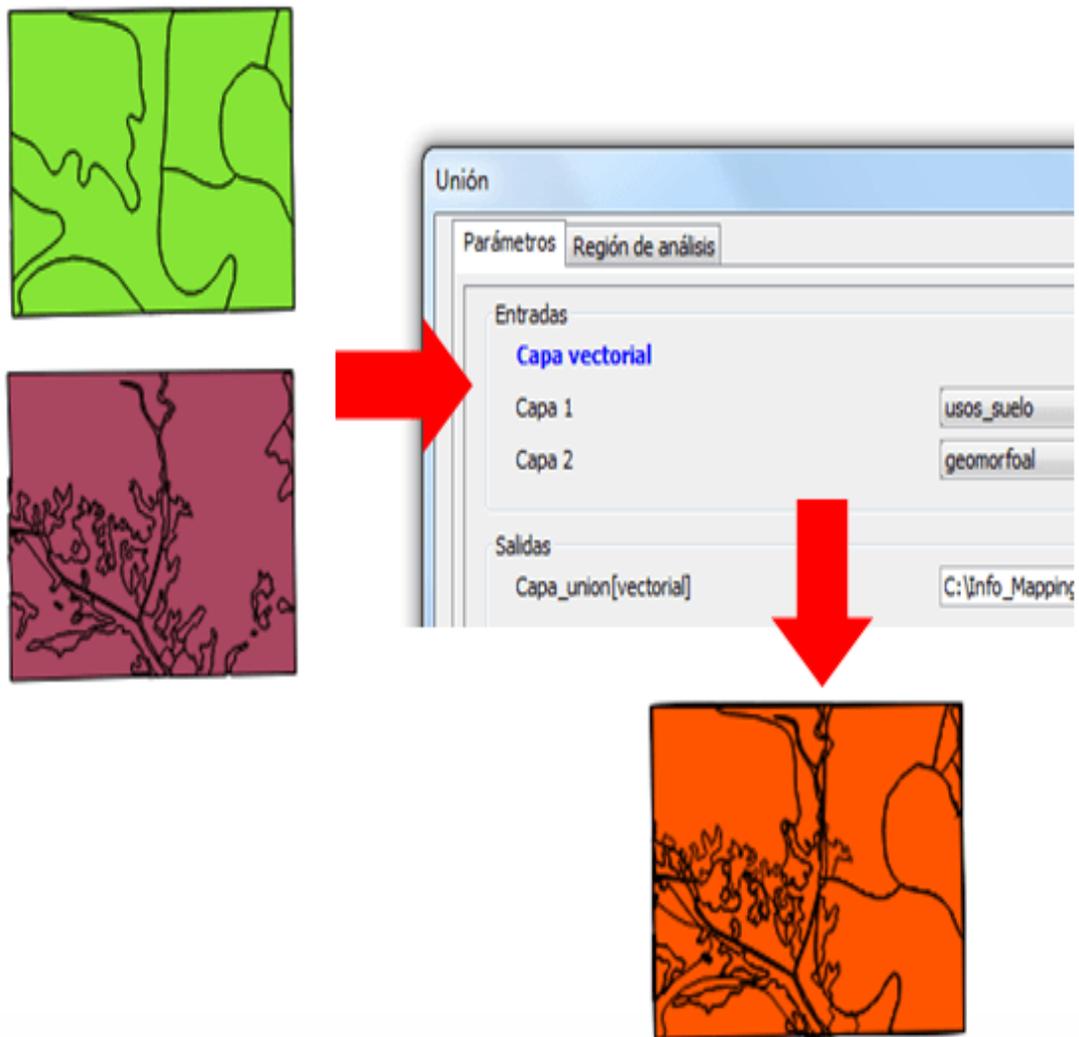
Figura N° 12. Herramienta de intersección.



1.4.3 Herramienta Unión:

Esta herramienta como su nombre lo indica es la unión de dos capas combina los elementos de una capa poligonal de entrada con los polígonos de una capa superpuesta a la primera (*capa de unión*). El resultado es una capa que presenta una información procedente de la combinación de las entidades geográficas en ambas capas. Hay que destacar que con esta herramienta no se generan registros duplicados por solapamiento sino límites vectoriales que muestran la combinación de atributos de las capas después de la superposición sufrida una respecto de la otra. Esta conserva los valores de los atributos en ambas capas de entrada. Es útil emplear esta herramienta, por ejemplo, cuando deseamos conocer las diferentes combinaciones entre usos del suelo y unidades geomorfológicas que se dan en una zona de estudio.

Figura N° 10. Herramienta Unión



CAPITULO II DESLIZAMIENTOS (MOVIMIENTOS EN MASA)

El IDEAM, presenta al país el mapa de "Zonificación de la Susceptibilidad General del Terreno a los Deslizamientos de Tierra a escala 1:500.000" (actualizado y validado en el año 2010), elaborado conjuntamente con el Servicio Geológico Colombiano, mediante el acuerdo 05 de 2010.

En la metodología utilizada para la zonificación de la susceptibilidad general del terreno a deslizamientos, se ponderaron diecisiete variables o componentes de terreno: litología, densidad de fracturamiento, densidad de pliegues, forma de las cuencas, densidad de drenajes, inclinación de la pendiente, índice de relieve relativo, sistemas morfo génicos, morfo dinámica (procesos erosivos), suelos y su relación con la dinámica del agua (infiltración, capacidad de almacenamiento y regulación de humedad), suelos y su constitución (textura, materia orgánica, profundidad, naturaleza y tipo de las arcillas como coloides del suelo) y coberturas de la tierra.

Como resultado del modelamiento de estas variables, se obtuvieron 6 categorías de susceptibilidad a los deslizamientos: Nula, Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta; así como las principales características asociadas a litología, suelos y cobertura vegetal.

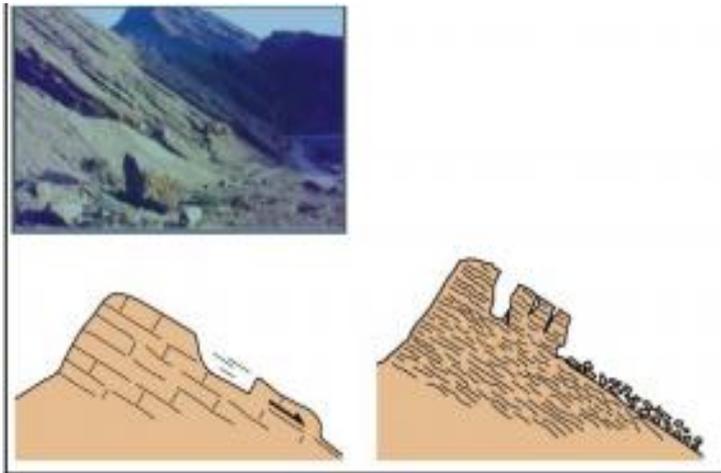
El mapa de susceptibilidad general del terreno a los deslizamientos presenta una información indicativa del comportamiento general de la inestabilidad del terreno, la cual es la base para el pronóstico diario de la amenaza por deslizamientos, que realiza diariamente el IDEAM. Para estudios de amenaza y riesgo se deberán realizar estudios de mayor detalle a las escalas adecuadas.

Para dar claridad a lo que concierne a los sistemas de información geográfica en la zonificación de amenaza, por deslizamientos, es fundamental conocer los siguientes

términos los cuales son la base de la monografía, iniciando con la definición de lo que es zonificación, deslizamientos, susceptibilidad.

- Deslizamientos: Varnes (1978, 1976) y Hutchinson (1988) en Franco 2004) coinciden en definir los deslizamientos como movimientos rápidos pendiente abajo, de suelo o roca sobre una o más superficies críticas de deslizamiento límite. También generan diferentes mecanismos y formas de ruptura que permiten diferentes clasificaciones.
 - Traslacional: la masa se desplaza a lo largo de una superficie planar ondulante deslizándose afuera sobre la superficie del terreno original con una dirección casi paralela al talud (Varnes 1978, 1996; Hutchinson 1988 en Franco 2004); los deslizamientos traslacionales son relativamente más superficiales que los deslizamientos rotacionales
 - Rotacional: se mueven a lo largo de una superficie de ruptura curva o cóncava; si la superficie de ruptura es circular o cicloidal en perfil , la cinemática dicta que la masa desplaza puede moverse a lo largo de la superficie con poca deformación interna (Varnes 1996 en Franco 2004)
 - Planar: la masa que se mueve consiste de una sola unidad poco deformada o varias unidades cercanamente relacionadas (Varnes, 1978 en Franco 2004)
 - Compuesto: Varnes (1996) y Hutchinson (1988) definen los deslizamientos compuestos como deslizamientos intermedios entre rotacionales y traslacionales. Se caracterizan porque las superficies de deslizamiento son marcadamente no circulares, formadas por una combinación de una parte plana curva o plana profunda en la parte trasera y una más plana en la base (Hutchinson 1988).
 -

Figura 14. Deslizamiento Transnacional



Fuente. GRUPO DE ESTÁNDARES PARA MOVIMIENTOS EN MASA GEMMA. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Bogotá: INGEOMINAS, 2007. p. 10

2.1 USOS DE SUELO:

Engloba los diferentes usos que el hombre puede hacer de la tierra, su estudio y los procesos que llevan a determinar el más conveniente en un espacio concreto. Menos del 30% de la superficie de nuestro planeta es tierra. No toda ella puede ser utilizada por los humanos, motivo por el cual constituye un recurso natural valioso y sometido, en muchas partes del mundo.

2.1.1 PENDIENTES La variable denominada pendiente, considera tanto el ángulo de inclinación como la longitud de la ladera y los marcados cambios de pendiente a través de las laderas. Todos los autores consideran que es una variable, algunos las combinan con las formas (morfología), el índice de relieve relativo, las diferencias de altura, y las direcciones de las pendientes; conceptos que son agrupadas en la ciencia denominada geomorfología, junto con la morfodinámica (procesos erosivos y neotectónicos) (Rodríguez 2005) Los perfiles más profundos de meteorización se encuentran en los taludes suaves más que en los empinados. Para cada formación, en un estado determinado de meteorización existe un ángulo de pendiente a partir del cual un talud es

inestable. Mientras algunos suelos residuales de origen ígneo permiten ángulos del talud superiores a 45 grados, en lutitas meteorizadas saturadas éste no debe exceder los 20 grados y hasta valores de la mitad del ángulo de fricción.

2.1.2. PRECIPITACIÓN Estaciones. Reportaran la intensidad de lluvia y el comportamiento de estas en las áreas de influencia directa.

Intensidad. Cantidad de agua que de acuerdo a las características climáticas del sector aumentarán en zonas más bajas y se disminuirán hacia las parte altas topográficas.

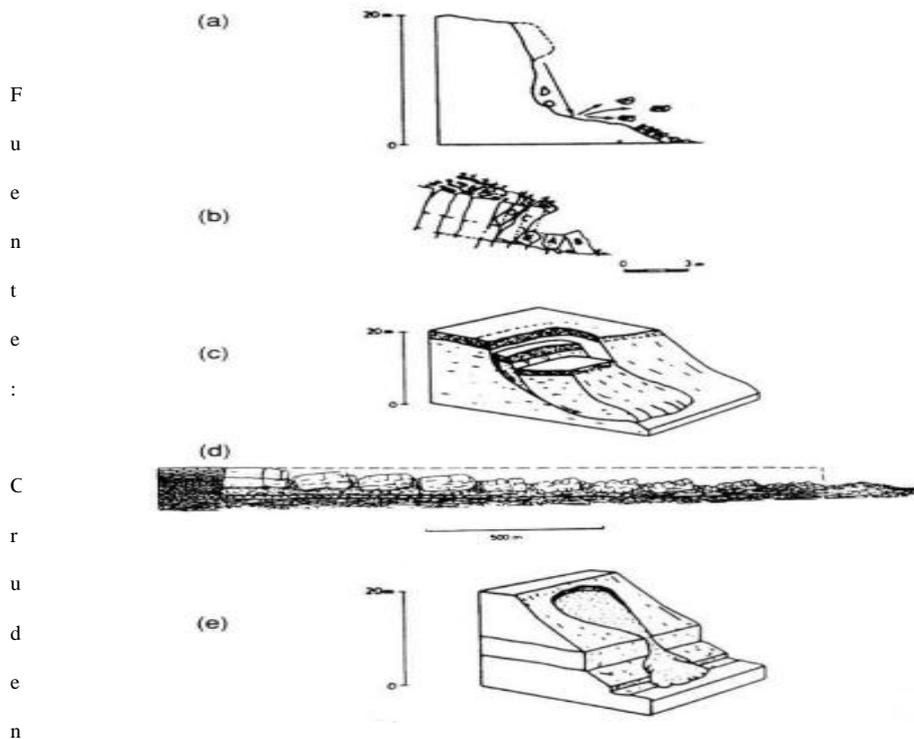
2.1.3 ZONA DE INFLUENCIA DE FALLAS Este factor detonante permite definir la probabilidad de que ocurra un evento por el nivel de aceleración superficial del terreno.

CUENCA: Delimitación. La delimitación de una cuenca está dado por las divisorias de aguas que la separa del resto de drenajes y que hacen que confluyan.

- Drenajes. Corresponde al conjunto de ríos que se encuentran drenando por las divisorias que delimitan a la cuenca la cual está compuesta por una cantidad de drenajes que se clasifican de acuerdo al número que estas reciben en su recorrido desde el nacimiento. Por ejemplo en el nacimiento son llamado de primer orden y a medida que reciben agua de tributarios aumentaran en su número de orden.
- Zonificación, Deslizamientos. Varnes (1984) define zonificación como la división de la superficie del terreno en áreas y la clasificación de acuerdo con el grado actual o potencial de amenaza por deslizamientos u otros movimientos en masa en las laderas. El IDEAM, presenta al país el mapa de "Zonificación de la Susceptibilidad General del Terreno a los Deslizamientos de Tierra a escala

1:500.000" (actualizado y validado en el año 2010), elaborado conjuntamente con el Servicio Geológico Colombiano, mediante el acuerdo 05 de 2010.

Fig. N° 15 Clasificación cinemática de los movimientos en masa según Varnes (1978): a) caída, b) volcamiento, c) deslizamiento, d) propagación lateral y e) flujo.



& Varnes 1996

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

ella, pero pueden viajar de regreso hacia o desde ésta área. Fell, et al. (2008)

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

Tabla N° 1 Criterios para determinar el grado de susceptibilidad a los deslizamientos (Sarkar y Kanungo, 2004).

Muy alta	Laderas con zonas de falla, masas de suelo altamente meteorizadas y saturadas y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe una alta posibilidad de que ocurran
Alta	Laderas que tienen zonas de falla, meteorización alta a moderada y discontinuidades desfavorables donde han ocurrido deslizamientos o existe la posibilidad de que ocurran.
Moderada	Laderas con algunas zonas de falla, erosión intensa o materiales parcialmente saturados, donde no han ocurrido deslizamientos, pero no existe completa seguridad de que no ocurran.
Baja	Laderas que tienen algunas fisuras, materiales parcialmente erosionados, no saturados, con discontinuidades favorables, donde no existen indicios que permitan predecir deslizamientos.
Muy baja	Laderas no meteorizadas con discontinuidades favorables que no presentan ningún síntoma de que puedan ocurrir deslizamientos.

Tabla N° 2 Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno (Crozier, 1986).

Susceptibilidad	Criterio
VI Muy alta	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.
V Alta	Taludes sujetos con frecuencia, a actividades de deslizamiento. La activación de los deslizamientos resulta cuando ocurren eventos con intervalos de recurrencia menor a cinco años.
IV Medianamente alta	Taludes con actividad de deslizamientos poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia mayores a cinco años.
III Mediana	Taludes con antigua evidencia de actividad de deslizamientos, pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años.
II Baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se consideran probables que se desarrollen en el futuro. Sin embargo, los análisis de esfuerzos como la analogía con otros taludes o el análisis de los factores, muestran una posibilidad baja de que lleguen a presentarse deslizamientos.
I Muy baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y que por análisis de esfuerzos, analogías con otros taludes, o por análisis de los factores de estabilidad, se considera muy improbable que se desarrollen deslizamientos en el futuro previsible.

2.1.6 AMENAZA (H) Es la probabilidad de ocurrencia de la magnitud de un fenómeno que pueda causar daño (Gonzales, 1992); según (Mora, 1990) es la Probabilidad de que en un tiempo t suceda un evento de intensidad.

2.1.6.1. *Nivel de la Amenaza:* No existe un estándar internacional para la calificación de la amenaza. Los términos utilizados incluyen desde la amenaza muy baja a la amenaza muy alta como se indica en la tabla de Ambalagan (1992). Entre más categorías se utilicen, el mapa es más difícil de interpretar. Se recomienda, por su utilidad práctica, la utilización de tres escalas de clasificación. Sin embargo, la zonificación no debería ser subjetiva sino que debería representar un margen de probabilidad.

2.1.6.2 *Amenaza Relativa /Absoluta:* Otra división útil en las técnicas de estudio de amenazas por la inestabilidad de las pendientes, es la diferenciación entre amenaza absoluta y amenaza relativa. Amenaza relativa Las técnicas para estudio de la amenaza relativa diferencian las probabilidades de ocurrencia de movimientos de masa para las diferentes áreas en el mapa, sin dar valores exactos (Van Westen, 2005).

Amenaza absoluta: Los mapas de amenaza absoluta muestran un valor absoluto para la amenaza, tal como un factor de ocurrencia o una probabilidad de ocurrencia

2.1.7 VULNERABILIDAD (V) Grado de Perdida como resultado de un fenómeno potencialmente dañino También se define como la susceptibilidad de los elementos a sufrir daño por la magnitud del fenómeno. $V = E/S$ Dónde: V= Vulnerabilidad E= Exposición R= Resistencia.

2.1.8 **RIESGO ESPECÍFICO (Rs)** Cálculo matemático de pérdidas como por ejemplo de vidas, propiedad dañada, heridos y actividad económica interrumpida, durante un periodo de referencia en una región dada para una amenaza particular. $R = H \times V$ Dónde: R= Riesgo Especifico H= Amenaza V= Vulnerabilidad

2.1.9 RIESGO (R) Condición que se deriva de la acción de una o varias amenazas en un contexto dado. En una condición de riesgo las consecuencias de la acción de las amenazas están medidas por la toma de una decisión.

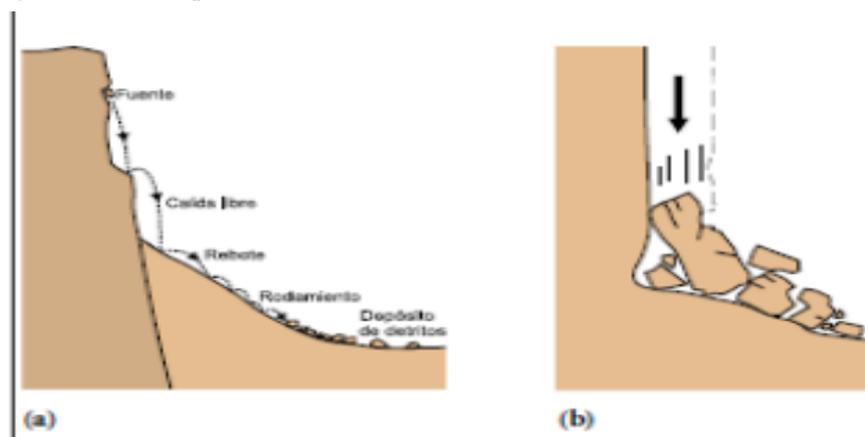
2.2.1 **FENOMENO DE REMOCION EN MASA** Según la Comisión Colombiana del Espacio este evento lo definen como “todo deslizamiento hacia abajo (vertical o inclinado en dirección del pie de una ladera) de un volumen de material litológico importante, en el cual el principal agente es la gravedad”. El Movimientos en masa los términos más utilizados para denominar globalmente estos fenómenos son: movimientos en masa, movimientos de terreno, deslizamientos, deslizamientos de terreno, deslizamientos de vertiente, movimientos de ladera, entre otros Varnes (1996) en Franco, 2004.

A continuación se definen cuatro grupos principales de movimientos en masa.

2.2.2 **Caídas:** Según Varnes (1978, 1996) Hutchinson (1988) (en Franco, 2004) una caída se inicia con la separación de suelo o roca desde una ladera a lo largo de una superficie sobre la cual poco o ningún desplazamiento cortante tiene lugar, descendiendo principalmente a través del aire cayendo, rebotando o rodando. El movimiento es de muy rápido a extremadamente rápido. Este movimiento ocurre generalmente en zonas

de alta pendiente y la gravedad constituye el principal agente motor del movimiento. Las caídas, desprendimientos o desplomes son generados por procesos similares, ellos son distinguidos solamente por la magnitud del fenómeno.

Figura N° 16. Esquema de caída de rocas



Fuente. GRUPO DE ESTÁNDARES PARA MOVIMIENTOS EN MASA GEMMA. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Bogotá: INGEOMINAS, 2007. p. 6

2.2.3 Volcamientos: Es la rotación hacia fuera de un talud, de masas de suelo o roca alrededor de un punto o eje por debajo del centro de gravedad de la masa desplazada. El movimiento puede ser dirigido por la gravedad ejercida por el material ladera arriba de la masa desplazada y algunas veces por agua o hielo en fisuras o grietas en la masa. Los volcamientos pueden conducir a caídas o deslizamientos de la masa desplazada, dependiendo de la geometría de la masa que se mueve, la geometría de la superficie de separación y la orientación y extensión de las discontinuidades cinemáticamente activas (Varnes 1996 en Franco 2004).
SIG.

2.2.3 Mapa de Pendientes: Para la elaboración del mapa de susceptibilidad es importante dibujar previamente, un mapa de pendientes adicional a los mapas geológicos y de uso del suelo. El objetivo es generar una planta topográfica del área a estudiar, delimitando las áreas de pendiente diferente, en los sectores o fajas de valores previamente establecidos.

Figura N°17 Uso del SIG para el análisis de distribución de deslizamientos

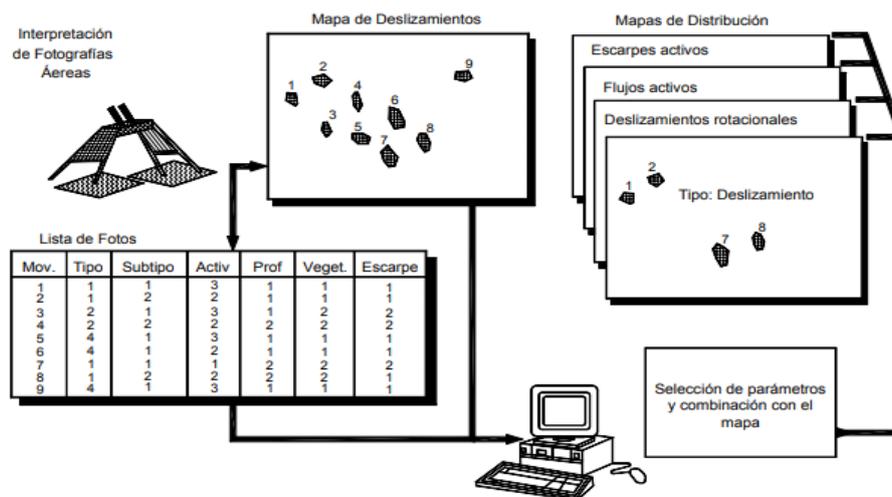


Figura 13.4 Uso de SIGs para el análisis de distribución de deslizamientos (Soeters y Van Westen, 1996).

A partir de 1990 aproximadamente, La eventualidad natural que ha generado más daños han sido los deslizamientos de tierra Guzzetti et al. (1999). Éste tipo de eventos y desastres se han incrementado a causa de la mayor exposición de la población, los cambios en el uso del suelo y el cambio climático. Reparar los daños resulta costoso, además de irreparable, por esta razón se ha empezado a desarrollar conocimiento de los eventos, sistemas de alerta temprana, estrategias de prevención del riesgo y restricciones

en el uso del suelo con el propósito de reducir o evitar la pérdida de vidas humanas y de bienes.

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

Por lo tanto Los sistemas de información geográfica han ayudado a las diferentes instituciones e investigadores a evaluar las eventualidades naturales y desarrollar estrategias con el fin de evaluar y disminuir los efectos de los eventos catastróficos.

Es importante mencionar que en Colombia se han presentado diferentes catástrofes Los deslizamientos han causado desastres que han dejado dolor y muerte; estos han sido algunos de los casos más relevantes:

QUEBRADABLANCA en 1974: Numerosos vehículos que viajaban entre Bogotá y Villavicencio quedaron atrapados el 28 de Julio a causa del derrumbe de un cerro erosionado. Murieron cerca de 200 personas según cifras no oficiales.

EL GUAVIO en 1983: 150 obreros que trabajaban en la represa del Guavio murieron bajo cien metros de tierra. Una brigada de rescate murió al caer la segunda parte del deslizamiento.

MEDELLIN: 1987. 199 cadáveres de habitantes del barrio Villa Tina fue el saldo trágico. Un deslizamiento de la ladera arrasó con sus vidas y sus casas. Hoy el lugar es un camposanto.

Dado a lo anterior se puede decir que las zonas montañosas colombianas son más propensas a la ocurrencia de deslizamientos, también la diversidad de suelos, topografía y climas de Colombia son condiciones que hacen que sea uno de los países más susceptibles a este fenómeno. Posterior a esto Colombia Al igual que muchos países en Sur América, enfrenta grandes retos que amenazan seriamente su desarrollo. Factores como el desplazamiento de población de las zonas rurales a las zonas urbanas, la degradación ambiental y el cambio acelerado del uso del suelo amplifican dichos retos. Estas condiciones socio – económicas, aunadas a la propensión del país a la ocurrencia de fenómenos naturales, tales como sismos, inundaciones y deslizamientos, entre otros, exacerbados por las acciones humanas y las condiciones variantes del clima, confirman un proceso continuo de construcción y acumulación de riesgos. La materialización de estos riesgos en desastres, afectan el desarrollo del país e impiden y retrasan el logro de las metas de bienestar social trazadas por el Gobierno. Como consecuencia de las grandes pérdidas sufridas por la ocurrencia del fenómeno de La Niña 2010 – 2011, y en el ámbito de la agenda que en materia de gestión del riesgo de desastres que el Banco Mundial ha mantenido desde 1999 con el Gobierno colombiano, el Departamento Nacional de Planeación solicitó el apoyo de la institución para llevar a cabo una evaluación integral de las políticas de gestión del riesgo, así como en la formulación de recomendaciones estratégicas a corto y largo plazo, que contribuyan a reducir la afectación de la población y el impacto económico de los desastres.

Anteriormente no se contaba con los sistemas de información geográficos por ende eran más frecuentes y con mayor número de pérdidas humanas y materiales cuando se daban estos sucesos naturales, actualmente en Colombia desde hace algunos años empezó el proceso de utilización de esta herramienta y mediante esta se muestra como la información que se recolecta diariamente es fácilmente organizada, analizada y

visualizada para la toma de decisiones de planificación con la ayuda de esta herramienta.

El SIG tiene Ventajas y Desventajas, Las ventajas de utilizar SIGs para la zonificación de amenazas de deslizamiento son las siguientes: Se puede utilizar una mayor variedad de técnicas de análisis, debido a la velocidad de los cálculos y a que las técnicas complejas requieren la superposición de un número grande de mapas y tablas, Es posible mejorar los modelos, evaluando los resultados y ajustando las variables de entrada. En ocasiones, se utiliza un sistema de prueba y error, corriendo el modelo varias veces hasta obtener un resultado satisfactorio. Generalmente en el transcurso del análisis se obtiene nueva información, la cual puede ser actualizada rápidamente en los modelos. Las desventajas del uso de los SIGs, para la zonificación de amenazas de deslizamiento, son el tiempo relativamente largo de digitalización y el peligro de dar mucha importancia al análisis de datos con poca influencia de la experiencia profesional, lo cual es muy útil y generalmente indispensable para que el modelo no termine siendo un ejercicio teórico, no aplicable.

Ahora en lo que refiere a la zonificación En Colombia, la necesidad de elaborar estudios de zonificación de susceptibilidad, amenaza y vulnerabilidad, está resguardada bajo la reglamentación de la norma 1523 de 2012, nació bajo iniciativa gubernamental de incluir programas de gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial SGC (2017), ya que las entidades estatales y regionales requieren de herramientas que permitan identificar de forma temprana fenómenos que puedan poner a las poblaciones en estado de amenaza, y prevenir y mitigar desastres que provoquen pérdida de bienes y servicios.

En cuanto a la zonificación Suarez, J (S.F) manifiesta que es una herramienta que designa el uso que debe tener la tierra, las áreas susceptibles a deslizamientos se deben utilizar para parques, zonas verdes y recreación pasiva bosques o actividad agrícola. Las regulaciones deben prohibir su uso para actividades vulnerables como vivienda, almacenamiento de agua, instituciones educativas, etc, igualmente se debe prohibir la irrigación y otras acciones que aumenten los niveles de saturación del terreno.

Del mismo modo se debe prohibir la eliminación de la vegetación, las excavaciones y rellenos que pudieran activar deslizamientos, La zonificación debe realizarse con base a los mapas de susceptibilidad o amenaza por deslizamiento, lo cual permite determinar las áreas con limitaciones. Se debe prohibir actividades que aumenten la vulnerabilidad acelerando más el deslizamiento o el nivel de saturación del terreno, también se debe concientizar a la comunidad señalando que es una zona de deslizamientos para prevenir y prohibir actividades que afecten aún más las zona. Hay diferentes métodos que se pueden emplear integrando en ellos un sistema de información geográfico, los que captan las información requerida por medio de sistemas de teledetección y evaluando la susceptibilidad mediante técnicas de evaluación multicriterio, técnicas de tratamiento de imágenes de satélite, modelos digital de elevaciones (MDE), obteniendo con ello características morfológicas y morfomeetricas del terreno tales como pendientes, curvatura, iluminación etc

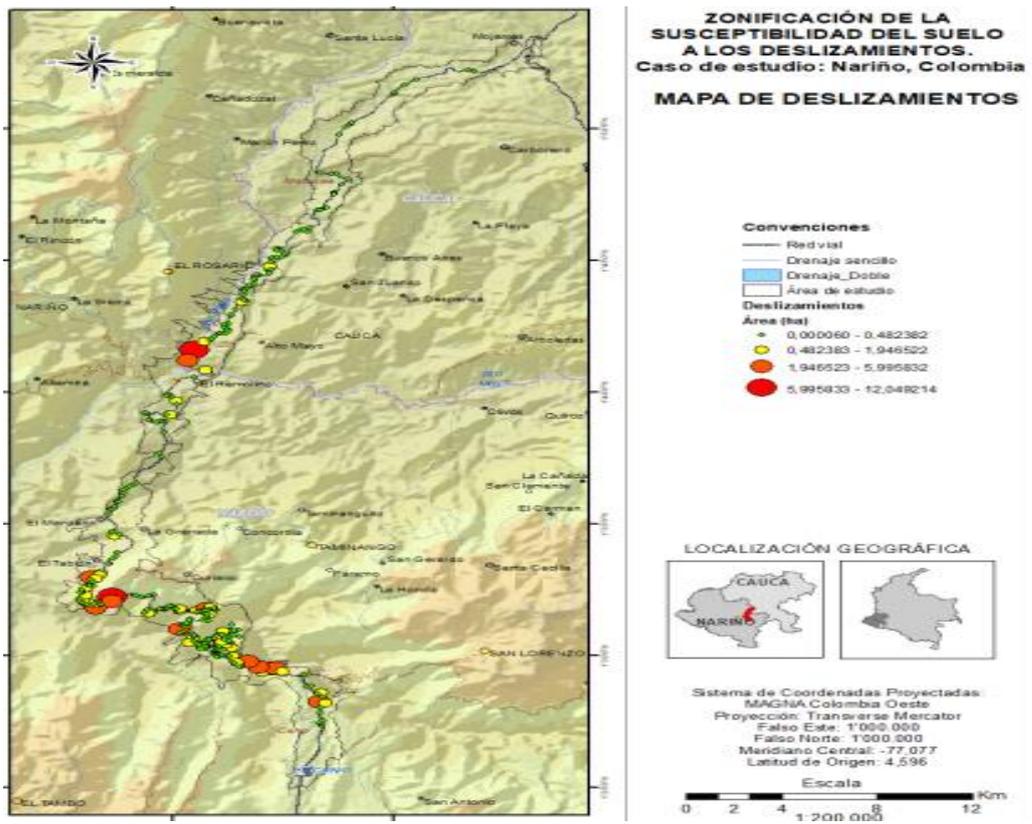
Cabe recalcar que por medio de la zonificación se determina el uso que se le debe dar a la tierra o terreno, esta debe realizarse a base de mapas de susceptibilidad o amenazas por deslizamiento para conocer las áreas con limitaciones ya que otros mapas de susceptibilidades indican las zonas vulnerables para posteriormente ser reguladas o zonificadas estos mapas deben ser precisos para evitar una mala decisión en la

definición y asignación entre zonas de alta amenaza sean tomadas como zonas menos vulnerables se estaría cometiendo un error grave quedando mal el mapeo.

Lince et al, 2017) refiere que La zonificación es la delimitación de un espacio geográfico donde ocurre un fenómeno específico; los estudios de zonificación de susceptibilidad del terreno a los deslizamientos permiten identificar áreas de laderas que, por interacción entre factores condicionantes de inestabilidad del terreno son propensas a deslizamientos de tierra. La zonificación de susceptibilidad del terreno a los deslizamientos en un sistema de información geográfica, se representa en una unidad digital que también puede ser representada de forma análoga (mapas); conformada por información espacial, es decir, con una ubicación geográfica específica o coordenadas y sus características temáticas o atributos asociados; que proporcionan información de los resultados obtenidos de un análisis entre los deslizamientos ocurridos en el pasado y factores condicionantes de inestabilidad del terreno en una zona.

En este mismo orden de ideas Una vez determinada el área de estudio se le hace el debido análisis a los posibles factores influyentes en los deslizamientos para prevenir los riesgos que se podrían presentar en la zona y aplicar el debido control para disminuir la vulnerabilidad y la amenaza o riesgos que se estén presentando en la zona, en los deslizamientos aparece el factor de seguridad que se escoge a criterio del ingeniero y apartir de tablas que depende al área que se este aplicando o al tipo de obras, un aumento en el factor de seguridad afecta de manera significativa en la estabilidad. Cuando una zona es identificada como área susceptible a deslizamientos estas deben ser usadas como zonas verdes, parques o para agricultura etc.

Figura N° 15. Zonificación de la susceptibilidad de la susceptibilidad



del suelo a los deslizamientos

CAPITULO III TECNICAS PARA LA ZONIFICACION DE MOVIMIENTO DE MASA

Para obtener la zonificación se aplican técnicas de Evaluación Espacial Multicriterio – EEM incorporando variables como la cobertura vegetal y uso del suelo, pendientes, precipitación, geología, geomorfología, zonas de influencia de fallas y eventos de deslizamientos georeferenciados. Así mismo, se detalla el proceso de producción del mapa de susceptibilidad usando herramientas fundamentales en análisis espacial como los sistemas de información geográfica –SIG, los cuales de manera digital permiten evaluar, combinar, homogenizar y analizar los variables para definir los distintos grados de susceptibilidad, expresándose los resultados de forma cartográfica. En consecuencia, el estudio contribuye a la identificación de áreas potencialmente susceptibles y no se involucrará un período de tiempo durante el cual hayan ocurrido deslizamientos; de esta

manera se obtiene una sectorización de las zonas potenciales a sufrir este fenómeno, con base a las condiciones intrínsecas del terreno y los factores detonantes.

La evaluación de áreas susceptibles a los deslizamientos, está basada en una correlación espacial entre las características del terreno y la ocurrencia de los deslizamientos. Para la estimación de la susceptibilidad a los deslizamientos, se toman en consideración los registros históricos, la geología local, litología (comportamiento físico y químico de rocas y suelos), la estructura, geomorfología (pendientes), condiciones hidrológicas (nivel del agua subterránea), vegetación (forma y tipo de cubierta vegetal) y el clima (precipitación y temperatura) de la región. Adicionalmente, los SIG, se han empleado en la línea de investigación de los deslizamientos, donde han tenido una buena aplicabilidad en la evaluación de la susceptibilidad, la amenaza y/o el riesgo de deslizamientos y su posterior representación cartográfica. Por este motivo, el uso de los SIG, se ha incrementado enormemente, con el desarrollo de las técnicas de evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos y sus aplicaciones (Van Westen, 2004). Los sistemas de información (SIG), se utilizan como una herramienta rápida de captura y cuantificación, pero también son utilizados para el análisis de parámetros (Figura 2). Los criterios con los cuales se designan las clases, pueden variar de un polígono a otro polígono. Por lo tanto, el análisis se puede hacer, utilizando los valores de los pesos en cada mapa de parámetros y cada mapa recibe un diferente peso. El profesional especializado decide qué mapas y qué valores de peso empleará, basado en su propia experiencia (Suarez, 2009). En los métodos Heurísticos, se emplean variables cualitativas y cuantitativas; dentro de las variables cualitativas, se encuentran: la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra; y dentro de las variables cuantitativas, se encuentran: la pendiente, longitud de la pendiente, rugosidad y

acuena, las cuales son derivadas a partir del modelo digital de elevación (DEM) (SGC, 2013).

El procedimiento seguido del SIG, en este caso, es el siguiente:

- Clasificación de cada mapa de parámetros de acuerdo con las clases relevantes.
- Asignación de valores de peso a cada parámetro (por ejemplo: en la escala de 1 a 10).
- Asignación de pesos a cada mapa de parámetros.
- Cálculo de los pesos para cada pixel y clasificación en clases de amenaza.

Figura N° 18. Uso del SIG, para el análisis heurístico de susceptibilidad por movimientos en masa. Modificado de (Soeters & Van Westen, 1996).

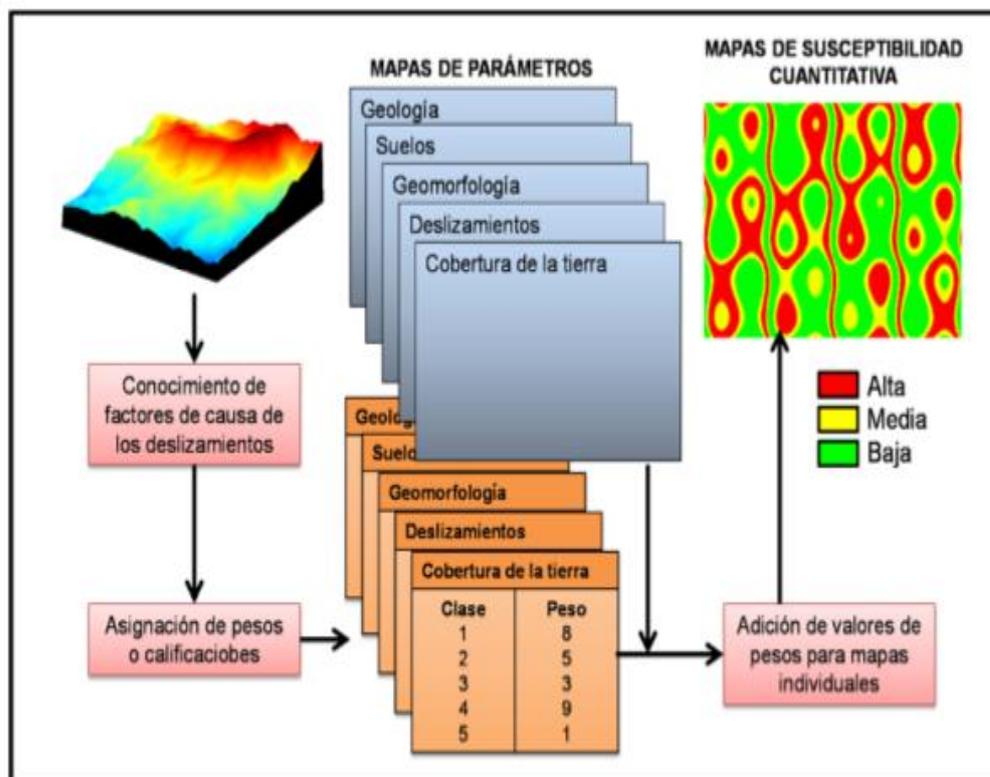


Tabla N° 3. Modelo de Matriz de Jerarquías Analíticas para la ponderación de variables intervinientes en la génesis de procesos de remoción en masa

(x) \ (j)	Geología	Pendiente del terreno	Geomorfología	Conflictos de usos	Σx_j	$\Sigma x_j/n$	Peso relativo $\Sigma(\Sigma x_j/n)/\Sigma x_j/n$
Geología	1						
Pendiente del terreno		1					
Geomorfología			1				
Conflictos de usos				1			
					$\Sigma x_j =$		

(Entre los diferentes métodos existentes para zonificar susceptibilidad del terreno se encuentran los métodos estadísticos bivariados, estos permiten calcular un valor entre la relación de frecuencia de deslizamientos y factores propios del terreno (van Westen, Rengers, & Soeters, 2003). Los valores de relación de frecuencia o densidades obtenidas permiten ponderar factores del terreno presentes en la zona de deslizamiento para delimitar zonas con factores que en las mismas condiciones sean propensas a la ocurrencia de un deslizamiento. Los sistemas de información geográfica son ampliamente usados en los estudios de susceptibilidad del terreno a los deslizamientos (Cardozo, 2013; Mendoza et al, 2017; Pellicani et al, 2017; Quira et al, 2017; SGC 2017) y soportan los análisis realizados al emplear métodos estadísticos bivariados.

Las herramientas que ofrecen los sistemas de información geográfica requieren que la información utilizada para efectuar el análisis de susceptibilidad esté representada en

datos de valores discretos, almacenados en celdas de tamaños definidos por una resolución espacial específica (tamaño del píxel) (SGC, 2015).

Realizar estos estudios en sistemas de información geográfica proporciona una ventaja al permitir representar resultados a través de mapas, los mapas sintetizan resultados obtenidos de un análisis previo, no solamente ilustran su ubicación potencial en el espacio geográfico, sino que, permiten representar diferentes niveles en la que puede ser catalogada la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos (López, 2015). De esta forma, los estudios de susceptibilidad del terreno a los deslizamientos elaborados a través de sistemas de información geográfica permiten identificar y representar áreas que se encuentren en igualdad de condición de susceptibilidad (Programme, 2011).

Tabla N° 4 Modelo de categorías de susceptibilidad a los deslizamientos para mapas de susceptibilidad específica ponderada y final

Valor	Rango	Categoría de Susceptibilidad	Color
1		Muy bajo	Azul
2		Bajo	Verde
3		Medio	Amarillo
4		Alto	Naranja
5		Muy alto	Rojo

Por consiguiente la susceptibilidad, generalmente, expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos. El mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos. La probabilidad de ocurrencia de un factor detonante como una lluvia o un sismo no se considera en un análisis de susceptibilidad.

Tabla N° 5 Modelo estadístico del peso de cada unidad en la susceptibilidad a deslizamientos

Código	Unidad	Sup. Unidad (Km ²)	Sup. Deslizada (Km ²)	Peso Unidad %	Ponderación variable	Grado Susceptibilidad

3.1 SIG EN MOVIMIENTOS EN MASA La evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos dentro de un SIG, integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases. Se propone un método indirecto de evaluación de la susceptibilidad de deslizamientos dentro de un SIG, que integra factores condicionantes de la inestabilidad de laderas, algunos de ellos extraídos a partir del análisis de imágenes de satélite multispectrales y multitemporales, y técnicas de evaluación multicriterio, basadas en jerarquías analíticas y sumas lineales ponderadas de pesos de factores y clases. El

método permite evaluar cuantitativamente la consistencia en la asignación de pesos, con lo que se reduce la subjetividad inherente a ésta, que es típica de los métodos de indexación. Dicho método se considera especialmente útil para la evaluación de la susceptibilidad a escalas intermedias (1:25.000 y 1:50.000) en zonas donde apenas existen datos geotécnicos e hidrogeológicos, y en las que además no es factible realizar muestreos estadísticos adecuados (Hervas, 2001) Existen diversos métodos de evaluación de la susceptibilidad a los deslizamientos a través de SIG. Soeters y van Westen (1996), Aleotti y Chowdhury (1999) y Guzzetti et al. (1999), entre otros autores, proporcionan una amplia visión de los más utilizados, entre los que se incluyen principalmente los estadísticos, determinísticos, de indexación y de evaluación directa de la susceptibilidad. La aplicabilidad de cada método a una zona determinada depende sobre todo de las características y extensión de dicha zona, del tipo y extensión de los deslizamientos existentes, de los datos geotécnicos e hidrogeológicos disponibles y de la escala de trabajo (Hervas, 2001) Para la cartografía regional de susceptibilidad, a escalas intermedias, del orden de 1:25.000 y 1:50.000, frecuentemente no se dispone de suficientes datos que permitan el uso de métodos determinísticos, siendo éstos además poco apropiados para tales escalas. El uso de métodos estadísticos, generalmente más adecuados en estos casos, conlleva a un gran esfuerzo de recolección de datos. Cabe también destacar que estos últimos no son aplicables en zonas donde predominan los deslizamientos respecto a las áreas estables. Por otra parte, el empleo de métodos tanto de evaluación directa de la susceptibilidad como de evaluación indirecta, mediante el uso de índices, implica generalmente una gran subjetividad, por lo que los criterios de evaluación son difícilmente extrapolables a otras zonas. Una aplicación más adecuada de los métodos de evaluación indirecta requiere la utilización de algún procedimiento que disminuya la subjetividad en la asignación de pesos o que normalice analíticamente

el criterio con el que éstos se asignan a los diferentes factores condicionantes de deslizamientos considerados (Hervas, 2001) El método empleado para la evaluación de la susceptibilidad requiere en primer lugar la creación de la base de datos mediante la elección de mapas temáticos y cartografía de los factores del terreno condicionantes de la inestabilidad. Para ello se utilizan técnicas tradicionales, como la fotointerpretación y el reconocimiento directo de campo, junto con otras de tratamiento digital de imágenes de satélite, de interpretación de imágenes de satélite tridimensionales (Hervás y Rosin, 2001) y de imágenes de sombreado del relieve a partir de modelos de elevación del terreno (MDE) de alta resolución. Asimismo se han digitalizado y actualizado algunos mapas ya existentes. Estos factores, una vez homogeneizados en cuanto a contenido, escala y formato gráfico, se integran en un SIG (Hervas, 2001) A continuación se subdivide cada factor en clases, a las que asignan pesos en función de su influencia relativa en la inestabilidad. Posteriormente se determina analíticamente el peso relativo de cada factor con respecto a los demás, usando para ello el método de evaluación multicriterio de las jerarquías analíticas (Saaty, 1980, 1994; Eastman et al., 1995). Éste utiliza una estructura jerarquizada de criterios (los factores del terreno en nuestro caso) junto con la comparación de criterios por parejas para establecer sus pesos. Con este método se crea primero una matriz cuadrada, en la que el número de filas y columnas viene definido en nuestro caso por el número de factores de inestabilidad. A cada elemento de la matriz se le asigna un valor que representa la importancia relativa del factor de su fila con respecto al de su columna en cuanto a posible inestabilidad (Hervas, 2001) El procedimiento de las jerarquías analíticas da mayor preponderancia al peso establecido en los criterios sobre los valores asignados a las alternativas en el proceso de toma de decisiones (Barredo, 1996). Esto significa en nuestro caso que el índice de susceptibilidad obtenido depende fundamentalmente del peso asignado a los

factores (evaluado mediante la razón de consistencia), y en menor medida de la asignación de pesos a cada clase dentro de un factor, por lo que la subjetividad y ausencia de control inherentes a éste último proceso no influye sobremanera en el cálculo del índice final (Hervas, 2001) Paralelamente a la evaluación analítica de la susceptibilidad, la visualización tridimensional de algunos de los mapas de factores condicionantes de la inestabilidad, e incluso de imágenes de satélite multiespectrales de alta resolución espacial (Hervás y Rosin, 2001), mediante su superposición a un MDE de alta resolución, permite ayudar tanto al propio analista como a las autoridades a una mayor comprensión de la influencia que dichos factores, ya sea individualmente o combinados entre sí, puede ejercer sobre las condiciones de estabilidad de la zona (Hervas, 2001).

3.2 METODOS EMPLEADOS EN LA ZONIFICACION DE AMENAZAS POR DESLIZAMIENTO.

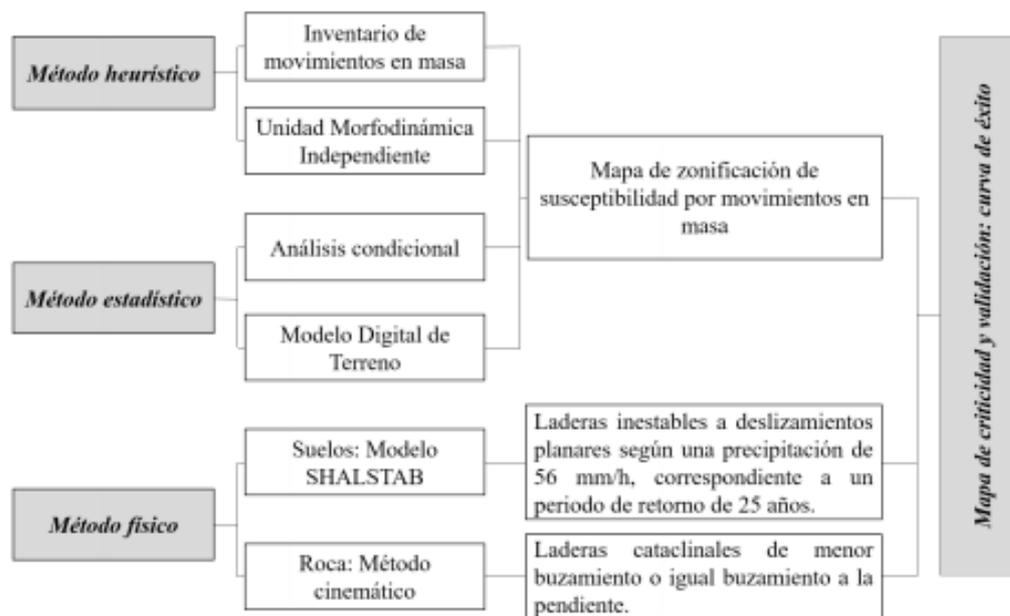
Una vez obtenida la información se debe procesar para hacer la debida evaluación y control de los factores causantes en una amenaza por deslizamiento como lo son los mapas de susceptibilidad, es ahí donde aparecen los métodos de zonificación tales como: Método cualitativo(Heurístico), determinístico, probabilísticos etc.

3.3 METODO CUALITATIVO (Heurístico)

En el análisis de zonificación de amenaza por deslizamientos se hace necesaria la evaluación de factores que generan estos eventos, es ahí donde entra la participación de un investigador que tenga amplio conocimiento del tema y sea capaz de solucionar problemas porque a pesar de que cuente con información de campo y datos captados prima más la experiencia que tenga el experto en el área de estudio, valorando así de

forma cualitativa la susceptibilidad de deslizamiento(Castellanos et al, 2008).Hay métodos cualitativos tales como el método AHP ,índice estadístico entre otros.

Figura N° 19. Métodos de zonificación.



3.4 METODO DE PROCESO DE ANALISIS JERARQUICO(AHP)

En el análisis espacial y la toma de decisiones que envuelven una gran variedad de problemas apareció un método que permite la interacción entre estos denominado análisis jerárquico (AHP “Analytic Hierarchy process”), en el análisis multicriterio, cada uno de los factores influyentes tienen una importancia relativa usando matrices en donde cada factor tiene asignado una fila o una columna (Aveces-Quesada, López Blanco, 2006), los sistemas SIG han tenido un sin fin de aplicaciones que han dado soluciones a problemáticas presentes.

Progresivamente se han ido incorporando a los softwares de Sistemas de Información Geográfica (SIG) distintos tipos de metodologías específicas de determinados programas especializados. Por ejemplo, la mayoría de software SIG han incorporado utilidades de edición, filtrado, restauración, optimización, etc. de imágenes, inicialmente propias de un software de tratamiento de imágenes. Otros ejemplos de incorporación de funcionalidades no puramente SIG podrían ser: métodos de interpolación, funcionalidades CAD para la edición de objetos gráficos, protocolos de comunicación GPS, etc. El hecho de que para cada uno de estos tipos de funcionalidades existan softwares específicamente diseñados para aquellas tareas que son propias de su ámbito, no ha sido obstáculo para que desde los SIG se haya integrado aquellas funcionalidades que se creía más útiles y necesarias. Son diversas las motivaciones que han estimulado esta práctica, como puede ser la eliminación de transformaciones entre formatos; pero, probablemente, la más importante es que, en determinados entornos profesionales y científicos, el SIG se ha convertido en el software central que gestiona un complejo Sistema de Información Geográfica, entendido aquí en su acepción más amplia: programas+datos+conocimientos, Bonham-Carter (1994), y por lo tanto va aglutinando progresivamente elementos inicialmente externos para adaptarlos como propios.

1. Construcción de las Jerarquías

Consiste en la estructuración del problema mediante la construcción de una jerarquía de atributos, siendo el nivel superior el objetivo propuesto, los siguientes criterios deben ser explícitos y tienen que evidenciar sus relaciones ante el problema planteado. Su construcción es la parte más creativa del proceso y requiere de un consenso entre todas las partes implicadas en el proceso de decisión. Esto es particularmente válido en el caso de los Proyectos Complejos abordados por equipos multidisciplinarios.

Este consiste en modelar el problema de la decisión que se pretende resolver como una jerarquía. Este hecho es una de las principales características del método, de ahí que el término "jerárquico" aparece en su denominación. En la Figura 4, se presenta la forma general que adopta una jerarquía. En el vértice superior de la jerarquía se sitúa la meta u objetivo que se pretende alcanzar. El problema de decisión consiste en elegir la alternativa que mejor contribuye a la consecución de la meta del nivel superior de la jerarquía.

2. Establecimiento de Prioridades

El objetivo de este paso consiste en construir un vector de prioridades o pesos que evalúa la importancia relativa que la unidad decisora otorga a cada criterio. El problema clave que se plantea en este punto, es responder a cómo se puede asignar un valor numérico a cada criterio que represente, del modo más ajustado posible, la preferencia del decisor de un criterio frente a otro.

2. Establecimiento de Prioridades

El objetivo de este paso consiste en construir un vector de prioridades o pesos que evalúa la importancia relativa que la unidad decisora otorga a cada criterio. El problema clave que se plantea en este punto, es responder a cómo se puede asignar un valor numérico a cada criterio que represente, del modo más ajustado posible, la preferencia del decisor de un criterio frente a otro.

El método AHP, utiliza una estrategia de asignación indirecta por la que el decisor sólo tiene que realizar una valoración sobre la importancia del criterio verbalizada en términos cualitativos y después acudir a una escala, que previamente ha sido establecida, para obtener los valores numéricos que se corresponden con su valoración. Por tanto, como paso previo a la resolución del problema de asignación de pesos, se debe definir la correspondencia entre la valoración cualitativa del decisor y la asignación numérica.

3. Comprobar la consistencia de los juicios

Si R fuera una matriz completamente consistente¹, entonces el λ_{\max} sería igual a n . Sin embargo, el decisor cometerá ciertas inconsistencias en sus juicios y resulta conveniente medir el grado de inconsistencia de los juicios emitidos por el decisor, dado que si no se ha sido cuidadoso con las valoraciones, el vector de prioridades o pesos obtenidos puede ser poco representativo.

La consistencia se puede medir mediante el índice de consistencia (IC), que tiene la siguiente expresión: ¹ Esta medida puede utilizarse para mejorar la consistencia de los

juicios, si se la compara con el número apropiado de la Tabla 2, que recoge el índice de consistencia aleatorio (IA)

3.5 Método Estadístico

En los análisis estadísticos de amenaza por movimientos en masa se conciertan factores que han generado los movimientos en masa en el pasado y que se pueden determinar de forma estadística. De esta manera se hacen predicciones cuantitativas para áreas libres de movimientos en masa donde existen condiciones similares (SGC, 2013). Entre los procedimientos diferentes se presentan el bivariado y el multivariado.

Análisis estadísticos bivariado.

En el análisis estadístico bivariado cada factor de mapeo (por ejemplo pendiente, geología, cobertura del suelo), se combina con la distribución de los movimientos en masa en el mapa y se calculan valores ponderados de densidades de movimientos en masa para

$$W_i = \ln \left(\frac{Densclas}{Densmap} \right) = \ln \left[\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)}} \right]$$

- Wi = Ponderación dado a determinado parámetro de clase (ejemplo, tipo de roca).
- Densclas = Densidad de los deslizamientos dentro del parámetro de clase.
- Densmap = Densidad de los deslizamientos dentro del todo el mapa.
- Npix (Si) = Número de pixeles que contienen deslizamientos dentro de un determinado parámetro de clase.
- Npix (Ni) = Número total de pixeles e un determinado parámetro de clase.

cada clase (W_i), por ejemplo clase de unidad litológica, tipo, cobertura del suelo, entre otros (SGC, 2013).

3.6 Análisis Estadísticos multivariado.

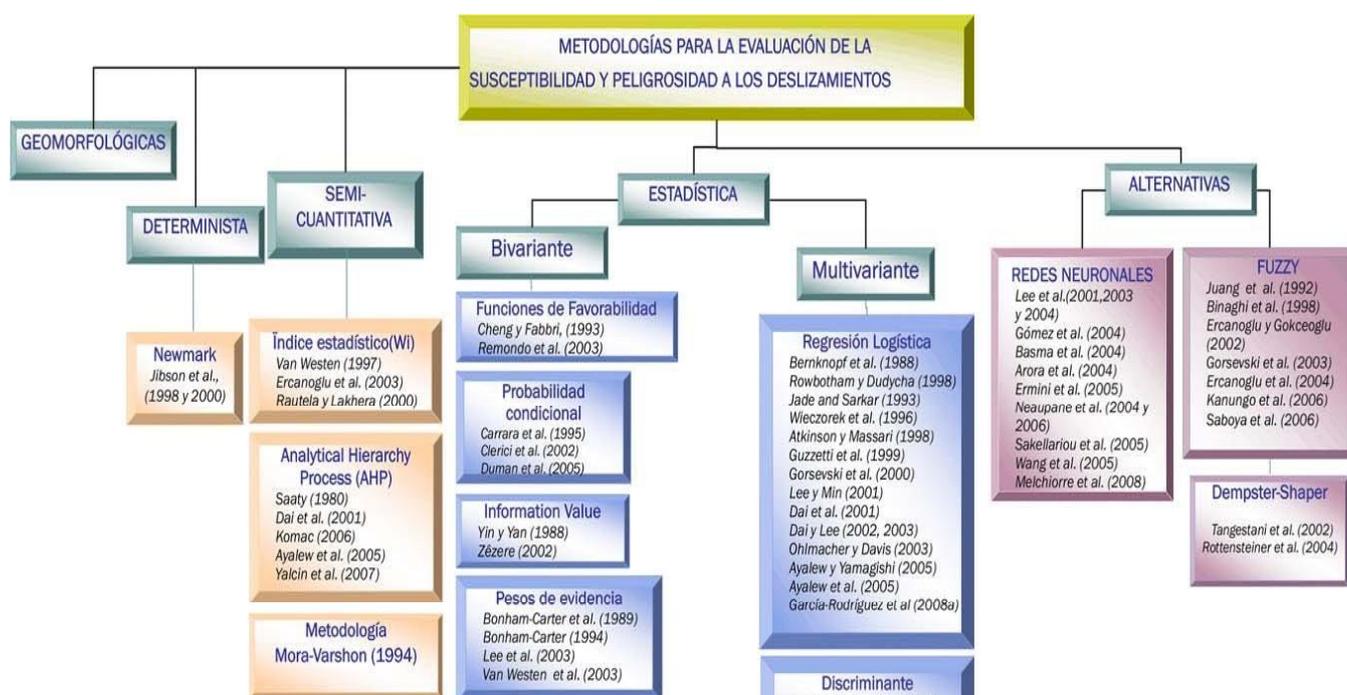
Fueron desarrollados en Italia principalmente por Carrara. Para su aplicación se muestrean todos los factores relevantes como una large-grid basis o como unidades morfométricas. Para cada unidad muestreada se determina la presencia o ausencia de movimientos en masa. La matriz que resulte se analiza usando regresiones múltiples o análisis discriminantes. Con estas técnicas se han tenido buenos resultados en zonas homogéneas o en áreas con apenas pocos tipos de movimientos en masa (SGC, 2013).

3.7 Método Determinístico

Los métodos determinísticos utilizan análisis mecánicos y modelos de estabilidad para determinar el factor de seguridad de una ladera concreta. Son métodos de fiables y precisos cuando se dispone de datos válidos sobre los parámetros de resistencia de la ladera. Permiten, de acuerdo con el tipo de modelo, el análisis no sólo de la susceptibilidad a la falla sino también del alcance (como los modelos de caídas de bloques) y de la frecuencia del fenómeno. Existe una amplia variedad de métodos

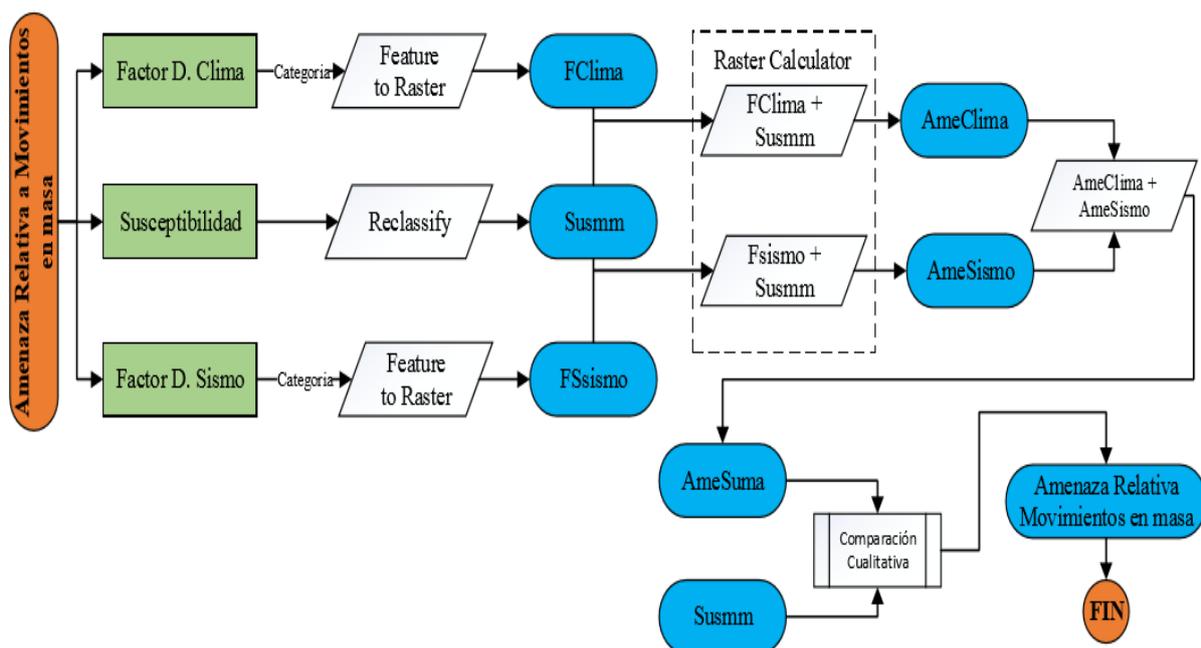
determinísticos disponibles para realizar análisis de estabilidad, desde análisis de talud infinito en su caso más simple hasta modelos complejos tridimensionales (Graham, 1984). El método más usual se aplica para movimientos en masa traslacionales utilizando el modelo de talud infinito (Ward et al, 1982; Brass et al, 1989; Murphy y Vita- Finzi, 1991). Estos métodos generalmente requieren el uso de modelos de simulación del agua subterránea (Okimura y Kawatani, 1986) (SGC, 2013). Aunque los métodos determinísticos son más adecuados para evaluar la inestabilidad en áreas pequeñas (una única ladera), se han utilizado en análisis de amenaza para grandes áreas (regionalización) con el objetivo de discriminar zonas con parámetros de seguridad significativamente distintos (Van Westen, 1993; Van Westen y Terlien, 1996; Luzi y Pergalani, 1996; Leroi, 1996). El análisis se puede llevar a término en distintas condiciones (Luzi, 1995): estáticas, considerando la estabilidad del deslizamiento sin introducir fuerzas dinámicas externas; pseudoestáticas, evaluando la entidad de la 9 mínima fuerza dinámica externa que podría desencadenar el deslizamiento y condiciones dinámicas, en donde se introduce una fuerza dinámica externa comparable a un terremoto (SGC, 2013).

Figura N° 21. Metodologías para la evaluación de la susceptibilidad



La Amenaza Relativa a movimientos en masa se realizó empleando el mapa de susceptibilidad propuesto con los factores condicionantes y la metodología propuesta por el SGC, (ver capítulo 6.1.6.3), el procedimiento empleado para la obtención de la amenaza relativa se ilustra en la Figura

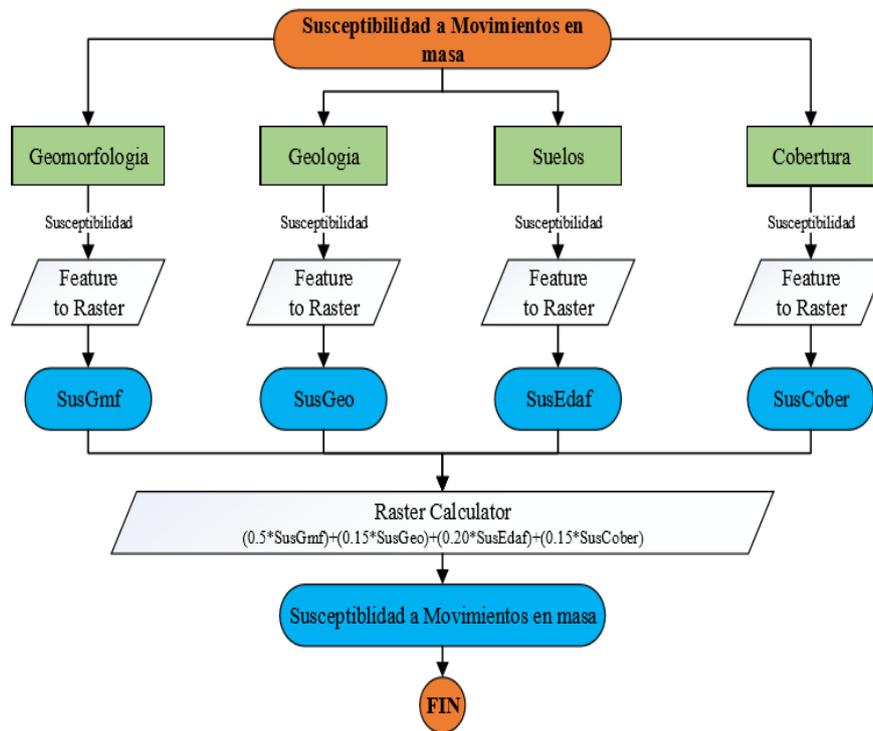
Figura N° 22. Procedimientos para el cálculo de la Amenaza Relativa a Movimientos en masa



Susceptibilidad y amenaza a movimientos en masa

Para la generación de la susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa, se emplean las diferentes variables de tipo cualitativo y cuantitativo. Dentro de las variables cualitativas se encuentran: la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra y dentro las variables cuantitativas se encuentran: la pendiente, rugosidad y acuenca, las cuales se derivan del modelo digital de elevación (DEM). Se aplicó un análisis multicriterio, a partir del método (AHP) que involucra la utilización de datos geográficos, debiendo establecer las preferencias y combinaciones (o agregaciones) de los datos, de acuerdo a reglas de decisiones específicas que han sido implementados en ambiente SIG. El proceso para la generación de la susceptibilidad a movimientos en masa se ilustra en la Figura 46. Se aplicaron los porcentajes a las variables expuestas en la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC 2013). (Ver Figura 20),

Figura N° 23. Procedimientos para el cálculo de susceptibilidad a Movimientos en masa



CONCLUSIONES

Se pudo identificar que en Colombia una de las principales eventualidades naturales son los deslizamientos donde esta ha causado grandes pérdidas humanas y materiales, se identificó que existen variables que identifican el desarrollo o la vulneración de la tierra

como lo son: tipo de suelo, clima, vegetación, precipitaciones, geología, hidrología, topografía, cambio climático, geomorfología, también se analizó que en Colombia los últimos años han venido utilizando la tecnología para mitigar o reducir la amenaza de remoción en masa mediante el sistema de información geográfica (SIG) donde esta ha servido para la evaluación y diagnóstico de los diferentes fenómenos naturales y además aportando información para realizar soluciones por si se da la eventualidad.

También se pudo determinar que las principales causas de deslizamientos en Colombia es por factores físico- naturales o condiciones del terreno (falta de cobertura vegetal, presencia de fallas geológicas, materiales débiles o sensibles), otro factor es acción humana como los cortes y excavaciones en las laderas, faltas de drenaje urbano, sobrecarga y rellenos de las laderas y la actividad minera.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACOSTA (2016), Herramientas de geoprocésamiento, recuperado el 16 de diciembre de <https://mappinggis.com/2014/10/herramientas-de-geoprocésamiento-en-gis/>

ARISMAR, M (2015) et-al, Estimación de pesos ponderados de variables para generar mapas de susceptibilidad a movimientos en masa a través de la Evaluación Espacial

Multicriterios, recuperado el 16 dic 2019 de <https://www.redalyc.org/pdf/721/72142329004.pdf>

CAMPOS, G et-al (S.F) Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia, Recuperado el 12 de 12 de 2019 de <http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>

CARRERO (1995) Sistemas de información geográfica en la evaluación de los peligros naturales, recuperado el 14 de dic de 2019 de <https://translate.google.com/translate?hl=es&sl=en&u=https://www.springer.com/gp/book/9780792335023&prev=search>

CARDOZO, C. P. (2013). Zonación de susceptibilidad por procesos de remoción en masa en la cuenca del río Tartagal, Salta (Argentina). Cordoba, Argentina. Universidad Nacional de Cordoba

CHAMORRO, N (Et AL) SIG PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA CUENCA DEL RIO CAMPOALEGRE, recuperado el 15 de dic de 2019 de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1011/SIG%20PARA%20DETERMINAR%20LA%20SUSCEPTIBILIDAD%20A%20MOVIMIENTO%20EN%20MASA%20EN%20LA%20CUENCA%20DEL%20RIO%20CAMPOALEGRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IDEAM (S,F), Ecosistemas Monitoreo de suelos y cobertura de la tierra , recuperado el 15 de dic de 2019 de la pagina web <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/deslizamientos>

INGEOMINAS, (2007) Grupo de estándares para movimientos en masa gemma. Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. Bogotá:. 432 p.

JAIME SUAREZ Capítulo 13 zonificación de susceptibilidad, amenaza y riesgo pgn 545, recuperado el 14 de dis de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
<http://imsturex.unex.es/MUIETSIG/TEMA1.pdf>

LINCE, L., CASTRO, A., CASTAÑO, W., & TORRES, F. (2017). Zonificación de la susceptibilidad por movimientos en masa de suelo en la región cafetera de Caldas.

MEDINA, Q (2017) , zonificación de susceptibilidad a deslizamientos de tierra en la cuenca del río patía – departamento del cauca, recuperado el 14 de dic de 2019 de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3092/Medina_Yeidy_Samira_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y

NORMA 1523 DE 2012 gestión del riesgo, responsabilidad, principios, definiciones y sistema nacional de gestión del riesgo de desastres, recuperado el 15 de dis de http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa Esc. 1:100.000. Bogotá D.C., 135p.

UNGRD Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres, recuperado el día 13 de dic de <http://www.gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=140>

RUIZ, M (2005) Los sistemas de información geográfica. Una revisión, recuperada el 16 de dic de <http://www.udla.edu.co/revistas/index.php/ciencias-agropecuarias/article/view/708/html>

VARNES, D. J., (1978). Slope Movement Types and Processes. En Special Report 1976: Landslides Analysis and control (R. L. Schuster and R. J. Krizec, eds). TRB-NRC Washington D. C. pp 11-33.