



**ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE
GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL**

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

Especialización en Geomática

Facultad de Ingeniería

Dirección de Postgrados

Proyecto de Geomática Aplicada

**Zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa, por medio de
geoprocesamiento con herramientas SIG, plancha 193 Yopal**

Jaime Andrés Jiménez Mesa

Ingeniero Geólogo

Código. 3101349

jandrew_96@hotmail.com

Supervisado por:

Ing. Felipe Riaño Pérez

Julio de 2017



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

ZONIFICATION OF SUSCEPTIBILITY BY GROUND MOVEMENTS THROUGH GEOPROCESSING WITH GIS TOOLS, PLANE 193 YOPAL

Jaime Andrés Jiménez Mesa
Ingeniero Geólogo
Bogotá D.C., Colombia
Jandrew_96@hotmail.com

RESUMEN

A partir de la zonificación de susceptibilidad por movimientos en masa se examinó el área que abarca la plancha 193, municipios de Yopal, Labranzagrande, Nunchia, Paya y Pisba; con el objetivo principal de generar un mapa que identificara y determinara el índice de zonas inestables, para así prevenir y mitigar posibles situaciones de desastre en estos municipios. Para determinar el índice de susceptibilidad se utilizó procesos de análisis jerárquicos propuestos por el Servicio Geológico Colombiano –SGC-, datos que fueron procesados y modelados con ModelBuilder de ArcGis, empleando diferentes herramientas de arctoolbox como 3D Analyst, Analysis Tools y Spatial Analysis, para el cruce final de las diferentes temáticas utilizadas geología, geomorfología, coberturas y suelos.

Como consecuencia de los diferentes movimientos generados por el comportamiento dinámico del planeta tierra, debido a diferentes factores internos y externos, se generan movimientos en masa, que traen como resultado pérdidas socio-económicas, con el modelo de análisis jerárquico planteado se determinó 5 índices de susceptibilidad a presentarse movimientos en masa así; Muy baja, Baja, Media, Alta y muy Alta, a escala 1:100.000; el estudio realizado en este trabajo sirve para analizar, proyectar e informar a las entidades gubernamentales de futuros desastres, además del potencial uso de herramientas de Geoprociamiento SIG dentro del ámbito de nuestra calidad de vida.

Palabras clave: Movimientos en masa, Susceptibilidad, Geoprociamiento, Geología, Zonificación, ArcGis.

ABSTRACT

From the zoning of susceptibility by mass movements, the area that includes the plate 193 (the municipalities of Yopal, Labranzagrande, Nunchia, Paya and Pisba) was



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

examined, with the main objective of generating a map that identifies and determines the index of unstable zones, to prevent and mitigate possible disaster situations in these municipalities. To determine the susceptibility index, they were used hierarchical analysis processes proposed by the Servicio Geológico Colombiano (SGC), data was processed and modeled with ModelBuilder from ArcGIS, using different arctoolbox tools such as 3D Analyst, Analysis Tools and Spatial Analysis, for the final crossing of the different topics used, geology, geomorphology, coverings and soils.

As a consequence of the different movements generated by the dynamic performance of the planet earth, due to different internal and external factors, mass movements are generated, which result in socio-economic losses. With the proposed hierarchical analysis model, 5 indexes of susceptibility were determined, mass movements can occur as follows: Very Low, Low, Medium, High and Very High, to scale 1: 100,000. The study carried out in this work serves to analyze, project and inform government entities of future disasters, in addition to the potential use of geoprocessing tools SIG within the scope of our quality of life.

Key words: Mass movements, susceptibility, geoprocessing, geology, zoning, ArcGis

INTRODUCCIÓN

El manejo de herramientas de Sistema de Información Geográfica –SIG- ha ido creciendo de gran manera en el transcurrir de estos últimos años, muy utilizado para diferentes ciencias, en especial para prevenir riesgos de carácter natural, pero el planeta tierra está sufriendo constantes cambios que indican que se debe estar alerta ante cualquier fenómeno que se pueda presentar, las herramientas de Geoprocésamiento nos ofrecen apoyo, soluciones y prevenciones para mitigar dichos problemas.

En el caso de movimientos en masa que involucra diferentes temáticas de índole geológico y geomorfológico, nos sirven de gran ayuda para la interpretación de estos, es por eso que en el presente

estudio se utilizara información cartográfica temática digital, imagen de satélite LANDSAT 7, del año 2003, un Modelo Digital de Elevación –DEM- de resolución de 30 mts, y software ArcMap, para posterior procesamiento del área que abarca la plancha 193 Yopal.

El objetivo con el que se abordó este proyecto es el de Determinar el Índice de Susceptibilidad de Movimientos en Masa por medio del ModelBuilder de ArcGis, para establecer un mapa que identifique zonas inestables de cartografía de la zona de estudio, que abarca parte de los municipios Yopal, Labranzagrande, Nunchia, Paya y Pisba. Area que ha sido afectada constantemente por diferentes movimientos, particularmente por la geología que presenta.

1. INSUMOS Y METODOS

Para la generación del mapa de susceptibilidad por movimientos en masa se utilizó la metodología propuesta por el Servicio geológico Colombiano –SGC-, la cual emplea variables cualitativas y cuantitativas, dentro de las variables cualitativas se encuentra la geología, geomorfología, suelos y cobertura de la tierra y dentro las variables cuantitativas se encuentran la pendiente, longitud de la pendiente, rugosidad y acuenca, las cuales se derivan del DEM, también se cuenta con una imagen satelital Landsat 7 del año 2008, para la generación de las coberturas. Se aplica un análisis multicriterio 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 se implementaron en las diferentes temáticas propuestas.

Para efectos de los análisis heurísticos para determinar el Índice de Susceptibilidad de Movimientos en masa (ISD), se propone la utilización de procesos de análisis jerárquicos (AHP, por sus siglas en inglés) [1] (Ver Figura 1).

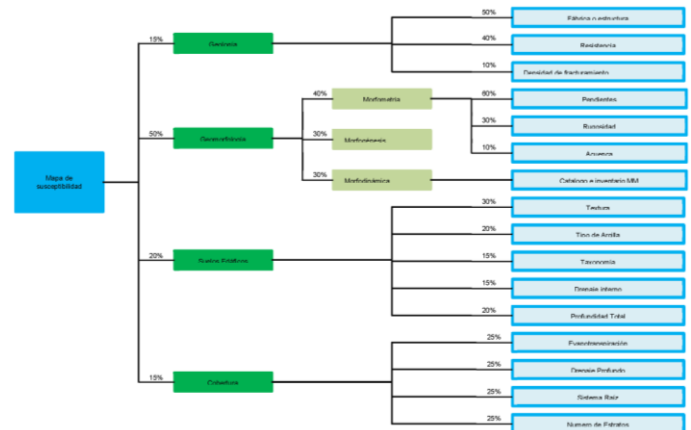


Figura 1: Nivel de jerarquización temática para generación de susceptibilidad por movimientos en masa

Fuente: Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000 SGC.

La calidad de los resultados depende principalmente de la entrada de los datos disponibles, y el tratamiento que se les haya realizado, para el manejo de los datos correspondientes a las diferentes temáticas geología, geomorfología, coberturas y suelos edáficos generada a escala 1:100.000.

2. AREA DE ESTUDIO

La plancha 193 Yopal, se encuentra localizada en la parte oriental del departamento de Boyacá, y parte occidental del departamento de Casanare, con un área de 1800 Km², donde se encuentran ubicados los municipios de Yopal en la parte sur y Nunchia en la parte nororiental de la plancha respectivamente, estructuralmente se encuentran marcadas fallas de cabalgamiento y de tipo inverso (falla de Yopal, de los Yopos, Tamara y Guaicaramo) que ponen en



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

contacto rocas del cretáceo con las del terciario, Su principal fuente hídrica corresponde a los ríos Payero y Tocaria que se unen para desembocar sobre la llanura aluvial al este de la plancha, y el río Cravo Sur que atraviesa la plancha de norte a sur (Ver Tabla 1).

Tabla 1. Límites de la plancha abarcada en el área de estudio.

Punto cardinal	Norte	Este
Oeste	1060000	835000
Este	1120000	880000
Sur	1240000	1080000
Norte	1280000	1120000

Fuente: Elaboración propia.

2.1 DESARROLLO DEL TRABAJO

La realización de este estudio se realizó con herramientas del software Arcgis 10.4.1, que permitió generar los diferentes parámetros necesarios para empezar a abordar el trabajo, definiendo las diferentes temáticas involucradas en el proceso de la generación de la susceptibilidad final, abordando la información secundaria que se recopiló y se utilizó.

2.2 TEMATICAS ABORDADAS

• Factores Geológicos

Principalmente se abordó la geología teniendo como base la cartografía y memoria explicativa geológica del SGC de la plancha 193 Yopal escala 1:100.000 describiendo la forma como se determinó la susceptibilidad por la variable geología, se presentan las

unidades estratigráficas evaluadas dentro del área de estudio, se caracterizan mediante la ponderación de la calidad de las rocas predominantes, bajo las cuales se consideran los atributos de textura/fábrica, densidad de fracturamiento y dureza, como características destinadas a calificar a partir del mapa geológico, con el fin de sumarlo con otros atributos (geomorfología, edáficos y cobertura) para obtener la susceptibilidad por movimientos en masa de la plancha; el área de estudio se diferencia por dos zonas: Montañas y, Llanas conformado por rocas sedimentarias del Cretáceo y Paleógeno y sedimentos recientes que están cubriendo rocas del Precámbrico, Paleozoico, Mesozoico y Paleógeno. Las formaciones fueron calificadas de la siguiente manera: Formación areniscas de las juntas (2), Formación fomeque (3), Formación lutitas de Macanal (miembro a) (2), Formación lutitas de Macanal (miembro b) (3), Formación lutitas de Macanal (miembro c) (2), Formación une (2), Formación chipaque (3), grupo palmichal (2), Formación arcillas del limbo (3), Formación areniscas del limbo (2), Formación diablo (conjunto inferior) (3), Formación diablo (conjunto superior) (2), Formación caja (3), Formación san Fernando (3), terrazas bajas del llano (2), abanico coluvio aluvial (3), Depósitos aluviales (1), Conos aluviales (5), depósitos de tierras (5), terrazas (2), Depósito de terraza sobre-elevada (4), terrazas altas del llano (2), Terrazas altas del borde llanero (1), terrazas intermontañas (2).

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

Se generó el componente de susceptibilidad por geología a partir de la calificación realizada en la cartografía geológica de las variables de fábrica, textura, dureza y densidad de fracturamiento, posteriormente se rasterizo el vector con la herramienta **polygon to raster**, y finalmente se cruzaron las variables mencionadas con la herramienta **raster calculator** de acuerdo a los pesos propuestos en el nivel de jerarquización., generando el mapa de susceptibilidad por geología (Ver Figura 2)

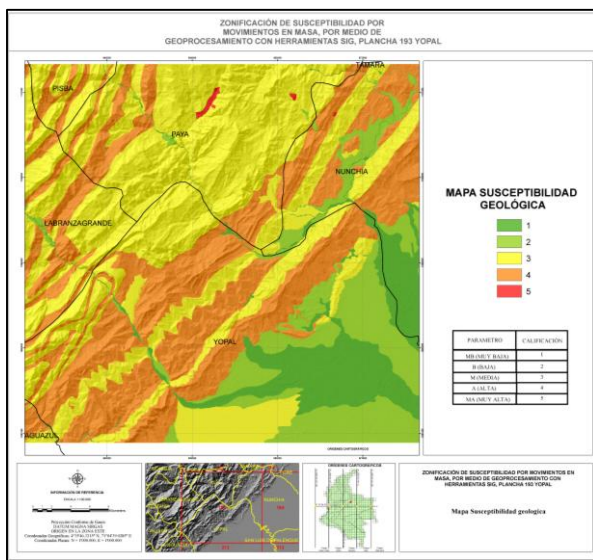


Figura 2: Susceptibilidad por geología
Fuente: Elaboración propia

• Factores Geomorfológicos

A continuación se abarco la temática de las unidades geomorfológicas cartografiadas y definidas según su ambiente de formación, morfometría, morfodinámica y morfogénesis. Dentro de las cuales se clasificaron de la siguiente manera:

Morfometría: comprendió variables cuantitativas como Pendientes, Rugosidad y Acuencia, generadas a partir del DEM. El cálculo de pendientes es fundamental, esta relacionado de manera que a mayor grado de pendiente aumenta la susceptibilidad a que se generen movimientos en masa [3], presentándose variaciones en 2 sectores de relieve característicos, montañosos y llanos, divididos por el piedemonte llanero, zonas de pendientes que varían entre 0° a $80,44^{\circ}$, generado a partir de la herramienta **Slope** del software Arcgis y se reclasificaron de la siguiente manera (Ver Tabla 2 y Figura 3):

Tabla 2. Clasificación para inclinación de las pendientes

Clasificación	Descripción	Susceptibilidad
1	Plana a suavemente inclinada	Muy Baja
2	Inclinada	Baja
3	Muy inclinada	Media
4	Abrupta	Alta
5	Escarpada	Muy Alta

Fuente: SGC

la rugosidad define bien las formas como los límites de taludes laterales tanto en los valles como en las crestas relacionándose con los movimientos en masa de manera que las laderas de rugosidad alta son más propensas a presentar movimientos en masa debido a que los cambios sucesivos de pendientes favorecen una mayor infiltración de agua en el terreno por ende aumenta la inestabilidad del mismo (Ver Tabla y Figura 3), rugosidades altas se presentan

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

en el sector montañoso de la plancha (parte occidental del área), y bajas hacia las partes planas o de menor pendiente (sector oriental de la plancha), generado con la herramienta **Terrain Ruggedness** de la caja de herramientas de **arctoolbox**.

Tabla 3. Clasificación de la Susceptibilidad de la Rugosidad.

Clasificación	Descripción	Susceptibilidad
1	Rugosidad Muy baja o Nula	Muy Baja
2	Rugosidad Baja	Baja
3	Rugosidad Media	Media
4	Rugosidad Alta	Alta
5	Rugosidad Muy Alta	Muy Alta

Fuente: SGC

La variable Acuenca corresponde a la superficie de la cuenca aguas arriba [2], relacionada con la cantidad de agua que es capaz de recoger e infiltrar el terreno, es decir que se identificó claramente zonas donde se desarrollan flujos acumulados los cuales se localizan donde las condiciones topográficas determinan una alta susceptibilidad a generar inestabilidad (Ver Tabla 4 y Figura 3).

Tabla 4. Clasificación de la susceptibilidad variable acuenca.

Clasificación	Descripción	Susceptibilidad
1	Divisoria de Aguas o Lomos	Muy Baja
2	Escorrentía Lenta	Baja
5	Flujo Acumulado	Muy Alta
3	Drenaje no permanente	Media
1	Quebradas, Ríos	Muy Baja

Fuente: SGC

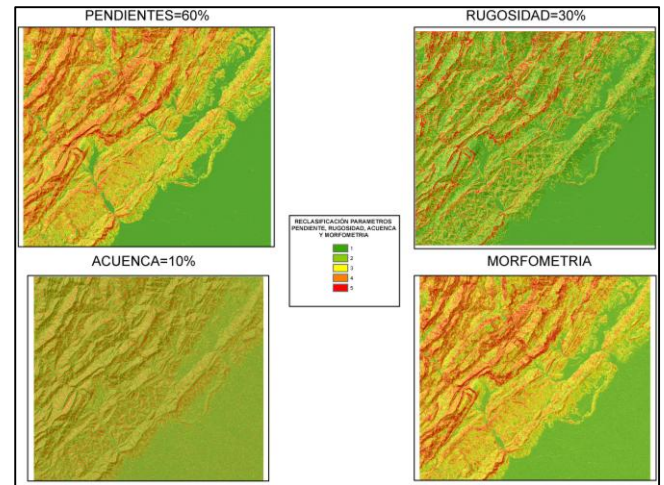


Figura 3: Susceptibilidad para variables Pendientes, Rugosidad, y Acuenca con sus pesos determinados, para generación de la morfometria

Fuente: Elaboración propia

Morfodinamica: Se genera a partir de procesos de agrupamiento a partir de la representación cartográfica de los suelos transportados vistos como geoforma, del inventario de procesos a partir del sistema de información SIMMA, de la fotointerpretación, del inventario de campo y las variables geométricas derivadas del modelo DEM. Es a través de este agrupamiento que obtenemos una distribución espacial de los movimientos y el comportamiento. Los componentes constitutivos del agrupamiento de la variable morfodinámica son:

Un componente de relieve (RelaIncli), que resulta de la combinación del relieve relativo (RR) y la inclinación de la ladera (IL); las unidades de suelo derivados del mapa geomorfológico, que fácilmente corresponden a los depósitos que se presentan igualmente en la geología del



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

área (Depositos presentes), y el inventario y catálogo de procesos derivados del sistema de información SIMMA [4].

Para la construcción de la variable morfodinámica, se tuvo en cuenta que, los límites de calificación de este modelo de relieve, se determinan sobre la base y, que es en éste, en donde se colocarán los elementos geomorfológicos más susceptibles, como son los suelos transportados y los procesos de movimientos en masa inventariados (Ver Figura 4).

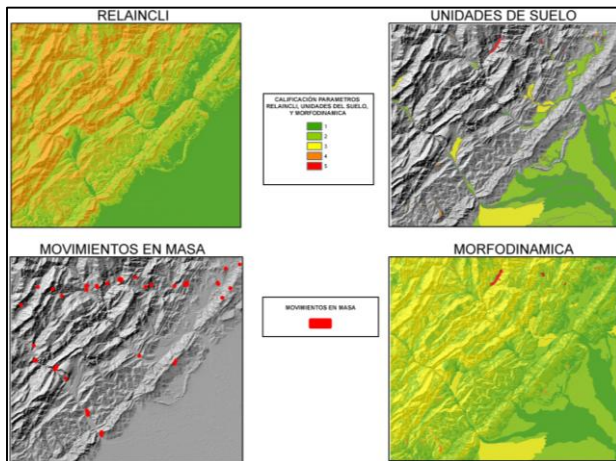


Figura 4: Susceptibilidad variables de Relaincli, unidades de suelo, y movimientos en masa Simma, para generación del parámetro de Morfodinamica.

Fuente: Elaboración propia

Morfogénesis: Interviene los atributos cartografiados como las diferentes geformas que contiene el área de estudio, clasificadas según su ambiente geomorfológico (Ver Tabla y Figura 5), y descritas de acuerdo al glosario de unidades geomorfológicas del SGC.

Tabla 5. Unidades geomorfológicas calificadas

Cod _gm f	Cal mfg en	Cod _gm f	Cal mfg en	Cod _gm f	Cal mfg en	Cod _gm f	Cal mfg en
Dco	4	Faa	3	Sce	4	Ssalc	4
Ddi	4	Faas	3	Sclc	4	Ssalle	4
Deem	4	Fbl	2	Scle	4	Ssan	4
Dld	4	Fca	1	Se	4	Ssbe	4
Dldi	3	Fea	2	Sesmc	4	Sshlc	4
Dle	3	Fpac	2	Sesml	4	Sshle	4
Dlmd	4	Fpi	2	Slcp	4	Sslp	4
Dlor	3	Fta	2	Sle	4	Sss	4
Dlpd	3	Ftae	3	Slf	4	Ssslc	4
Dmo	3	Ftan	2	Slfe	4	Sssle	4
Dts	4	Ftas	2	Sp	4		

Fuente: Elaboración propia

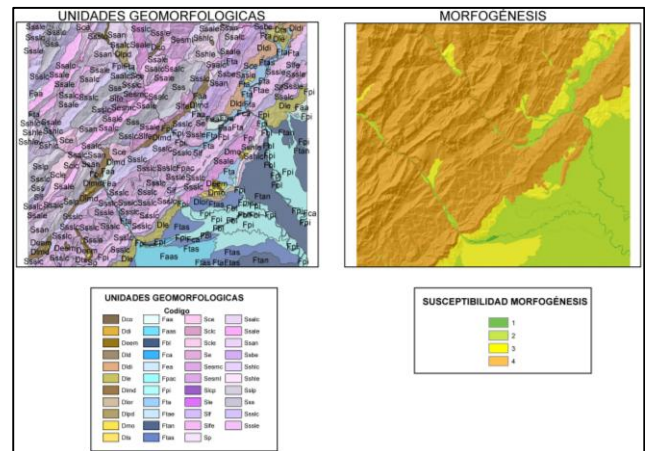


Figura 5: Susceptibilidad unidades geomorfológicas cartografiadas, para generación del parámetro de Morfogénesis.

Fuente: Elaboración propia

Despues de generar los 3 parametros de morfometria, morfodinamica y morfogenesis, se genera la

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

susceptibilidad por geomorfología, a partir del cruce de las 3 variables con sus respectivos pesos de ponderación (Ver Figura 6).

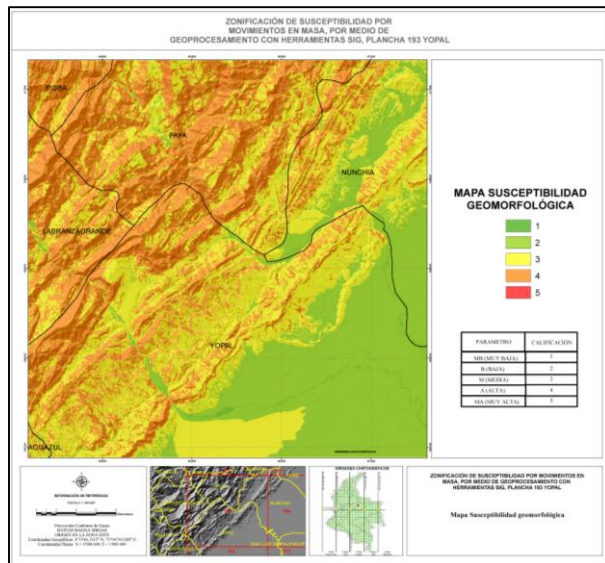


Figura 6: Susceptibilidad por geomorfología, resultado del cruce de morfometría, morfodinámica y morfogénesis.

Fuente: Elaboración propia

• Factores de Coberturas

A continuación la temática abordada correspondió a las coberturas; gracias a la información de la imagen Landsat 7 se realizó una clasificación supervisada para detectar las firmas espectrales que el sistema genera, para dividirlos de acuerdo al tipo de coberturas que se identificaron en el área de estudio, involucrando parámetros como profundidad radicular, drenaje profundo, evapotranspiración y número de estratos, datos que fueron calificados de 1 a 5, obteniendo así la susceptibilidad por coberturas de la tierra (Ver Figura 7) y definidas de la siguiente forma:

Mosaico de cultivos y pastos (3), Bosque fragmentado con pastos (3), Pastos limpios (4), Bosque denso bajo de tierra firme (2), Ríos (50m) (1), Mosaico de pastos con espacio (3), Herbazal denso de tierra firme (3), Pastos enmalezados (4), Vegetación secundaria (3), Bosque fragmentado con vegetación (2), Bosque denso alto de tierra firme (2), Arbustal denso (3), Mosaico de pastos y cultivos (4), Pastos arbolados (3), Bosque de galería y ripario (2), Tejido urbano discontinuo (2), Café (4), Arbustal abierto (3), Instalaciones recreativas (2), Zonas industriales o comercia (4), Mosaico de cultivos con espacios (3), Zonas arenosas naturales (5), Tejido urbano continuo (2), Bosque denso bajo inundable (2), Bosque denso alto inundable (2), Arroz (4), Aeropuertos (2), Tierras desnudas y degradadas (5), Bosque fragmentado (3) y Herbazal denso inundable (4).

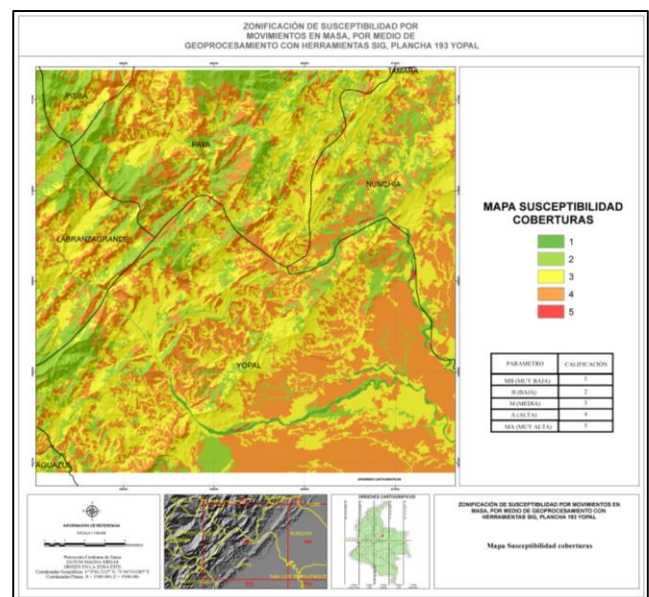


Figura 7: Susceptibilidad por coberturas.

Fuente: Elaboración propia

- **Factores de Suelos Edáficos**

Y finalmente se genero la susceptibilidad por suelos edáficos, determinada a partir de variables como Texturas, taxonomias, drenaje natural, profundidad y tipo de arcilla, igualmente fueron calificadas y ponderadas de acuerdo al nivel de jerarquización propuesto en la metodología, y expuesto de la siguiente manera:

Aluvial fino que alterna con aluvial grueso (3), Arcillas y areniscas (3), Arcillolitas, lodolitas y areniscas (3), Areniscas (3), Bancos arenosos y gravillosos (1), Coluviones finos (3), Depósitos arenosos (3), Depósitos superficiales clásticos gravigénicos y hidrogravigénicos mixtos (3), Depósitos superficiales clásticos hidrogravigénicos y gravigénicos (2), Depósitos superficiales piroclásticos de ceniza volcánica sobre rocas sedimentarias clásticas limoarcillosas (2), Materiales aluviales heterométricos con matriz gruesa (3), Materiales arcillosos (lutitas) y areniscas (3), Materiales coluvial heterométrico con matriz gruesa (3), Materiales coluviales heterométricos con matriz gruesa (3), Materiales de origen coluvial heterométrico con matriz gruesa (3), Materiales heterométricos con matriz gruesa (3), Rocas sedimentarias clásticas arenosas con intercalaciones de limoarcillosas (3), Rocas sedimentarias clásticas arenosas con intercalaciones de limoarcillosas con capas discontinuas de ceniza volcánica (3), Rocas sedimentarias clásticas arenosas con intercalaciones de limoarcillosas con capas discontinuas de

ceniza volcánica (3), Rocas sedimentarias clásticas limoarcillosas (3), Rocas sedimentarias clásticas limoarcillosas con interclaciones de arenosas (3), Rocas sedimentarias clásticas limoarcillosas y depósitos superficiales clásticos gravigénicos (3), Rocas sedimentarias clásticas mixtas (3), Rocas sedimentarias clásticas mixtas y depósitos superficiales piroclásticos de cenizas volcánicas (3), Sedimentos aluviales finos (4), Sedimentos aluviales gruesos y medios (3), Sedimentos aluviales heterométricos (2), Sedimentos arcillosos (4), finalmente definidas las categorías se rasteriza la capa vectorial con la herramienta **polygon to raster** del **arctoolbox de Arcgis**, y se obtiene la susceptibilidad por suelos edáficos (Ver Figura 8).

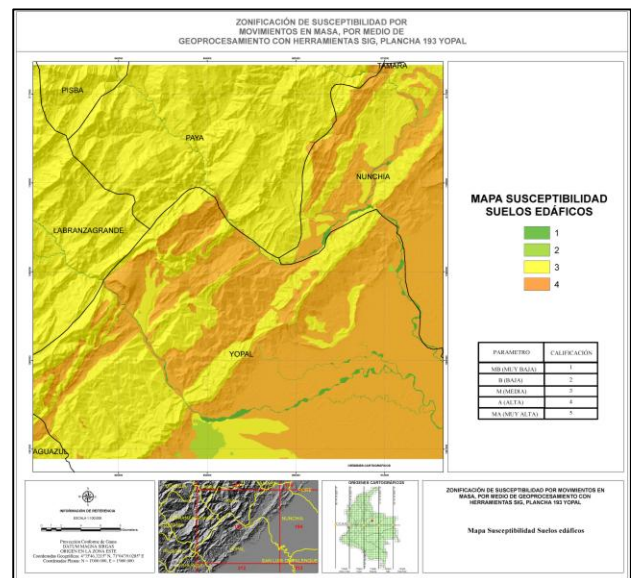


Figura 8: Susceptibilidad por suelos edáficos.
Fuente: Elaboración propia

3. RESULTADOS Y ANALISIS

3.1 SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA

Al obtener las diferentes tematicas generadas, se procede a generar la susceptibilidad total por movimientos en masa, que se genero a partir del cruce tematico con la herramienta **raster calculator**, todo esto generado atraves del **ModelBuilder** (Ver Figura 9), que nos sirve para modelar el flujo de trabajo de una manera mas sencilla y ordenada.

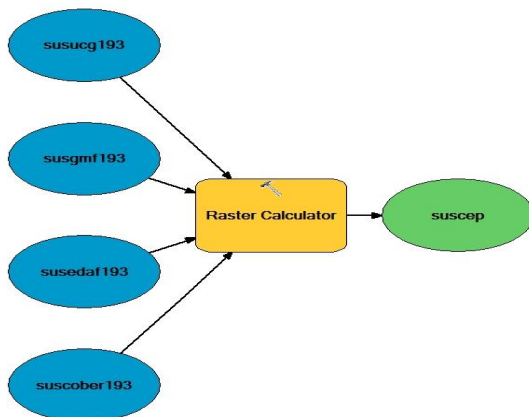


Figura 9: Modelo de flujo de trabajo para elaboración de la susceptibilidad final por movimientos en masa, ModelBuilder.

Fuente: Elaboración propia

Así obtuvimos la susceptibilidad por movimientos en masa del área que abarca la plancha 193 Yopal (Ver Figura 10), que se clasificó de la siguiente manera:

Muy baja: El 0,14% del área corresponde a zonas de muy baja susceptibilidad a los movimientos en masa, de pendientes

planas, con ángulos inferiores a 4°, desarrolladas sobre geoformas de tipo fluvial (cuerpos de agua en zonas de piedemonte), representada en los Ríos Cravo Sur, La Niata, Payero y Tocarí. A nivel de suelos se observa que se limita al campo de Ríos al igual que en la temática de cobertura, estas dos con una calificación de 1.

Baja: El 7,361% del área corresponde a zonas de baja susceptibilidad a los movimientos en masa, de pendientes planas a inclinadas, con ángulos entre 3 a 10°, desarrolladas sobre geoformas de tipo fluvial, eventualmente inundables, geoformas de morfología colinada, que bordean los cauces fluviales. Se identifican las unidades de cobertura de pastos enmalezados, mosaico de pastos con espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, coberturas de vegetación natural pastoril con buen comportamiento donde los procesos erosivos y la posibilidad de falla de los suelos son mínimos por su pendiente suave y baja intervención. Asociada a esta se encuentran suelos inceptisoles, entisoles, histosoles y molisoles con textura franca, franco arenosa, franco arcillosa, arcillosa-gravosa, superficiales a profundos con drenaje natural bueno a pobre, presentes en clima cálido y muy húmedo, frío húmedo.

Media: El 68,3% del área corresponde a zonas de susceptibilidad media a los movimientos en masa, con laderas de pendientes entre inclinada a muy abrupta, entre 5 y 46°, corresponde a unidades geomorfológicas de ambientes de tipo fluvial, denudacional y

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

estructural. Se presenta en rocas sedimentarias. Predominando los herbazales, pastos limpios y bosque denso alto de tierra firme con muy baja intervención y pendientes altas. Asociada a esta se encuentran afloramientos rocosos y Andisoles, los cuales son superficiales a profundos, con drenaje moderadamente excesivo a bueno, textura arcillosa gravilosa, franca gravilosa, franca, arcillo limosa gravilosa, franco arcillosa, encontrados en clima frío pluvial y muy frío muy húmedo, cálido y muy húmedo.

Alta: El 24,179% del área corresponde a zonas de susceptibilidad alta a los movimientos en masa, con laderas de pendientes muy escarpadas a abruptas entre 23 a 46°, asociado en su gran mayoría a geoformas de ambiente estructural, en menor parte de ambiente de tipo denudacional, producto de transporte y erosión de sedimentos de gran tamaño, plegamiento, fracturamiento, fallamiento. Se presenta en rocas de tipo sedimentario - depósitos coluviales. Corresponde a coberturas de mosaico de pastos y cultivos, y espacios naturales y pastos limpios, donde el manejo sin prácticas integrales adecuadas genera problemas de compactación por sobrepastoreo, como resultado ocurre taponamiento de macroporos en el suelo y procesos de escorrentía superficial.

Muy Alta: El 0,02% del área corresponde a zonas de susceptibilidad muy alta a los movimientos en masa, con laderas de pendientes muy abrupta a muy escarpadas, con ángulos mayores de 48°, corresponde a unidades

geomorfológicas de ambiente denudacional (Cono y lóbulo coluvial y de solifluxión), presenta procesos erosivos intensos como cárcavas y surcos, sobre materiales de suelo, en materiales coluviales (Conos Aluviales). Se encuentran tierras desnudas y degradadas; y pastos limpios, que merecen atención porque provocan remociones en masa. Además es de anotar que dentro de esta categoría se involucran los movimientos que ya se generaron y que pueden abarcar un buffer mayor si no se le presta la atención adecuada para prevenir mayores desastres.

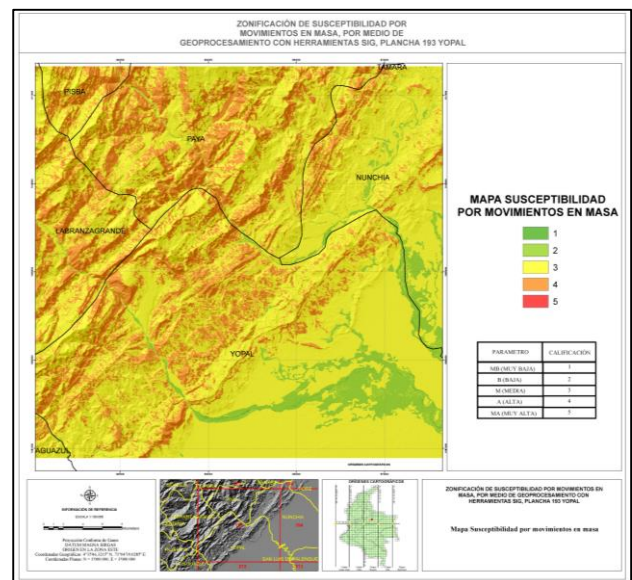


Figura 10: Susceptibilidad final por movimientos en masa

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES

- El uso de esta metodología en conjunto con la aplicación de herramientas de Geoprocésamiento permite clasificar y determinar zonas



UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA

ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA, POR MEDIO DE GEOPROCESAMIENTO CON HERRAMIENTAS SIG, PLANCHA 193 YOPAL

susceptibles que sin embargo hay que verificar y realizar un seguimiento en campo para determinar de manera más detallada el área de exploración.

- Se determinó que manejando un flujo de trabajo para la generación de la susceptibilidad por medio de la herramienta ModelBuilder, es muy útil ya que se programa y se determina la calificación de una manera más ordenada, eficaz y rápida.
- Las áreas susceptibles a presentarse movimientos en masa que se identificaron, son zonas que hay que prestar importancia, ya que están expuestas a que en un futuro inmediato o parcialmente inmediato se generen este tipo de eventos, lo que destaca el uso de herramientas SIG para la valoración y prevención de desastres.
- Se precisa que las temáticas involucradas dan un valor aproximado de cada uno de los factores que influyen en la generación de movimientos en masa, y que si se desea tener más precisión se deben sumar a estos factores, variables de tipo hidrológico e hidrogeológico.

movimientos en masa escala 1:100.000, versión no. 2

[2] FELL, R.; COROMINAS, J.; BONNARD, C.; CASCINI, L.; LEROI, E.; SAVAGE, W. 2008. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning, on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes. *Engineering Geology*, 102:85 –98.

[3] INGEOMINAS. 2009. Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa en la Cuenca del Río Combeima. Ibagué – Tolima. Escala 1:25.000. Bogotá.

[4] INGEOMINAS. 2001. Montero, J., Cortés, R. Mapa de categorías de amenaza relativa por movimientos en masa de Colombia, escala 1:1.500.000. Bogotá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Servicio Geológico Colombiano. 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por