



**CONVENIO ESPECIAL DE COOPERACIÓN
No 036 DE 2013**

**MEMORIA EXPLICATIVA DE LA ZONIFICACIÓN DE SUSCEPTIBILIDAD Y
AMENAZA RELATIVA POR MOVIMIENTOS EN MASA ESCALA 1:100.000,
PLANCHA 342 – POPAYÁN, DEPARTAMENTO DEL CAUCA**

ANEXO C. SUSCEPTIBILIDAD POR SUELOS EDÁFICOS

Manizales, mayo de 2015



1. DESARROLLO METODOLÓGICO Y RESULTADOS

El suelo, al igual que las coberturas de la tierra son la entrada y el regulador inicial de la precipitación pluvial en el ecosistema. El movimiento del agua (escurrimiento o flujo superficial, infiltración, capilaridad, percolación, entre otros), tiende a modificar el estado de la materia y la energía del suelo, afectando sus propiedades y esfuerzos, pero sin alterar su naturaleza. La determinación de las variables físicas de suelos, muestran el comportamiento a lo largo del perfil de éstos; donde, cada uno de ellos presenta diferentes características y cualidades que lo hacen complejo, en la determinación del comportamiento de la estabilidad, (IDEAM, 2009).

La importancia de evaluar los suelos dentro de este proyecto es mostrar como el suelo juega un papel importante a la hora de presentarse movimientos en masa y procesos de erosión, que puede darse por diferentes factores tales como el tipo de material parental, la pendiente, las condiciones hidrológicas, los procesos metamórficos, y algunos parámetros externos, con el fin de proponer, plantear y desarrollar estrategias sostenibles que contribuyan al mantenimiento y a la conservación del suelo, así como al mejoramiento y a la diversificación del mismo.

La calificación del componente suelos para la plancha 342 que se localiza en el departamento del Cauca, comprende parte de los municipios de Cajibío, Caldono, El Tambo, López, Morales, Piendamó, Popayán, Timbío y Totoró, la cual ocupa una superficie de 240.000 hectáreas (2400 Km²). Las variables edáficas que se calificaron para establecer la amenaza relativa a movimientos en masa acorde con el Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2013) son: la taxonomía, la textura, el tipo de arcilla, la profundidad y el drenaje natural para la calificación total de la variable suelos. Su ponderación se presenta en la (Figura 1).

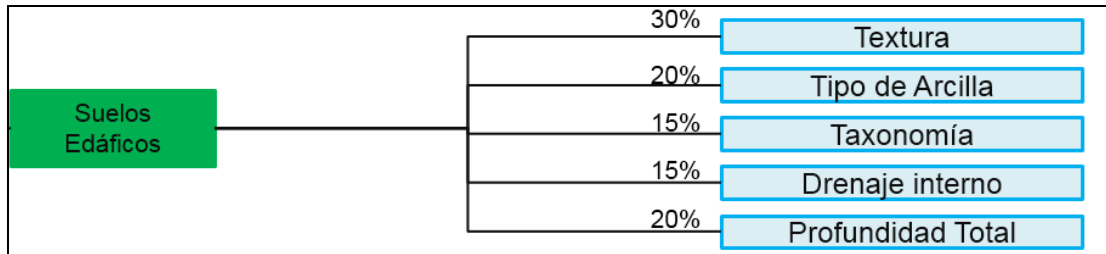


Figura 1. Diagrama de porcentajes para calificar las variables – atributos del componente suelos.

En la plancha 342 se presentan los órdenes de suelos Inceptisoles con un 43,36%, Andisoles con un 30,77%, como los suelos dominantes de la región evaluada. También se encuentran Entisoles con un 5,59%, Ultisoles con 4,20%, Oxisoles y Molisoles con 1,40% cada uno, adicionalmente se presenta un área de cuerpos de agua, zonas urbanas y afloramientos rocosos ocupando un 13,29%. En la (Tabla 1) se presentan los órdenes de suelos con sus porcentajes y las áreas ocupadas dentro de la plancha 342.

Tabla 1. Distribución de áreas en hectáreas y porcentajes de los órdenes de suelos y otros polígonos presentes en la plancha 342.

Orden de suelos	Área (ha)	Área (%)
Inceptisol	104055,94	43,36
Andisol	73846,15	30,77
Entisol	13426,57	5,59
Ultisol	10069,93	4,20
Oxisol	3356,64	1,40
Molisol	3356,64	1,40
Cuerpos de agua, ZU, AR	31888,11	13,29

1.1 ATRIBUTOS CALIFICADOS

1.1.1 Taxonomía (Ta)

La taxonomía de suelos, corresponde a un sistema básico de clasificación para hacer e interpretar los levantamientos de suelos. Actualmente, la descripción taxonómica de suelos, se toma de la clave de taxonomía de suelos de la *Soil Survey Staff* del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2006). La clasificación taxonómica, permite realizar generalizaciones inductivas acerca de las características de las clases de suelos y establecer interrelaciones entre ellos, (IDEAM, 2009).

Se deduce que los suelos más evolucionados y en condiciones ideales, son menos susceptibles a los movimientos en masa, mientras que los más jóvenes son más susceptibles a los movimientos en masa. La siguiente tabla muestra los órdenes de suelos con la calificación a la susceptibilidad.

Para la calificación se tomaron el nivel de orden de cada componente taxonómico dentro de las unidades cartográficas de suelos sujetas a la evaluación.

En esta plancha predominan los suelos de los órdenes Inceptisoles, Entisoles, Andisoles y en menor proporción los Oxisoles y Molisoles.

Con base en la (Tabla 2) se calificaron los suelos de acuerdo a su taxón para definir la susceptibilidad de la plancha (Figura 2).

- ❖ **Susceptibilidad muy alta** se localiza al noroccidente y suroriente de la plancha ocupando un área de 81950,69 ha (34,14%), en esta categoría están presentes los órdenes Inceptisoles, Entisoles en menor proporción Molisoles y Andisoles. Distribuida por toda el área de la plancha se encuentra una **Susceptibilidad alta** con un área de 153582,01 ha (63,99%), presentes los órdenes de suelo, Andisoles, Inceptisoles, Entisoles y Ultisoles. **Susceptibilidad media** con 2292,99 ha (0,95%), se ubica al suroriente se encuentran los órdenes Inceptisoles, Oxisoles y Andisoles. **Susceptibilidad baja** con 1665,91 ha (0,69%). **Susceptibilidad muy baja** ocupa un área de 508,37 ha (0,21%)

Tabla 2. Calificación de la taxonomía de suelos a nivel de orden.

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

Fuente. Servicio Geológico Colombiano, dependencia de suelos (2014).

1.1.2 Textura (Te)

La textura comprende la cantidad relativa de las diferentes partículas de suelo de tamaño menor de 2 mm de diámetro (arenas, limos y arcillas). La textura, se encuentra relacionada con la retención de humedad, aireación (difusión de gases), permeabilidad, intemperismo, volumen explorado por las raíces, manejo de suelos, fertilidad y nutrición mineral entre otras.

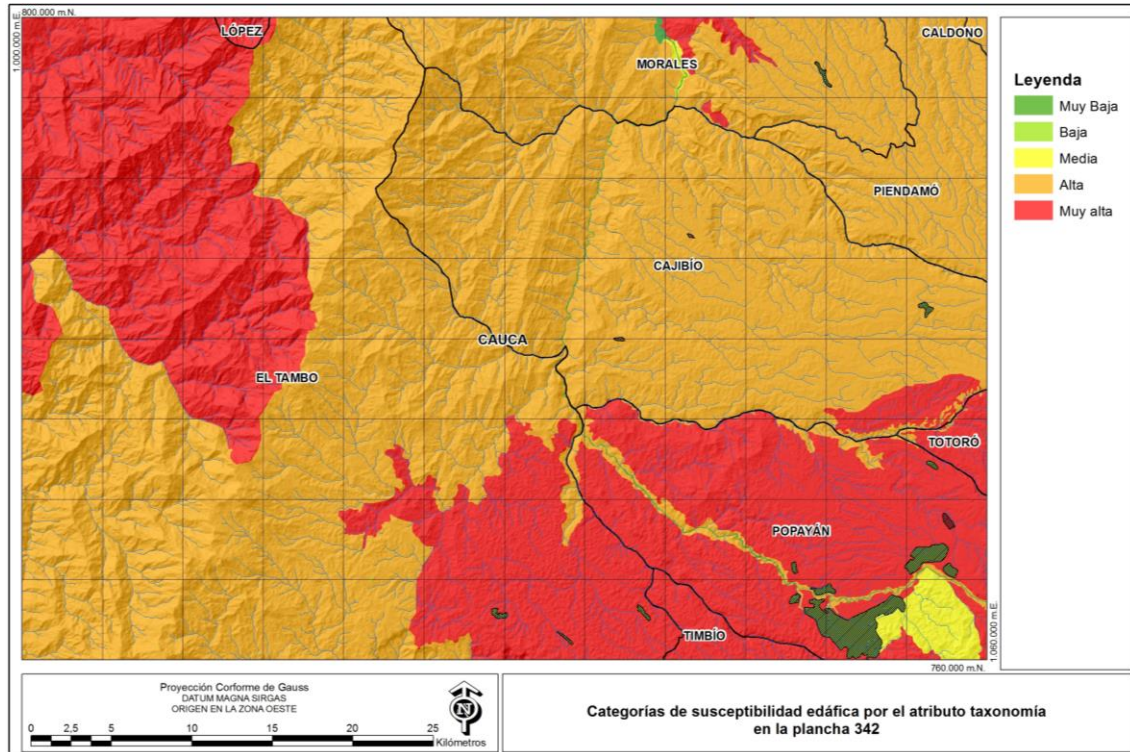


Figura 2. Mapa de calificación de la susceptibilidad por taxonomía.

La textura define en buena parte como es el drenaje interno de los suelos, como son las discontinuidades texturales y dependiendo del tipo de textura, deducir como sería la consistencia y plasticidad de los suelos.

La calificación de la variable textura se realizó con base a la (Tabla 3) en la cual se encuentran las diferentes clases texturales. Para el cálculo se procedió a calificar la textura de cada horizonte del perfil modal de suelos presentes en una unidad cartográfica estos se ponderaron por el espesor del mismo en relación al espesor total, y se obtuvo el promedio para cada uno de los perfiles, los cuales fueron ponderados por el porcentaje del componente taxonómico en cada UCS y finalmente se sumaron para obtener la calificación final por textura, (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2013).

Tabla 3. Calificación de la textura de suelos.

Clase textural	Calificación
Gr, A, FAGrP,	1
AF, FAGr, FArAGr, FArGr, FGr,	2
ArA, ArGr, FA, FArLGr,	3
F, F-Org, FAr, FArA, FArL,FL, FLOrg,	4
Ar, ArL,	5
A = arena, L = limo, Ar = arcilla, F = franco, Gr = grava, P = piedra, Org = orgánico	

Fuente. Servicio Geológico Colombiano, dependencia de suelos (2014).

La clasificación USDA de los suelos según su textura (Tabla 4) se realizó tomando los valores medios propuestos por el Soil Conservation Service (en Cortés, et al., 1984).

Tabla 4. Clasificación USDA de los suelos según textura.

CLASIFICACIÓN USDA DE LOS SUELOS SEGÚN TEXTURA				
Textura	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural
Gruesa	86-100	0-14	0-10	Arenoso (A)
	70-86	0-30	0-15	Arenoso franco (AF)
Moderadamente gruesa	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso (FA)
Media	23-52	28-50	7-27	Franco (F)
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso (FL)
	0-20	88-100	0-12	Limoso (L)
Moderadamente fina	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso (FAr)
	45-80	0-28	20-35	Franco arcilloso arenoso (FArA)
	0-20	40-73	27-40	Franco arcilloso limoso (FArL)
Fina	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso (ArA)
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso (ArL)
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso (Ar)

Fuente: tomando los valores medios propuestos por el Soil Conservation Service, USDA citado por Cortes et-al 1984.

Con base en la (Tabla 3) se califican los suelos por la textura para definir la susceptibilidad de las UCS en la plancha (Figura 3)

- ❖ **Susceptibilidad muy alta** localizada al suroriente de la plancha, ocupando un área de 49701,56 ha (20,70%), las clases texturales agrupadas en franco arcillosas, franco arcillosas arenosas, franco arcillosas limosas y franco limosas, siendo texturas medias, moderadamente finas y finas. **susceptibilidad alta** Distribuida por toda el área de la plancha con 169478,99 ha (70,61%), las clases texturales encontradas son franco arcillosas, franco arenosas, francas, franco arenosas arcillosas y franco arenosas gravilosas, agrupadas en medias, moderadamente gruesas y gruesas. **Susceptibilidad media** se ubica en una franja que va del suroccidente hacia el norte central de la plancha con 18645,14 ha (7,76%) en este rango se encuentran texturas franco arenosas y franco arenosas gravilosas siendo moderadamente gruesas y moderadamente finas. **Susceptibilidad baja** con 1665,91 ha (0,69%). **Susceptibilidad muy baja** con una extensión de 508,37 ha (0,21%).

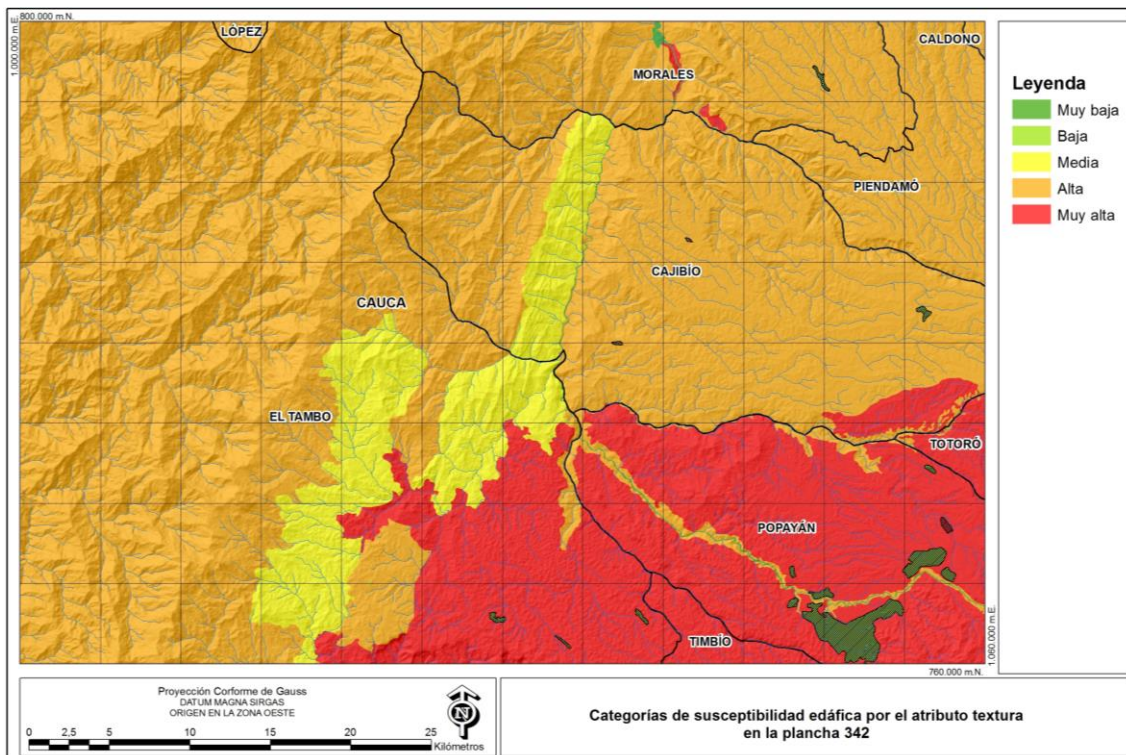


Figura 3. Mapa de calificación de la susceptibilidad por textura.

1.1.3 Profundidad total (Pt)

La importancia de la profundidad total del perfil de suelos, radica en que nos determina hasta donde pueden penetrar las raíces de las plantas, hasta donde puede moverse el agua, a que profundidad se encuentran las limitantes o impedimentos tanto de tipo físico como químico, tales como densidad, material litológico, toxicidades por elementos, entre otros. Igualmente, permite establecer características o aspectos importantes en los procesos de formación del suelo o relevancias en cuanto a acontecimientos naturales que se han presentado a lo largo del tiempo. De otro lado, permite determinar, de manera estimada y empírica, los volúmenes de suelos que se pueden llegar a remover, (IDEAM, 2009).

En esta metodología hace referencia a la profundidad efectiva para fines agronómicos la cual puede ser restringida por limitantes tanto físicos como químicos (nivel freático, sales o sodio entre otros) y no la profundidad total de perfil hasta donde fue descrito.

Con base en la (Tabla 5) se calificaron los suelos para establecer la susceptibilidad de los mismos por su profundidad, estos son los resultados obtenidos para esta plancha (Figura 4)

- ❖ **Susceptibilidad muy alta** se sitúa al oriente de la plancha presentando mayor extensión al nororiente con un área de 42381,88 ha (17,65%), suelos con una profundidad efectiva muy profundos a profundos, en los paisajes de altiplanicie volcano-erosional y lomerío. **Susceptibilidad alta** distribuida por toda el área de la plancha, con 182670,84 ha (76,11%), suelos con una profundidad efectiva profundos y moderadamente profundos, con materiales parentales variados, capaz de cenizas volcánicas, rocas ígneas y volcánicas máficas y afaníticas. Una tercera parte calificada se encuentra al noroccidente de la plancha con una **susceptibilidad media** con un área de 12772,97 ha (5,32%), suelos muy superficiales, profundos y moderadamente profundos. **Susceptibilidad baja** con un área de 1665,91 ha (0,69%). **Susceptibilidad muy baja** con 508,37 ha (0,21%).

Tabla 5. Calificación de profundidad total.

Profundidad (cm)	Categoría	Calificación
0-25	Muy baja o muy superficial	1
25-50	Baja o superficial	2
50-100	Media o moderadamente profunda	3
100-150	Alta o profunda	4
mayor a 150	Muy alta o muy profunda	5

Fuente. Servicio Geológico Colombiano, dependencia de suelos (2014).

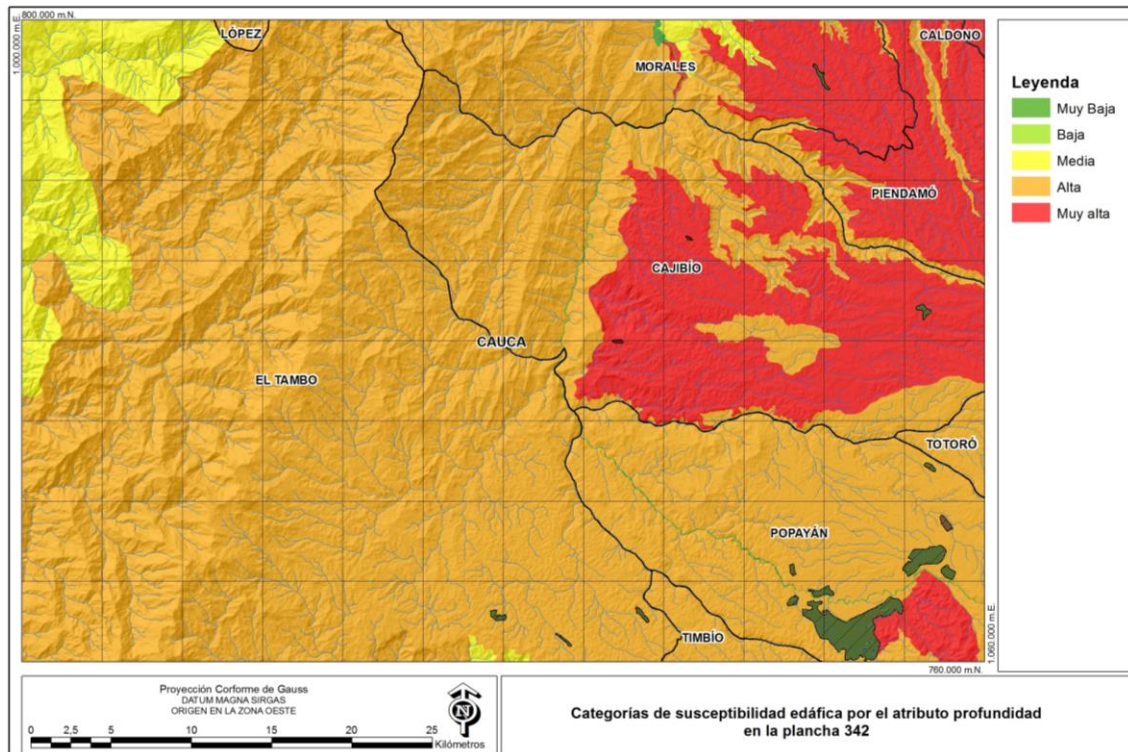


Figura 4. Mapa de calificación de la susceptibilidad por profundidad.

1.1.4 Tipo de Arcilla (Ar)

De acuerdo con Besoain (1.985), la arcilla es un constituyente fundamental que cuantifica la mayoría de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo; con tamaño menor de 2μ , incluyendo minerales primarios de actividad muy reducida o casi

nula. Las propiedades de la arcilla se relacionan con su naturaleza coloidal y se refieren a una superficie específica alta y características como plasticidad, adherencia, contracción, tixotropía, reopexia y otras. Estas propiedades influyen directamente sobre el comportamiento del suelo.

Por lo tanto, es evidente como las características del tipo de suelo o roca determinan el tipo de fenómeno de remoción en masa. En particular, el suelo volcánico, por su reducido espesor y bajo contenido en fracción arcillosa, da origen a flujos de lodo de limitado espesor y alcance, cuya localización, en correspondencia con lluvia abundante, depende casi exclusivamente de la pendiente de la ladera.

En general, el tipo de mineral de arcilla presente y el porcentaje, en proporción con el total de minerales afecta en forma considerable el comportamiento del suelo. Las otras propiedades de las arcillas, como son sus características de expansión y contracción siguen un mismo patrón ante las propiedades de plasticidad, entre más plástico el material mayor su potencial de expansión y menor su resistencia al esfuerzo cortante, (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2013).

Con base en la (Tabla 6) se calificaron la UCS de acuerdo al tipo de arcilla, a partir de la génesis y evolución de los suelos (Figura 5).

- ❖ Distribuida por toda el área de la plancha se encuentran calificadas las siguientes susceptibilidades: **Susceptibilidad muy alta** con una extensión de 47620,70 ha (19,84%) localizada al occidente, se encuentra dentro de los órdenes Andisoles e Inceptisoles donde se desarrollan tipos de arcilla 2:2, 2:1 y 1:1. **Susceptibilidad alta** con una extensión de 61580,39 ha (25,65%), presentan tipos de arcillas como montmorillonita, vermiculita, caolinita, se desarrollan arcillas de tipo 1:1 y 2:1. **Susceptibilidad media** con un área de 47781,15 ha (19,90%), presentan tipos de arcillas como montmorillonita, vermiculita, caolinita, se desarrollan arcillas de tipo 1:1 y 2:1. **Susceptibilidad baja** con una extensión de 82509,36 ha (34,37%), presente en los órdenes Inceptisoles, Entisoles donde se desarrollen arcillas de tipo 1:1 y 2:1 en la mayoría de los casos. **Susceptibilidad muy baja** con una extensión de 508,37 ha (0,21%).

Tabla 6. Calificación del tipo de arcilla a partir de su génesis y evolución.

Grupos de tipo de arcilla	Calificación		Subgrupo	Orden
Caolinita Caolinita, Biotita	1	1:1	Oxisoles	Oxisoles, Ultisoles, Espodosoles
Caolinita, sesquióxidos, Montmorillonita, Vermiculita, Caolinita, Gibsita, Muscovita, Montmorillonita	2	1:1 2:1	Ultisoles, Espodosoles	Entisoles, Inceptisoles
Montmorillonita, Clorita, Caolinita Montmorillonita, Vermiculita, Caolinita	3	2:1 1:1	Molisoles, Aridisoles, Inceptisoles, Entisoles, Alfisoles, Sub. Vértic	Molisoles, Aridisoles, Alfisoles
Muscovita, Illita, Vermiculita, Montmorillonita Muscovita, Montmorillonita, Vermiculita, Talco, Muscovita Vermiculita, Montmorillonita	4	2:1 2:2	Vertisoles	Vertisoles
Alófana, Gibsita, Hallosita, Imogolita Montmorillonita, Vermiculita, M.O	5	2:1, 1:1, 2:2	Andisoles, Histosoles	Andisoles, Histosoles

Fuente. Servicio Geológico Colombiano, dependencia de suelos (2014).

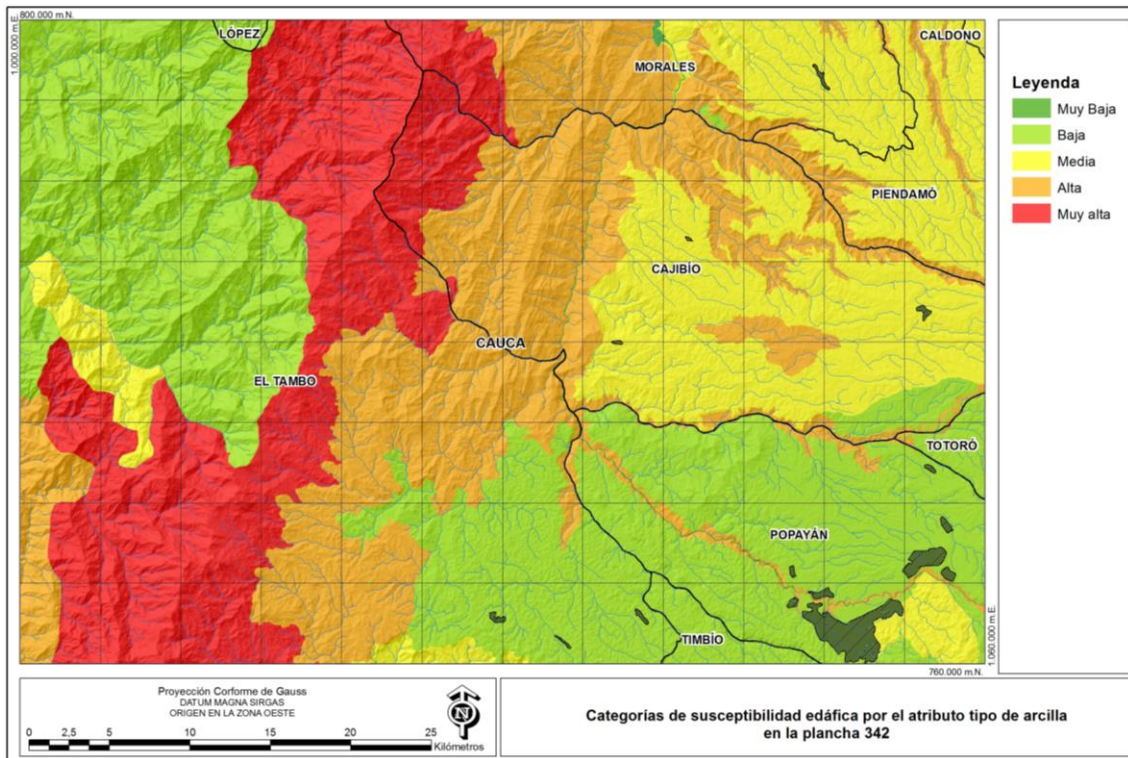


Figura 5. Mapa de calificación de la susceptibilidad por tipo de arcilla.

1.1.5 Drenaje natural (D)

La importancia del drenaje natural, radica en conocer la frecuencia y duración de los períodos húmedos bajo condiciones similares, a aquellas en las cuales se han desarrollado los suelos, o sea, en condiciones naturales, (IDEAM, 2009).

El drenaje interno contribuye a la estabilización de masas de tierra, ya que logra controlar el flujo de agua subterránea, al mismo tiempo que reduce las presiones de poros y se aumenta por tanto la resistencia al corte del material, (Fajardo Puerta, 2005).

Este atributo calificado y determinado indirectamente por otras variables físicas y en especial con la textura y porosidad (definida por la densidad aparente y la densidad real); condiciona la retención o paso del agua a través del perfil del suelo y explica cómo se conduce o retiene el agua en virtud del relieve.

Con base en la (Tabla 7) se calificaron los suelos presentes en las diferentes UCS de acuerdo a la susceptibilidad por drenaje natural, cuyas características y porcentajes son los siguientes:

- ❖ **Susceptibilidad baja** distribuida por toda el área de la plancha con una extensión de 239491,62 ha (99,78 %), suelos bien drenados óptimos para el abastecimiento de agua y aire a los cultivos, el nivel freático siempre se encuentra por debajo de los 80 cm, común en los paisajes de montaña y lomerío, con pendientes que superan el 50%. **Susceptibilidad muy baja** con una extensión de 508,37 ha (0,21%).

Tabla 7. Calificación del drenaje natural del suelo.

Clase	Características	Categoría de susceptibilidad
Excesivo	No retienen agua después de las lluvias.	1
Moderado excesivo	No retienen agua para las plantas después de las lluvias. El nivel freático nunca sube por encima de 2 metros.	
Bueno (Bien)	Suelos óptimos para el abastecimiento de agua y aire a los cultivos. Nivel freático siempre por debajo de 80 cm.	2
Moderado	El agua es removida lentamente hasta el nivel freático (40-80 cm. en época de lluvias). Requiere drenaje para cultivos permanentes.	3
Imperfecto	Suelos con capas impermeables que impiden percolación en época de lluvias.	4
Pobre	Agua removida lentamente y los perfiles están mojados en la época de lluvias. Se requiere drenaje.	
Muy pobre	Agua freática cerca o sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	5
Pantanosos	Agua freática sobre la superficie. Encharcamientos permanentes. Se requiere drenaje.	

Fuente. Servicio Geológico Colombiano, dependencia de suelos (2014).

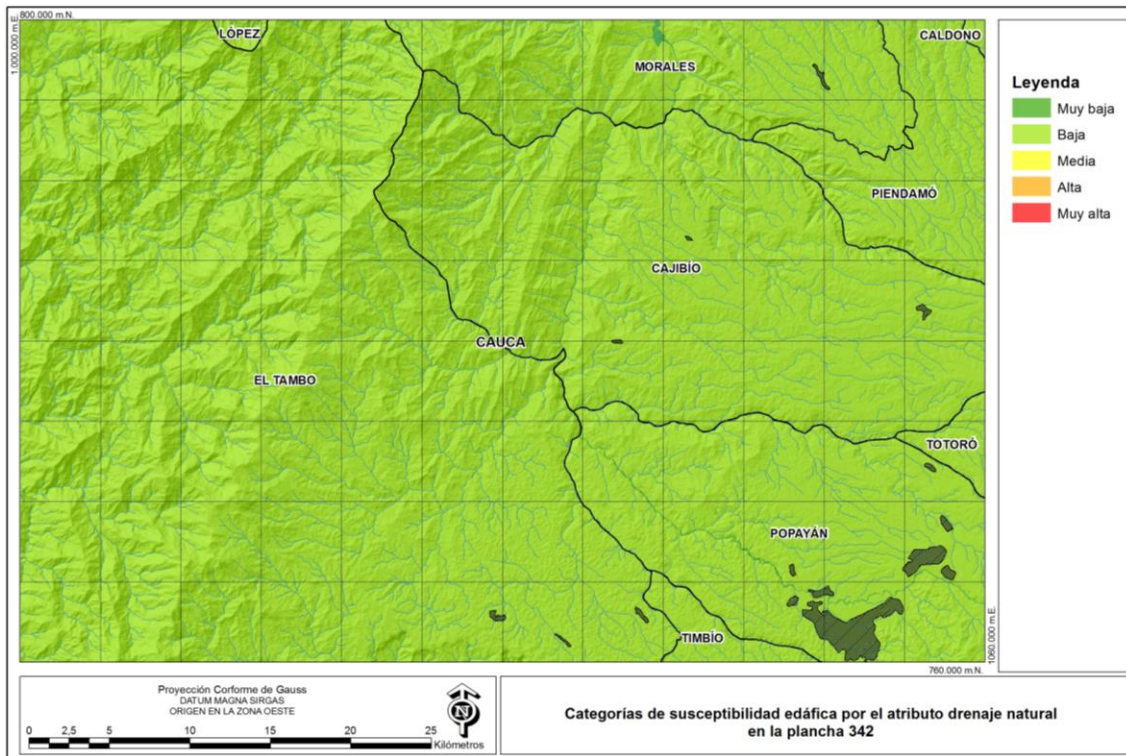


Figura 6. Mapa de calificación de la susceptibilidad por drenaje natural.

1.2 SUSCEPTIBILIDAD TOTAL (S)

Determinada la calificación de todos los atributos del indicador de suelos se procede a integrar bajo la ecuación de susceptibilidad propuesta en el Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 (SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, 2014) mediante la suma de las calificaciones de las variables (calificadas de 1 a 5) y multiplicadas por el peso que se dio a cada una de ellas, para las UCS de la siguiente forma:

$$C = 0.3 * Te + 0.15 * Ta + 0.2 * Pt + 0.2 * Ar + 0.15D$$

Donde:

C = Calificación total dada a las unidades de suelos (1 a 5)

Te = Textura ponderada del perfil modal de suelos, asignada a cada unidad de suelos, con un peso en la función de 0,30

Ta = Calificación de la taxonomía a nivel de orden con un peso de 0,15, también puede ser a nivel de subgrupo según criterio experto

Pt = Profundidad total del suelo, peso de 0,20

Ar = Calificación del tipo de arcilla, peso 0,20

D =Drenaje natural, peso 0,15

Las áreas correspondientes a la susceptibilidad total a los fenómenos de remoción en masa para la plancha 342 presentaron las siguientes distribuciones, según lo mostrado en la Figura 7.

1.2.1 Susceptibilidad alta

Distribuida por toda el área de la plancha con un área de 226159,98 ha (94,23%), presente en los órdenes Inceptisoles, Andisoles, Entisoles, Molisoles y Oxisoles, con diferente tipos de materiales parentales, como rocas ígneas volcánicas máficas y afáníticas, capaz y depósitos de cenizas volcánicas, en clima templado húmedo, templado seco y frío muy húmedo, en los paisajes de montaña, lomerío y altiplanicie volcano-erosional, con gran variabilidad de pendientes que van desde el 3% hasta mayores del 75%.

1.2.2 Susceptibilidad media

Con 11665,72 ha (4,86 %) se ubica al noroccidente de la plancha, material parental compuesto por rocas ígneas, volcánicas que alternan con esquistos, en el paisaje de montaña, con pendientes mayores del 75%, en el clima cálido muy húmedo.

1.2.3 Susceptibilidad baja

Con una extensión de 1665,91 ha (0,69%), localizada al nororiente, correspondientes a zonas urbanas.

1.2.4 Susceptibilidad muy baja

Con una extensión de 508,37 ha (0,21%), situada al suroriente, correspondientes a cuerpos de agua.

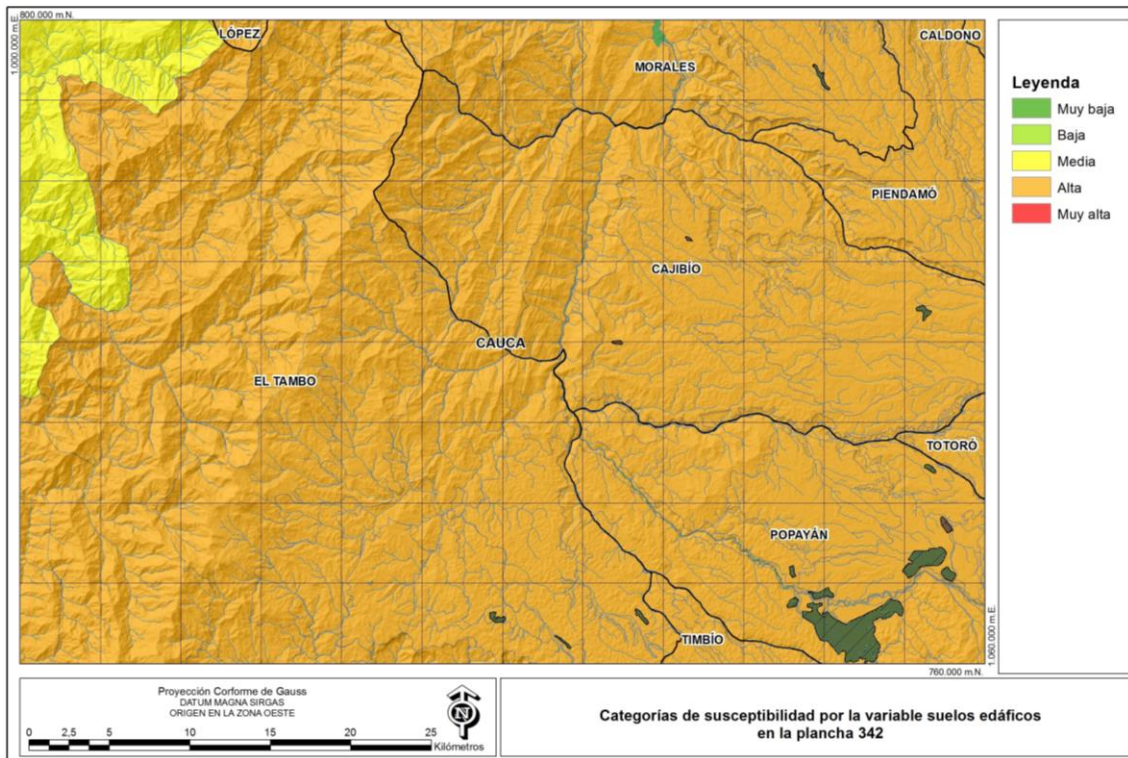


Figura 7. Mapa de calificación de la susceptibilidad total de los suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESOAÍN, E. (1985). Los suelos volcánicos de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Ministerio de Agricultura Santiago, Chile.
- CORTÉS, L. A. MALAGÓN, C.D. (1984). Los levantamientos agrológicos y sus aplicaciones múltiples. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 360p.
- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS. COMITÉ PARA EL RECONOCIMIENTO DE SUELOS. (2006). Clave de taxonomía de suelos. Mexico. 325 pag.: Decima edición. Traducción de Carlos A. Ortiz- Solorio y Ma del Carmen Gutierrez- Castonera .
- FAJARDO, PUERTA, NESTOR, FIDEL. (2005). Uso y manejo de los suelos. Litoimagen Impresores. Ibagué-Tolima-Colombia. 315p.
- IDEAM, GEOCING. (2009). Contrato 239 de 2008. "Desarrollar el mapa nacional de susceptibilidad general del terreno a los deslizamientos de tierra, a partir de la información temática e información complementaria y el aplicativo para automatizar las posteriores actualizaciones".
- INGEOMINAS-IDEAM. (2009). Anteproyecto Mapas Nacionales de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa. Convenio 11 p. Bogotá D.C.
- O'NEAL, D. L. (4 de Septiembre de 2014). eHow en español. Obtenido de Los componentes del suelo: arena, limo y arcilla: http://www.ehowenespanol.com/componentes-del-suelo-arena-limo-arcilla-lista_354165/
- SGC. (2013). Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad y Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:100.000. Versión 2. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Bogotá D. C.
- SGC. (2014). Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas Geomorfológicos Analíticos aplicados a la Zonificación de Amenaza por

Movimientos en Masa escala 1:100.0000. SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO.
Bogotá D.C