

**ANEXO D**

**SUSCEPTIBILIDAD POR COBERTURAS DE LA TIERRA**

## 1. COBERTURAS DE LA TIERRA

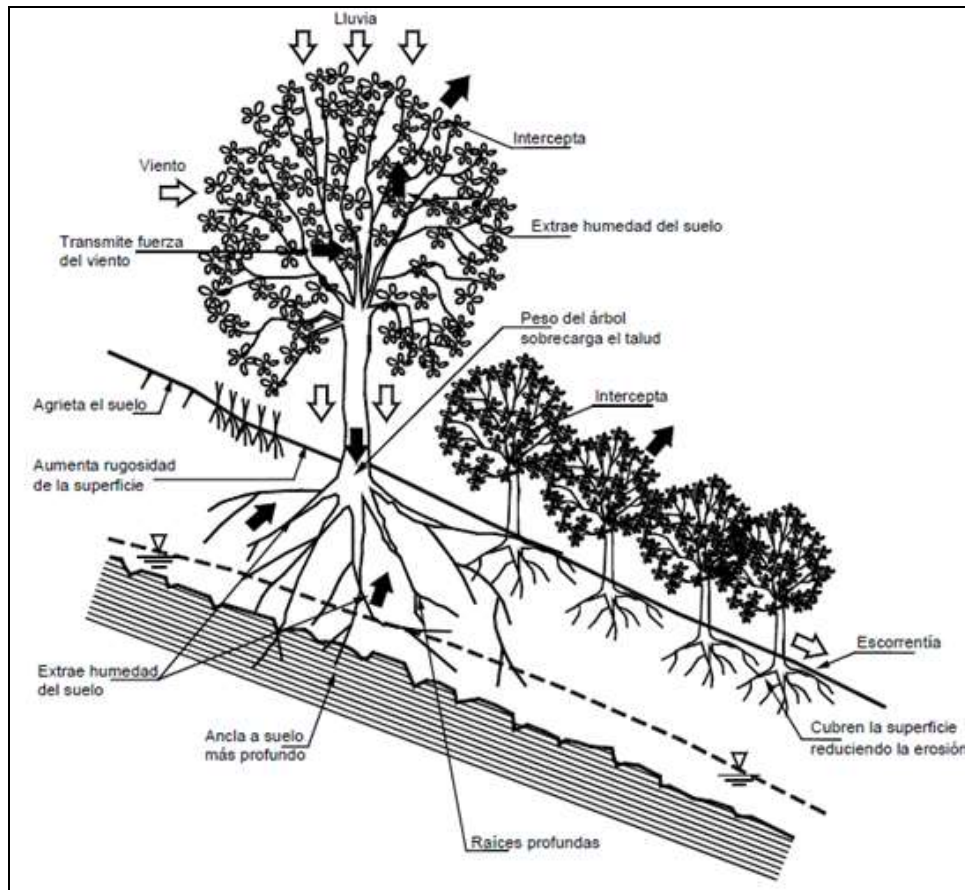
La vegetación es un elemento del paisaje que coadyuva a la protección del suelo, el desarrollo sostenible de las regiones, que incluye un equilibrio entre los componentes sociales, económicos, ambientales y ecológicos. Un aporte de la vegetación es la regulación del ciclo hidrológico, que mitiga en gran medida grandes avenidas o crecientes, la cual es una de las principales causas de las inundaciones en poblaciones y áreas estratégicas.

Las coberturas vegetales en especial las boscosas se ven amenazadas por las actividades humanas ligadas a sistemas de producción extensivo (agrícola, ganadero y minero), sobrepastoreo, que inducen a cambios en los patrones de las comunidades vegetales y a la liberación del stock de carbono que influye en el aumento de la temperatura global (cambio climático).

Los efectos de la vegetación sobre el suelo, incluye la regulación del ciclo hidrológico debido a la interceptación de la lluvia que evita la erosión por goteo y la transpiración de las plantas que elimina gran cantidad de agua del sustrato indicando que las precipitaciones intensas son una causa de los deslizamientos. (Figura 1).

Para el presente estudio “Zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000” en la variable de coberturas se evaluaron cuatro atributos: Profundidad radicular, drenaje profundo, Evapotranspiración y número de estratos, que aportaron a la construcción del modelo de susceptibilidad a la amenaza de remoción en masa.

En la Figura 2 se muestra el componente cobertura de la tierra con sus atributos a calificar y pesos dentro del modelo de susceptibilidad.



**Figura 1.** Efectos de la vegetación sobre el suelo (Suárez, J. 2001).



**Figura 2.** Atributos de la variable cobertura de la tierra, con sus respectivos porcentajes Fuente: (SGC, 2013)

Para el cálculo de la Susceptibilidad a los movimientos en masa, contextualizado en la temática de cobertura se determina con el uso del siguiente modelo matemático, y se contextualiza en la Figura 3.

$$CAL = \frac{PR + DN + ETP\_KC + NE}{4}$$

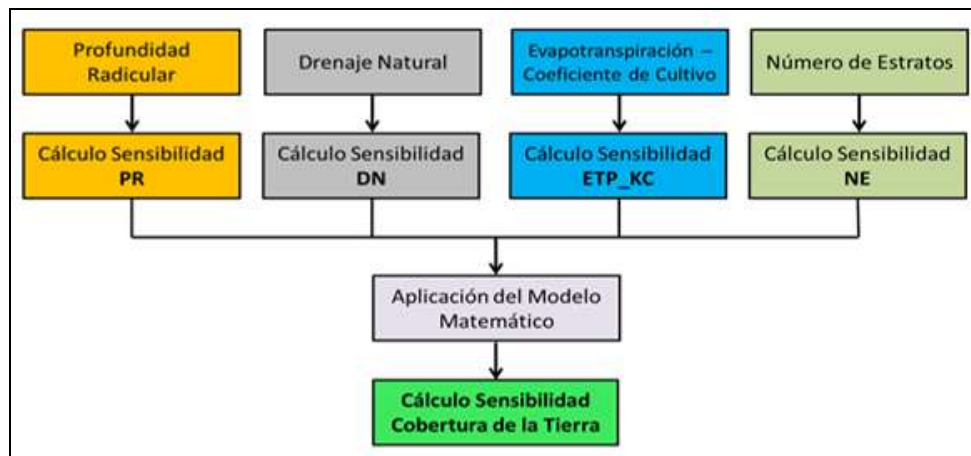
Dónde:

PR = Profundidad Radicular.

DN = Drenaje Natural.

ETP\_KC = Evapotranspiración – Coeficiente de Cultivo.

NE = Número de Estrato.



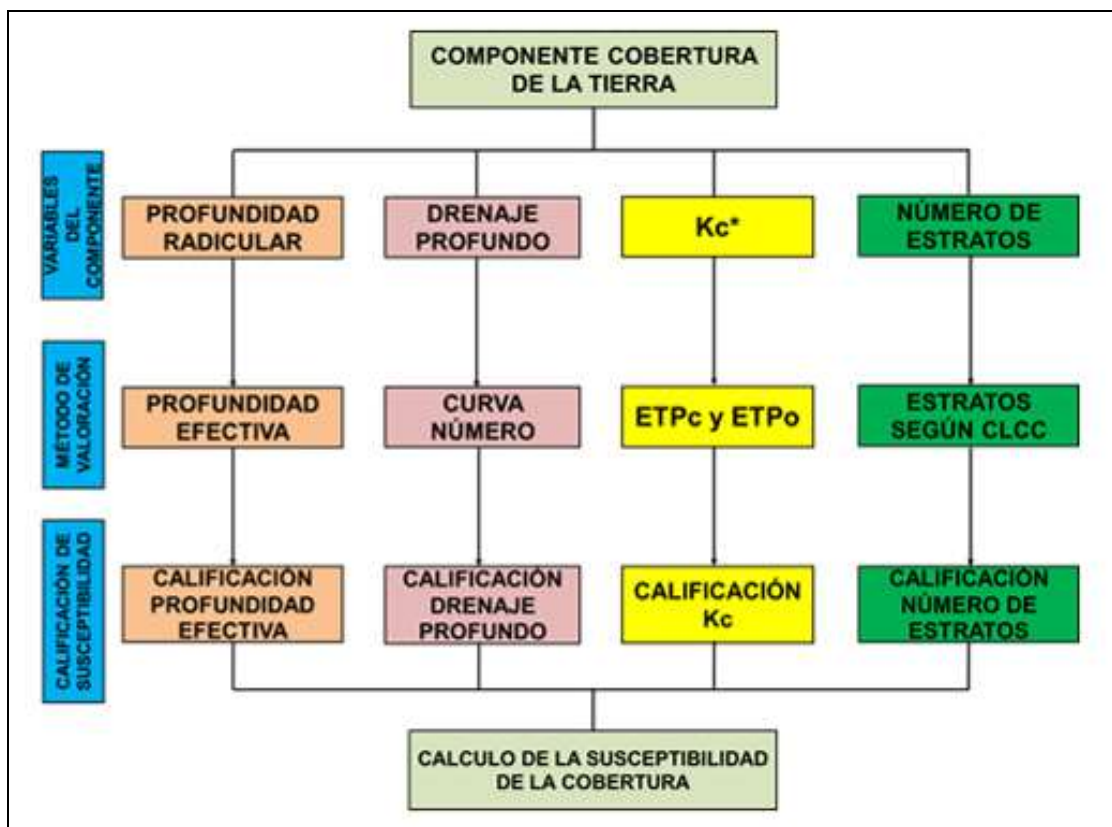
**Figura 3.** Procedimiento para el cálculo de la Sensibilidad de Cobertura de la tierra.

La descriptiva del proceso metodológico se muestra en la Figura 4 en la cual se indica el diagrama de flujo para la valoración de susceptibilidad de los atributos mencionados anteriormente.

Para desarrollar el componente de coberturas se tuvo en cuenta la siguiente información:

- capas de suelos: esta capa fue entregada en formato geodatabase tipo archivo por la subdirección agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) al Servicio Geológico Colombiano( SGC) que a su vez fue suministrada a la Universidad Industrial de Santander (UIS). esta capa tuvo en cuenta la calificación que el profesional temático de suelos le asignó al drenaje natural y la profundidad efectiva. las planchas representan el nivel de levantamiento general a escala 1:100.000.
- capas de cobertura: capa generada por el IDEAM y entregada por el SGC a la UIS, oficialmente publicadas en el año 2010 con interpretación entre los años 2005 y 2007. las planchas representan el nivel de levantamiento general a escala 1:100.000.

- DEM: Modelo Digital de Elevación, SRTM de 30 metros, facilitado por la UIS. El modelo de elevación digital representa el nivel de levantamiento general entre escalas 1:90.00 y 1:100.000.
- Información de sensoramiento remoto: Imágenes de Satélite Landsat 7 ETM +, Landsat 8 y Terralook, dichas imágenes provienen de dos fuentes; las procesadas por los profesionales temáticos y las suministradas por la UIS; estas presentan la resolución espacial y la resolución espectral para generar las capas de la temática cobertura.
- Datos evapotranspiración ETP: Se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas generadas por el IDEAM, las capas de ETP del IDEAM y del DEM ya mencionado.



**Figura 4.** Proceso del cálculo de susceptibilidad del componente Cobertura de la Tierra.  $Kc^*$  = Coeficiente de cultivos, CLCC= Corine Land Cover Colombia.

Las unidades de cobertura presentes en la Plancha 364, se indican en la Tabla 1 y Figura 5, encontrando un total de 26 unidades, de las cuales las de mayor representatividad son: Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales (20%), Mosaico de pastos con espacios naturales (19%), y Pastos limpios (14%).

**Tabla 1.** Cuantificación de las coberturas de la tierra presentes en la Plancha 364 – Timbío.

Unidad	Código	Área ha	Área %
Tejido urbano continuo	111	293,6	0,1
Tejido urbano discontinuo	112	150,0	0,1
Otros cultivos transitorios	211	26,4	0,01
Pastos limpios	231	34614,6	14,4
Pastos enmalezados	233	12440,6	5,2
Mosaico de cultivos	241	155,0	0,1
Mosaico de pastos y cultivos	242	19327,7	8,1
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	49762,8	20,7
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	46469,4	19,4
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	3359,5	1,4
Bosque de galería y ripario	314	2328,8	1,0
Plantación forestal	315	4118,9	1,7
Vegetación secundaria o en transición	323	21900,4	9,1
Tierras desnudas y degradadas	333	4125,0	1,7
Zonas quemadas	334	156,3	0,1
Ríos (50 m)	511	1203,5	0,5
Café	2222	13728,3	5,7
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3131	1655,0	0,7
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3132	411,1	0,2
Arbustal denso	3221	2701,7	1,1
Arbustal abierto	3222	1303,7	0,5
Vegetación secundaria baja	3232	42,7	0,02
Bosque denso alto de tierra firme	31111	9046,9	3,8
Herbazal denso de tierra firme	32111	3893,6	1,6
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	321111	3826,8	1,6
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	321113	2946,0	1,2





**Figura 6.** Unidades de coberturas de la tierra de la Plancha 364 - Timbío, según porcentaje de área

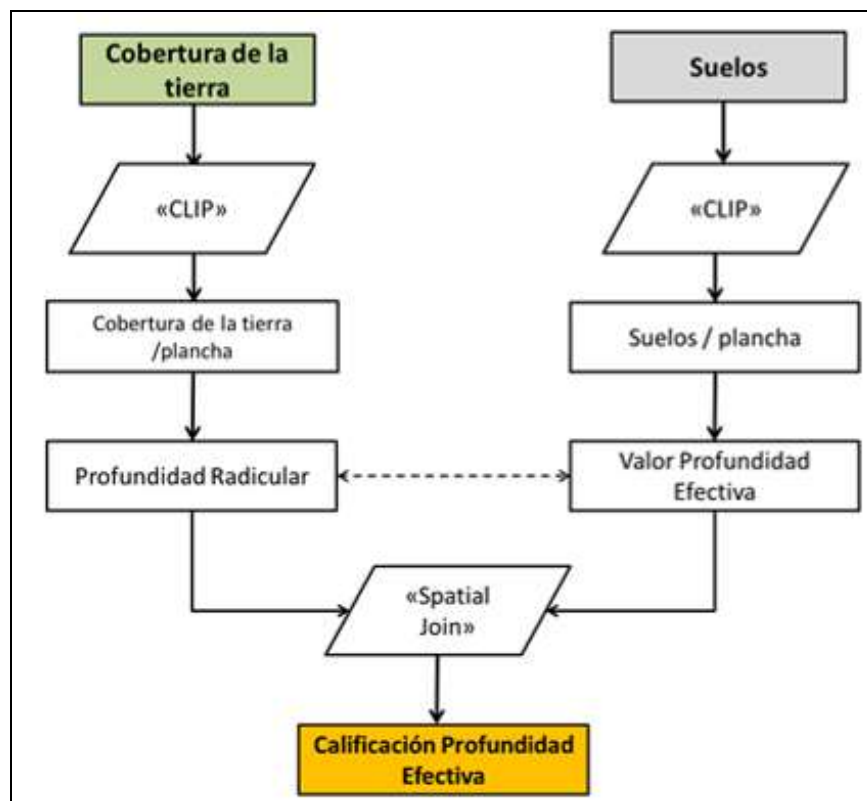
## 1.1 PROFUNDIDAD EFECTIVA

Según Suárez, (2001), las raíces realizan la función de sostenimiento y agregamiento del suelo, teniendo en cuenta la especie y tipo de raíz, que aumentan la resistencia al cortante y el arrastre de los suelos.

La profundidad de las raíces está relacionada con la especie, tipo de suelo y las comunidades vegetales, razón por la cual para el presente estudio se determinó la profundidad radicular con referencia al parámetro "Profundidad Efectiva", contextualizado y valorado por los temáticos del componente Suelos, que toman la información de los Estudios de Suelos de la subdirección de Agrología del IGAC, a escala 1:100.000.

Esta información obtenida se correlaciona con cobertura, ya que es un factor formador del suelo. En el diagrama de flujo de la Figura 7, se expresa el proceso de obtención de la información y en la Tabla 2, se muestran los valores utilizados para la obtención de la calificación de esta variable.





**Figura 7.** Procedimiento para obtención de Profundidad Radicular.

**Tabla 2.** Categorización y calificación del atributo Profundidad radicular. Fuente. SGC, 2013; Manual de suelos de la Subdirección de Agrología - USDA (2007).

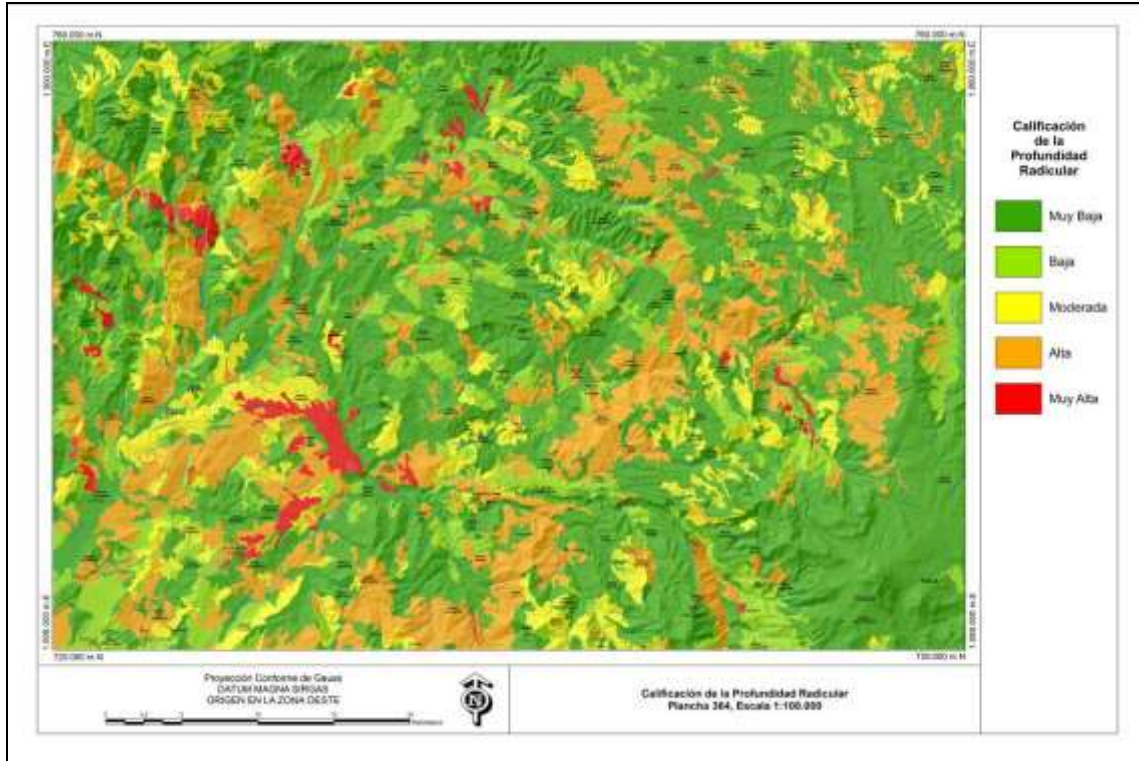
Profundidad Efectiva ( Pt)			Profundidad Radicular (Pr)
Profundidad (cm)	Categoría	Calificación*	Susceptibilidad
Menos a 25	Muy superficial	1	5
25-50	Superficial	2	4
50-100	Moderadamente profundo	3	3
100-150	Profundo	4	2
Mayor 150	Muy profundo	5	1

El atributo de profundidad radicular se muestra en la Tabla 3 asignando la calificación según metodología del SGC, tomando como referencia la profundidad efectiva de los suelos presentes en la Plancha 364 , indicando que una misma unidad de cobertura no tiene igual calificación de profundidad radicular ya que está relacionada directamente con la unidad de suelos presente.

**Tabla 3.** Calificación del atributo Profundidad Radicular de la Plancha 364 - Timbío.

Unidad	Código	Profundidad Radicular	Calificación	Área m <sup>2</sup>	Área %
Arbustal abierto	3222	510	1	12998698,1	0,54
Arbustal denso	3221	590	1	26796041,6	1,12
Bosque de galería y ripario	314	820	1	23362719,8	0,97
Bosque denso alto de tierra firme	31111	980	1	90459060,7	3,77
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3131	650	1	16719742,2	0,70
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3132	454	1	4110951,57	0,17
Café	2222	50	3	137282774	5,72
Herbazal denso de tierra firme	32111	240	1	39018565,1	1,63
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	321113	270	1	29490685,6	1,23
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	321111	240	1	38496670,9	1,60
Mosaico de cultivos	241	138	2	1715296,8	0,07
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	366	1	33351476,7	1,39
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	229	1	497542695	20,73
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	305	1	464310890	19,35
Mosaico de pastos y cultivos	242	108	2	192754750	8,03
Otros cultivos transitorios	211	60	3	263572,216	0,01
Pastos enmalezados	233	120	2	124276090	5,18
Pastos limpios	231	50	4	346917599	14,45
Plantación forestal	315	270	1	41400527,1	1,73
Ríos (50 m)	511	0	1	12035073,7	0,50
Tejido urbano continuo	111	0	2	2975015,08	0,12
Tejido urbano discontinuo	112	25	5	1500696,44	0,06
Tierras desnudas y degradadas	333	20	5	41250002	1,72
Vegetación secundaria baja	3232	100	3	427110,869	0,02
Vegetación secundaria o en transición	323	90	1	218980457	9,12
Zonas quemadas	334	0	5	1562587,97	0,07

En la Figura 8, se muestra la calificación del atributo profundidad radicular para la Plancha 364.



**Figura 8.** Categorías de susceptibilidad de la variable cobertura de la tierra, atributo profundidad radicular de la Plancha 364 - Timbío.

En el atributo de profundidad radicular, más del 63 % del área de la plancha presenta una susceptibilidad muy baja, para coberturas como arbustales, boques, herbazales, mosaicos, plantaciones forestales, ríos y vegetación secundaria distribuidos alrededor de toda la plancha, se caracteriza en zonas urbanas (tejido discontinuo), tierras desnudas y zonas quemadas con una susceptibilidad muy alta cultivos de café y pastos limpios con susceptibilidad alta.

## 1.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Este atributo se generó a partir de la resultante del cociente de la evapotranspiración potencial calculada (ETPc) y la evapotranspiración potencial observada (ETPo), denominada Coeficiente de Cultivo (Kc).

$$Kc = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Evapotranspiración Calculada (ETPc): Se obtuvo a partir de la metodología de la “Guía para la Actualización Digital de Áreas Homogéneas de Tierras con Fines Catastrales” (IGAC, 2011) que tiene en cuenta la altitud del terreno, representada por el Modelo de Elevación Digital (DEM) al cual a través de una operación matemática en la “Calculadora de Raster” en ArcGIS, se aplica un modelo de regresión lineal simple (análisis de correlación), donde se conoce los valores constantes de la pendiente y el intercepto para obtener la variable temperatura media, dependiendo de su ubicación geográfica (Cordillera/Vertiente) a partir de la siguiente expresión:

$$T_{media} = 26.05 - 0.0052 * DEM$$

A partir de este resultado se calcula la Biotemperatura, tomando variable independiente la Temperatura Media y su ubicación geográfica (Cordillera/Vertiente), se utilizó el Modelo de Elevación Digital (DEM) al cual a través de una operación matemática de “Calculadora de Raster” para obtener la Biotemperatura.

$$BT(^{\circ}C) = T_{media} - \left( \left( \frac{3 * \text{gradoslatitud}}{100} \right) * (T_{media} - 24)^2 \right)$$

Calculando la Evapotranspiración Calculada:

$$ETP (mm) = 58.93 * BT$$

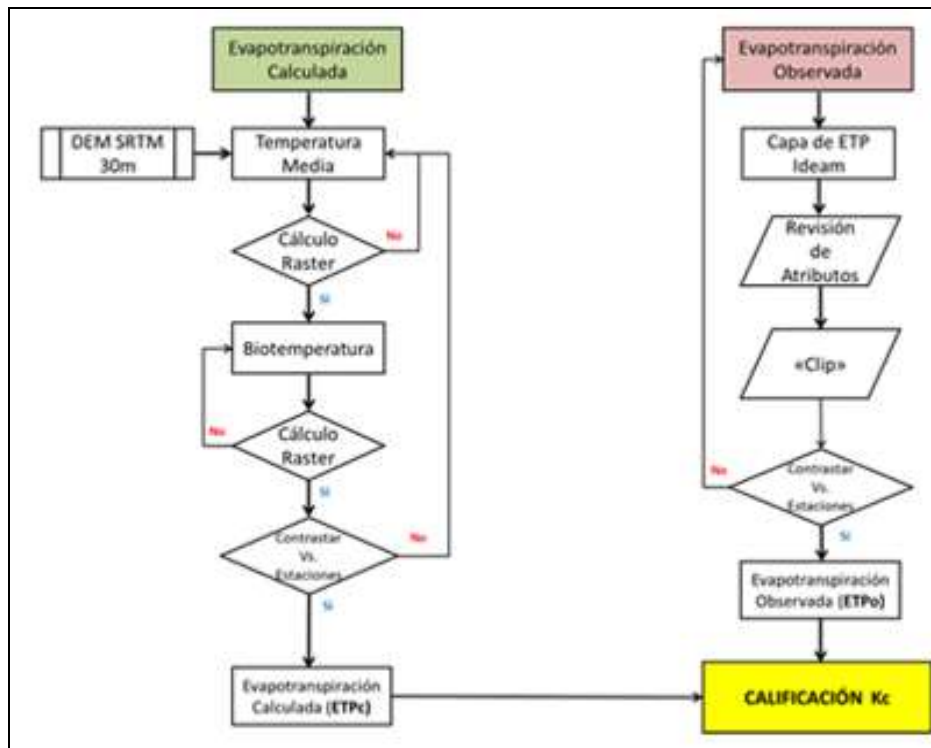
Es de anotar que para la evapotranspiración observada se tomaron los datos de las estaciones meteorológicas suministrado por el IDEAM, para contrastar el comportamiento espacial de la ETPc, con base en la Biotemperatura.

Evapotranspiración Observada (ETPo): Se obtuvo a partir de la capa nacional de ETP – Evapotranspiración del IDEAM. Esta se espacializó, revisando específicamente los atributos, en especial el dato de Evapotranspiración, posteriormente se realizó un corte (Clip), plancha a plancha 100K asignada al bloque. Una vez obtenida esta información se procedió a contrastar la información espacializada de ETo, versus la información de las Estaciones Climatológicas y conocer si realmente ambas correlacionadas y definir la validación de dicha capa. Ver Anexo G.

Coeficiente de Cultivo (ETo): Cociente de la evapotranspiración potencial calculada (ETPc) y la evapotranspiración potencial observada (ETPo) para especificar el proceso de obtención de este dato, se puede observar en la Figura 9. Se obtuvo el coeficiente de cultivo con valores desde 0 hasta 1.78, clasificado de acuerdo con la Tabla 4.

**Tabla 4.** Categorización y calificación del atributo Evapotranspiración. Fuente: SGC, 2013.

Evapotranspiración (ETP)		
ETP	Rango (Kc)	Susceptibilidad
No presenta	0	0
Muy baja	0 – 0,5	5
Baja	0,51 – 0,8	4
Media	0,81 - 1	3
Alta	1,1 – 1,5	2
Muy Alta	Mayor de 1,5	1



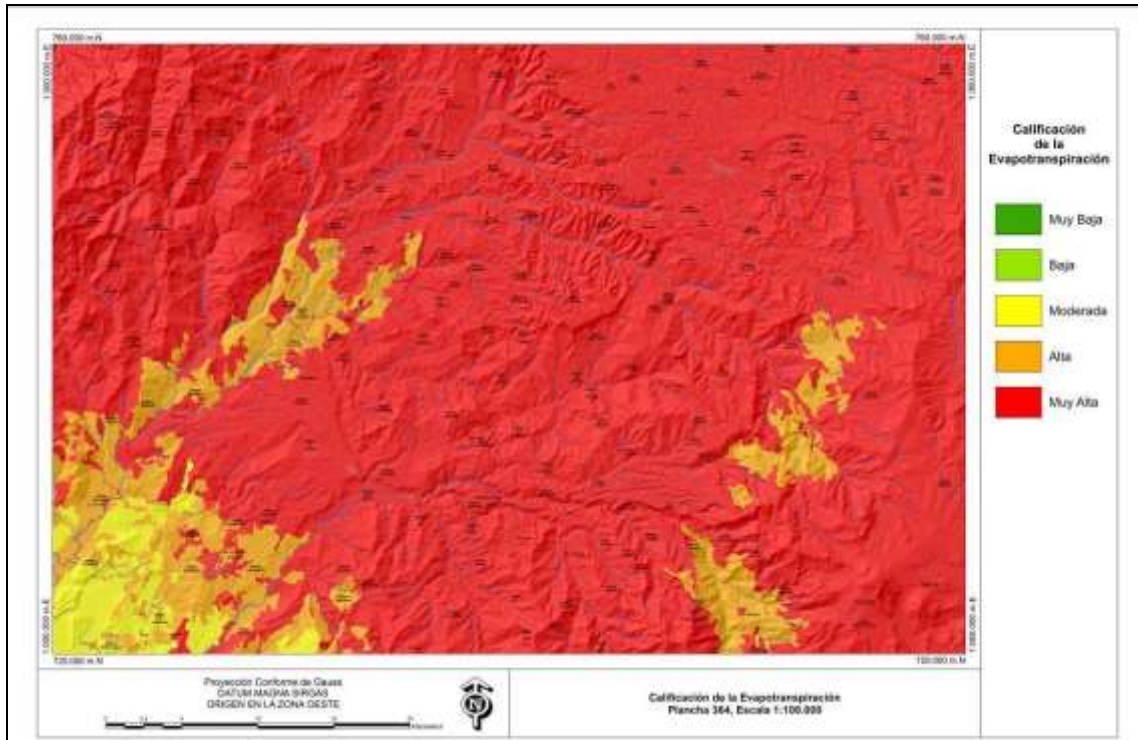
**Figura 9.** Procedimiento para obtención de Evapotranspiración y Coeficiente de cultivo (Kc).

En la Tabla 5, se relacionan las calificaciones de susceptibilidad para el atributo de evapotranspiración dado en términos del coeficiente de cultivo para la Plancha 364 y según metodología del SGC.

**Tabla 5.** Calificación del atributo evapotranspiración de la Plancha 364 – Timbío.

Unidad	Código	Evapotran spiración	Calific ación	Área m <sup>2</sup>	Área %
Arbustal abierto	3222	0,6375	4	12998698,1	0,54
Arbustal denso	3221	0,81	3	26796041,6	1,12
Bosque de galería y ripario	314	0,225	5	23362719,8	0,97
Bosque denso alto de tierra firme	31111	0,15	5	90459060,7	3,77
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3131	0,6	4	16719742,2	0,70
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3132	0,25125	5	4110951,57	0,17
Café	2222	0,8175	3	137282774	5,72
Herbazal denso de tierra firme	32111	0,675	4	39018565,1	1,63
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	321113	0,33	5	29490685,6	1,23
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	321111	0,3	5	38496670,9	1,60
Mosaico de cultivos	241	0,72	4	1715296,8	0,07
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	0,525	4	33351476,7	1,39
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	0,758	4	497542695	20,73
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	0,75	4	464310890	19,35
Mosaico de pastos y cultivos	242	0,931	3	192754750	8,03
Otros cultivos transitorios	211	0,291	5	263572,216	0,01
Pastos enmalezados	233	0,88	3	124276090	5,18
Pastos limpios	231	1	3	346917599	14,45
Plantación forestal	315	0,225	5	41400527,1	1,73
Ríos (50 m)	511	0,39375	5	12035073,7	0,50
Tejido urbano continuo	111	0,15	5	2975015,08	0,12
Tejido urbano discontinuo	112	0,4	5	1500696,44	0,06
Tierras desnudas y degradadas	333	0,75	4	41250002	1,72
Vegetación secundaria baja	3232	0,290625	5	427110,869	0,02
Vegetación secundaria o en transición	323	0,6	4	218980457	9,12
Zonas quemadas	334	0,140625	5	1562587,97	0,07

En la Figura 10, se muestra la calificación del atributo evapotranspiración para la Plancha 364.



**Figura 10.** Categorías de susceptibilidad de la variable cobertura de la tierra, atributo evapotranspiración de la Plancha 364 - Timbío.

En el atributo de evapotranspiración se encuentra con susceptibilidad muy alta las coberturas de arbustales densos, bosques (fragmentados, densos y de galería), cultivos de café, herbazales, mosaicos, pastos, plantaciones forestales, ríos, tierras desnudas, zonas urbanas, zonas quemadas y vegetación secundaria que se encuentran ubicados en los municipios de Bolívar, El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Puracé (Coconuco), Rosas, Sotaró (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca, San Agustín – Huila, La Plata – Huila, como es entendido la evapotranspiración es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua, en este sentido, el bosque que está compuesto de vegetación alberga gran cantidad de agua por medio de las hojas de árboles, arbustos y pastos, agua que posteriormente se convierte en vapor de agua al tener contacto con altas temperaturas.

### 1.3 DRENAJE PROFUNDO

La definición de drenaje profundo, implica la capacidad de las coberturas a la interceptación del volumen caído de precipitación, hasta llegar al suelo, donde comienza el proceso llamado infiltración. Las coberturas boscosas son las que

más dificultan el camino de la lluvia hacia el suelo, debido a su composición y estructura.

El suelo al ser el resultado de la interacción de la meteorización de los minerales y los aportes orgánicos de la vegetación, influye en las propiedades físicas de éstos, y están ligadas a los procesos formadores del suelo, por esta razón las coberturas presentan características edafológicas únicas.

A partir del modelo heurístico planteado por el servicio geológico colombiano SGC, se determinó aplicar el método de curva número que incluye coberturas, suelos y pendiente.

**Curva Numero (CN):** Es un método que permite medir la capacidad de interceptación de las coberturas, este es planteado por el Servicio de conservación de suelos de los Estados Unidos, el cual es utilizado en la modelación hidrológica en la etapa de pérdida relacionada a la infiltración, que correlaciona la potencialidad de las coberturas vegetales y usos de los suelos, junto con las unidades edafológicas y su ubicación espacial (pendiente).

El método CN, contempla cuatro grupos de suelos (A, B, C y D), siendo A un suelo con texturas gruesas (arenas) y altas tasas de infiltración, B y C texturas medias y tasas moderadas de infiltración y D texturas finas, suelos pesados y bajas tasas de infiltración, ver Tabla 6.

**Tabla 6.** Equivalencia de los grupos texturales de suelos (CN) con el drenaje natural.  
Fuente: (Feldman, 2000).\*\* Categorías Grupos Texturales de Suelos.

COMPONENTES DE SUELOS DRENAJE NATURAL (DN)		TIPOS DE SUELOS CURVA NÚMERO (CN)		
Clase	Categoría de Susceptibilidad	Categoría**	Descripción	Tasas de infiltración (mm.h <sup>-1</sup> )
Excesivo	1	A	Arenas profundas, loes, Limos agregados	7,62 – 11,43
Moderado Excesivo				
Bueno (Bien)	2	B	Loes superficial, Suelos franco-arenoso	3,81 – 7,62
Moderado	3			
Imperfecto	4	C	Suelos franco-arcillosos, franco arenosos superficiales, bajos en materia orgánica, y usualmente altos en arcilla	1,27- 3,81
Pobre				
Muy pobre	5	D	Suelos que escurren muy bien, arcillas plásticas pesadas, y ciertos suelos salinos	0 – 1,27
Pantanosos				



La Curva Número (CN) igual a 1 indica que toda la lluvia infiltra y un CN = 100 representa el escurrimiento total de la precipitación. Esto se lleva a las condiciones de cálculo de la Curva Número, los altos implican escorrentías elevadas (= infiltraciones bajas; = laderas degradadas) en cambio, números de curva bajos aseguran altas tasas de infiltración, baja escorrentía superficial y escasa erosión hídrica; estos grupos de suelos están cruzados por las unidades de cobertura ([http://www.oseh.umich.edu/pdf/TR-55\\_curve\\_numbers.pdf](http://www.oseh.umich.edu/pdf/TR-55_curve_numbers.pdf)).

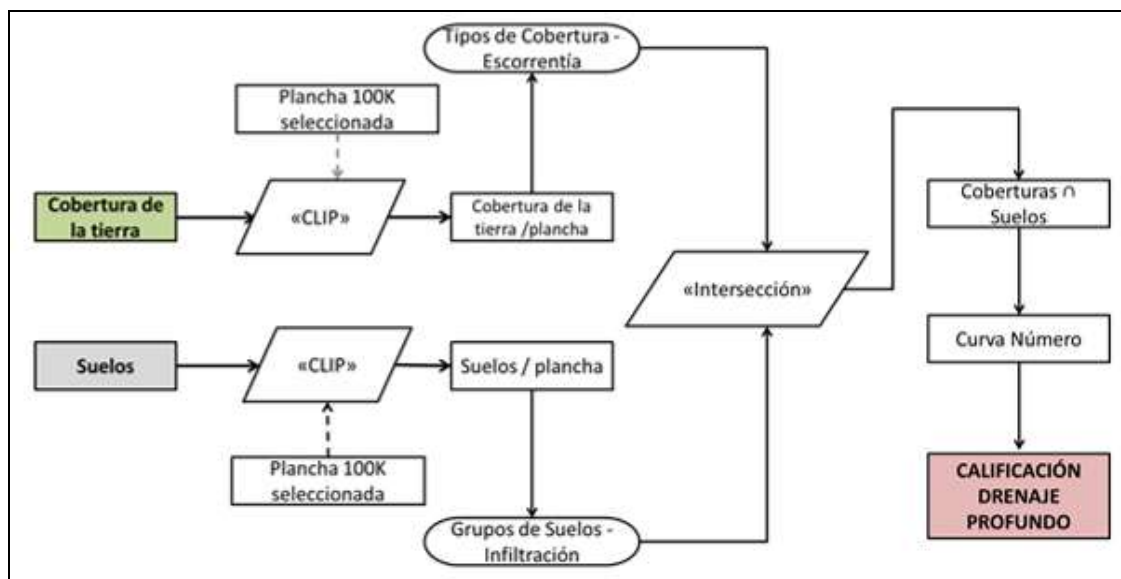
En la Tabla 7, se indica la equivalencia para obtener el dato del tipo de suelo a partir del drenaje natural que suministra el componente de suelos, y se aplica el método de curva número (CN) y ajustado para coberturas y grupos texturales del área de estudio correspondiente al bloque 4.

**Tabla 7.** Valores de Curva Número para unidades de cobertura y grupos de suelos.  
Fuente: Modificado de (Feldman, 2000).

Descripción de las Unidades de Cobertura		Grupos texturales de suelos (CN)			
Código	Unidad	A	B	C	D
111	Tejido urbano continuo	98	98	98	98
112	Tejido urbano discontinuo	77	86	91	94
121	Zonas industriales o comerciales	85	90	92	94
124	Aeropuertos	98	98	98	98
125	Obras hidráulicas	98	98	98	98
131	Zonas de extracción minera	96	96	96	96
142	Instalaciones recreativas	49	69	79	84
211	Otros cultivos transitorios	74	83	88	90
231	Pastos limpios	68	79	86	89
232	Pastos arbolados	49	69	79	84
233	Pastos enmalezados	39	61	74	80
241	Mosaico de cultivos	67	78	85	89
242	Mosaico de pastos y cultivos	68	79	86	89
243	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	49	69	79	84
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	39	61	74	80
245	Mosaico de cultivos y espacios naturales	39	61	74	80
314	Bosque de galería y ripario	30	55	70	77
315	Plantación forestal	45	66	77	83
323	Vegetación secundaria o en transición	36	60	73	79
332	Afloramientos rocosos	98	98	98	98

Descripción de las Unidades de Cobertura		Grupos texturales de suelos (CN)			
Código	Unidad	A	B	C	D
333	Tierras desnudas y degradadas	96	96	96	96
334	Zonas quemadas	96	96	96	96
411	Zonas pantanosas	90	90	90	90
413	Vegetación acuática sobre cuerpos de agua	95	95	95	95
511	Ríos (50 m)	98	98	98	98
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	98	98	98	98
514	Cuerpos de agua artificiales	98	98	98	98
2121	Arroz	77	86	91	94
2131	Algodón	67	78	85	89
2222	Café	62	71	78	81
2231	Otros cultivos permanentes arbóreos	62	71	78	81
3131	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	43	65	76	82
3132	Bosque fragmentado con vegetación secundaria	32	58	72	79
3221	Arbustal denso	30	48	65	73
3222	Arbustal abierto	48	67	77	83
3232	Vegetación secundaria baja	35	56	70	77
3311	Playas	49	68	79	84
3312	Arenales	55	72	81	86
31111	Bosque denso alto de tierra firme	30	55	70	77
31121	Bosque denso bajo de tierra firme	45	66	77	83
31122	Bosque denso bajo inundable	36	60	73	79
32111	Herbazal denso de tierra firme	41	62	74	85
32121	Herbazal abierto arenoso	63	77	85	88
32122	Herbazal abierto rocoso	55	72	81	86
32221	Arbustal abierto esclerófilo	49	68	79	84
321111	Herbazal denso de tierra firme no arbolado	41	62	74	85
321112	Herbazal denso de tierra firme arbolado	41	62	74	85
321113	Herbazal denso de tierra firme con arbustos	41	62	74	85

En la Figura 11, el drenaje profundo considera la cobertura, y se sigue la calificación dada por el grupo de suelos y guía según método curva número.



**Figura 11.** Procedimiento para obtención de Drenaje Natural.

A partir de la extensión HEC- Geohms, que trabaja sobre la plataforma ArcGIS 9.3, y que se puede manejar y desplegar en ArcMap, donde se genera una capa resultante donde califica el valor de una cobertura en cada unidad de suelo, dando un valor entre 30 y 98.

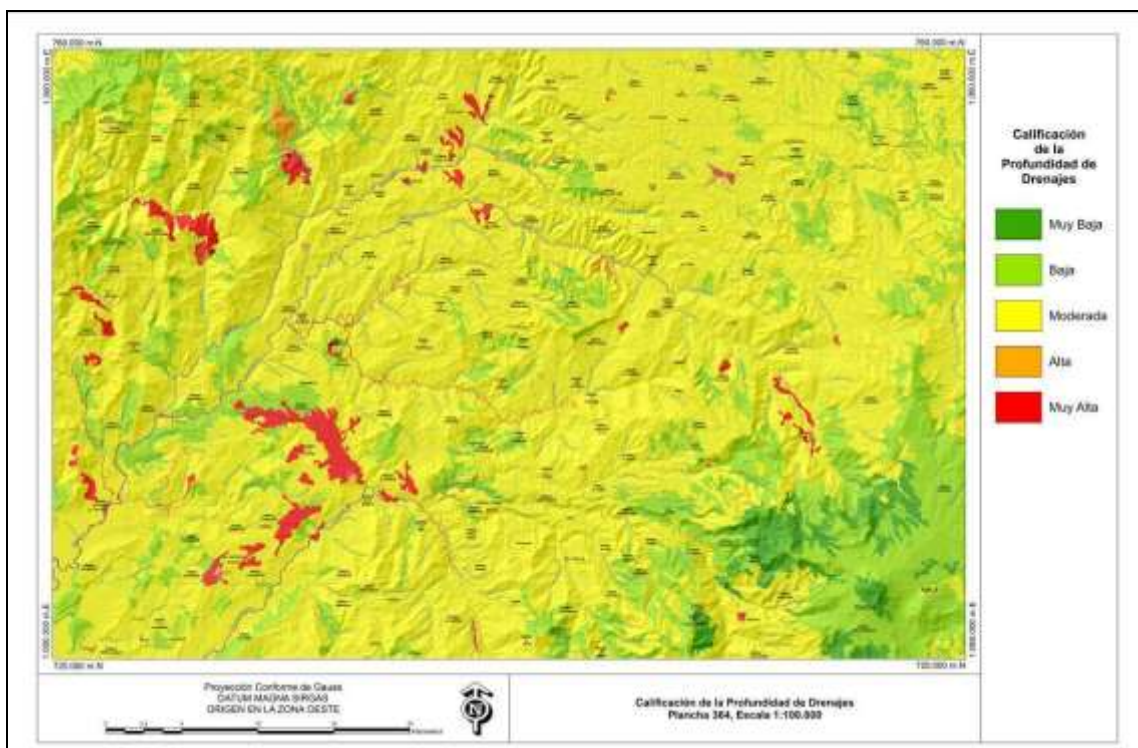
En la Tabla 8, el drenaje profundo también considera la cobertura, y se sigue la calificación por grupo de suelos y guía según método curva número.

**Tabla 8.** Categorización y calificación del atributo Drenaje profundo.

DRENAJE PROFUNDO (DP)					
Clases de drenaje profundo	Curva número CN	Drenaje profundo	Susceptibilidad	Categorización	Coberturas Asociadas
Muy profundo	30 - 40	Excelente	1	Muy baja	Bosques
Profundo	41 - 60	Bueno	2	Baja	Arbustales densos
Moderadamente profundo	61 - 80	Moderadamente bueno	3	Media	Herbazales
Superficial	81 - 90	Regular	4	Alta	Áreas Agrícolas
Muy superficial	91 - 98	Malo	5	Muy alta	Pastos

Al tener estas características se obtiene un valor que oscila entre 30 y 98, siendo 30 un valor el cual representa una cobertura i-enésima en una unidad de suelos i-enésima, que posee la mayor posibilidad de infiltración, en este rango se encuentran los bosques con una buena condición de conservación y 98 es un valor el cual representa coberturas impermeables, las cuales no poseen la cualidad de infiltración, por ejemplo los cuerpos de agua, ríos, zonas urbanizadas, zonas degradadas, entre otras.

En la Figura 12, se muestra la calificación del atributo drenaje profundo para la Plancha 364.



**Figura 12.** Categorías de susceptibilidad de la variable cobertura de la tierra, atributo drenaje profundo de la Plancha 364 - Timbío.

En la Tabla 9 se relacionan las calificaciones de susceptibilidad para el atributo de drenaje profundo de la Plancha 364.

**Tabla 9.** Calificación del atributo drenaje profundo de la Plancha 364 – Timbío.

Unidad	Código	Drenaje Profundo	Calificación	Área m <sup>2</sup>	Área %
Arbustal abierto	3222	48	2	12998698,1	0,54
Arbustal denso	3221	30	1	26796041,6	1,12
Bosque de galería y ripario	314	55	2	23362719,8	0,97
Bosque denso alto de tierra firme	31111	30	1	90459060,7	3,77
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3131	43	3	16719742,2	0,70
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3132	32	2	4110951,57	0,17
Café	2222	71	4	137282774	5,72
Herbazal denso de tierra firme	32111	62	3	39018565,1	1,63
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	3 32111	74	3	29490685,6	1,23
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	1 32111	41	2	38496670,9	1,60
Mosaico de cultivos	241	78	3	1715296,8	0,07
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	61	1	33351476,7	1,39
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	69	3	497542695	20,73
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	39	3	464310890	19,35
Mosaico de pastos y cultivos	242	79	4	192754750	8,03
Otros cultivos transitorios	211	83	4	263572,216	0,01
Pastos enmalezados	233	64	4	124276090	5,18
Pastos limpios	231	79	4	346917599	14,45
Plantación forestal	315	66	3	41400527,1	1,73
Ríos (50 m)	511	98	5	12035073,7	0,50
Tejido urbano continuo	111	98	5	2975015,08	0,12
Tejido urbano discontinuo	112	94	4	1500696,44	0,06
Tierras desnudas y degradadas	333	96	5	41250002	1,72
Vegetación secundaria baja	3232	35	1	427110,869	0,02
Vegetación secundaria o en transición	323	60	2	218980457	9,12
Zonas quemadas	334	96	5	1562587,97	0,07

Para el atributo de drenaje profundo se presentan zonas de susceptibilidad muy alta en los municipios Bolívar, El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Rosas, Sotaró (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca, específicamente en coberturas como ríos, zonas urbanas (tejido continuo y discontinuo), tierras desnudas y zonas quemadas, las zonas de susceptibilidad alta en los municipios de El Tambo, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Rosas y Timbío – Cauca, la mayoría de la plancha aproximadamente un 77 % del área total, presenta una susceptibilidad moderada en los municipios de Bolívar, El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Puracé (Coconuco), Rosas, Sotaró (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca, San Agustín – Huila, las zonas de susceptibilidad baja en los municipios de Bolívar, El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Puracé (Coconuco), Rosas, Sotaró (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca, San Agustín – Huila, las zonas de susceptibilidad muy baja en los municipios de La Sierra, La Vega y Sotaró (Paispamba) – Cauca, San Agustín – Huila.

#### 1.4 NÚMERO DE ESTRATOS

Según la Tabla 10, la información se obtiene a partir de la metodología planteada por el SGC y de la capa oficial de coberturas, CORINE LAND COVER COLOMBIA (CLCC) IDEAM, a partir de la descripción de las Unidades Cartográficas de Cobertura de la Tierra, expresadas en la planchas asignadas al Bloque a escala 1:100.000 (IDEAM, 2010) según Leyenda del Sistema de Clasificación analizando las asociaciones y consolidaciones que indican la estratificación presente en dichas unidades.

Las coberturas de la tierra proporcionan información fundamental para diversos procesos nacionales como los mapas de ecosistemas, conflictos de uso del territorio, ordenación de cuencas y del territorio, seguimiento a la deforestación de los bosques, y los inventarios forestales, sólo por citar algunos.

La leyenda nacional para la zonificación de las coberturas de la tierra a escala 1:100.000 adaptada al territorio colombiano proporciona las características temáticas que el país requiere para el conocimiento de sus recursos naturales, para la evaluación de las formas de ocupación y apropiación del espacio geográfico, así como para la actualización permanente de la información, con lo cual se facilitan los procesos de seguimiento de los cambios y la evaluación de la dinámica de las coberturas terrestres.

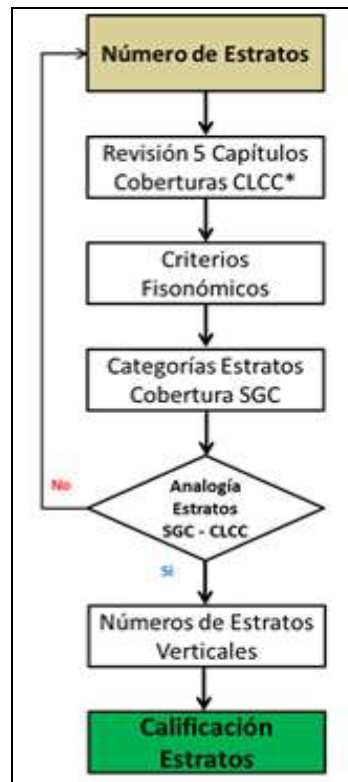
La leyenda nacional fue estructurada de manera jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en “criterios fisonómicos de altura y densidad” y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo, ver Figura 13.

En el capítulo 1 se presentan las coberturas correspondientes a los territorios artificializados, que comprende las áreas de las ciudades, los centros poblados y aquellas áreas periféricas que están siendo incorporadas a las zonas urbanas.

En el capítulo 2 se incluyen las coberturas correspondientes a los territorios agrícolas, que comprenden las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas.

Las coberturas correspondientes a los bosques y las áreas seminaturales son descritas en el capítulo 3, donde se incluyen para las primeras un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo; y para las segundas, las coberturas presentes en aquellos territorios constituidos por suelos desnudos y afloramientos rocosos y arenosos.

En los capítulos 4 y 5 se describen las coberturas correspondientes a las áreas húmedas y los cuerpos de agua respectivamente, donde se incluyen los terrenos anegadizos e inundables y las áreas cubiertas por cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales. La Figura 13 muestra el procesamiento para obtener la calificación y el número de estratos.



**Figura 13.** Procedimiento para obtención de Número de Estratos.

**Tabla 10.** Categorización y calificación del atributo Número de estratos.

No. de Estratos		
Estratos de la cobertura	Rango (No. de estratos verticales)	Susceptibilidad
No presenta	0	5
Baja densidad estructural	1	4
Media densidad estructural	2	3
Moderadamente Alta	3	2
Alta densidad estructura	4	1

La Tabla 11 relaciona las calificaciones de susceptibilidad para el atributo número de estratos de la Plancha 364.

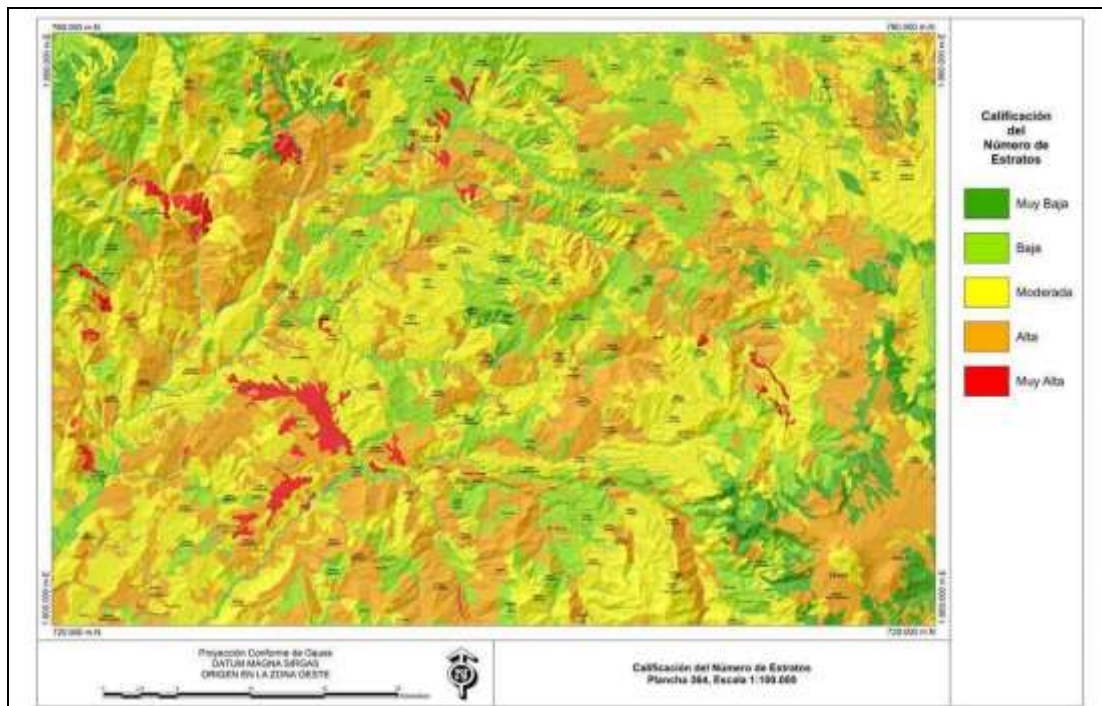
**Tabla 11.** Calificación del atributo número de estratos de la Plancha 364 – Timbío.

Unidad	Código	Estratos	Calificación	Área m <sup>2</sup>	Área %
Arbustal abierto	3222	1	4	12998698,1	0,54
Arbustal denso	3221	2	3	26796041,6	1,12
Bosque de galería y ripario	314	4	1	23362719,8	0,97
Bosque denso alto de tierra firme	31111	4	1	90459060,7	3,77
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	3131	3	2	16719742,2	0,70
Bosque fragmentado con vegetación secundaria	3132	3	2	4110951,57	0,17
Café	2222	1	2	137282774	5,72
Herbazal denso de tierra firme	32111	1	4	39018565,1	1,63
Herbazal denso de tierra firme con arbustos	321113	1	4	29490685,6	1,23
Herbazal denso de tierra firme no arbolado	321111	1	4	38496670,9	1,60
Mosaico de cultivos	241	1	4	1715296,8	0,07
Mosaico de cultivos y espacios naturales	245	2	3	33351476,7	1,39
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	243	3	2	497542695	20,73
Mosaico de pastos con espacios naturales	244	2	2	464310890	19,35
Mosaico de pastos y cultivos	242	2	3	192754750	8,03



Unidad	Código	Estratos	Calificación	Área m <sup>2</sup>	Área %
Otros cultivos transitorios	211	1	4	263572,216	0,01
Pastos enmalezados	233	1	4	124276090	5,18
Pastos limpios	231	1	4	346917599	14,45
Plantación forestal	315	1	4	41400527,1	1,73
Ríos (50 m)	511	0	1	12035073,7	0,50
Tejido urbano continuo	111	0	2	2975015,08	0,12
Tejido urbano discontinuo	112	1	4	1500696,44	0,06
Tierras desnudas y degradadas	333	0	5	41250002	1,72
Vegetación secundaria baja	3232	1	4	427110,869	0,02
Vegetación secundaria o en transición	323	2	3	218980457	9,12
Zonas quemadas	334	0	5	1562587,97	0,07

En la Figura 14, se muestra la calificación del atributo número de estratos para la Plancha 364.



**Figura 14.** Categorías de susceptibilidad de la variable cobertura de la tierra, atributo número de estratos de la Plancha 364 - Timbío.

Para el atributo de estrato en un 31,45 % del área de la plancha se encuentra con una susceptibilidad muy alta y alta distribuida por toda el área de la plancha y se caracteriza por coberturas como tierras desnudas, zonas quemadas, arbustales abiertos, cultivos de café, herbazales, mosaicos, cultivos transitorios, pastos (limpios y enmalezados), plantación forestal, zonas urbanas (tejido discontinuo), y vegetación secundaria baja, las coberturas con susceptibilidad muy baja son bosques (densos y de galería) y cuerpos de agua principalmente.

Como se indicó en el método de cálculo, la calificación está dada por la metodología del SGC y directamente relacionada con la unidad de cobertura según Corine Land Cover Colombia.

### 1.5 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD TOTAL DE LA VARIABLE COBERTURA

Para el cálculo de la Susceptibilidad a los movimientos en masa, se aplicó la ecuación matemática, dada por la metodología del SGC:

$$CAL = \frac{PR + DN + ETP\_KC + NE}{4}$$

Dónde:

**PR** = Profundidad Radicular.

**DN** = Drenaje Natural.

**ETP\_KC** = Evapotranspiración – Coeficiente de Cultivo.

**NE** = Número de Estrato.

Los atributos Profundidad radicular, Drenaje profundo, Evapotranspiración y Numero de estratos de la variable de coberturas se calificaron según metodología del SGC, obteniendo una variabilidad en los resultados, ya que se han relacionado con suelos, pendiente, altitud y las mismas coberturas presentes en el área de estudio, así como también tratan de presentar un acercamiento a la realidad de la dinámica ambiental del área de estudio.

En la Figura 15, se presenta la susceptibilidad final de la variable cobertura de la tierra, de la Plancha 364, y a continuación se describe cada una de ellas.

#### 1.5.1 Susceptibilidad Muy Baja

las zonas de susceptibilidad muy baja ocupan el 0,50% del área total de la Plancha (12,04 Km<sup>2</sup>), se caracterizan las coberturas como ríos en los municipios de Bolívar, El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Rosas, Sotará (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca.

### **1.5.2 Susceptibilidad Baja**

Las zonas de susceptibilidad baja ocupan el 5,32% del área total de la Plancha (127,59 km<sup>2</sup>), se caracterizan las coberturas como arbustales densos, bosques (densos, de galería y fragmentados), mosaicos de cultivos (pastos y espacios naturales), mosaico de pastos con espacios naturales y zonas urbanas (tejido continuo), en los municipios de El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Puracé (Coconuco), Rosas, Sotaró (Paispamba), y Timbío – Cauca, San Agustín – Huila

### **1.5.3 Susceptibilidad Media**

Las zonas de susceptibilidad media ocupan un área representativa del 67,70% del área de la Plancha (1624,74 Km<sup>2</sup>), caracterizándose por coberturas como arbustales, bosques (densos y fragmentados), herbazales densos de tierra firme, mosaicos de cultivos (con pastos y espacios naturales), mosaicos de pastos (con espacios naturales y cultivos), pastos enmalezados, plantaciones forestales y vegetación secundaria, en los municipios Bolívar, El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Puracé (Coconuco), Rosas, Sotaró (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca, San Agustín – Huila, La Plata – Huila.

### **1.5.4 Susceptibilidad Alta**

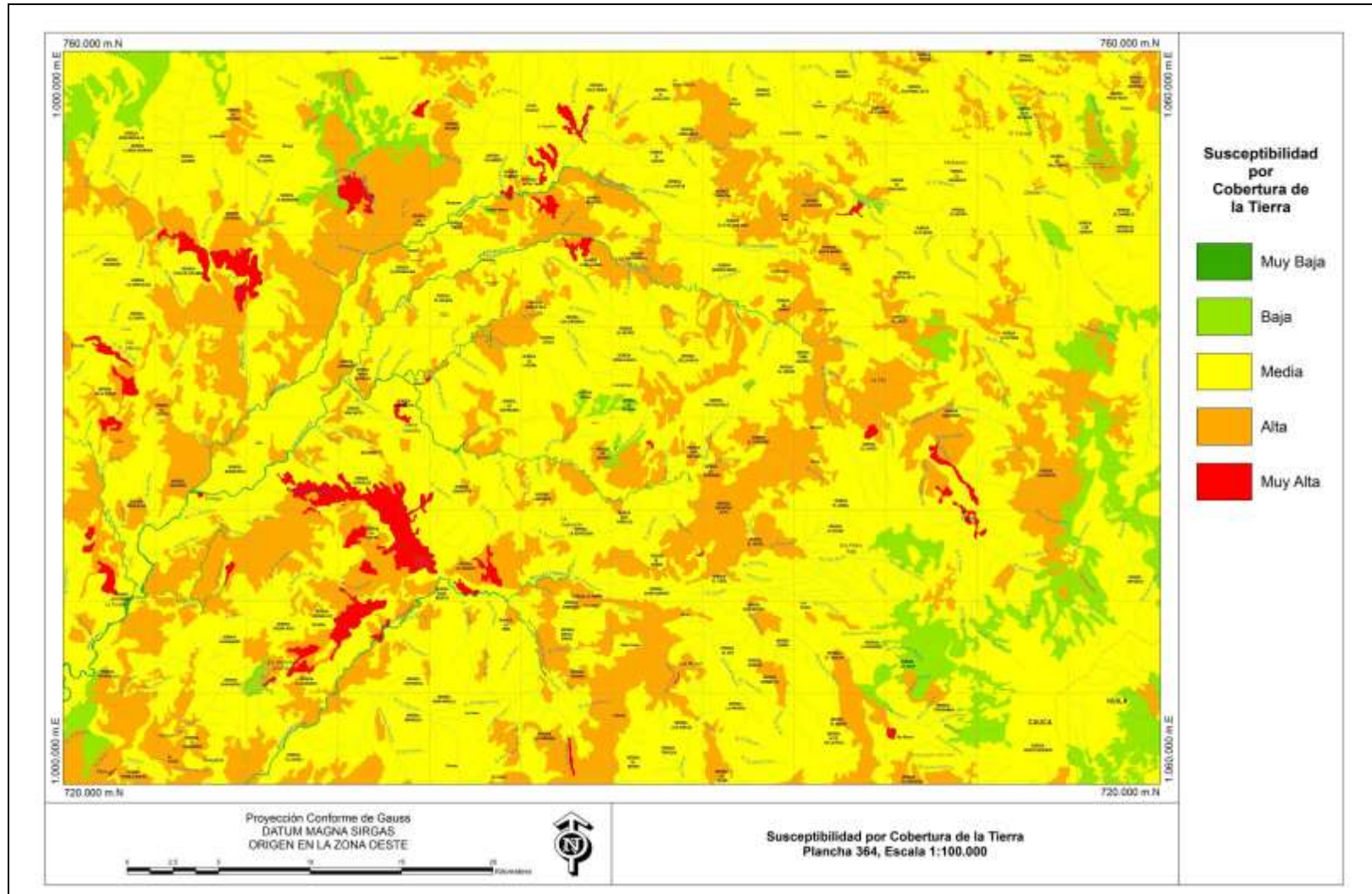
Las zonas de susceptibilidad alta ocupan un área representativa del 24,64% del área de la Plancha (591,33 Km<sup>2</sup>), caracterizándose por coberturas como arbustales abiertos, cultivos de café, mosaicos de pastos y cultivos, cultivos transitorios y pastos (limpios y enmalezados), en los municipios de Bolívar, El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Rosas, Sotaró (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca, San Agustín – Huila.

### **1.5.5 Susceptibilidad Muy Alta**

Las zonas de susceptibilidad muy alta ocupan un área representativa del 1,85 % del área de la plancha (44,31 Km<sup>2</sup>), caracterizándose por coberturas como zonas urbanas (tejido discontinuo), tierras desnudas y zonas quemadas en los municipios de El Tambo, La Sierra, La Vega, Patía (El Bordo), Popayán, Rosas, Sotaró (Paispamba), Sucre y Timbío – Cauca.

Según estos resultados se puede deducir que las zonas con susceptibilidad muy alta y alta se caracterizan por la presencia de coberturas como zonas urbanas (tejido discontinuo), tierras desnudas, zonas quemadas, arbustales abiertos, cultivos de café, mosaicos, cultivos transitorios y pastos (limpios y enmalezados), las zonas de susceptibilidad baja y muy baja, se caracterizan por arbustales densos, bosques, mosaicos, zonas urbanas (tejido continuo), y cuerpos de agua principalmente, este tipo de coberturas no representa riesgo debido a su estabilidad estructural, caso contrario de las coberturas

antropizadas las cuales se ven modificadas constantemente aumentando la susceptibilidad ejemplo de ello son la talas de bosque para el establecimiento de zonas de ganadería y cultivos.



**Figura 15.** Categorías de susceptibilidad final de la variable cobertura de la tierra.