

**ANEXO A**  
**SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA**

## 1. GEOLOGÍA

Para el proceso de zonificación, se utilizaron las planchas geológicas escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano, las cuales en general contienen información litológica a nivel de formación y estructural convencional, que permiten la caracterización litoestratigráfica de las unidades cartografiadas a la escala del estudio. Dentro de una Formación, la distribución espacial de los tipos litológicos es uniforme y generalizada y no muestran necesariamente el estado o condición física de los materiales. En ese sentido se hace necesaria la discriminación litológica (tipos de roca o sedimentos del área).

### 1.1 LITOLOGÍA

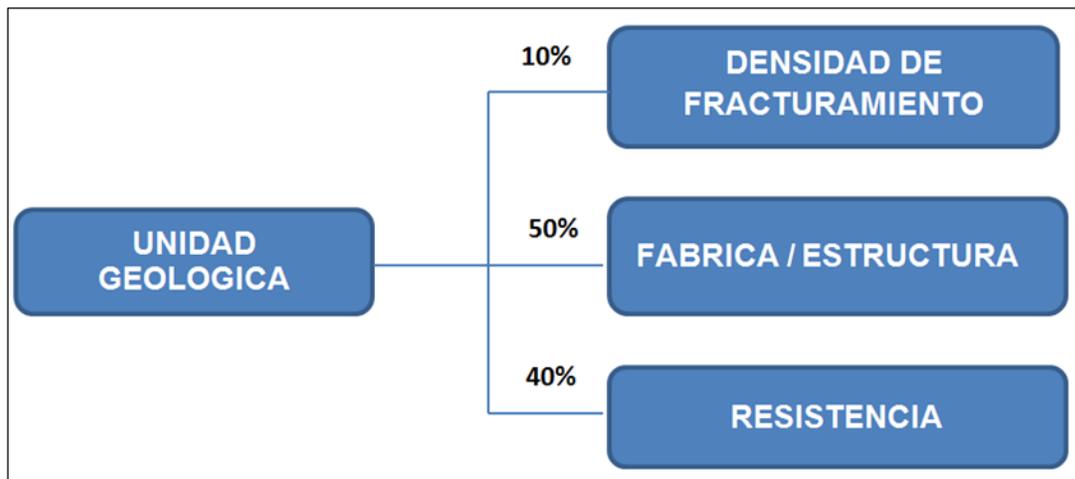
La caracterización geológica con fines de aplicación en los estudios de ingeniería, debe contemplar los elementos básicos de las propiedades y características de los materiales rocosos. Para esto se recomienda describir y clasificar las rocas de acuerdo con las clasificaciones propuestas por la Comisión de Cartografía de la International Association of Engineering Geology (IAEG) en 1981. Así mismo, anotar todas las discontinuidades estructurales de los “macizos de roca dura”, es decir, aquellas fallas de origen geológico que controlan estructuralmente el comportamiento de los macizos.

Para la escala de trabajo, la unidad de mapeo que corresponde es la unidad EG (Grupo de ingeniería), de las propuestas por la ENGINEERING GEOLOGICAL MAPPING IAEG en UNESCO (1976). Esta unidad se define como conjunto de formaciones con características paleogeográficas y tectónicas similares y con características litológicas comunes; se le atribuye comportamiento muy general, con aplicaciones a estudios de grandes regiones. En la ponderación de la calidad de las rocas se consideran atributos de textura/fábrica, densidad de fracturamiento y dureza (Figura 1), como atributos a calificar a partir del mapa geológico escala 1:100.000 de las planchas geológicas.

#### 1.1.1 Resistencia

Tomando como base las planchas escala 1:100.000, generadas por el Servicio Geológico Colombiano, se enlistan los diferentes tipos de rocas que afloran en el área de estudio y se le empiezan a asignar rangos de resistencia basados en la Tabla 1 y Tabla 3. Si en este listado existen rocas que no presentan rangos de resistencia, se hace necesario hacer una revisión bibliográfica en lo que

respecta a ensayos de compresión simple, realizados en rocas de la zona o si en su defecto no existe, se debe recurrir a la bibliografía a nivel internacional, se hace énfasis que los rangos de resistencia deben de ser de rocas colombianas, porque los comportamientos de las mismas son totalmente diferentes, dependiendo de su ambiente y ubicación.



**Figura 1.** Diagrama de variables dentro de la temática Unidad geológica, con sus respectivos pesos. Tomada de SGC, 2013.

Las propiedades mecánicas incluyen la resistencia a la compresión, impacto y penetración por otro cuerpo, estas propiedades que en última instancia resultan de la composición química y mineralógica de los materiales, de su textura y de su estructura, permiten caracterizar la resistencia de los materiales a los agentes de deterioro. Esto último gobierna la vida útil del material, Los rangos de referencia que se adoptan son los de Hoek 1997 (Tabla 1) y se basan en información documentada y datos de resistencia a nivel nacional e internacional, en la Tabla 2 se presenta la calificación propuesta para los diferentes tipos de rocas, dependiendo de su fábrica y estructura. En la Tabla 3 se hace un resumen de las rocas más comunes con los rangos de resistencias de diferentes autores.

### 1.1.2 Fábrica y/o Estructura

Según Mitchel el término “fábrica” se refiere al arreglo de partículas, grupos de partículas y espacios vacíos en un suelo. El término “estructura” es utilizado por algunos como sinónimo de fábrica, sin embargo, la estructura tiene un significado más amplio, que integra los efectos combinados de la fábrica, composición y fuerzas entre partículas. La fábrica, estudiada a nivel de microscopía óptica se conoce como “microfábrica”, mientras que los rasgos que pueden ser identificados a simple vista o con ayuda de una lupa, tales como estratificación, fisuramiento, vacíos y no homogeneidad, se identifican como la

“macrofábrica”. La fábrica tiene gran influencia en el comportamiento de los suelos y rocas, en especial en lo referente a la anisotropía que genera, debido a la orientación de las partículas, la cual así mismo gobierna anisotropía en las propiedades geomecánicas, la clasificación de las rocas según su fábrica/estructura, puede servir para establecer diferencias de las rocas, en cuanto a su resistencia y direccionalidad de las propiedades mecánicas.

**Tabla 1.** Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas, según Hoek 1997.

Grade*	Term	Uniaxial Comp. Strength (MPa)	Point Load Index (Mpa)	Field estimate of strength	Examples
R6	Extremely strong	>250	>10	Specimen can only be chipped with a geological hammer	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite
R5	Very strong	100-250	4 - 10	Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff
R4	Strong	50 - 100	2 - 4	Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale
R3	Medium strong	25 - 50	1 - 2	Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone
R2	Weak	5 - 25	**	Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer	Chalk, rock salt, potash
R1	Very weak	1 - 5	**	Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife	Highly weathered or altered rock
R0	Extremely weak	0,25 - 1	**	Indented by thumbnail	Stiff fault gouge
* Grade according to Brown (1981)					
** Point load test on rocks with a uniaxial compressive strength below 25 Mpa are likely to yield high ambiguous results.					

**Tabla 2.** Propuesta de calificación de las rocas dependiendo su fábrica y estructura.  
(SGC, 2013).

Grado	Término	Propuesta de calificación
R6	Extremadamente dura	1
R5	Muy dura	1
R4	Dura	2
R3	Moderadamente dura	3
R2	Blanda	4
R1	Muy blanda	5
R0	Extremadamente blanda	5

**Tabla 3.** Resumen de resistencia al compresión simple de diferentes autores, Montero et al (1982), Jhonson y Degraff (1988) y Hoek 2000.

TIPO DE ROCA SANA	RELACIONES ENTRE TEXTURA, EDAD Y RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE LAS ROCAS COLOMBIANAS, ADAPTADA DE MONTERO, GONZALEZ Y ÁNGEL (1982). Kg7 Cm2		COMPRESION SIMPLE EN Mpa, TOMADO DE JOHNSON Y DEGRAFF, 1988			CAMPOS DE ESTIMACION A LA COMPRESION SIMPLE SEGÚN HOEK, 2000, Mpa.	RANGOS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LAS ROCAS EN Kg/Cm2.
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	PROMEDIO		
Cuarcita						>250	>2500
Chert						>250	>2500
Diabasa						>250	>2500
Hornfels							3031
Andesita							1314,61-2041,3
Basalto			104,8	358,6	214,1	>250	2140-2931
Cuarzodiorita	1443	1856					1443-1856
Cuarzomonzonita							2144,15
Diorita	1225	2011					1757-2931
Gabro						100-250	1757-2931
Granofiro							2040
Granito monte sorrel							1764
Granito Eskdale							1983
Granito Dalbeattie							1478
Porfido Monzonita							1272
Anfibolita						100-250	1000-2500
Conglomerado	1059	1456					1059-1456
Dolomita							780-2439
Granito			48,8	324	181,7	>250	977-2440
Granodiorita						100-250	1000-2500
Marmol			62	227,6	120,5	100-250	620-2270
Pizarra							851-2440
Riolita						100-250	1000-2500
Arcillolita						50-100	500-1000
Argilita	536	820					536-820
Esquisto			8	165,6	57,8	50-100	500-1000
Filita						50-100	500-1000
Gneis	710	880	84,5	251	174,4	100-250	492-1898
Limolita	599	975	35,3	373	120,9	100-250	293-975
Toba						100-250	530-1000
Arenisca	212	1456	10	235,2	90,1	100-250	212-1456
Carbon						may-25	50-492
Carbon							52,775
Grauvaca							555
Lodolita						25-50	250-500
Shale	176	463	34,3	231	103	50-100	176-1030
Shale Arcilloso							12-73

A continuación se presenta la Tabla 4, las características generales según el tipo de textura/fabrica y en la Tabla 5, muestra la calificación propuesta para los diferentes tipos de rocas según su textura/fabrica.

**Tabla 4.** Textura/Fábrica de las rocas. Tomado INGEOMINAS (2004).

Textura/Fábrica	Características
Cristalina Masiva	En rocas de cualquier origen (ígneo, metamórfico o sedimentario) cuyas partículas minerales están entrelazadas y con orientación aleatoria. Corresponde a las rocas más resistentes y menos deformables, salvo las rocas volcánicas cuya calidad es un poco dispersa según sean porosas o no lo sean. Ejemplos: granitos, basaltos, calizas, chert, uarcitas y mármoles.
Cristalina Foliada y Rocas de falla	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, con una orientación preferencial a lo largo de la cual las rocas son menos resistentes. Su calidad se dispersa como consecuencia de su fábrica orientada, es decir, por los planos de esquistosidad y foliación. Ejemplos: Pizarras, filitas, esquistos, milonitas.
Cristalinas Bandeadas	En rocas cuyas partículas minerales están mecánicamente entrelazadas, conformando bandas composicionales con alguna influencia direccional. Ejemplo: Neis.
Clásticas Cementadas	En rocas con partículas cementadas, con resistencia y deformación variable, dependiendo de la calidad del material cementante, la relación matriz-clastos y el grado de empaquetamiento general que posea. Ejemplos: areniscas, conglomerados.
Clásticas Consolidadas	En estas rocas se presenta comportamiento variable esfuerzo-deformación, con direccionalidad de sus propiedades mecánicas. La resistencia se acrecienta con el grado de consolidación diagenética. Ejemplos: arcillolitas, lodolitas, shales.

**Tabla 5.** Calificación propuesta tipo de fábrica. Tomado INGEOMINAS (2009).

Fabrica/estructura	
Atributo	Propuesta de Calificación
N/A	0
Cristalina Masiva	1
Cristalinas Bandeadas	2
Clásticas Cementadas	3
Clásticas Consolidadas	4
Cristalina Foliada y Rocas de falla	5

Para realizar el análisis de las propiedades geológicas de la Plancha 137 - El Cocuy, es necesario realizar un compendio de las unidades Litoestratigráficas descritas, tanto en la geología regional de la Sierra Nevada del Cocuy, Plancha 137 - El Cocuy. Departamento de Boyacá y Arauca. (INGEOMINAS, 1981), así como en la Reseña explicativa mapa geológico preliminar Plancha 137 - El Cocuy. Escala 1:100.000. (INGEOMINAS, 1985). De aquí se extraen las

características litológicas para el análisis de las propiedades de Textura y Resistencia, cabe aclarar que las unidades superficiales se dividen en dos atributos independientes, como son la roca y los depósitos, cada uno de ellos se evalúan por independiente, para el cálculo de la variable de susceptibilidad de la geología.

Localizada sobre la Cordillera Oriental colombiana, en el área de la Sierra Nevada de El Cocuy, la zona de estudio se encuentra enmarcada dentro del borde oriental del Macizo de Santander, en el sector occidental de la Plancha 137 - El Cocuy y la Cuenca del Cocuy, localizada en el centro y en el oriente.

El área de interés, consta en su totalidad de una secuencia estratigráfica sedimentaria, con un espesor que sobrepasa los 7000 m, de edades cretáceas y paleógenas, así como diferentes tipos de depósitos (la mayoría de ellos glacial y fluvioglacial) de edad Cuaternario, los cuales se encuentran rellenando antiguas lagunas glaciares, principalmente hacia el sector de la Sierra Nevada del Cocuy.

Las formaciones del Cretáceo Inferior, se encuentran caracterizadas por bancos gruesos de arenas cuarcíticas, de grano fino a grueso, con intercalaciones de lodolitas oscuras micáceas. (INGEOMINAS, 1981). Todos los contactos entre estas formaciones son concordantes y la sedimentación parece no haberse interrumpido de forma notoria. Las unidades litológicas que hacen parte de esta edad son: la Formación Río Negro o Grupo Cáqueza (Kirn), Formación Tibú – Mercedes o Formación Apón (Kitm) y la Formación Une o Formación Aguardiente (Kia), (INGEOMINAS, 1985).

Las unidades litológicas del Cretáceo Inferior contrastan con las unidades del Cretáceo Superior, estas últimas están constituidas principalmente por sedimentos detríticos finos y depósitos bioquímicos y ortoquímicos (shales lodosos, calizas y chert) y por algunos niveles de arenisca, que varían su tamaño de grano de medio a grueso. Las unidades pertenecientes al Cretáceo Superior son las siguientes: Formación Chipaque o Capacho (Ksc), Formación La Luna (Ksl) y Formación Colon Mito Juan (Kscm), (INGEOMINAS, 1981).

Los sedimentos del Paleógeno son principalmente de origen detrítico, constituidos de areniscas de grano fino a grueso, conglomerados, shales limosos, y algunas capas de carbón. Hacen parte de esta serie la Formación Barco (Tpb), Formación Los Cuervos (Tplc), Formación Mirador (Tem) y Formación Carbonera (Tec), (INGEOMINAS, 1981).

## 1.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

Para la definición de las unidades litológicas presentes en el mapa geológico, se utilizó la nomenclatura de la Concesión Barco (INGEOMINAS, 1981 & INGEOMINAS, 1985).

### 1.2.1 Formación Río Negro o Cáqueza (Kirn)

La Formación Río Negro está formado por areniscas cuarcíticas, mal calibradas, de grano anguloso fino a grueso, con estratificación cruzada, intercaladas con lodolitas oscuras o verdosas, junto a lentes de conglomerados oligomícticos y algunas capas de lodolitas grises, calcáreas y yesíferas. (INGEOMINAS, 1981).

En general se calificó esta formación como areniscas, calificada texturalmente como clástica cementada y en términos de resistencia se ubica como una roca dura.

Esta Formación abarca todo el costado oriental del área de estudio, sobre las partes altas de la Sierra Nevada del Cocuy, representando un amplio rango de valores de densidad de fracturamiento, abarcando valores desde muy bajos hasta valores muy altos, asociados estos últimos, al trazo de la Falla de Sácama – Gibraltar, la cual es una falla de tipo inversa que divide el bloque de la Sierra Nevada en dos. Esta unidad clástica cementada presenta suelos de espesores bajos o superficiales (de 25 a 50 cm) y moderadamente profundos (de 50 cm a 1 m de espesor), en un área caracterizada por un clima muy húmedo, con ambientes que oscilan desde fríos hasta nivales.

### 1.2.2 Formación Tibú – Mercedes o Apón (Kitm)

Los sedimentos de esta formación fueron divididos en 4 segmentos (F1 a F4). El segmento inferior se constituye por varios bancos de calizas biodetríticas, fosilíferas, un poco arenosas, de color gris oscuro e intercalaciones de lodolitas oscuras. El segmento F2 está formado principalmente por shale lodoso, negro o rojo, en gruesos bancos, intercalada por delgadas capas de areniscas cuarcíticas de grano fino, generalmente micáceas. Hacia la parte superior, miembro F3, se destacan unos bancos de arenisca blancas cuarcíticas de grano medio a micro-conglomeráticas, con cemento silíceo, intercaladas entre bancos de shales lodosas oscuras y de areniscas de grano fino, con presencia de nódulos piritosos, en algunas ocasiones. La parte superior se destaca por presentar calizas biodetríticas, fosilíferas, muy macizas con intercalaciones de shale lodoso, oscuro y bancos de areniscas cuarcíticas de grano medio a fino, con estructuras entrecruzadas. (INGEOMINAS, 1981).

En general para esta formación, predomina la litología correspondiente a shale, de allí su calificación textural como clástica consolidada; mientras que en términos de resistencia se describe como una roca dura.

Esta unidad litológica se distribuye de forma muy heterogénea, dentro del área de estudio, presentando rangos de valores de densidad de fracturamiento entre muy bajos y altos, asociados estos últimos, a fallas satélites correspondientes a la Falla de Chiscas; sin embargo, para esta unidad clástica consolidada, predominan valores de baja densidad. La Formación Tibú – Mercedes o Apón presenta suelos de espesores muy variables, con profundidades de bajas o superficiales a altas o profundas, con espesores desde 25 cm hasta 150 cm. El clima imperante oscila entre templado a extremadamente frío y desde seco a húmedo.

### 1.2.3 Formación Aguardiente o Une (Kia)

La parte inferior de la Formación está constituida por areniscas claras, cuarcíticas de grano medio a micro-conglomeráticas con estructuras entrecruzadas, planas unidireccionales, con intercalaciones delgadas de shales negros, carbonosos y micáceas. La parte intermedia está formada por areniscas cuarcíticas, claras, con intercalaciones de lodolitas negras micáceas y areniscas finas oscuras, mientras que el miembro superior de esta formación se caracteriza por representar un nivel más blando, formado por areniscas de grano fino a medio, con delgadas intercalaciones de shales limoso oscuros. (INGEOMINAS, 1981).

La Formación Une o Aguardiente (Kia), se clasificó texturalmente como clástica cementada, debido a que la litología predominante eran las areniscas. En términos de resistencia se define como una roca dura.

Esta Formación se localiza hacia el sector central y el borde suroccidental, exhibiendo valores de densidad de fracturamiento muy homogéneos, que corresponden a valores de baja densidad. Esta unidad clástica cementada presenta suelos que poseen espesores desde muy bajos o muy superficiales (menor a 25 cm) hasta moderadamente profundos (de 50 cm a 1 m de espesor), con climas que oscilan entre templados hasta extremadamente fríos, tanto secos como húmedos y muy húmedos.

### 1.2.4 Formación Chipaque o Capacho (Ksc)

Esta formación se dividió en tres segmentos. El miembro inferior está constituido por shale negros, lodosos, con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino, cuarcíticas, oscuras y algunas capas de calizas arenosas. La parte intermedia es una alternancia de bancos de calizas arenosas biodetríticas, bancos de lodolitas negras y areniscas cuarcíticas de

grano fino a medio, un poco micáceas. El segmento superior se compone de shale limosas y arcillosas oscuras o negras. (INGEOMINAS, 1981).

En general esta formación se calificó como clástica consolidada, debido a que los shales era la litología predominante en la Plancha 137 - El Cocuy; para su resistencia se clasificó como una roca dura.

La Formación Chipaque o Capacho, está localizada hacia el sector central y occidental de la zona de interés, presentando una densidad de fracturamiento muy variable: mientras que en el sector central presenta valores de muy baja densidad, en el margen occidental, estos rangos aumentan hasta valores de media y alta densidad, asociados al trazo de la Falla de Chiscas. Esta unidad clástica consolidada presenta suelos con espesores muy variables, desde muy baja o muy superficiales hasta altos o profundos, sin predominio de ninguno de ellos, desarrollados en un clima muy frío, de húmedo a seco.

### **1.2.5 Formación La Luna (Ksl)**

El miembro inferior de la Formación la Luna (Ksl), está formado por shales lodosos, negros, cherts y calizas ricas en foraminíferos. El segmento intermedio presenta principalmente shale limosos negros, con intercalaciones de limolitas ferruginosas. Hacia la parte superior de este segmento se presentan calizas y chert negros, con foraminíferos, con laminaciones paralelas y muy delgadas e intercalaciones de shales (INGEOMINAS, 1981).

Litológicamente, la Formación La Luna (Ksl) corresponde a caliza, de ahí su calificación textural como cristalina masiva y su resistencia en el intervalo de roca dura.

Esta unidad litológica se ubica hacia el sector centro – oeste del área de trabajo, desarrollando valores de densidad de fracturamiento muy bajos a bajos. La Formación La Luna, la cual es una unidad cristalina masiva, desarrolla suelos de espesores menores a 25 cm (muy bajos o muy superficiales) o suelos con espesores mayores a 150 cm (muy profundos o muy altos), asociados con climas que varían desde extremadamente fríos y muy húmedos hasta fríos y secos.

### **1.2.6 Formación Colón – Mito- Juan (Kscm)**

Esta formación se dividió en cuatro miembros (J1 a J4). El miembro inferior de la formación se compone de shales oscuros, con intercalaciones de bancos de areniscas cuarcíticas, oscuras, de grano fino, a veces calcáreas y bancos de calizas arenosas a menudo fosilíferas. El miembro que suprayace a este último (J2), se caracteriza por estar formado casi en su totalidad por lodolitas negras un poco ferruginosas. El segmento J3 está constituido por bancos macizos de

areniscas de grano fino, cuarcíticas, de color claro, con delgadas intercalaciones de lodolitas oscuras y areniscas finas. En la parte superior de la formación se hallan shales limosos, negros, con intercalaciones en bancos delgados de areniscas de grano fino. (INGEOMINAS, 1981).

Esta formación se correlaciona litológicamente con otras unidades litológicas: El miembro J1 (en parte) y J2 corresponden a la Formación Los Pinos (Kslp), el miembro J3 a la Formación Arenisca Tierna (Ksat), y el miembro J4 con la Formación Guaduas (Tkg).

La litología predominante para la Formación Colón – Mito – Juan (Kscm), corresponde a shale, es decir esta unidad litológica se califica como texturalmente como clástica consolidada y en términos de resistencia se describe como una formación moderadamente dura.

Esta unidad se presenta en el área de estudio, hacia el sector central y el margen occidental, donde la densidad de fracturamiento predominante, varía de valores bajos a muy bajos, a excepción de algunas zonas del margen suroccidental, donde este rango aumenta considerablemente (de moderado a alto), relacionado a la Falla de Chiscas. Esta unidad clástica consolidada presenta suelos de espesores que varían desde 50 cm a 150 cm, es decir suelos moderadamente profundos y profundos, asociado a climas templados a extremadamente fríos y desde secos hasta húmedos.

### **1.2.7 Formación Barco (Tpb)**

La Formación Barco está compuesta principalmente de areniscas cuarcíticas, de grano medio a grueso, con delgadas intercalaciones de areniscas de grano fino y lodolitas de color oscuro. Mientras en la parte inferior de la formación, la estratificación se hace más delgada y el grano es más fino, en el tope los bancos son menos espesos y las intercalaciones de lodolitas y de areniscas de grano fino son más abundantes. Esta formación se correlaciona litológicamente con la Formación Areniscas de Socha (Tpars), que también afloran en la zona de interés. (INGEOMINAS, 1981).

En general, las areniscas corresponden al material litológico predominante, de allí su calificación textural como clástica cementada y en términos de resistencia como una roca dura.

Esta unidad se distribuye de forma heterogénea en el área de estudio, localizada principalmente en el sector central – oeste, presentando una amplia variación en la densidad de fracturamiento, abarcando rangos desde muy bajos hasta altos, con predominio de los rangos muy bajos. Esta unidad clástica cementada posee suelos con espesores que varían entre moderadamente

profundos a profundos, asociados a climas que oscilan desde fríos a extremadamente fríos y desde secos hasta húmedos.

### **1.2.8 Formación Los Cuervos (Tplc)**

La mayor parte de la Formación Los Cuervos está compuesta principalmente por shale lodosos negros u oscuros, a veces carbonosos, separados por conjuntos arenosos, con estratificación delgada. Hacia la base de la formación, estos shales oscuros contienen algunas capas o lentes de carbón, separadas por bancos de shale y areniscas. La parte superior corresponde a shale arcillosos y limosos de color verde, amarillo, rojo o morado, con intercalaciones de limolitas y areniscas muy subordinadas. (INGEOMINAS, 1981).

Esta formación se encuentra correlacionada litológicamente y palinológicamente con la formación Arcillas de Socha (Tpas), la cual también aflora en el área de estudio. (INGEOMINAS, 1981).

Texturalmente esta formación se calificó como clástica consolidada, debido al predominio de lodolitas en la Plancha 137 - El Cocuy. Su resistencia se estimó en términos de moderadamente dura.

La Formación Los Cuervos (Tplc) o Arcillas de Socha (Tpas) se ubica hacia el sector occidental, donde presenta una densidad de fracturamiento muy variable, con valores desde muy bajos hasta altos, con predominio de los valores altos, relacionados a la Falla de Chiscas. Esta unidad clástica consolidada se asocia a suelos con espesores moderadamente profundos (de 50 cm a 1 m) o suelos de espesores altos o profundos (de 1 m a 1,5 m), desarrollados en climas fríos a extremadamente fríos con alta humedad.

### **1.2.9 Formación Mirador (Tem)**

Se constituye principalmente por areniscas claras, líticas, de grano fino a medio y conglomerados polimícticos, con algunas intercalaciones delgadas de arcillolitas y limolitas verdosas. Esta formación se correlaciona litológicamente con la Formación Picacho (Tep), que también aflora en la zona de interés (INGEOMINAS, 1981).

En general, la Formación Mirador (Tem) o Picacho (Tep), se encuentra constituida principalmente por areniscas, de allí su clasificación textural como una unidad clástica cementada y que se le designara una calificación de resistencia correspondiente a roca dura.

La Formación Mirador (Tem), se localiza principalmente hacia el sector noroccidental del área de trabajo, presentando una densidad de fracturamiento bastante fluctuante, abarcando valores desde muy bajos hasta valores muy altos, relacionados estos últimos con rasgos tectónicos, representados en fallas

satélites asociadas a la Falla de Chiscas. Esta unidad clástica cementada desarrolla suelos de espesores muy bajos a bajos (menor a 50 cm), relacionados a climas fríos a extremadamente fríos y desde húmedos hasta muy húmedos.

### **1.2.10 Formación Carbonera o Concentración (Tec)**

Está formada principalmente por shale limosos, arcillosos y carbonosos, con presencia de algunos bancos de arenisca cuarcíticas, de grano fino. Mientras hacia la base los shales son arcillosos y de color verde, rojo o amarillo, con delgadas intercalaciones de areniscas cuarcíticas de grano fino, en la parte media y superior estos shale son limosos, carbonosos y de color negro, con estratificación ondulada. (INGEOMINAS, 1981).

La formación descrita se define litológicamente como arcillolitas, por eso se le asigna una clasificación clástica consolidada para su textura y se define como una roca moderadamente dura en cuanto a su resistencia.

Esta formación se localiza hacia el borde occidental, con valores de densidad de fracturamiento variables, abarcando desde bajos rangos hasta altos, relacionados principalmente con fallas satélite, correspondientes a la Falla de Chiscas. Esta unidad clástica consolidada desarrolla suelos de espesores aproximados de 25 cm a 1 m, es decir, se presentan suelos de profundidades bajas o poco profundas hasta suelos moderadamente profundos, asociados a climas fríos húmedos.

A continuación se muestra el mapa de unidades geológicas de la Plancha 137 - El Cocuy (Figura 2) y se describe en la Tabla 6 la calificación de unidades de roca en contraste a sus atributos de Textura y Resistencia, también se incluye el mapa de calificación de unidades de roca en su atributo de resistencia (Figura 3) y el mapa de calificación de unidades de roca en su atributo de textura (Figura 4).

## **1.3 DEPÓSITOS**

SGC (2013) le atribuye a los depósitos en general una resistencia menor de 10 Kg/cm<sup>2</sup>, lo cual parece muy razonable. Para la ponderación de los depósitos se tiene en cuenta esta frontera de resistencia y su comportamiento en taludes y laderas del país y se presenta la calificación de las unidades litológicas (Depósitos), a partir de la información contenida en la “Clasificación regional de amenaza relativa por movimientos en masa en Colombia” (INGEOMINAS, 2009).

### 1.3.1. Depósitos Ambiente Denudacional

**Depósito coluvial:** Corresponden a depósitos de ladera, provenientes de antiguos movimientos en masa, se originan por procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales, en suelos saturados y no saturados. Los coluviones son depósitos heterogéneos, matriz soportados a clastos soportados, sueltos, que se caracterizan por presentar fragmentos con bloques angulosos, y no han presentado movimientos o reactivaciones recientemente. Las geoformas asociada a este depósito corresponden a Glacis de acumulación y Conos de deyección.

**Depósito de lodo:** Son materiales principalmente finos (limos y arcillas), acumulados en el fondo de cauces, provenientes de flujos canalizados o de deslaves por erosión de las laderas circundantes, que involucran material arcilloso. Estos depósitos incluyen proporciones variables de arcilla, arena y limo con alto contenido de materia orgánica, mezclados con detritos en menor proporción. La geoforma asociada a este depósito corresponde a: Cono o lóbulo de flujo de lodo.

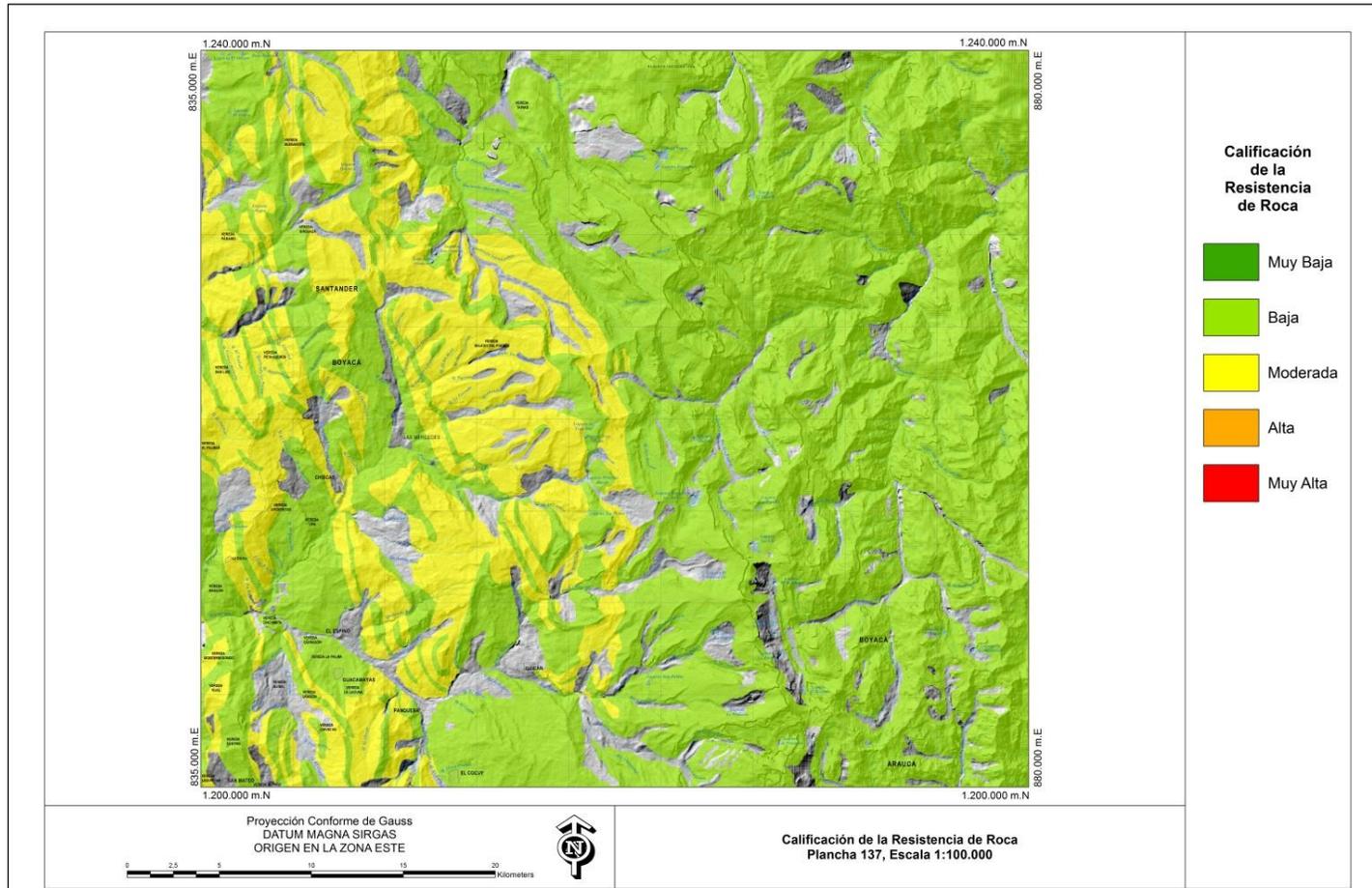


**Tabla 6.** Tabla de calificación de unidades de roca para el atributo de textura y resistencia de la Plancha 137 – El Cocuy.

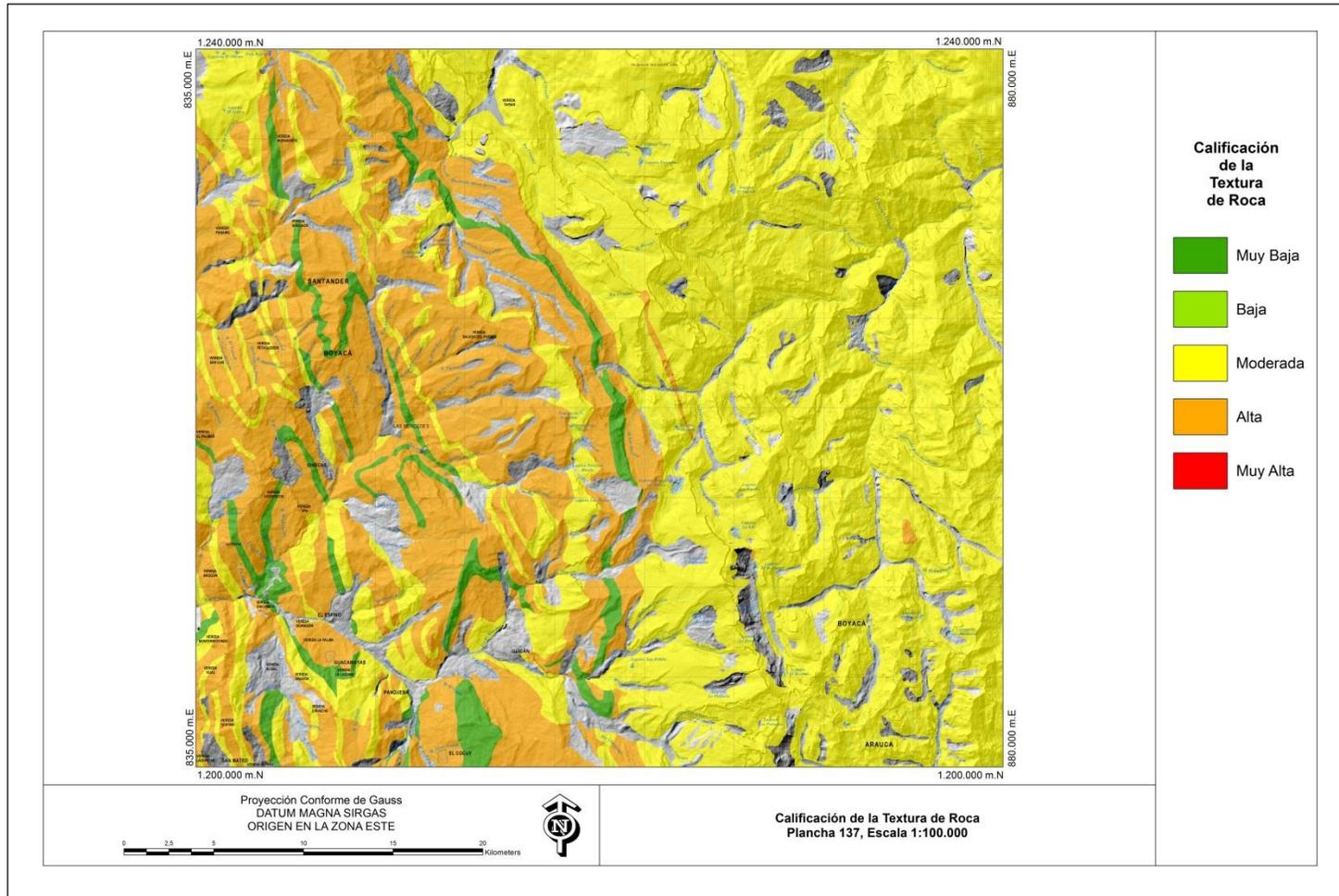
PERIODO	FORMACION		DESCRIPCION	ASOCIACIÓN METODOLÓGICA	CALIFICACION							
	NOMBRE	SIMBOLO			DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO (10%)	FABRICA-ESTRUCTURA (50%)		RESISTENCIA (40%)				
						TEXTURA /FABRICA	PROPUESTA CALIFICACION	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN – HOEK 1996 (Mpa)	GRADO	TERMINO	RANGOS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LAS ROCAS (Kg/cm2)	CALIFICACION RESISTENCIA
PALEÓGENO	FORMACIÓN CONCENTRACIÓN O CARBONERA	Teco	Corresponde a lodolitas de color variado (amarilla, verdosa o rojiza en la base hasta gris oscuro a negro en el techo) con delgadas intercalaciones de areniscas sublítica a cuarzosa de grano fino con estratificación ondulosa.	LODOLITA		clástica consolidada	4	25 – 50	R <sub>3</sub>	MODERAMENTE DURA	250 – 500	3
	FORMACIÓN PICACHO O MIRADOR	Tep	Areniscas líticas de grano medio a grueso y conglomerados polimícticos constituidos por cantos redondeados de cuarzo, areniscas y chert principalmente. Delgadas intercalaciones de arenisca muy fina y de lodolita verdosa a amarillenta.	ARENISCA		clástica cementada	3	100 – 250	R <sub>4</sub>	DURA	212 - 1456	2
	FORMACIÓN ARCILLAS DE SOCHA O LOS CUERVOS	Tpas	Alternancia de lodolitas y areniscas de grano fino a medio. Mientras que en la parte inferior de la formación las lodolitas son de color negro o gris oscuro junto a varias capas de carbón intercaladas con arenisca lítica de grano fino a medio, la parte superior presenta lodolitas de color amarillento a verdoso con intercalaciones de lodolita lítica de grano fino a medio.	LODOLITA		clástica consolidada	4	25 – 50	R <sub>3</sub>	MODERADAMENTE DURA	250 - 500	3

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCION	ASOCIACIÓN METODOLÓGICA	CALIFICACION								
	NOMBRE	SIMBOLO			DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO (10%)	FABRICA-ESTRUCTURA (50%)		RESISTENCIA (40%)					
						TEXTURA /FABRICA	PROPUESTA CALIFICACION	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN - HOEK 1996 (Mpa)	GRADO	TERMINO	RANGOS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LAS ROCAS (Kg/cm2)	CALIFICACION RESISTENCIA	
CRETÁCICO INFERIOR	FORMACIÓN ARENISCAS DE SOCHA O BARCO	Tpars	Areniscas cuarzosa, blanca de grano medio a grueso a veces conglomerática, que se presentan en bancos gruesos con estratificación cruzada plana y presenta delgadas intercalaciones de lodolitas y de arenisca muy fina de color gris oscuro.	ARENISCA		clástica cementada	3	100 – 250	R 4	DURA	212 - 1456	2	
	FORMACIÓN "COLON – MITO JUAN	Kscm	Corresponde a una alternancia de lodolitas, areniscas finas bioperturbadas y calizas fosilíferas ricas en ostras. La parte superior presenta lodolitas de color gris oscuro con delgadas intercalaciones de arenisca cuarzosa. La parte intermedia consta de una alternancia de bancos de areniscas de grano medio con intercalaciones de lodolitas y la parte inferior se constituye de lodolita gris oscuro con intercalaciones de caliza arenosa fosilífera.	SHALE		crystalina consolidada	4	50 – 100	R 3	MODERADAMENTE DURA	176 – 1030	3	
	FORMACIÓN LA LUNA	Ksl	Formación con caliza micrítica negra, laminada muy rica en materia orgánica, con estratificación plano paralela. Se observan niveles ricos en foraminíferos planctónicos o bentónicos, así como grandes nódulos de caliza los cuales contienen a veces amonites o bivalvos. Estas calizas pasan a calizas silicificadas, chert.	CALIZA		crystalina masiva	1	100 – 250	R 4	DURA	620 – 2270	2	
	FORMACIÓN CHOPAQUE O CAPACHO	Ksc	En la sección inferior presenta lodolitas negras fisiles con delgadas intercalaciones de areniscas de grano muy fino a fino bioperturbadas. Su miembro intermedio se caracteriza por sus niveles de calizas con intercalación de areniscas de grano fino o muy fino con presencia de bioperturbación pero menor grado. La parte superior de esta Formación se compone de lutitas negras laminada rica en materia orgánica y sin bioperturbación.	SHALE		clástica consolidada	4	50 – 100	R 4	DURA	176 – 1030	3	

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCION	ASOCIACION METODOLOGICA	CALIFICACION								
	NOMBRE	SIMBOLO			DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO (10%)	FABRICA-ESTRUCTURA (50%)		RESISTENCIA (40%)					
						TEXTURA /FABRICA	PROPUESTA CALIFICACION	RESISTENCIA A LA COMPRESION - HOEK 1996 (Mpa)	GRADO	TERMINO	RANGOS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LAS ROCAS (Kg/cm2)	CALIFICACION RESISTENCIA	
CRETACICO INFERIOR	FORMACION UNE - AGUARDIENTE	Kia	Bancos gruesos de arenisca blanca cuarzosa de grano medio a grueso, a veces, ligeramente conglomerática, con estratificación cruzada. Posee intercalaciones de lutitas negras carbonosas, a veces, ricas en restos de plantas en la parte inferior.	ARENISCA		clástica cementada	3	100 – 250	R <sub>4</sub>	DURA	212 - 1456	2	
	FORMACION TIBU-MERCEDES O APÓN	Kitm	Presenta lodolitas de color gris oscuro con intercalaciones de caliza arenosa biotetrítica fosilífera (lamelibránquios, gasterópodos, amonites, nautilus y algas) y areniscas cuarzosas de grano medio. Los niveles calcáreos predominan hacia la base y el tope mientras que la parte intermedia de la Formación está constituida por lodolitas y areniscas.	CALIZA		crystalina masiva	1	100 – 250	R <sub>4</sub>	DURA	620 - 2270	2	
	FORMACION RIO NEGRO O GRUPO CAQUEZA	Kirn	Constituida por areniscas con estratificación cruzada, intercaladas por capas de lodolitas oscuras o verdosas, con presencia de fósiles (lamelibránquios y gasterópodos.) En la parte superior presenta areniscas blancas cuarzosas de grano fino a medio, ligeramente conglomeráticas; la sección intermedia está constituida por arenisca cuarzosa de grano muy fino y lodolitas de color gris oscuro con niveles fosilíferos. En la parte inferior se presentan areniscas cuarzosas de grano fino a medio con estratificación cruzada u ondulosa.	ARENISCA		clástica cementada	3	100-250	R <sub>4</sub>	DURA	212-1456	2	



**Figura 3.** Mapa de calificación de unidades a partir de su atributo de Resistencia, para la Plancha 137 – El Cocuy.



**Figura 4.** Mapa de calificación de unidades a partir de su atributo de Textura, para la Plancha 137- El Cocuy.

**Depósitos de detritos:** involucran material granular suelto, no sorteado, de baja plasticidad, asociado a deslizamientos (coluviones); meteorización (suelo residual) o desechos antrópicos, con estructura granular desordenada, tales como los estériles de minería. Que transcurre confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada o no confinado asociado a las avalanchas o caídas de detritos. Estos depósitos son en general matriz soportados, corresponden a un material que contiene una proporción significativa de materiales gruesos, en donde más de un 20% de partículas son mayores a 2 mm. Este tipo de materiales son producto de movimientos en masa que involucran este tamaño de material. Las geoformas asociadas a este depósito corresponden a Cono o lóbulo de flujo de detritos, Lóbulo y cono de avalancha de detritos, Lóbulo y cono de avalancha de rocas, Cono o lóbulo de Flujo indiferenciado, Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de detritos, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de detritos.

**Depósitos de terrazas sobreelevadas:** Depósitos subrecientes de origen fluvial, asociados a planicies y terrazas antiguas, que difieren en altura o distancia de los cauces actuales. Corresponden a depósitos clasto soportados cuando están constituidos por gravas y bloques subredondeados de tamaños disimétricos, y matriz soportados cuando predomina la matriz generalmente de textura limo arenosa. Son suelos altamente permeables, moderadamente firmes y fácilmente deleznable en los escarpes de las terrazas que suelen generar. De acuerdo a su posición geográfica están asociados a coluviones y a terrazas aluviales. La geoforma asociada es este depósito corresponde a Terraza sobreelevada o colgada.

**Depósitos de tierras:** coluviones arcillosos con consistencia más cercana al límite plástico que del límite líquido e índice de liquidez variable, generalmente  $< 0,5$ ; productos de meteorización de arcillas firmes y rocas arcillosas –rocas lodosas y algunas rocas metamórficas. Involucran materiales de tamaño  $> 0.075$  mm hasta  $< 2$  mm (Arena y finos), con un porcentaje inferior 20% de partículas mayores de 2 mm. Este tipo de materiales son producto de movimientos en masa que involucran este tamaño de material. Las geoformas asociadas a este depósito corresponden a Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de tierras y Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de tierras.

### 1.3.2 Depósitos Ambiente Fluvial y Lagunar

**Depósitos de cauce y llanura aluvial:** Depósitos producto de la erosión y depositación de materiales asociados a la dinámica de ríos, tanto en épocas de gran caudal como en épocas secas. Los depósitos recientes, dejados por corrientes mayores en llanuras relativamente angostas, contiguos a ríos trezados sometidos a la inundación, están constituidos principalmente por cantos, gravas y arenas. Conforman barras de meandro que en sus partes

bajas están cubiertas por las aguas de los afluentes. Cuando las barras permanecen un tiempo relativamente largo sin ser afectadas por las corrientes o intervenidas, pueden desarrollar vegetación, aumentando la resistencia al socavamiento lateral y provocando la divagación del cauce dentro de la llanura aluvial. Estos depósitos tienen una marcada presencia de arenas de grano medio a fino, muchas de las cuales presentan disposición plano paralela. La granulometría del material del cauce decrece, hasta hacerse fina con la presencia de arenas, limos y arcillas en la llanura de inundación.

En las zonas de llanura, debido a su característica de baja pendiente, las corrientes pasan de trenzadas a meándricas con estrangulamiento de cauces, dando origen a meandros abandonados y a lagos en media luna. De igual forma el agua que en época de inundación invadió la llanura, en época seca permanecerá por más tiempo o en forma perenne en los bajos y artesas, en cuyo fondo se depositó material muy fino e incluso materia orgánica, dando lugar a la formación de planos anegadizos, artesas lagunares y lagunas.

Depósitos de material grueso tipo arena, grava y bloques, que se localizan junto al cauce y el material más fino, tipo limo y arcilla se localiza en las partes más lejanas del cauce y se asocian al depósito de la carga que lleva el agua en suspensión durante épocas de grandes crecidas e inundaciones, formándose albardones y barras. Las geoformas asociadas a los depósitos de cauce y llanura aluvial son los cauces, albardones, barras, cuencas de decantación, lagos en media luna, lagunas naturales, meandros abandonados, planicie o llanura de inundación, planicies y deltas lacustrinos, planos anegadizos, planos y artesas lagunares.

**Depósitos de Terraza Aluvial:** Corresponden a los depósitos aluviales, localizados hacia las márgenes de los ríos principales y secundarios, como producto de la acumulación sobre la antigua planicie de inundación divagante. Son producto de la erosión, depositación e incisión fluvial, en épocas recientes y subrecientes. En estos depósitos los sedimentos se acumulan en forma escalonada a ambos lados del curso de un río, cuyo cauce se va profundizando con el tiempo, formando terrazas.

Los materiales de los depósitos de terraza pueden ir desde muy gruesos tipo gravas a más finos tipo arcilla, presentando una pseudoestratificación vertical, con presencia de capas de material grueso y fino, reflejando épocas de alta y baja energía. De igual forma se podrá observar una gradación lateral, con materiales más gruesos en las cercanías de los cauces y los más finos en las partes más lejanas. Las geoformas asociadas a los depósitos de terraza, son terrazas de erosión, terrazas de acumulación subreciente, terrazas de acumulación antigua, terrazas de depositación y escarpes de terraza.

**Depósitos de abanico aluvial:** Los depósitos de abanico son el producto de la desembocadura de una corriente en una zona plana o de menor gradiente. En la zona más alta, se presenta la granulometría más gruesa y heterométrica.

Está constituido por flujos masivos viscosos o flujos acuosos densos. Su grado de preservación es bajo, debido a que son los primeros materiales en ser retrabajados. El cuerpo, de mayor extensión, presenta dos zonas diferenciadas. La superior (interna) muestra una buena equivalencia lateral con la zona de cabecera, de la que proceden algunos episodios masivos y sobre todo de la que proceden los flujos acuosos densos y altamente energéticos (*sheet floods*). La zona externa posee facies que cuando se trata de materiales conglomeráticos, muestra un transporte mediante corrientes acuosas, que pueden redondear los clastos por impacto y realizar alguna selección granulométrica de los mismos. En el pie de mayor extensión, se prolonga hasta las zonas donde se observa la influencia del transporte de sedimentos, su pendiente es más suave y su granulometría más fina. Las geoformas asociadas a estos depósitos son abanicos fluviotorrenciales, conos de deyección, deltas de desborde natural, deltas lacustrinos y escarpes de abanicos fluviales.

**Depósitos lagunares:** Se forman en las lagunas o cualquier depósito de agua. El material de estos depósitos depende de la capacidad de transporte de las corrientes que llegan a estas lagunas. La corriente al perder velocidad pierde capacidad de transporte y los materiales se depositan lentamente. Su tamaño varía de limo a arcilla en clima húmedo y evaporitas (caliza y yeso). Estos depósitos se asocian a las geoformas de laguna, lagos en media luna y meandros abandonados.

**Depósitos paludales:** Se forman en ambientes transicionales entre continental y marino, en cuerpos de agua estancados de baja profundidad (pantanos o ciénagas) que se encuentran en terrenos ocupados por vida vegetal relativamente abundante y están íntimamente ligados a los sistemas fluviales.

El agua de los pantanos puede ser marina, salobre o dulce. Además de la existencia de una depresión, los pantanos requieren de condiciones climáticas específicas, predominando la abundancia y frecuencia de lluvias y en forma general se van a encontrar con climas tropicales de altas temperaturas. Los materiales del medio incluyen limo y lodo, que pueden ser deslavados hacia el pantano, y sales disueltas y gases que desarrollan condiciones anaeróbicas en el agua. El complejo biológico es un elemento dominante en la sedimentación, debido a que los depósitos pueden ser totalmente o principalmente restos de plantas acumuladas. El tipo de sedimento que se acumula es principalmente material clástico fino (limos y arcillas). Las condiciones geoquímicas del depósito son esencialmente reductoras y ácidas, por lo que es sumamente fácil la preservación de la materia orgánica, dando origen a grandes acumulaciones

de turba y carbón. A estos depósitos se asocian geoformas tipo artesas lagunares y planos anegadizos.

### 1.3.3 Depósitos Ambiente Marino/Costero

**Depósitos de origen arrecifal:** Los depósitos de origen arrecifal son acumulaciones marinas, constituidas de fragmentos de coral, algas y conchas, producto de la destrucción de los cuerpos arrecifales. Están constituidos de fragmentos de coral, principalmente porites (coral en forma de dedo) de uno a tres cm, en matriz arenosa gruesa de composición calcárea y color amarillo crema que constituye localmente el 30 - 60% del total. El espesor puede superar los 12 m. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a Bajos arrecifales e Islas.

**Depósitos de playón:** Los depósitos de playón son acumulaciones arenosas con locales concentraciones de grava de origen lítico (chinas) y biodetrítico (fragmentos de concha y localmente coral). La composición y textura varía de un lugar a otro; sin embargo, en general, son arenas de grano fino a medio, de colores pardo grisáceos, con concentraciones locales de fragmentos de concha (0,5 – 3 cm) y gravas de 0,5 - 2 cm. Los espesores varían de un lugar a otro de 1 - 45 m aproximadamente. En el sector del Laguito los espesores son del orden de 35 - 45 m, donde localmente se presentan concentraciones de arcillas y fragmentos de coral. Representan antiguos niveles de playa, y conforman geoformas de origen marino. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a Tómbolo, espigas, barras litorales y playones.

**Depósitos marino aluviales:** Los depósitos marino aluviales son acumulaciones predominantemente arcillosas, de colores pardos y negros, con lentes arenosos de varios metros de espesor, producto de la interacción de procesos marinos y aluviales en tiempos antiguos, predominan las arcillas firmes, pardo grisáceas, con grava diseminada de 0,5 - 1 cm, constituida de chert negro o pardo con concentraciones locales de fragmentos calcáreos, materia orgánica y fragmentos de conchas. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a extensas llanuras costeras.

**Depósitos intermareales:** Los depósitos intermareales son acumulaciones lodosas, asociadas a zonas donde la acción marina es baja. Los sedimentos constitutivos corresponden predominantemente a arcillas y limos blandos, grises oscuros, con restos de fragmentos de conchas y localmente con interdigitaciones de arena arcillosa de grano fino, de color pardusco. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a Planos de inundación.

**Sustrato de manglar:** El sustrato de manglar corresponde a acumulaciones de lodos y arenas grises oscuras, con abundancia de materia orgánica, que se constituye en el sustrato apto para el desarrollo del manglar actual. Se presentan predominantemente en zonas protegidas, en las partes internas de las bahías, y localmente como parches, que cubren los bajos arrecifales adyacentes. Los sectores arcillosos y localmente arenosos, sobre los cuales en tiempo pasado reciente se desarrolló el ecosistema del manglar y otras plantas halófitas. La desaparición de estas plantas puede deberse tanto a posibles cambios en las condiciones ambientales, tales como contaminación por aguas servidas, dragados mal tratados (Viña, 1.989, en Carvajal & Pérez, 1.993), o como consecuencia de la tala indiscriminada del manglar. La característica principal de este sustrato es la alta concentración de materia orgánica en descomposición, asociada íntima y genéticamente con los depósitos intermareales anteriormente descritos. Las geoformas asociadas a este tipo de depósitos son Planos y llanuras con vegetación halófila.

**Depósitos de playa y dunas:** Los depósitos de playa y dunas son acumulaciones de arenas y gravas (chinas), cuyo origen de sedimentación se debe a la acción dinámica reciente del mar, en el caso de las playas. Los depósitos de playa se constituyen de arenas de grano fino a muy fino (0,125 - 0,063 mm) y de color pardo grisáceo, con locales concentraciones de gravas (chinas) y fragmentos de concha. Composicionalmente predomina el cuarzo y feldespatos, y en menores proporciones los minerales ferromagnesianos, fragmentos de concha y magnetita en el tamaño muy fino. Las geoformas asociadas a este tipo de depósitos son Abanico de sobrelavado, Lóbulos y planos deltaicos actuales, Complejos de crestas y artesas de playa, (planos de crestas de playa, playas antiguas).

#### 1.3.4 Depósitos Ambiente Eólico

**Depósito de arena:** depósito bien seleccionado, conformado por granos de arena, pueden presentar laminación cruzada o paralela, presentan formas y tamaños variables. Son originados por la acumulación de sedimento transportado por el viento. El viento deja caer su carga de sedimento cuando la velocidad desciende y la energía disponible para el transporte disminuye o cuando los granos de arena chocan con un obstáculo que impide su transporte. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a Dunas, Dunas antiguas, Dunas Transversales, Barjanes o Barchanes, Dunas Longitudinales, Dunas parabólicas, Dunas costeras sin diferenciar, Campo de dunas remontantes, Campo de dunas de sombra, Mantos de arena eólica.

**Depósito de Loess:** depósito bien seleccionado, de gran extensión, conformado por fragmentos tamaño limo, masivo, su espesor puede ser del orden decamétrico. Su génesis se asocia a depósitos de origen eólico o llanuras

de aluvión glaciales. La geoforma asociada a este tipo de depósito corresponde a Mantos de Loess.

### 1.3.5 Depósitos Ambiente Volcánico

**Depósito de caída piroclástica:** depósito bien seleccionado, deleznable, de espesores variables que pueden alcanzar el orden métrico, compuesto por fragmentos de pómez y/o líticos y/o cristales y/o vidrio, de formas angulares a subangulares, pueden presentar gradación normal o inversa, soportados grano a grano, con laminación o estratificación paralela, el tamaño de los fragmentos disminuye al alejarse del centro emisor. Se originan por la acumulación de fragmentos piroclásticos, generados en una erupción volcánica, que al ser arrojados a la atmosfera son transportados por el viento para su posterior caída, cubriendo uniformemente la topografía. La geoforma asociada a este depósito corresponde a Manto de piroclastos.

**Depósito de flujo piroclástico de bloques y ceniza:** depósito pobremente seleccionado, generalmente deleznable, matriz soportado o clasto soportado, presentan distribución y tamaño de grano polimodal, pueden incluir grandes bloques que llegan a exceder los 5 m de diámetro; de espesores variables que pueden alcanzar el orden métrico. Los fragmentos presentan formas angulares o subredondeadas, generalmente de composición monolítica, ya que se derivan de la explosión o colapso de un domo o un flujo de lava. Las geoformas asociadas a este tipo de depósitos corresponden a Manto de piroclastos, Flujo piroclástico aterrazado y Escarpe de flujo piroclástico aterrazado.

**Depósito de flujo piroclástico de ceniza y pómez o ignimbrita:** depósito pobremente seleccionado, deleznable, masivo, matriz – soportado, se puede presentar soldado o no, compuesto predominantemente por fragmentos de pómez y ceniza, de formas subredondeadas; de espesores variables que pueden alcanzar el orden decamétrico. Generado por el colapso de una columna eruptiva. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a Manto de piroclastos, Flujo piroclástico aterrazado y Escarpe de flujo piroclástico aterrazado.

**Depósito de oleada piroclástica:** depósito medianamente seleccionado, deleznable, de espesores variables que pueden alcanzar el orden métrico, los espesores no son constantes, se presentan pinchamientos, adelgazamientos, engrosamientos; compuesto por fragmentos de pómez y/o líticos y/o cristales y/o vidrio, de formas subredondeadas a subangulares; puede presentar gradación normal o inversa, laminación o estratificación paralela o cruzada, presentan estructuras internas como dunas, antidunas, lapilli armada, lapilli acrecional. Se generan por el emplazamiento de una corriente de densidad

piroclástica diluida. La geoforma asociada a este depósito corresponde a Manto de piroclastos.

**Depósito de avalancha de escombros:** depósito mal seleccionado, de grandes dimensiones, emplazado a alta velocidad, compuesto por varias facies, las cuales pueden ser de bloques o alguna relación de bloques/matriz, aunque esta última es escasa, los bloques pueden ser de tamaños gigantescos (mega bloques) y presentar estructura en rompecabezas o jigsaw. Son producto de grandes colapsos gravitacionales de un sector inestable del edificio volcánico, colapso detonado por un sismo, o por deformación volcánica (domos), o por la infiltración de aguas lluvias, o por interacción hidromagmática, o por alteración hidrotermal o zonas de fallas o por la acción de la fuerza de gravedad. Se localizan en la base del edificio volcánico y se puede transformar hasta flujos de escombros o *lahares*, encontrándose éstos en zonas distales. La geoforma asociada a este tipo de depósito corresponde a: Campo de *Hummocks*.

**Depósito de flujo de escombros o *lahar* o flujo de lodo:** depósito mal seleccionado, de espesor variable, que puede alcanzar el orden decamétrico, compuesto por una matriz areno-lodosa y fragmentos heterolitológicos, de formas redondeadas a subredondeadas que pueden alcanzar el orden métrico; masivo aunque puede presentar estructuras internas (unidades de flujo, pipes de deshidratación) y en depósitos hiperconcentrados puede presentar una pseudostratificación o pseudo-laminación. Cuando presenta una proporción mayor a 5% de arcilla se denomina Flujo de escombros cohesivos. Su génesis está asociada a la acumulación de productos volcánicos previamente depositados o generados durante una erupción, que han sido mezclados o removidos por cuerpos de aguas superficiales (lagos, ríos, lagunas o provenientes del de hielo o nieve durante una erupción), además en su recorrido incorpora sedimentos sueltos del lecho y paredes del cauce de la corriente hídrica. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a Flujo *lahárico* aterrazado, Escarpe de flujo *lahárico* aterrazado y cono *lahárico*.

### 1.3.6 Depósitos Ambiente Glacial y Periglacial

**Depósito glacial till de ablación:** Son los depósitos glaciales desarrollados directamente por el hielo al fundirse, los clastos son de forma angular, tamaño arena, guijos y bloques, se encuentran muy mal seleccionados, dispuestos caóticamente, con una mala compactación. Las geoformas asociadas a este depósito son morrenas frontales y laterales.

**Depósito glacial till basal:** Son los depósitos glaciales densos desarrollados directamente por el hielo al fundirse, el armazón es clasto soportado, con clastos son de forma angular a subangular, predominan los tamaños bloques y

limos, presentan gradación moderada y pobre selección. Son depósitos muy compactos. Las geoformas asociadas a este depósito son morrenas de fondo y morrenas periglaciales.

**Depósitos glaciofluviales:** Material depositado por los cauces de fusión; comprende depósitos clastosoportados, de forma redondeada a subangular, con tamaños de arenas y gravas, en general el depósito se encuentra bien gradado, con pseudoestratificación. Son suelos de baja compacidad. Las geoformas asociadas son Eskers y Kames.

**Depósitos glaciolacustres:** Material depositado por sedimentación y depositación en lagos y zonas subcientos marginales a un glaciar. Corresponden a depósitos matriz y clasto soportados, con fracción clástica de geometría redondeada, predominan los tamaños limos y arcillas, presentan mala gradación y pseudolaminación, son altamente compresibles. Las geoformas asociadas corresponden a planos glaciolacustrinos.

### 1.3.7 Depósito Ambiente Antropogénico

**Rellenos de basuras o rellenos sanitarios:** depósitos conformados por desechos orgánicos o industriales sin diferenciar, los cuales son dispuestos de manera mecánica o manual.

En la Tabla 7, se presenta un resumen de la valoración de estabilidad de taludes y laderas de los depósitos en Colombia, teniendo en cuenta la experiencia de los trabajos de INGEOMINAS.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, en la **Tabla 8** se presenta la calificación generada para los depósitos.

**Tabla 7.** Características de susceptibilidad a movimientos en masa de los depósitos.  
(SGC, 2013).

Origen - Mecanismo	Nombre del depósito	Susceptibilidad
Aluvial	Depósitos de cauce y llanuras aluviales	No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas
	Depósitos de Terrazas aluviales	De estos tipos de depósitos las terrazas sobre-elevadas se involucran con frecuencia en movimientos en masa.
	Depósitos de Abanicos aluviales	Presentes en el fondo de muchos ríos; por lo general son depósitos retrabajados y muy susceptibles a inestabilidad en general y a socavación lateral.
Gravitacional	Depósitos coluviales	Se les considera los tipos de depósitos más inestables en taludes y laderas
Lacustre	Depósitos paludales	No se involucran en problemas de estabilidad de taludes y laderas
Glacial	Depósitos glaciales y glacio – fluviales	Estos tipos de depósito se involucran con frecuencia en movimientos en masa en las partes altas de las cordilleras.
Volcánico	Depósitos de cenizas y lapilli	Cubren extensas zonas de la región cafetera y en muchos lugares están sobre-elevados. Son muy inestables.
	Flujos vulcanoclásticos	Se involucran frecuentemente procesos de inestabilidad, y son producto de explosiones volcánicas que arrastran gran cantidad de bloques formando depósitos de tipo lahar; en ocasiones se desarrollan abanicos extensos, ejemplo Glacis del Quindío.
Eólico	Depósitos eólicos (dunas)	Generalmente son susceptibles a la erosión, pueden estar afectados por tubificación.
Marino	Depósitos de gravas y arenas, lodos ricos en materia orgánica	Son susceptibles a movimientos en masa en el caso que estén expuestos, lo cual no es frecuente.

Para realizar el análisis de los depósitos de la Plancha 137 - El Cocuy, es necesario realizar un compendio de las unidades descritas, tanto en la Geología Regional de la Sierra Nevada del Cocuy, Plancha 137 - El Cocuy. Departamento de Boyacá e Intendencia de Arauca. (INGEOMINAS, 1981) así como en la Reseña explicativa mapa geológico preliminar Plancha 137 - El Cocuy. Escala 1:100.000. (INGEOMINAS, 1985).

#### 1.4 DEPÓSITOS PRESENTES EN LA PLANCHA 137 - EL COCUY

Finalmente, en el área de interés se presentan los siguientes depósitos cuaternarios: morrenas recientes (Qmr), morrenas antiguas (Qma), los depósitos glaciares sin diferenciar (Qgl), depósitos fluvioglaciares (Qfg), las terrazas antiguas (Qt), coluviones (Qc) y glaciares (H) (INGEOMINAS, 1981).

**Tabla 8. Calificación de las unidades litológicas (Depósitos). Tomado de INGEOMINAS 2009.**

Ambiente	Depósito	Geoforma Asociada	Aequivalente Geológico	Calificación
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono o lóbulo coluvial y de soliflucción y Conos de deyección, Glacis de acumulación	Qc/Qd/Q2v/Qt1/Q2c/Qdp/Qc.o/Qdt/Qac/Qtf/Qgd1/Qgd2	5
	Depósitos de detritos	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de detritos, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de detritos	Qc.o/Q/Qdt	4
	Depósitos de tierras	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de tierras, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de tierras	Qc.o	5
	Depósitos de terraza sobre elevada	Terraza sobre elevada o colgada	Qt1	4
	Depósitos lodos	Cono o lóbulo de flujo de lodo	Qtl	5
Fluvial y Lagunar	Depósitos de cauce y llanura aluvial	Cauce activo y abandonado, albardones, barras, cuencas de decantación, lagos en media luna, lagunas naturales, meandros abandonados, planicie o llanura de inundación, planicies y deltas lacustrinos, planos anegadizos, planos y artesas lagunares.	Qat2/Qac/Qar/Qal/Q2-al/Qalu/Qal/Q2c:al/Qo1/Qa/Q2-aidi/Qb/Qal/Q2-aipr/Qal/Qo2/Q2a/lh/Q2alc.a	1
	Depósitos de terrazas aluvial	Terrazas de erosión, terrazas de acumulación subreciente, terrazas de acumulación antigua, terrazas de depositación y escarpes de terraza	Qt/Q2/Q2t2	2
	Depósitos paudales	Artesas lagunares y planos anegadizos	Q2m/Q2alp	1
	Depósitos lagunares	Lagos en media luna y meandros abandonados	Q2l/Ql/Q2l/Qll/Qlp	1
	Depósitos de abanicos aluviales	Abanicos fluvio-torreniales, conos de deyección, deltas de desborde natural, deltas lacustrinos y escarpes de abanicos fluviales	Qab/Q2c:al/Qc/Q1ab/Q2g/Qaa/Qap1/Qca1	3
Marino/Costero	Depósitos marino aluviales	Llanuras costeras	Q2mlm (Q2m)/Qes	2
	Depósitos intermareales	Planos de inundación	Q2mlm (Q2ml)	1
	Sustrato de manglar	Planos y llanuras con vegetación halófila	Q2mlm (Q2m)/m/Qm	1
	Depósitos de playón	Tómbolo, espigas, barras litorales y playones	Q2mlm (Q2m)/Q2lb	1
	Depósitos de origen arrecifal	Bajos arrecifales, isla	Q2mlm (Q2ml)	1,5
	Depósitos de playa y dunas	Abanico de sobre elevado, Lóbulos y planos deltaicos actuales, Complejos de crestas y artesas de playa, Complejo de crestas y artesas de playa (planos de cresta de playa, playas antiguas)	Qp/p/Q2p/Qpl	1,5
Eólico	Depósitos de arenas	Dunas, Dunas antiguas, Dunas Transversales, Barjanes o Barjanes, Dunas longitudinales, Dunas parabólicas, Dunas costeras sin diferenciar, Campo de dunas remontantes, Campo de dunas de sombra, Mantos de arena eólica	Qe/Q1-ep	2
	Depósitos de loes	Mantos de Loess	Qe/Q1-ep	2,5
Volcánico	Depósito de caída piroclástica	Manto de piroclastos	Qvb	5
	Depósito de flujo piroclástico de bloque y ceniza	Manto de piroclastos, Flujo piroclástico aterrazado y Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	Qc/Qto	4
	Depósitos de flujo piroclástico de ceniza y pómez o ignimbrita	Manto de piroclastos, Flujo piroclástico aterrazado y Escarpe de flujo piroclástico aterrazado	Qvb	5
	Depósitos de oleada piroclástica	Manto de piroclastos	Qpl	5
	Depósitos de avalancha de escorpos	Campo de Hummocks	Qtl/Qaec/nh	4
	Depósitos de flujo de escorpos o /ahar o flujo de lodo volcánico	Flujo lahánico aterrazado, Escarpe de flujo lahánico aterrazado y cono lahánico	Qtl/Qtl/Qva	3
Glacial y periglacial	Depósitos fluvio-glaciares/glaciofluviales	Eskers y kames	Qtl/Qmfg/Qg/Qfg/Qmfg	4
	Depósitos glacio-lacustrinos	Planos glacio-lacustrinos	Qtl/Qg	2
	Depósito glacial till de ablación	Morrenas frontales y laterales	Qtl/Qg/Qma/Qm/Qm/Qmfg	3,5
	Depósito glacial till basal	Morrenas de fondo y morrenas periglaciales	Qtl/Qg	3
Antropogénico	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios		5

#### **1.4.1 Morrenas recientes (Qmr)**

Formada por cordones de morrenas bien nítidos, situados a grande alturas (situados entre 4300 y 4500 m.s.n.m), poco disectadas por erosión, sin cobertura vegetal y de color muy claro (INGEOMINAS, 1983a).

Este depósito Cuaternario, de tipo glaciario, se encuentra localizados hacia el sector oriental y suroriental de la zona de trabajo, distribuidos, principalmente hacia el área de la Sierra Nevada de El Cocuy

#### **1.4.2 Morrenas antiguas (Qma):**

Este tipo de depósito forma numerosos cordones, los cuales se extienden entre el límite de las morrenas recientes (Qmr) y una altura de 3000 m aproximadamente. Se encuentran caracterizados por estar parcial o completamente cubiertas por vegetación y se evidencian en ellas rasgos de erosión más acentuados que en las Morrenas Recientes (Qmr). (INGEOMINAS, 1981.)

La densidad de las Morrenas Antiguas (Qma) en la Plancha 137 - El Cocuy es alta y se encuentran distribuidas, principalmente, hacia el sector oriental, en el área de la Sierra Nevada de El Cocuy.

#### **1.4.3 Depósitos glaciares sin diferenciar (Qgl)**

Estos depósitos representan depósitos glaciares sin formas determinadas. Corresponden a morrenas de fondo, morrenas laterales y frontales completamente destruidas. (INGEOMINAS, 1981).

Ubicados en varios sectores de la Plancha 137 - El Cocuy, localizados, principalmente, hacia el sector central de la zona de estudio, Plancha 137 - El Cocuy.

#### **1.4.4 Depósitos fluvioglaciares (Qfg)**

Dentro de este tipo de depósito, se encuentran aquellos que rellenan el fondo de los valles o los rellenos de lagunas. Los primeros están constituidos por cantos redondeados de areniscas, arenas, limos y arcillas, que provienen de la destrucción de las diferentes formaciones del Cretácico y Paleógeno, así como de la erosión y redepósito de los depósitos de origen glaciario. Los segundos se constituyen de material más fino y caracterizado por arenas, lodos y materia orgánica (INGEOMINAS, 1981).

Los depósitos fluvioglaciares (Qfg) se distribuyen de forma muy heterogénea dentro de la Plancha 137 - El Cocuy.

#### 1.4.5 Terrazas (Qt)

Los depósitos de terrazas (Qt), se presentan a lo largo de los cauces activos, están situadas a unos 200 m encima del nivel actual del agua (INGEOMINAS, A, 1981). Todas estas se encuentran constituidas por bloques, gravas y arenas y en menor proporción por arcillas, que provienen principalmente de las formaciones arenosas del Cretáceo inferior. (INGEOMINAS, 1983a).

Corresponden al tipo de depósito menos representativo del área de trabajo, localizándose en el sector suroccidental, relacionado con los ríos Nevado y Chiscano, así como en el sector oriental, asociado a un afluente del río Ratoncito.

#### 1.4.6 Coluviones (Qc)

Con este término se incluyen los depósitos de talud y ciertos derrumbes o deslizamientos de terreno, de dimensiones particularmente grandes; los cuales se encuentran formados por acumulaciones de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable, predominantemente bloques angulares (INGEOMINAS, 2000).

Estos derrubios fueron cartografiados, sin realizar ninguna distinción entre depósitos antiguos cubiertos por vegetación y derrumbes recientes (INGEOMINAS, 1983a).

Los depósitos de tipo Coluvión (Qc), se presentan ubicados de forma muy heterogénea, localizados en diferentes sectores de la Plancha 137 - El Cocuy.

#### 1.4.7 Aluvión (Qal)

El tipo de depósito denominado Aluvión (Qc) corresponde al material depositado por las diferentes corrientes de agua que se encuentran en la zona, con diferentes tamaños, formas y composiciones. En el área de interés, no se realiza un estudio detallado de los diferentes depósitos aluviales que la componen. (Fabre, A., 1981).

Dispuesto en el borde sur, relacionado al curso de los ríos Nevado y Pantano Grande, así como en el sector norte, asociado al curso de los ríos Orozco y Chuscal Grande o la Unión y de la quebrada La Colorada.

#### 1.4.8 Glaciares (H):

A alturas superiores de 4.500 m.s.n.m. las cumbres de la parte sur de la Sierra Nevada de El Cocuy están cubiertas, casi en su totalidad por nieves perpetuas. Se encuentran formadas por una masa de bloques angulares, parcialmente de

arenitas y conglomerados, en una matriz areno-arcillosa, sin ninguna selección (INGEOMINAS, 1981).

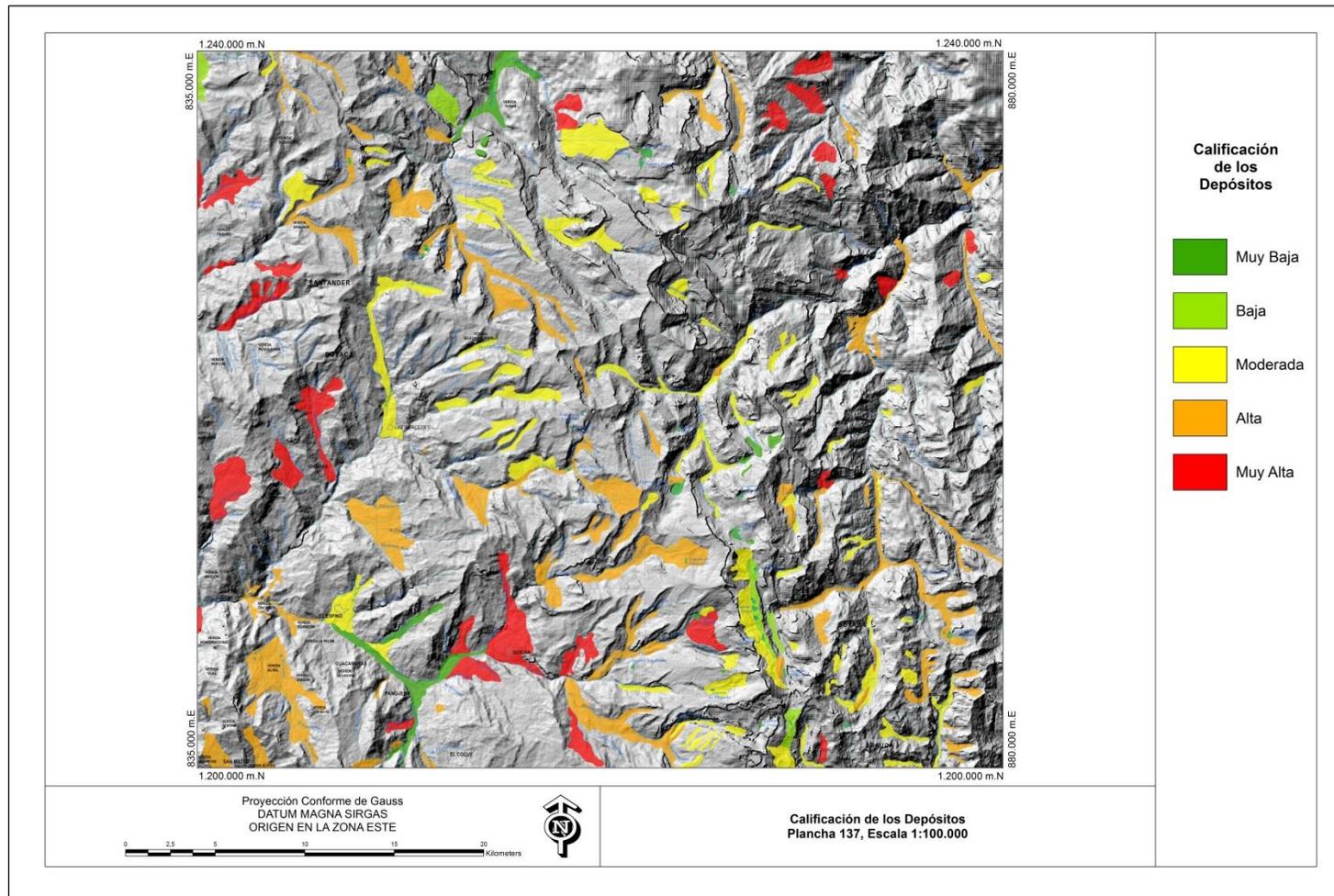
Ubicada en las partes más altas de la Sierra Nevada de El Cocuy, este tipo de depósito, se localiza, principalmente en el sector suroriental de la Plancha 137 - El Cocuy.

En la Tabla 9 se describe la calificación del depósito según su génesis y en la Figura 5 se muestra el mapa con la calificación de los depósitos.

**Tabla 9.** Tabla de calificación de los Depósitos.

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCION	ASOCIACIÓN METODOLÓGICA	CALIFICACION
	NOMBRE	SIMBOLO			
CUATERNARIO	GLACIAR, NEVIZA	H	Se presentan sobre los 4.500 m.s.n.m. Se encuentran formadas por una masa de bloques angulares, parcialmente de arenitas y conglomerados, en una matriz areno-arcillosa, sin ninguna selección.	DEPOSITOS GLACIARES	4
	ALUVIONES RECIENTES, ULTIMA TERRAZAS, RELLENO DE LAGOS, DEPOSITOS GLACIARES RESEDIMENTADOS	Qfg	Depósitos que rellenan el fondo de los ríos formados por arenas, gravas y arcillas depositadas de manera reciente. Formados principalmente por depósitos de origen glaciar erodados y redepositados, constituyen terrazas bajas sobre los ríos.	DEPOSITOS FLUVIO - GLACIARES	4
	COLUVIONES DERRUMBES	Qc	Ciertos derrumbes o deslizamientos particularmente grandes, los cuales se encuentran formados por acumulaciones de materiales de composición heterogénea y de tamaño variable, predominantemente bloques angulares.	DEPOSITOS COLUVIALES	5

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCION	ASOCIACIÓN METODOLÓGICA	CALIFICACION
	NOM BRE	SIMBO LO			
	MORRENAS RECIENTES SIN VEGETACIÓN	Qmr	Formada por cordones de morrenas bien nítidos, bastante elevadas casi no <b>disectadas</b> por erosión, sin cobertura vegetal y de color claro.	DEPOSITOS GLACIARES	4
	GRAVAS Y ARENAS, FORMANDO EXTENSAS TERRAZAS.	Qt1, Qt2	Están constituidas por gravas y arenas derivadas de las formaciones arenosas del cretáceo inferior, fueron depositadas en un ambiente de río trezado. Qt2 es más reciente que Qt1.	TERRAZAS ALUVIALES	2
	DEPOSITOS GLACIALRES SIN DIFERENCIAR	Qgl	Presencia de extensos cordones de morrenas, de lagunas glaciares más o menos rellenas por sedimentos, así como de circos y valles glaciares.	DEPOSITOS GLACIARES	3
	MORRENAS ANTIGUAS PARCIAL O TOTALMENTE CUBIERTAS POR VEGETACIÓN	Qma	Las morrenas antiguas y los depósitos glaciares indiferenciados fueron definidos según su expresión morfológica. Cuando la expresión morfológica era bien nítida se cartografiaron como morrenas antiguas o como depósitos indiferenciados cuando la forma era menos característica.	DEPOSITOS GLACIARES	4



**Figura 5.** Mapa de calificación de Depósitos a partir de su Génesis.

## 1.5 DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO

La variable densidad de fracturamiento, se generó a partir de las fallas calificadas del proyecto “Zonificación de la Amenaza por Movimientos en Masa escala 1:500.000”. La información original se tomó de las estructuras contenidas en el mapa geológico de Colombia (MGC, 2007) escala 1:500.000, la cual incluye el trazado de las fallas y lineamientos estructurales, así como los ejes de los pliegues mayores más persistentes que afectan las rocas. (Figura 6).

En una misma capa se analizan las fallas, pliegues y lineamientos. Se toma como base las tasas de desplazamiento de las estructuras con deformaciones en el Cuaternario, determinadas por Paris et al. (2000) y el grupo de Amenazas Sísmica de INGEOMINAS (Figura 7).

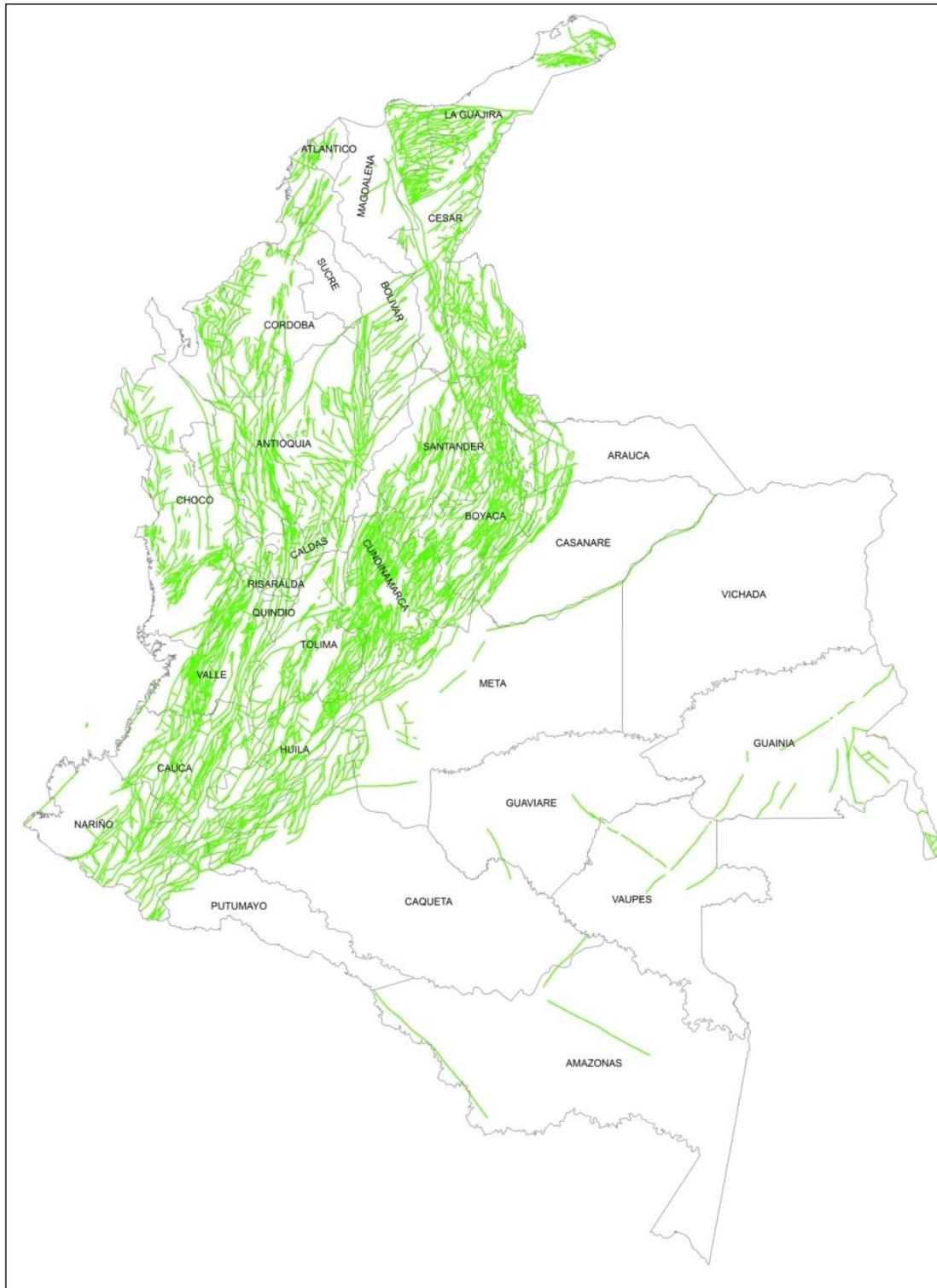
Se asume que a mayor tasa de desplazamiento hay un mayor grado de fracturamiento. La figura indica el grado de actividad de las fallas a partir de la relación tiempo – desplazamiento (Page y Cline, 1981), la cual también se utiliza para inferir el grado de fracturamiento.

De acuerdo con las tasas de desplazamiento definidas para las fallas con deformaciones en el Cuaternario, se asignaron pesos a los elementos, definiendo 5 rangos:

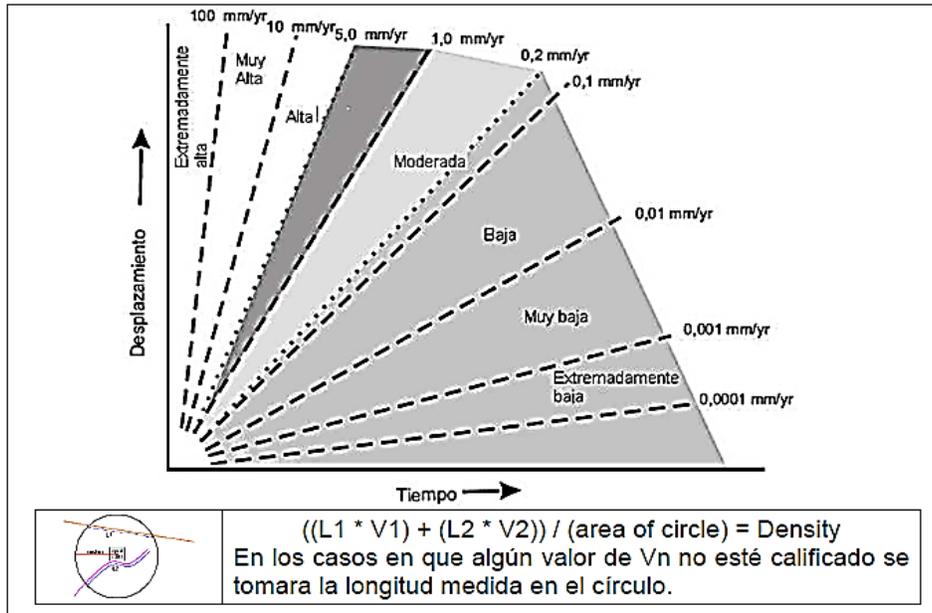
- Fallas con tasas de desplazamiento  $> 1.0$  mm/yr: peso asignado 10.
- Fallas con tasas de desplazamiento entre  $0.2 - 1.0$  mm/yr: peso asignado 9.
- Fallas con tasas de desplazamiento  $< 0.2$  mm/yr: peso asignado 8.
- Resto de fallas de las cuales no se conoce su tasa de desplazamiento: peso asignado 7.
- Pliegues: peso asignado 6.

### 1.5.1 Cálculo de Densidad de Fracturamiento

El método utilizado para calcular la densidad de fracturamiento es el algoritmo line Density de ArcInfo, el cual es expresado en metros por kilómetro cuadrado, este método calcula la densidad de líneas en la vecindad de cada pixel, definida por un radio de búsqueda, para esto a partir de cada centro se dibuja un círculo de radio R, se toma la longitud de la línea de falla que cae dentro de este círculo y se multiplica por el peso de la actividad, la suma total se divide entre el área del círculo, tal como se muestra a continuación.

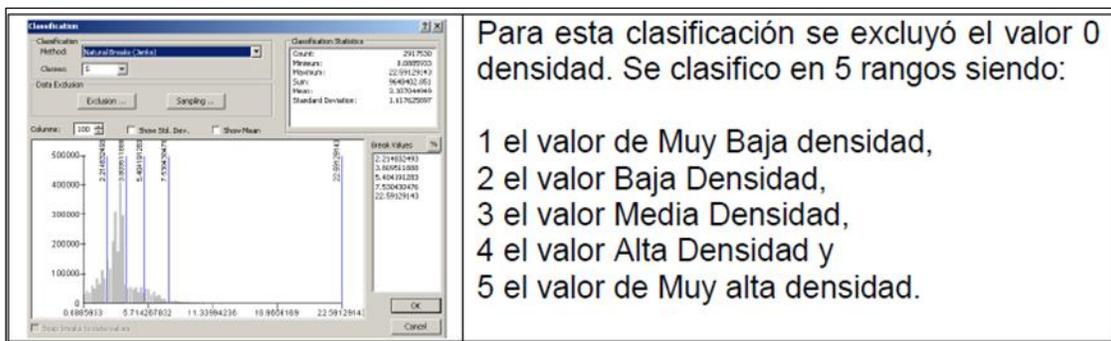


**Figura 6.** Mapa de fallas, lineamientos y pliegues de Colombia escala 1:500.000.



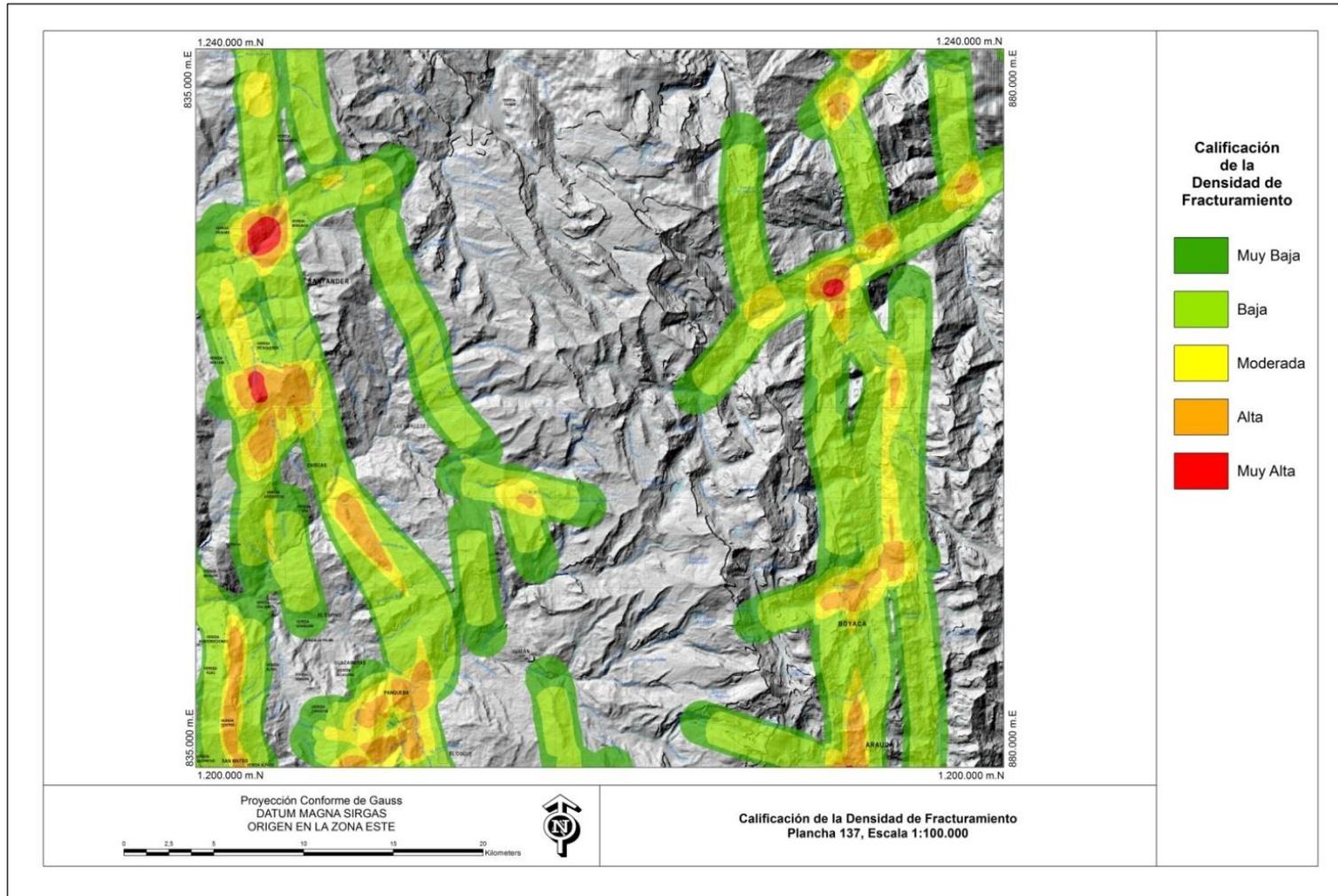
**Figura 7.** Tazas de desplazamiento de las fallas en el cuaternario en Colombia.  
Tomado de Paris, G. Machette, M., Dart, R., Haller, K. 2000.

Para generar el mapa de densidad de fracturamiento a escala 1:100.000, se utilizó un tamaño de pixel de 250 m y un radio de 1250 m. El valor mínimo de densidad es 0.089m/km<sup>2</sup> y el valor máximo es 22.59m/km<sup>2</sup>, a nivel nacional, el método de clasificación utilizado es natural breaks. En la Figura 8 se muestran los rangos de densidad y su clasificación de susceptibilidad a nivel nacional.



**Figura 8.** Rangos de densidad y su clasificación de susceptibilidad a nivel nacional.

A continuación se muestra el mapa de densidad de fracturamiento calculado y suministrado por el SGC (Figura 9).



**Figura 9.** Mapa de Densidad de Fracturamiento para la Plancha 137 – El Cocuy.

## 1.6 CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD DE LA GEOLOGÍA A PARTIR DE CADA UNA DE SUS VARIABLES (TEXTURA, RESISTENCIA Y DENSIDAD DE FRACTURAMIENTO)

La textura o fábrica tiene gran influencia en el comportamiento de las rocas, es la relación de forma y tamaño de los componentes de una roca, y de la manera en que se encuentran en contacto entre sí, en especial en lo referente a la anisotropía que se genera, debido a la orientación de las partículas; la cual así mismo es la que gobierna las propiedades geomecánicas de la roca. Estas propiedades, la resistencia y deformabilidad, que resultan de la composición química y mineralógica de las rocas, de su textura y de su estructura; en especial la resistencia que determina la competencia de la roca para mantener unidos sus componentes cuando es expuesta a los agentes de deterioro.

Esto nos indica, que el grado de resistencia que tenga la roca, depende directamente de la fábrica o textura que esta posea; por esta razón, en el orden jerárquico de importancia, la fábrica es principal y por ende su porcentaje es mayor al de la resistencia.

Las zonas de falla, son sectores que presentan discontinuidad en las características iniciales de fábrica o textura y por consiguiente en la resistencia de las rocas; estas zonas son el resultado de la mayor deformación en la fábrica, como respuesta a menores valores de resistencia.

Esto nos indica que en las zonas de falla, se presenta la mayor debilidad en las rocas, como resultado de su menor resistencia. Esta relación determina su dependencia de las dos variables anteriores, por ende su menor porcentaje en la matriz de calificación. Justificación de las preferencias de los atributos de la variable de geología, como se muestra la siguiente ecuación, donde se determina la susceptibilidad por la variable de geología:

- $\text{Susceptibilidad de la Geología} = 0.50 * \text{Textura} + 0.40 * \text{Resistencia} + 0.10 * \text{Densidad Fallas}$ .

## 1.7 SÍNTESIS DEL MAPA DE LA VARIABLE DE SUSCEPTIBILIDAD DE LA GEOLOGÍA

En la Figura 10 se aprecia el mapa de la variable de susceptibilidad de la geología para la Plancha 137 - El Cocuy, donde es posible observar las cinco categorías de clasificación que esta presenta: Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta, en donde la categoría media corresponde al rango más representativo. Mientras que en la zona del Macizo del Santander se registran las cinco categorías anteriormente mencionadas, el área de la Sierra Nevada de El Cocuy es más uniforme y solo se presentan dos categorías Alta, para las

partes más elevadas de esta cadena montañosa, mientras que para las zonas medias y bajas, el rango predominante corresponde a media.

### **1.7.1 Susceptibilidad Muy Baja**

La categoría de clasificación Muy Baja se localiza en varios sectores de la Plancha 137 - El Cocuy, asociada a los diferentes drenajes de importancia regional o relacionada a algunos cuerpos de agua. Distribuido sobre el margen norte (en algunos tramos de los ríos Orozco y La Unión o Chuscal Grande) y sobre la región noroccidental (quebrada Colorada), las áreas que integran este rango de calificación también se ubican en la zona suroccidental (sobre algunos sectores de los ríos Nevado y Pantano Grande y de las quebradas Honda y La Salvia) y en el borde oriental, sobre la Sierra Nevada de El Cocuy (Lagunas El Avellanal, La Cueva y La Parada). Esta clasificación de susceptibilidad se encuentra distribuida sobre depósitos cuaternarios de tipo aluvial en su totalidad, ubicados en áreas donde la densidad de fracturamiento oscila desde muy baja hasta alta, con predominio de valores bajos, asociadas, principalmente al trazo de la Falla Río Nevado – Río Cóncavo. Debido a estas características, la zona representa una muy baja influencia del atributo geología para la ocurrencia de movimientos en masa y corresponde a un área muy estable.

### **1.7.2 Susceptibilidad Baja**

El rango de clasificación Baja, solo se ubica en algunos pequeños sectores del margen occidental del área de estudio (asociado al flanco este del Macizo de Santander), distribuida de forma muy heterogénea, igual a la distribución que presenta la Formación La Luna (Ksl) de edad Cretácico, la cual corresponde a material cristalino masivo duro, constituido por calizas negras lodosas, laminadas, ricas en materia orgánica y en arcilla, intercaladas con porcelanitas y shales lodosos. Adicional a esta unidad litológica, la categoría de calificación también se halla presente sobre depósitos cuaternarios de tipo terraza. Asociada, principalmente al trazo de la Falla de Chiscas (y fallas satélites a esta) así como al Anticinal de Guicán, las densidades de fracturamiento registradas para este rango de clasificación, abarcan desde valores muy bajos hasta valores bajos, sin el predominio de ninguna categoría. Entre los procesos morfodinámicos relacionados, se presentan deslizamientos traslacionales planares y reptación de suelos, principalmente, junto a caídas de material y flujos en menor proporción, donde el material predominante en estos procesos son tierras (suelo); producto de procesos de meteorización y procesos erosivos (de tipo surcos) de intensidades bajas a medias.

### **1.7.3 Susceptibilidad Media**

De acuerdo al atributo de geología, corresponden a la categoría más representativa de la Plancha 137 - El Cocuy, cubriendo casi en su totalidad,

todo el borde oriental de la zona de interés (en el área de la Sierra Nevada de El Cocuy), así como algunos pequeños sectores del borde occidental (relacionado al Macizo de Santander). El material constituyente, corresponde en su mayoría a material clástico cementado, de resistencia dura a moderadamente dura, pertenecientes a las diferentes formaciones del Cretácico (Formación Río Negro o Grupo Cáqueza, Formación Aguardiente o Une, Formación Los Pinos y Formación Arenisca Tierna) y del Paleógeno (Formación Barco, Formación Areniscas de Socha y Formación Picacho y Formación Mirador), aunque también se presentan sobre material de edad reciente, de tipo glacial. Las calificaciones de las densidades de fracturamiento para estas zonas, varían desde rangos muy bajos hasta valores muy altos, asociadas a las diferentes rasgos y tendencias estructurales, como son las fallas de Sácama – Gibraltar, río Cobugón, río Ratoncito, río Cobaría y la Falla del paso de la Laguna Grande de los Verdes, así como el Sinclinal de Blanquiscal y el Anticlinal de Sinsiga (en el costado oriental), la Falla de Chiscas y el Sinclinal de Las Mercedes (en el borde occidental). Los procesos de remoción en masa presentes corresponden a deslizamientos traslacionales y ciadas de roca, en su mayoría, con el desarrollo de procesos erosivos de tipo surcos, de grados suaves a moderados.

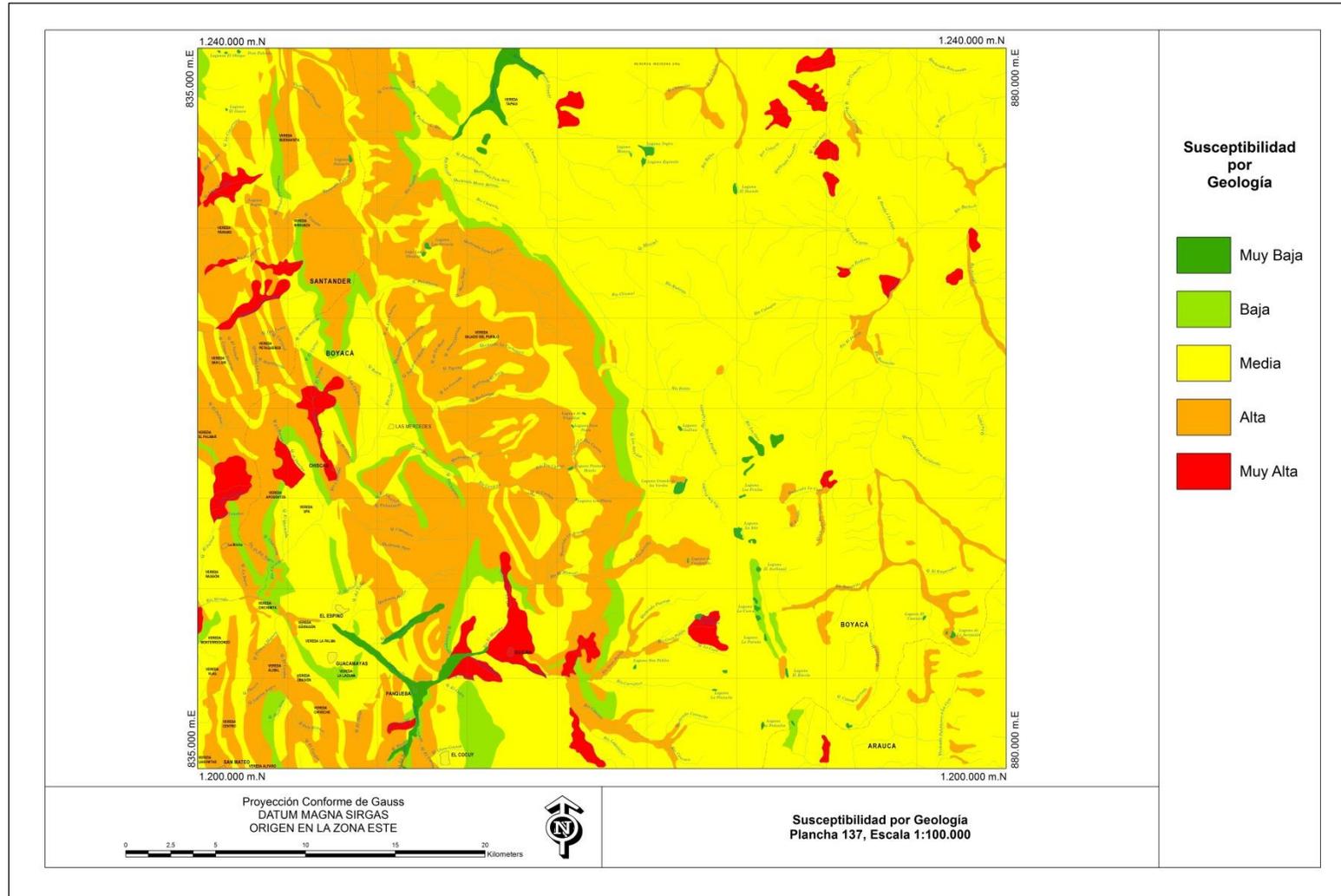
#### **1.7.4 Susceptibilidad Alta**

Se distribuye principalmente hacia el sector occidental del área de estudio y en algunos pequeños sectores del borde oriental, convirtiéndose así, en el segundo rango más representativo de la Plancha 137 - El Cocuy. El material litológico predominante corresponde a clástico consolidado, de resistencia dura a moderadamente dura, conformado por las diferentes formaciones presentes, como la Formación Tibú – Mercedes o Apón, la Formación Chipaque o Capacho, la Formación Guaduas y la Formación Colon – Mito Juan (de edad Cretácico), la Formación Los Cuervos, la Formación Arcillas de Socha, la Formación Concentración y la Formación Carbonera (de edad Paleógeno); así como por depósitos cuaternarios, de tipo fluvio-glacial, morrénico y de neviza. Aunque se encuentre relacionadas a las Fallas de Chiscas y Pantano Grande, así como al Sinclinal de Las Mercedes y el Anticlinal de Guicán, donde los valores de densidad de fracturamiento oscilan desde muy bajos hasta muy altos, los rangos predominantes para este atributo, sobre esta categoría, son bajos. Los movimientos en masa corresponden a deslizamientos traslacionales y caídas de material detrítico y rocoso, principalmente, con el desarrollo de procesos erosivos de tipo surcos y cárcavas de grados bajos a moderados.

#### **1.7.5 Susceptibilidad Muy Alta**

Se localiza en diferentes sectores de la Plancha 137 - El Cocuy y se encuentra constituido, en su totalidad, por material de edad reciente, de tipo coluvial. A pesar de abarcar valores de densidad de fracturamiento desde muy bajos hasta

altos (con predominio de rangos bajos), estas áreas se encuentran afectadas por procesos de fallamiento de tipo inverso, correspondientes a las fallas del Río Nevado – Río Cóncavo, Río Casiano y Río Pantano Grande, así como por fallas satélites a estas; que ejercen una gran influencia para la generación de procesos morfodinámicos, como los registrados para estas zonas (deslizamientos traslacionales planares y en cuña, así como flujos), donde el material constituyente corresponde a detritos, en su mayoría. Los procesos de erosión son de tipo surcos, cárcavas y socavación, de intensidades moderadas a severas. Algunos de estos procesos son de especial cuidado, debido a su gran extensión, a su distribución espacial (sobre los diferentes cauces del sector) y a la cantidad de material que pueden llegar desplazar; los cuales, pueden a futuro, obstruir dichos drenajes. Cabe destacar que la cabecera municipal de Guicán y la parte occidental del casco urbano del Municipio de Chiscas, se localizan sobre esta categoría de susceptibilidad.



**Figura 10.** Mapa de la Susceptibilidad de la Geología de la Plancha 137 – El Cocuy