
ANEXO A
SUSCEPTIBILIDAD POR GEOLOGÍA

1. GEOLOGÍA

Para el proceso de zonificación se utilizaron las planchas geológicas a 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, aunque 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 en SGC, 2013). 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.

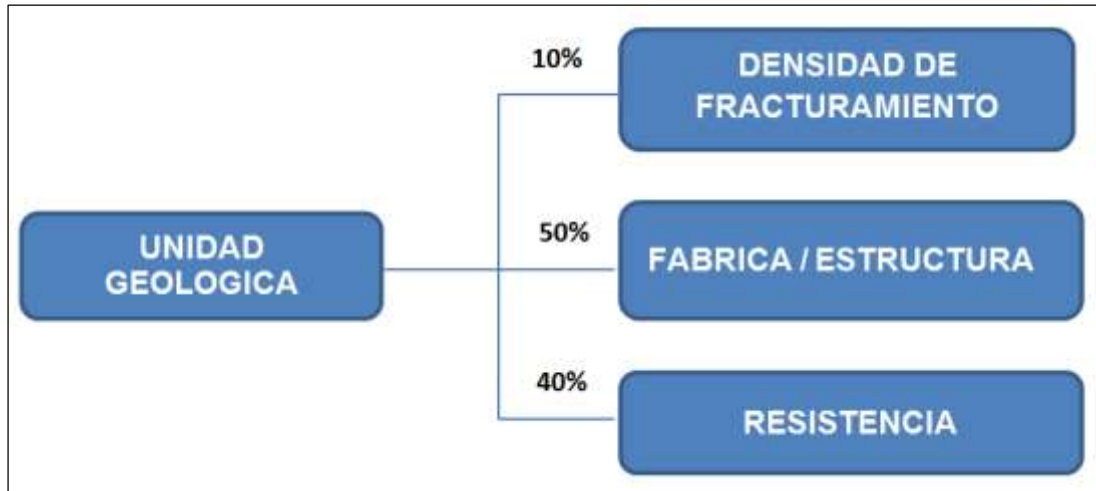


Figura 1. Diagrama de variables dentro de la temática Unidad geológica, con sus respectivos pesos. Tomada de (SGC, 2012).

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 basado en la Tabla 1, si en esta 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 realizadas en rocas de la zona o si en su defecto no existe, se debe de 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.

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 1996, (Tabla 2) y se basan en información documentada y datos de resistencia a nivel nacional e internacional, en la Tabla 3 se presenta la calificación propuesta para los diferentes tipos de rocas dependiendo de su fábrica y estructura, también, resume los rangos de resistencia para las rocas más comunes.

Tabla 1. Categorías de resistencia a la compresión simple de las rocas. Hoek, 1996.

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, rokhsalt, 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 highl ambiguous results.

Tabla 2. Propuesta de calificación de las rocas dependiendo su fábrica y estructura. (SGC, 2012).

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

Tabla 3. Resumen de resistencia al compresión simple. 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 Eskdele							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
Arcillotita						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

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. Así mismo, presenta 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 geomecánicas. A continuación se presenta la Tabla 4 con las características generales según el tipo de textura/fabrica y en la Tabla 5 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

1.2 UNIDADES LITOLÓGICAS

Para realizar el análisis de las propiedades geológicas de la Plancha 133 - Puerto Berrío, es necesario realizar un compendio de las unidades litoestratigráficas descritas en la reseña explicativa del Mapa Geológico preliminar Plancha 133 - Puerto Berrío a escala 1:100.000 (INGEOMINAS, 2012), de aquí se extraen las características litológicas para en análisis de las propiedades de textura y resistencia, cabe aclarar que las unidades superficiales se dividen en dos atributos independientes como son: roca y depósitos, cada uno de ellos se evalúan por independiente para el cálculo de la variable de susceptibilidad de la geología.

En la Plancha 133 - Puerto Berrío se exponen rocas que son agrupadas en once (11) unidades litológicas de edad proterozoica a cuaternaria, estando al occidente las más antiguas y al este las más recientes.

Las rocas más antiguas son los gneis cuarzofeldespáticos llamados Gneis de San Lucas. Le sigue la Formación Cristalina compuesta de meta-sedimentos del Ordovícico; los cuerpos intrusivos compuestos por rocas dioríticas y granitos del Batolito de Segovia y flujos volcánicos de la Formación Malena del Jurásico.

En el Cretáceo, se observan las lutitas carbonosas correspondientes a las Sedimentitas de Segovia. La geología del área se conecta directamente con eventos del cenozoico y en sectores con depósitos aluviales cuaternarios debido a la influencia del valle medio del río Magdalena.

Hacia el costado oriental de la Plancha 133 - Puerto Berrío, se encuentran rocas sedimentarias, de edad Paleógeno y Neógeno, correspondientes a las formaciones Mugrosa, Real y Mesa, acompañadas por depósitos aluviales del cuaternario.

Estructuralmente la zona noroccidental está controlada por las fallas Palestina, Cimitarra y Palancas, que sirven de contacto a las rocas metamórficas del Gneis de San Lucas, con cuerpos intrusivos del Batolito de Segovia y hacia el norte con rocas pertenecientes a las Sedimentitas de Segovia con las formaciones Silgará y Floresta del Devónico y las rocas del Cretáceo y Jurásico. En el Este la Falla de Servitá marca el contacto entre rocas pre - cretáceas y las unidades sedimentarias del Paleógeno; estas últimas están afectadas por plegamientos anticlinales y sinclinales estrechos.

1.2.1 Formación Mesa

Las rocas que conforman la Formación Mesa suprayacen rocas cristalinas, extendiéndose hacia el flanco occidental de la Cordillera Oriental, donde se encuentran en contacto fallado con sedimentitas del grupo Honda. En la Plancha 133 - Puerto Berrío se localiza desde el límite oriental hasta el costado occidental del río Magdalena donde entra en contacto con rocas ígneas del Batolito de Segovia. Su descripción litológica está dada por: arenas líticas, areniscas feldespáticas ricas en líticos volcánicos y areniscas conglomeráticas con guijos finos a medios de rocas volcánicas andesíticas, pumita, cuarzo y chert. La unidad presenta estratificación en artesa, cruzada y plana paralela continua (Fonseca *et al.*, 2010). La susceptibilidad baja a media.

Representa la unidad litológica de mayor extensión en la Plancha 133 - Puerto Berrío, cubriendo el sector central y el costado este del área de estudio, esta formación se encuentra dividida en diferentes sectores por depósitos cuaternarios y hacia la parte oeste por rocas ígneas del Batolito de Segovia.

Esta formación se ha calificado con una textura clástica cementada y en términos de resistencia se incluye dentro de la categoría dura. Las rocas de la Formación Mesa están afectadas por clima cálido y húmedo.

1.2.2 Formación Real

Las rocas correspondientes a la Formación Real son del Neógeno. Están constituidas principalmente por conglomerados y areniscas conglomeráticas y se encuentran localizadas hacia la parte inferior del área de estudio. La Formación Real se encuentra en contacto con la Formación Mesa (Fonseca *et al.*, 2010).

Estas rocas conglomeráticas presentan una textura clástica, cementada y con una resistencia de roca dura.

La Formación Real se encuentra hacia el sur de la plancha, donde el suelo presente en la unidad se encuentra variando de 0,25 a 0,50 m de espesor, su consolidación es pobre, con alta meteorización de minerales arcillosos y erosión

ligera. Las rocas de la Formación Real están afectadas por clima predominante cálido.

1.2.3 Formación Mugrosa

La Formación Mugrosa está compuesta de arenisca de grano fino a medio, ligeramente conglomeráticas, color gris. Desarrolla una delgada capa de suelo con espesores menores a 0,50 m. Las rocas de la Formación Mugrosa están afectadas por clima cálido.

1.2.4 Sedimentitas de Segovia

Rocas cretáceas localizadas en todo el sector noroeste del área, se encuentra limitada por el Batolito de Segovia y la Falla Palestina, que la pone en contacto discordante con el Gneis de San Lucas. Está conformada por lutitas carbonosas estratificadas con limolitas, areniscas, conglomerados con fragmentos de lutitas, cantos de conglomerados cuarzosos y rocas volcánicas básicas (Fonseca *et al.*, 2010). La susceptibilidad de esta unidad se encuentra entre los valores medios, afectada por los lineamientos que afectan las unidades que la delimitan.

La unidad presenta un predominio de lodolitas por lo que su resistencia es medianamente dura, respecto a la textura presenta una textura clástica consolidada. Los suelos que se encuentran en este sector presentan una profundidad que varía entre los 100 - 150 cm.

1.2.5 Batolito de Segovia

El Batolito de Segovia se encuentra hacia el flanco este de la Cordillera Central y se desarrolla en la parte norte del Departamento de Antioquia. Esta unidad aflora en gran parte del sector occidental de la Plancha 133 - Puerto Berrío, se halla intruyendo rocas metamórficas correspondientes al Gneis de San Lucas. El batolito se encuentra afectado por las fallas de Cimitarra, Urama y Palestina, esta última, lo pone en contacto discordante con el basamento metamórfico.

Las rocas que predominan en la unidad se constituyen básicamente de monzogranitos, sienogranitos, granitos monzonitas, granodioritas (Fonseca *et al.*, 2010).

Las fallas Cimitarra, Urama y Palancas (que nace de la falla Cimitarra), se desplazan en dirección noreste – suroeste, de manera semiparalela entre sí, ejerciendo un fuerte control estructural sobre el Batolito de Segovia. En este sector del área de estudio, se presentan valores altos de densidad de fracturamiento, principalmente sobre el trazo de la Falla Cimitarra y valores medios sobre las fallas Palancas y Urama. Hacia el límite oeste la unidad se encuentra dividida por el Neis de San Lucas, que se pone en contacto con el

Batolito de Segovia, mediante la Falla Palestina donde la densidad de fracturamiento alcanza sus más altos valores.

Este cuerpo ígneo presenta una textura cristalina masiva, su resistencia se califica como rocas extremadamente duras, por lo cual su susceptibilidad es baja. El suelo presente en la unidad se encuentra variando de 100 a 150 cm. donde su consolidación es media, con baja meteorización de minerales arcillosos y sin erosión. El clima que afecta las rocas del Batolito de Segovia es extremadamente frío y húmedo.

1.2.6 Formación Malena

La unidad está definida como cuerpos de rocas volcánicas félsicas con textura porfídica, esta formación se encuentra en contacto discordante con la unidad metamórfica de San Lucas. La Formación Malena está constituida por flujos volcánicos riolíticos a riodacítico, brechas volcánicas y tobas hacia la parte superior del conjunto, diques basálticos, lamprófidos, pórfidos andesíticos y traquíticos (Fonseca *et al.*, 2010).

Las rocas que conforma la Formación Malena se encuentran afectadas por la Falla Urama y fallas satélites que se desplazan en diferentes direcciones dentro de la unidad. La densidad de fracturamiento presenta valores uniformes bajos, en determinados puntos donde ejerce acción la Falla Urama esta densidad asume valores altos.

La unidad presenta un predominio de rocas riolíticas con una textura cristalina masiva, este tipo de rocas presentan una alta resistencia que se asigna a la categoría de rocas extremadamente duras. El suelo muestra características de baja meteorización, con profundidades que se encuentran entre 50 a 100 cm de profundidad. El clima que afecta a las Rocas de la Formación Malena es de húmedo.

1.2.7 Formación La Cristalina

Formación ubicada en el costado suroeste de la Plancha 133 - Puerto Berrío. Las rocas son principalmente cuarcitas y lutitas fuertemente plegadas con contenido de fósiles. En la zona de estudio se encuentran capas de arenisca interestratificada con delgadas capas de arcillolitas rojizas, capas de caliza grisácea y bloques guijosos de cuarzo arenitas, su susceptibilidad es media con una calificación de 2.7 (Fonseca *et al.*, 2010).

La Formación la Cristalina contiene predominantemente areniscas, con una textura clástica, cementada, medianamente consolidada, su resistencia es de roca dura. Presenta una muy baja a nula densidad de fracturamiento, el suelo

posee valores de profundidad de 1 a 1,20 m. El clima que afecta a la Formación la Cristalina es muy frío y húmedo.

1.2.8 Complejo Cajamarca

Unidad delimitada por la Falla Otú y la Falla San Jerónimo, localizada hacia el sector oriental del valle medio del río Magdalena, constituido por rocas metasedimentarias cuarzosas y esquistos silíceos. En determinados sectores afloran cuerpos calcáreos afectados por las fallas Palestina y Otú. Estos cuerpos sedimentarios calcáreos han sufridos metamorfismo dinámico (Fonseca *et al.*, 2010).

Se encuentra influenciada por fallas satélites que afectan el basamento metamórfico, por lo cual su densidad de fracturamiento presenta valores altos.

La unidad representada principalmente por mármol, tiene textura cristalina masiva, con resistencia para rocas duras. El suelo presenta erosión, con profundidades de 100 a 150 cm. El clima que afecta al Complejo Cajamarca es húmedo.

1.2.9 Neis de San Lucas

Esta unidad se extiende desde la Serranía de San Lucas hasta la parte suroccidental del casco urbano del Municipio de Puerto Berrío; está compuesta por rocas metamórficas del proterozoico y encuentra limitado por bloques fallados; en algunos sectores se presentan intrusiones del Batolito de Segovia. En esta unidad predominan rocas gnéisicas, esquistos, anfibolitas, y rocas que han sufrido procesos de metamorfismo dinámico (Fonseca, *et al.*, 2010).

La unidad se presenta hacia el costado occidental de la Plancha 133 - Puerto Berrío, dividiendo el Batolito de Segovia en dos secciones y se encuentra influenciada por la acción de la Falla Palestina, que marca el contacto entre esta unidad con unidades jurásicas y cretácicas. La Falla de Cimitarra se encuentra oblicua a la Falla Palestina ejerce el control estructural en este sector, la unidad presenta una alta calificación en lo que corresponde a la densidad de fracturamiento alcanzando valores muy altos.

Se encuentran también, Neises bandeados, por lo cual esta unidad presenta textura cristalina, bandeda y su resistencia es muy dura. Suavemente erosionado y meteorizado, con poca consolidación, con profundidades de suelo que varían entre 100 y 150 cm de espesor.

A continuación se muestra el mapa de unidades geológicas de la Plancha 133 - Puerto Berrío (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).

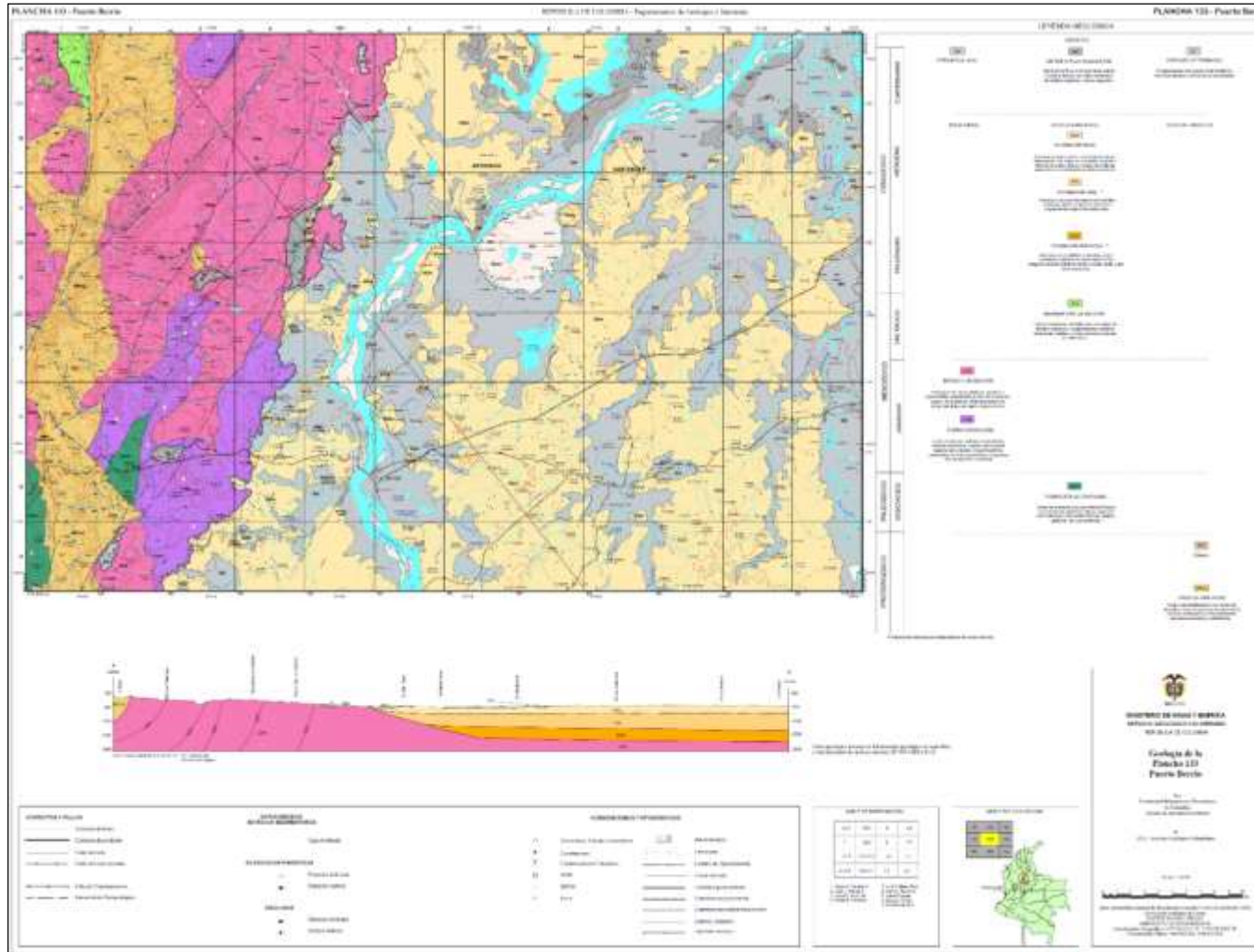


Figura 2. Mapa de Unidades Geológicas de la Plancha 133 - Puerto Berrío.

Tabla 6. Calificación de unidades de roca para el atributo de textura y resistencia de la Plancha 133 – Puerto Berrío.

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCIÓN	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	TÉRMINO	RANGOS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LAS ROCAS (Kg/cm2)	CALIFICACIÓN RESISTENCIA
CUATERNARIO	DEPÓSITO TERRAZAS	Qt	Conglomerados con granos heterométricos que varían de guijos a cantos, con mala selección, bien redondeados y probablemente cementados; los clastos son chert, cuarzoarenitas, granitos y material piroclástico, entre otros. Su color varía según el tipo de roca. Tiene una matriz arenosa de grano grueso a medio, medianamente seleccionado, compuesta por cuarzo, feldspatos, moscovita, líticos, óxidos de hierro y material arcilloso.	Depósito de Terraza Aluvial	0	N/A	0	N/A	0	0	<10	0
	DEPÓSITO FLUVIO LACUSTRE	Qpl = Qlp	Sedimentos finos, principalmente arenas y lodos con altos contenidos de materia orgánica y restos vegetales.	Depósito de llanura aluvial	0	N/A	0	N/A	0	0	<10	0
	DEPÓSITO ALUVIAL	Qal	Gravas de matriz arcillosa con presencia de oro disseminado. Se diferencian tres tipos de depósito aluvial; uno antiguo de material heterométrico, redondeado de cuarzo y rocas metamórficas e ígneas en una matriz areno arcillosa; también, un depósito aluvial antiguo con importante presencia de oro disseminado en cantos de cuarzo, su matriz es areno arcillosa, y finalmente depósitos aluviales muy recientes, compuestos de gravas heterométricas, inconsolidados, en las que predominan cuarzoarenitas, cuarzo lechoso, chert, rocas volcano-sedimentarias, metamórficas e ígneas y arenas de grano medio a fino, gravas, arenas y limos. Los cantos son redondeados a subredondeados de selección media.	Deposito Aluvial	0	N/A	0	N/A	R2	BLANDA	<10	0

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCIÓN	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	TÉRMINO	RANGOS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LAS ROCAS (Kg/cm2)	CALIFICACIÓN RESISTENCIA
NEÓGENO	FORMACIÓN MESA	N2m	Sedimentos erosionados formando mesas, compuestos de arenisca líticas de grano medio, con cemento silíceo volcánico y areniscas conglomeráticas con guijos finos a medios de rocas volcánicas, intercaladas con capas de arcillolita caolinítica. Bancos de arena, grava y capas de arcilla de color blanco con presencia de fósiles de hojas. También hay intercalaciones de ceniza volcánica y arenisca de grano medio a fino con granos angulares bien seleccionados.	Arenisca	0 al 4	Clástica cementada	3	100 - 250	R3	MEDIANAMENTE DURA	176 - 1030	3
CRETÁCICO	SEDIMENTITAS DE SEGOVIA	Kse	Lutitas carbonosas estratificadas con capas de limolita, arenisca y conglomerados, presenta localmente conglomerados cuarzosos lodolitas y rocas volcánicas básicas	Lodolita	3 al 5	Clástica Consolidada	4	25 - 100	R3	MEDIANAMENTE DURA	176 - 1030	3
JURÁSICO	BATOLITO DE SEGOVIA	J2Se	Rocas dioríticas y cuarzo dioritas, granitos y granodioritas, emplazadas juntos con diques de cuarzo. Se presentan mineralizaciones de cobre, hematites y en menor proporción oro.	Diorita	0 al 5	Cristalina Masiva	1		R6	EXTREMAMENTE DURA	1757 - 2931	1
	FORMACIÓN MALENA	J1Ma	Rocas volcánicas félsicas, riolíticas a riodacíticas, brechas volcánicas y tobas. Diques basálticos, lamprófidoides, pórfidos andesíticos y traquíticos	Riolita	0 al 4	Cristalina Masiva	1	100 - 250	R6	EXTREMAMENTE DURA	1000 - 2500	1
ORDOVICICO	FORMACIÓN CRISTALINA	O1Cr	Arenisca cuarzosa interestratificadas con láminas de arcillolitas rojizas, capas de caliza grisácea y frecuentes bloques, guijos y guijarros de cuarzo arenitas. Metareniscas feldespáticas con cuarzo recrystalizado.	Arenisca	0 al 4	Clástica cementada	3	100 - 250	R4	DURA	212 - 1456	2

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCIÓN	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	TÉRMINO	RANGOS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LAS ROCAS (Kg/cm2)	CALIFICACIÓN RESISTENCIA
PROTEROZOICO	COMPLEJO CAJAMARCA (Grupo Calcáreo)	pEm	Rocas metasedimentarias cuarzosas, esquistos silíceos con algunos cuerpos calcáreos. Protomilonitas y mármoles de grano fino.	Mármol	0 al 5	Cristalina Masiva	1	100 - 250	R4	DURA	620 - 2270	2
	GNEIS DE SAN LUCAS	MPnsl	Neis cuarzo feldespático localmente con lentes de anfibolita y mármol, esquistos micáceos y actinolíticos	Gneis	0 al 5	Cristalina Bandeada	2	100 - 250	R5	MUY DURA	492 - 1898	1

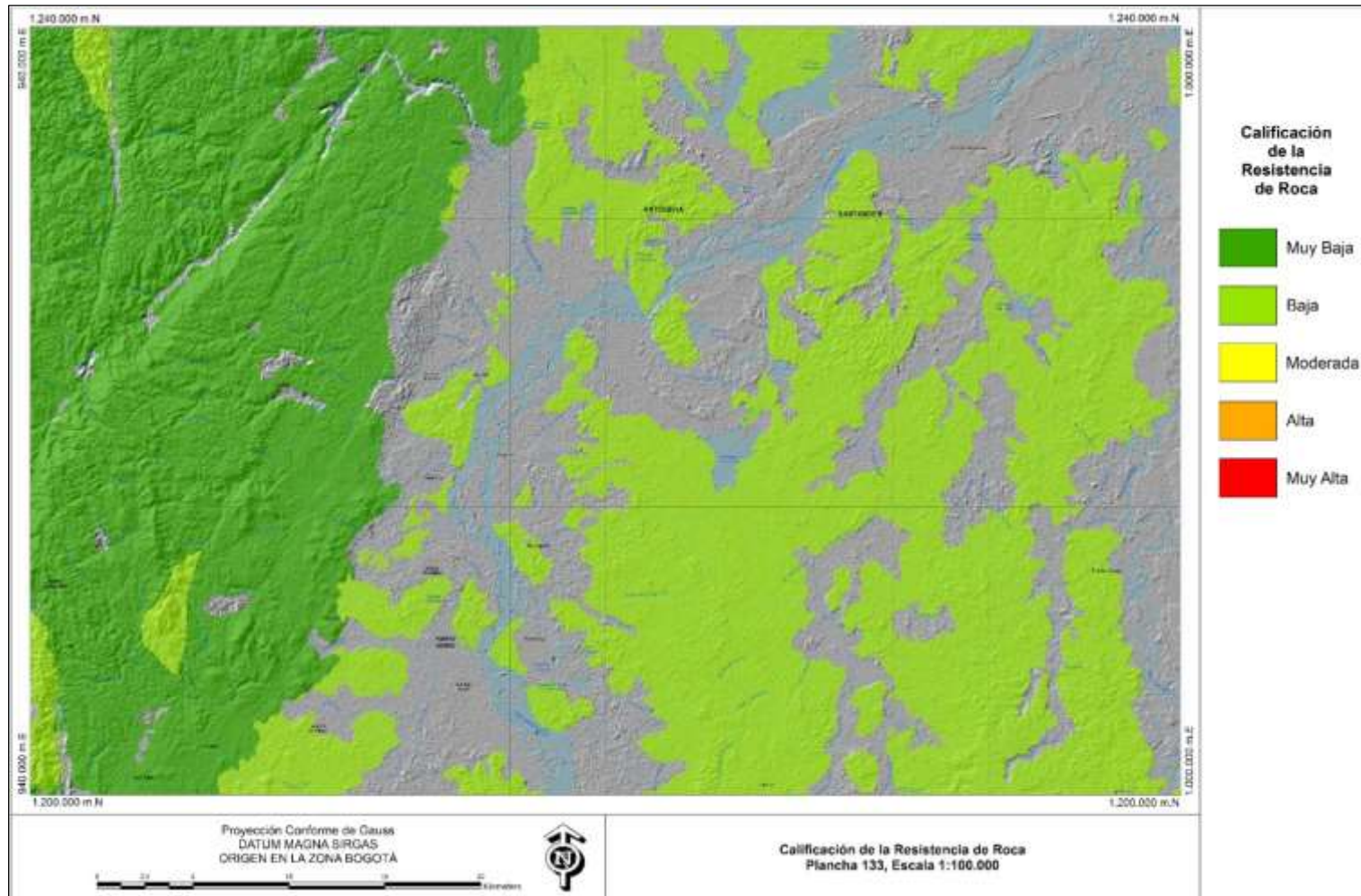


Figura 3. Mapa de calificación de unidades a partir de su atributo de Resistencia.

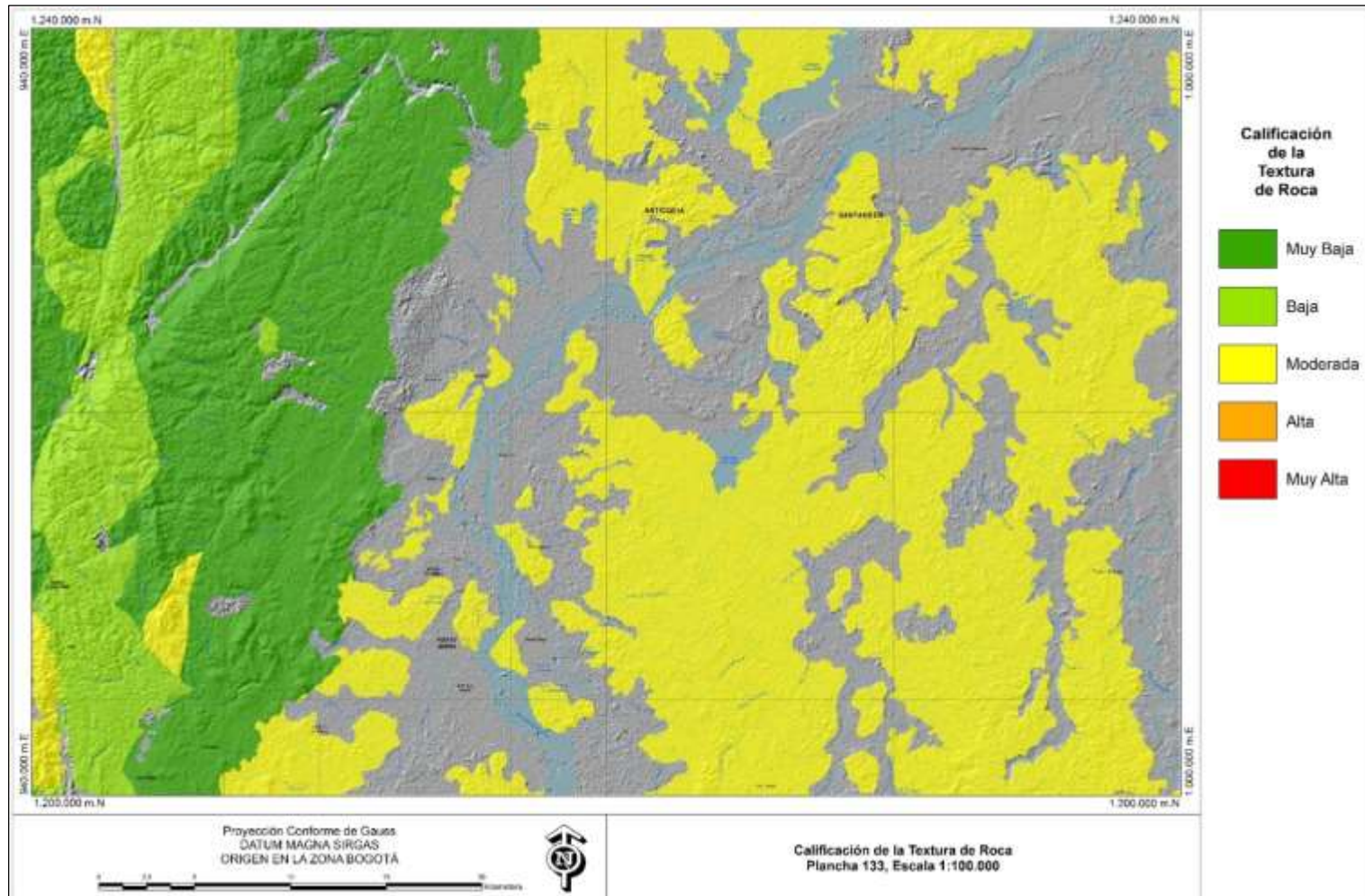


Figura 4. Mapa de calificación de unidades a partir de su atributo de Textura.

1.3 DEPÓSITOS

Hoek (1996), le atribuye a los depósitos en general una resistencia menor de 10 Kg/cm², 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. Este tipo de materiales son producto de movimientos en masa que involucran este tamaño de material. La geoforma asociada a este depósito corresponde a: Cono o lóbulo de flujo de lodo.

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, corresponde 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, medianamente 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, 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 planos paralelos. 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 trezadas 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, se localizan junto al cauce y material más fino, tipo limo y arcilla se localizan 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, asociadas a las márgenes de los ríos principales. 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 seudoestratificación 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, ya que son los primeros materiales en ser reabajados. En 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 ya que los depósitos pueden ser total o principalmente restos de plantas acumulados. 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, Isla.

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 - 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 locales concentraciones de fragmentos calcáreos, materia orgánica y fragmentos de conchas. Las geoformas asociadas a este tipo de depósito corresponden a: Constituyen las 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 oscuras, con restos de fragmentos de conchas y localmente con interdigitaciones de arena arcillosa de grano fino, color y parduscos. 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 halofitas. 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 antes descritos. Planos y llanuras con vegetación halófila.

Depósitos de playa y dunas: Los depósitos de playa y duna 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 - 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 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, Complejo 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 descende 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 atmósfera 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 monolitológica 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, soportados grano a grano o matriz - soportado; 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 pseudoestratificación 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 soportada con clastos son de forma angular a subangular, predominan los tamaños bloques y limos, presentan gradación media 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 arenas y gravas, en general el depósito se encuentra bien gradado con pseudoestratificación. Son suelos de baja compactación. 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 desechos orgánicos o industriales sin diferenciar, los cuales son dispuestos de manera mecánica o manual.

En la Figura 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, 2012).

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 reabajados 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.

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

Ambiente	Depósito	Geoforma Asociada	Aquivalente Geológico	Calificación
Denudacional	Depósitos coluviales	Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción y Conos de deyección, Glacis de acumulación	Qc/Qd/Q2v/Qti/Q/Q2c/Qdp/Qccol/Qdt/Qac/Qtt/Qgd1/Qgd2	5
	Depósitos de detritos	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de detritos, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de detritos	Qcc/Q/Qdt	4
	Depósitos de tierras	Cono o lóbulo de deslizamiento traslacional de tierras, Cono o lóbulo de deslizamiento rotacional de tierras.	Qcc	5
	Depósitos de terraza sobre elevada	Terraza sobreelevada 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.	Qa2/Qac/Qar/Qal/Q2-ai/Qalu/Qal/Q2cal/Qo1/Qa/Q2-aldi/Qb/Qall/Q2-alpr/Qlal/Qo2/Q2a/lh/Q2alca	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/Qtl/Qlp	1
	Depósitos de abanicos aluviales	Abanicos fluvio-torrenciales, conos de deyección, deltas de desborde natural, deltas lacustrinos y escarpes de abanicos fluviales	Qab/Q2cal/Qc/Q1ab/Q2g/Qaa/Qap1/Qcal	3
Marino/Costero	Depósitos marino aluviales	Llanuras costeras	Q2m/m (Q2m)/Qes	2
	Depósitos intermareales	Planos de inundación	Q2m/m (Q2m)	1
	Sustrato de manglar	Planos y llanuras con vegetación halófica	Q2m/m (Q2m)/m/Qm	1
	Depósitos de playón	Tómbolo, espigas, barras litorales y playones	Q2m/m (Q2m)/Q2ib	1
	Depósitos de origen arrecifal	Bajos arrecifales, isla	Q2m/m (Q2m)	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 Barchanes, Dunas longitudinales, Dunas parabólicas, Dunas cóteras sin diferenciar, Campo de dunas remontantes, Campo de dunas de sombra, Mantos de arena eólica	Qe/Q1-ep	2
	Depósitos de loees	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	Qpi	5
	Depósitos de avalancha de escombros	Campo de Hummocks	Qt/Qaecnh	4
	Depósitos de flujo de escombros o lahar o flujo de lodo volcánico	Flujo lahárico aterrazado, Escarpe de flujo lahárico aterrazado y cono lahárico	Qt/Qtl/Qva	3
Glacial y periglacial	Depósitos fluvoglaciares/glaciofluviales	Eskersy kames	Qt/Qmfg/Qg/Qlg/Qmfg	4
	Depósitos glaciolacustres	Planos glaciolacustrinos	Qt/Qg	2
	Depósito glacial till de ablación	Morrenas frontales y laterales	Qt/Qg/Qma/Qm/Qmr/Qmfg	3,5
	Depósito glacial till basal	Morrenas de fondo y morrenas periglaciales	Qt/Qg	3
Antropogénico	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios	Rellenos de basuras o rellenos sanitarios		5

Para realizar el análisis de los depósitos de la Plancha 133 - Puerto Berrío es necesario realizar un compendio de las unidades descritas en la memoria técnica explicativa del Mapa Geológico de la Plancha 133 - Puerto Berrío a escala 1:100.000 (INGEOMINAS, Ward & Goldsmith *et al.*, 1977), usado como insumo preliminar y a continuación se relacionan:

1.4 DEPÓSITOS DESCRITOS EN LA PLANCHA 133 - PUERTO BERRÍO

1.4.1 Depósitos Sedimentarios Recientes (Qal, Qd, Qtf y Qg)

Los depósitos recientes de la Plancha 133 - Puerto Berrío se encuentran conformadas por los depósitos de terraza, depósitos fluvio-lacustres y depósitos aluviales. La distribución de estos materiales es muy irregular, puesto que se encuentran recubriendo gran parte de las unidades aflorantes dentro del área de estudio. Los espesores varían en relación con la localización de los mismos, se encuentran espesores que van desde algunos cm hasta 2 y 3 m de espesor. Las características granulométricas varían lateralmente, sin seguir ningún patrón definido, siendo de esta manera el producto de la constante divagación que da lugar a la conformación de pequeñas islas que se localizan donde los sedimentos son abundantes, las descargas de agua son altas e intermitentes dependiendo del periodo climático presente, lo cual da lugar a la depositación difusa de sedimentos a lado y lado del río Magdalena durante las diferentes edades geológicas comprendidas entre los periodos Neógeno y Cuaternario. En la Figura 5 se describe la calificación del depósito según su génesis y en la Tabla 9 se muestra el mapa con la calificación de los depósitos.

Tabla 9. Calificación de los Depósitos.

PERIODO	FORMACION		DESCRIPCION	ASOCIACIÓN METODOLOGICA	CALIFICACION
	NOMBRE	SIMBOLO			
CUATERNARIO	DEPÓSITO TERRAZAS	Qt	Conglomerados con granos heterométricos que varían de guijos a cantos, con mala selección, bien redondeados y probablemente cementados, compuestos de roca ígnea y sedimentaria; como chert, cuarzoarenitas, granitos y material piroclástico entre otros. Su color varía según el tipo de roca. Tiene una matriz arenosa de grano grueso a medio, medianamente seleccionado, compuesta por cuarzo, feldespatos, moscovita, líticos, óxidos de hierro y material arcilloso.	Depósitos de Terrazas aluviales	2
	DEPÓSITO FLUVIO LACUSTRE	Qpl	Sedimentos finos, principalmente arenas y material lodoso con altos contenidos de materia orgánica y restos vegetales.	Depósito de llanura aluvial	1
	DEPÓSITO ALUVIAL	Qal	Gravas de matriz arcillosa con presencia de oro diseminado. Se diferencian tres tipos de depósito aluvial; uno antiguo de material heterométrico, redondeado de cuarzo y rocas metamórficas e ígneas en una matriz areno arcillosa; también un depósito aluvial antiguo con importante presencia de oro diseminado en cantos de cuarzo y en su matriz areno arcillosa, y finalmente depósitos aluviales en construcción de gravas heterométricas inconsolidados en las que predominan cuarzoarenitas, cuarzo lechoso, chert, rocas volcánico-sedimentarias, metamórficas e ígneas y arenas de grano medio a fino, gravas, arenas y limos. Los cantos son redondeados subredondeados de selección media.	Deposito Aluvial	1

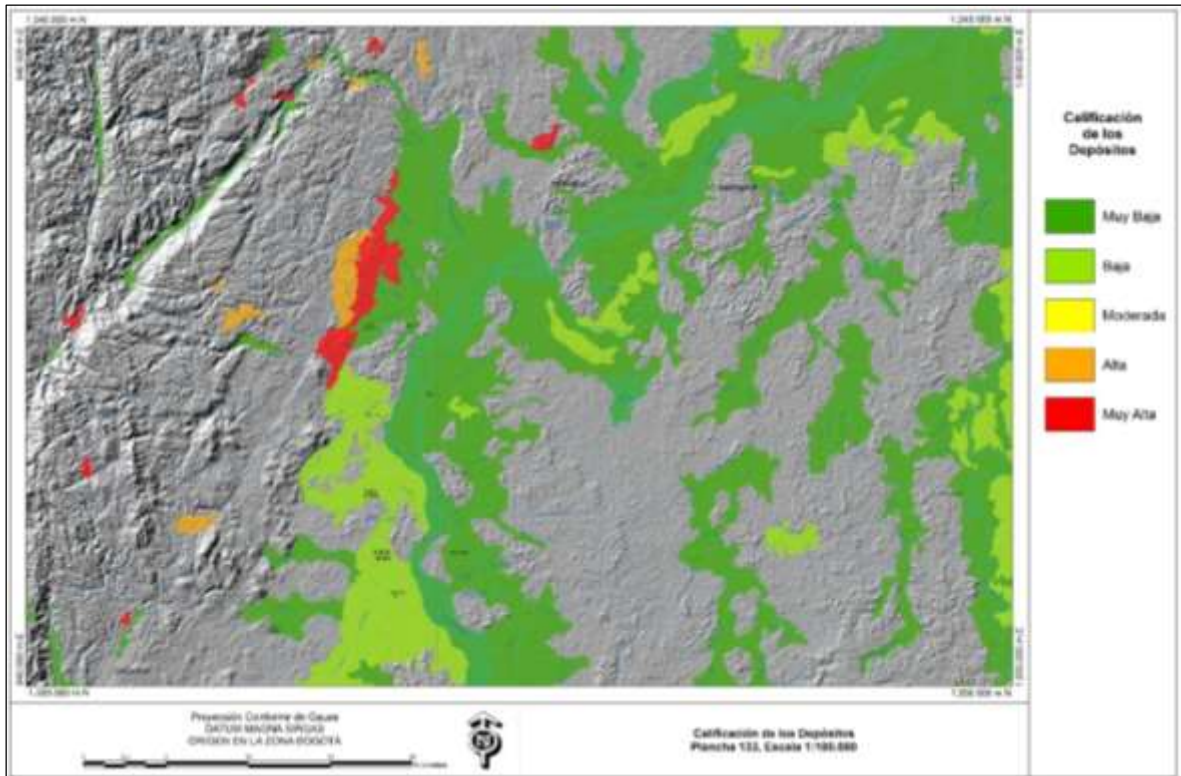


Figura 5. Mapa de calificación de depósitos a partir de su génesis.

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, 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 8 indica el grado de actividad de las fallas a partir de la relación tiempo – desplazamiento (Page y Cline, 1981) y 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, 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.

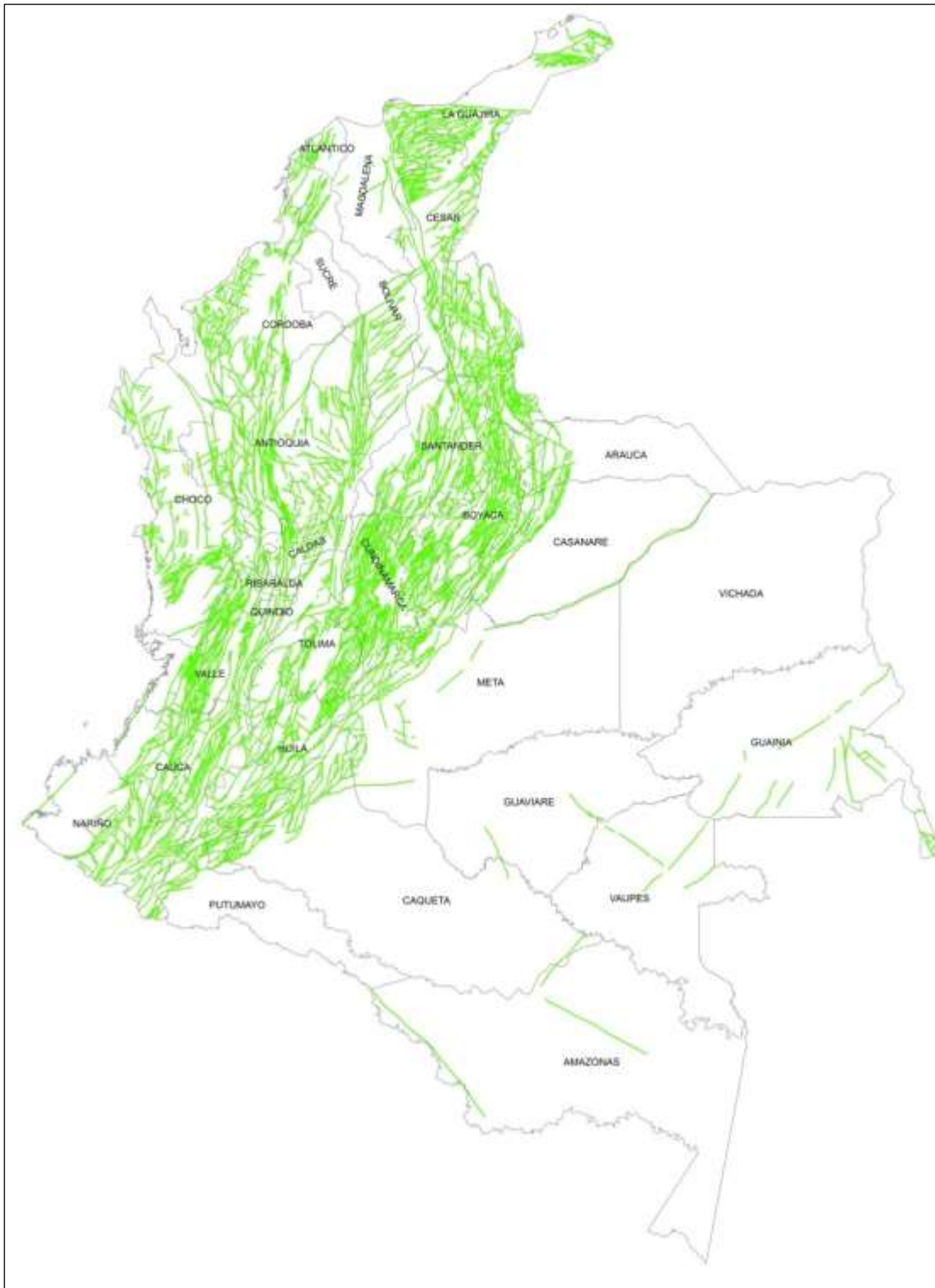


Figura 6. Mapa de fallas, lineamientos y pliegues de Colombia escala 1:500.000.

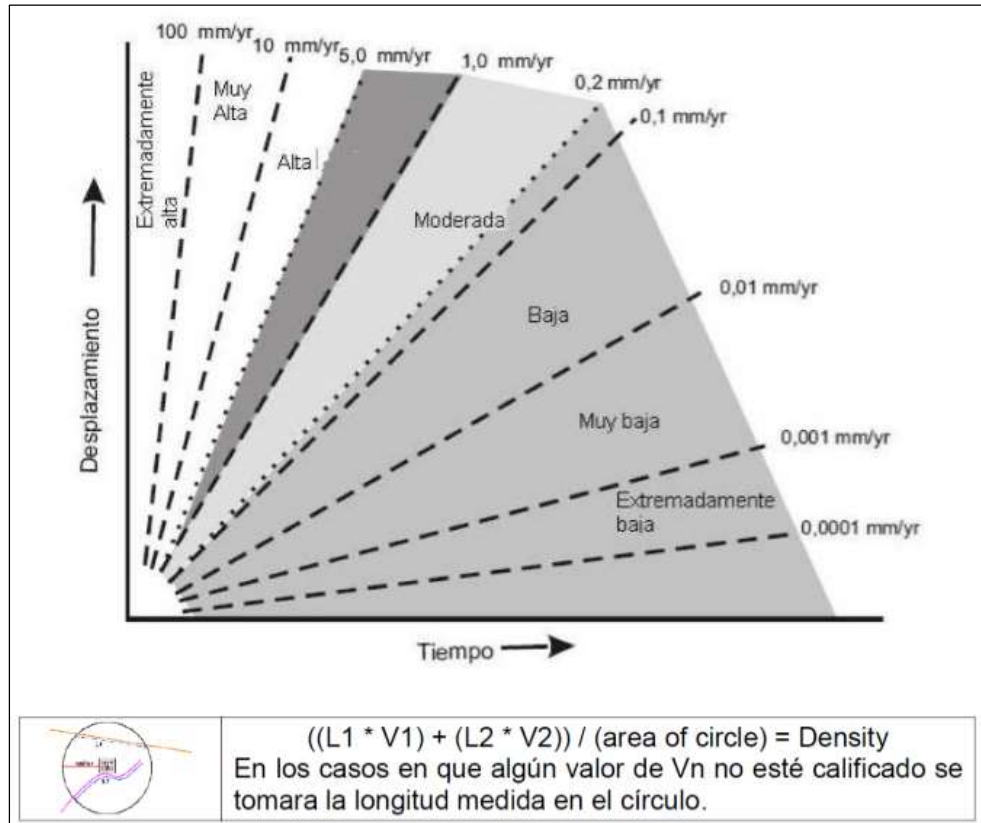


Figura 7. Tazas de desplazamiento de las fallas en el cuaternario en Colombia.
Tomado de Paris, G. Machette, M., Dart, R., Haller, K. 2000.

Para generar el mapa de densidad de fracturamiento a escala 1:100.000 se utilizó un tamaño de pixel de 250 metros y un radio de 1250 metros. El valor mínimo de densidad es 0,089 m/km² y el valor máximo es 22,59 m/km² 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.

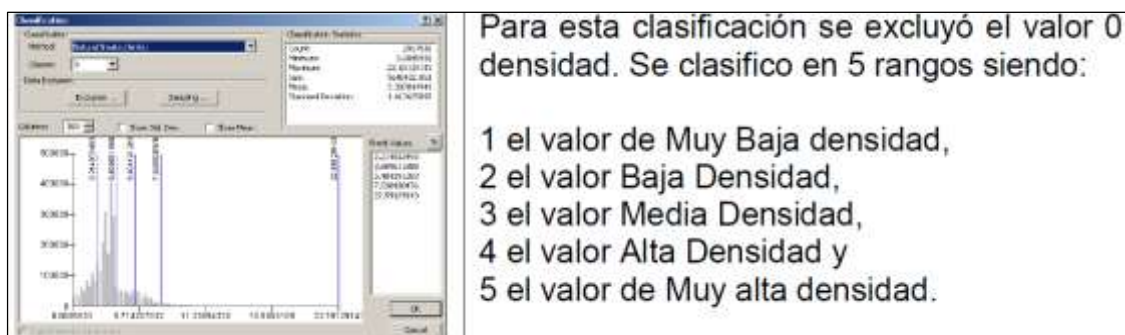


Figura 8. Rangos de densidad y su clasificación de susceptibilidad a nivel nacional.

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

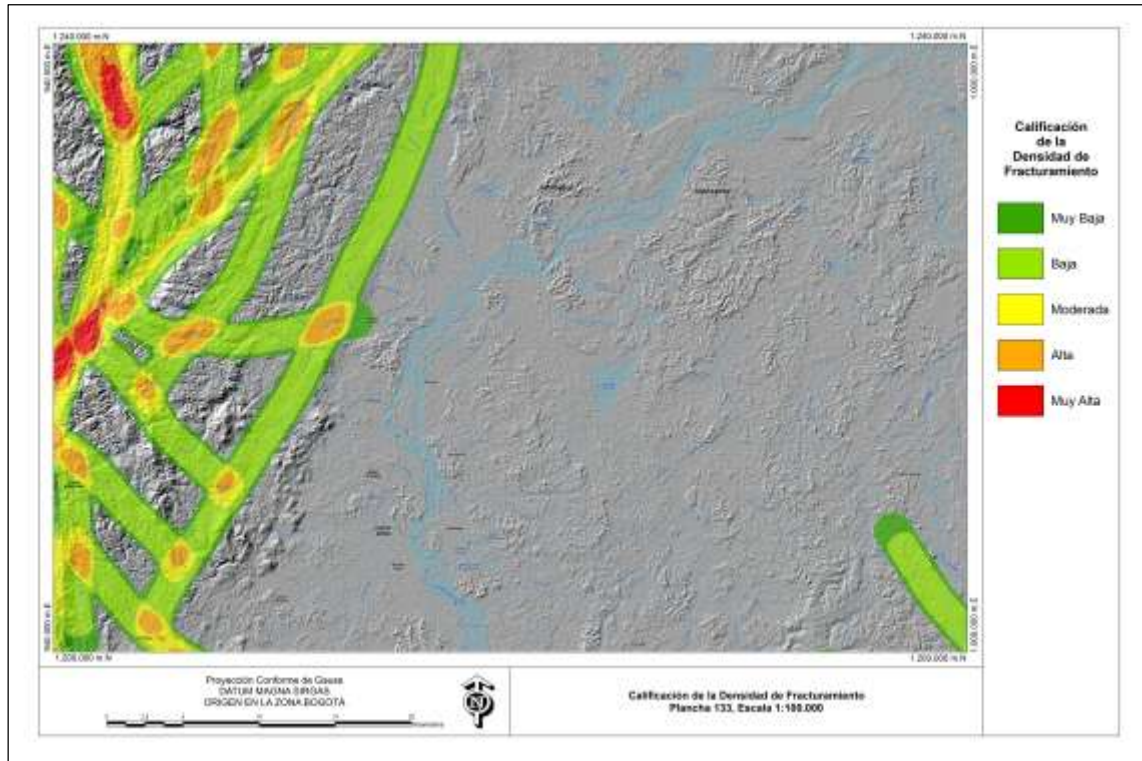


Figura 9. Mapa de Densidad de Fracturamiento para la Plancha 133 - Puerto Berrío.

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. Así mismo es la que rige 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 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 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 porcentaje menor 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:

- 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

Para la variable de susceptibilidad de geología se describe por el comportamiento del cálculo generado a partir de la textura, resistencia y densidad de fracturamiento presentes en la zona, estos resultados se discriminan en 5 rangos de clasificación entre muy bajos a muy altos.

La geología es una de las principales variables que actúan en la estabilidad de las laderas o taludes, la contribución de la susceptibilidad de las rocas a movimientos en masa se realizó calificando los componentes representados en un modelo vectorial constituido por los atributos fábrica o textura, resistencia y densidad de fallas. El mapa geológico de la Plancha 133 – Puerto Berrío a escala 1:100.000 (Ruiz y Marquínez, 2002), es proporcionado por el SGC, el cual es la base para el modelamiento de dichos atributos.

La variable susceptibilidad por geología se presenta en la figura 10 donde se observan cinco categorías de susceptibilidad: muy baja, baja, media, alta y muy alta, donde los sectores con calificación muy baja se registra hacia las márgenes del río Magdalena, el río Carare y en diversos sectores del valle medio del Magdalena jurisdicción del Municipio de Cimitarra, la susceptibilidad muy baja, se encuentra hacia el sector de cordillera en el oeste sobre los delimitando el trayecto de los principales lineamientos. La susceptibilidad media se distribuye en el sector este del río Magdalena en gran parte del sector rural del Municipio de Cimitarra. El grado de susceptibilidad alta y muy alta se encuentra en un pequeño sector en cercanías al río San Bartolomé en el Municipio de Puerto Berrío.

A continuación se describe cada nivel de susceptibilidad.

1.7.1 Susceptibilidad Muy Baja

Esta categoría se presenta en depósitos de cauce y llanura aluvial en el sector del Valle Medio del Magdalena y en la Cordillera representada por dioritas del Batolito de Segovia y rocas de la Formación Malena en el oeste, afectadas por el fuerte control estructural del área principalmente por las fallas Palancas y Cimitarra. Se encuentra en el sector este en el Municipio de Maceo entre las quebradas Sabaneta y Miraflores; en el Municipio de Puerto Berrío hacia el norte en todo el área aledaña al sector Bodegas, y delimitando parte del cauce del río Magdalena, hacia el este se encuentra distribuida heterogéneamente en el sector del Valle Medio del Magdalena en las veredas Puerto Olaya, Riveras del San, Los Morros y El Águila, igualmente se encuentra delimitando parte del cauce del río Carare. No se registran movimientos en masa en este grado de susceptibilidad.

1.7.2 Susceptibilidad Baja

Se presenta en rocas intrusivas de la Formación Malena y el Batolito de Segovia, rocas cristalinas del Gneis de San Lucas, depósitos de terraza aluvial, depósitos de cauce y llanura aluvial. Hacia el este se encuentra marcando la trayectoria de las principales fallas de la región como las fallas palancas, Cimitarra, Urama y Palestina que denota su trazo en sentido N-S, se ubica en el Municipio de Remedios entre los ríos Volcán y San Bartolomé; Municipio de Yolombó entre los ríos San Bartolomé y Cupín; Municipio de Maceo entre el río San Bartolomé y la quebrada Salobre; Municipio de Puerto Berrío entre las veredas Buenos Aires y El Jardín, hacia el centro y oeste de la plancha se presenta en pequeñas áreas del sector rural del Municipio de Cimitarra en las veredas Vuelta de Acuña y Puerto Olaya entre las ciénagas Perico y Río Viejo, en la ciénaga Colorada veredas Los Morros, en el límite este en la vereda la Terraza delimitando el cauce del río Carare. Estos valores están directamente relacionados a la textura de la roca, esta textura es afín a cuerpos de estructura masiva como el Batolito de Segovia y el Gneis de San Lucas. Además, por su composición mineralógica la cual da texturas y resistencias con bajos coeficientes. Se registran movimientos en masa de tipo deslizamiento traslacional y caídas de roca en la vía principal que comunica a Puerto Berrío con Maceo en la vereda Brasil del Municipio de Puerto Berrío.

1.7.3 Susceptibilidad Media

Se distribuye en el centro y este de la plancha intercalado con sectores de susceptibilidad baja en el Valle Medio del Magdalena se presenta en la Formación Mesa, afectada por el paso de los cauces activos del área como el río Magdalena, que incrementa los valores de susceptibilidad por el alto grado de erosión; texturalmente la roca se registra como clástica cementada por su contenido de niveles conglomeráticos y de areniscas grawaquicas.

Geográficamente se presenta en las veredas Riveras del San, Los Morros, San Juan, Puerto Olaya y El Águila del Municipio de Cimitarra, al oeste del río Magdalena se presenta hacia el norte en zona rural del Municipio de Yondó entre las ciénagas El Dorado y Barbacoas, en el Municipio de Puerto Berrío se encuentra en inmediaciones de la vereda El Jardín. No se registran movimientos en masa en este grado de susceptibilidad.

1.7.4 Susceptibilidad Alta

Se encuentra en pequeños sectores al oeste de la plancha, en depósitos de terrazas sobre elevada y depósitos de detritos conformados por fragmentos de arenisca cuarzosa en matriz fina, afectados por el trazo de las Fallas Palestina Cimitarra y Urama, se localiza en las quebradas el Pollo, Pavas y Córcega en límites entre los municipios de Yondó y Puerto Berrío en cercanías al sector Bodegas, en el sector Murillo en las quebradas Pescado y Urama, en el sureste se presenta en la quebrada Bramador en la vereda El Jardín jurisdicción del Municipio de Puerto Berrío. No se registran movimientos en masa en este grado de susceptibilidad.

1.7.5 Susceptibilidad Muy Alta

Este rango de susceptibilidad se presenta en los puntos donde se cruzan las fallas Cimitarra - Palestina, Urama - Palestina, sobre rocas pertenecientes al Batolito de Segovia y el Gneis de San Lucas con alto grado de meteorización, éstas rocas están siendo afectadas por el paso de las fallas locales que generan medianas a altas densidades de fracturamiento. En el norte se observa en el Municipio de Remedios en la vereda Chorro de Lágrimas; Municipio de Yondó vereda San Bartolo; Municipio de Puerto Berrío veredas (Cristalina, Brasil, Alicante, San Juan De Bedout y San Bartolo). No se registran movimientos en masa en este grado de susceptibilidad.

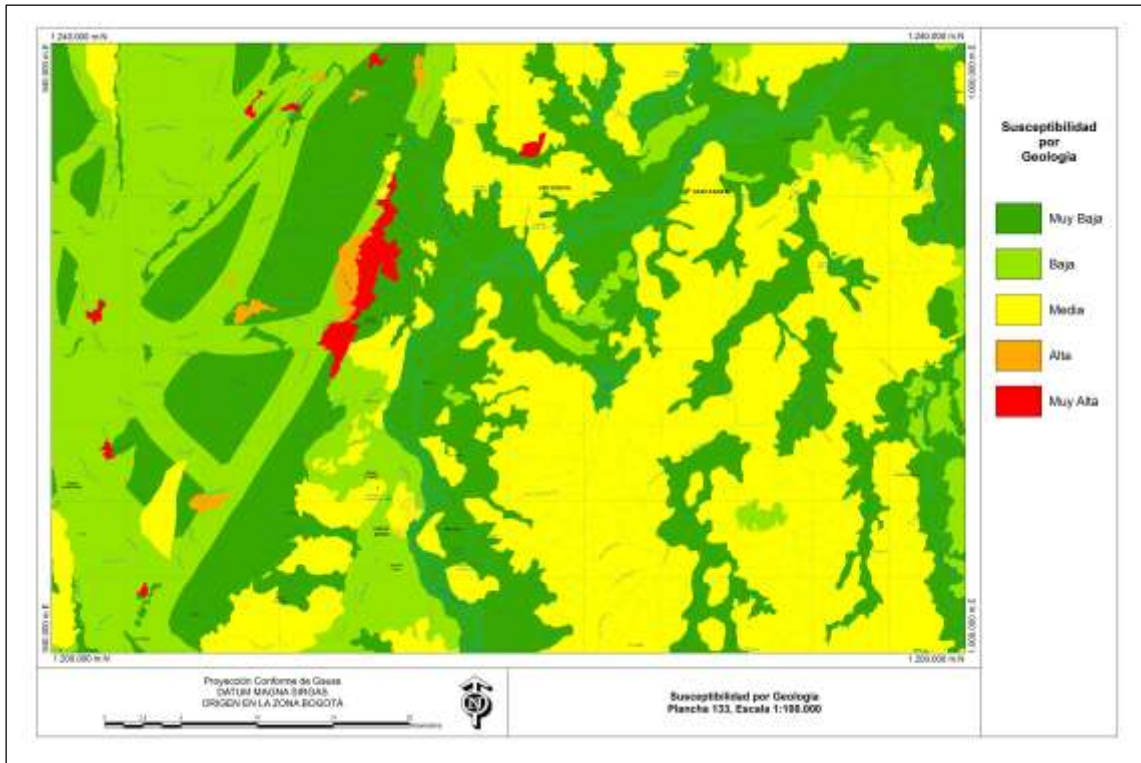


Figura 10. Mapa de la Susceptibilidad de la Geología de la Plancha 133 – Puerto Berrío.