



POMCA

RÍO SUCIO ALTO



FASE DE DIAGNÓSTICO

INFORME DE GEOLOGÍA

NOVIEMBRE DE 2019

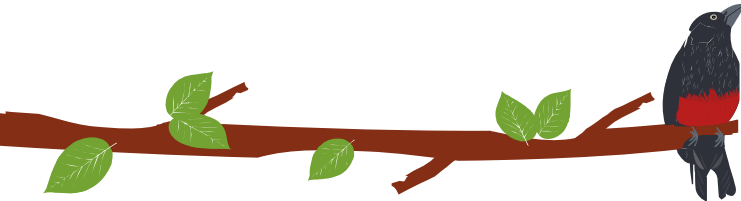
CONTRATO No: 200-10-01-09-0240-2017

CONESTUDIOS S.A.S

NIT.811.044.748-1

PBX: 456 18 27

Carrera 46#45 #10. Oficinas 211-212. Bello, Antioquia



FASE DE DIAGNÓSTICO

TOMO I

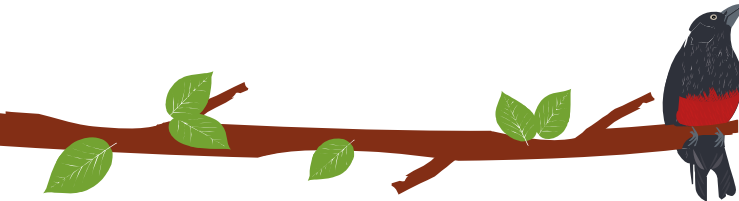
REGISTRO DE APROBACIÓN:

Versión N°	Elaboró:	Revisó: (Pendiente)	Aprobó: (Pendiente)	Fecha:
	CONESTUDIOS S.A.	CORPOURABA	Entidad: Funcionario: Cargo:	

REGISTRO DE MODIFICACIONES:

REVISIÓN		DESCRIPCIÓN DE LAS MODIFICACIONES
Número	Fecha	
1	00/00/2018	Ajustes de acuerdo a concepto técnico de CORPOURABA n° _____ del (dd/mm/aaaa) _____
2	00/00/2018	Ajustes de acuerdo a concepto técnico de CORPOURABA n° _____ del (dd/mm/aaaa) _____

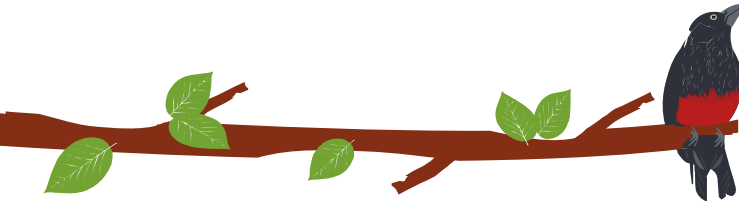




Contenido

1	GEOLOGÍA DEL ÁREA DE LA CUENCA DE RÍO SUCIO ALTO A ESCALA 1:25.000 ..	17
1.1	INTRODUCCIÓN	17
1.2	ANTECEDENTES	17
1.3	INSUMOS Y METODOLOGÍA	19
1.4	GENERALIDADES DE LA CUENCA.....	23
1.5	MARCO GEOLOGICO REGIONAL.....	23
1.6	GEOTECTONICA DEL AREA DE INFLUENCIA	24
1.7	ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA RIO SUCIO ALTO.	30
1.7.1	COMPLEJO CAÑAS GORDAS	32
1.7.2	Formación Barroso	32
1.7.3	Chert y calizas de Nutibara (K2cn)	33
1.7.4	Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).....	38
1.7.5	Diabasas de San José de Urama (JK1du)	41
1.7.6	COMPLEJO SANTA CECILIA-LA EQUIS (E1csce).....	43
1.7.7	BASALTO DE EL BOTÓN (N1n4n5bb)	44
1.7.8	MONZONITA DE NUDILLALES (N1n4n5mn)	46
1.7.9	FORMACIÓN GUINEALES (N1N2g).....	47
1.7.10	SEDIMENTITAS DE BEIVAVIEJO (N1sb).....	50
1.7.11	BASALTOS DE LA CLARA – RÍO CALLE (K2bcc).....	51
1.7.12	Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf)	52
1.7.13	Diorita de Morrogacho (Ndmg).....	54
1.7.14	DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS	55
1.7.15	Depósitos aluviales (Q2al).....	55
1.7.16	Depósitos de terrazas (Q2t) y Depósitos Coluviales (Q2c)	56
1.8	ACTUALIZACIÓN GEOLÓGICA INTERPRETATIVA DEL ÁREA DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO.....	58
1.8.1	COMPLEJO CAÑAS GORDAS	58
1.8.1.1	Formación Barroso	58
1.8.1.2	Diabasas de San José de Urama (JK1du).....	60



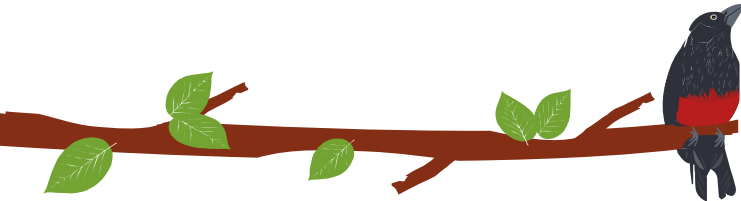


1.8.1.3	Chert y calizas de Nutibara (K2cn)	64
1.8.1.4	Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu)	68
1.8.1.5	COMPLEJO SANTA CECILIA-LA EQUIS (E1csce)	74
1.8.1.6	BASALTO DE EL BOTÓN (N1n4n5bb)	76
1.8.1.7	MONZONITA DE NUDILLALES (N1n4n5mn).....	78
1.8.1.8	FORMACIÓN GUINEALES (N1N2g)	80
1.8.1.9	SEDIMENTITAS DE BEIVAVIEJO (N1sb)	81
1.8.1.10	BASALTOS DE LA CLARA – RÍO CALLE (K2bcc).....	83
1.8.1.11	Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf)	86
1.8.1.12	Diorita de Morrogacho (Ndmg)	87
1.8.1.13	DEPÓSITOS CUATERNARIOS.....	89
1.8.1.14	Depósitos aluviales (Q2al)	92
1.8.1.15	Depósitos de terrazas (Qt).....	93
1.8.1.16	Depósitos Coluviales	96
1.9	EVOLUCIÓN GEOLÓGICA	98
1.10	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	102
1.10.1	BLOQUE URRAO	104
1.10.2	BLOQUE URAMA.....	104
1.10.3	BLOQUE RIO VERDE – PUEBLO RICO	104
1.11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
1.12	GEOLOGIA APLICADA A MOVIMIENTOS EN MASA	109
1.13	GEOLOGIA PARA LA INGENIERIA	110
1.13.1	RESUMEN.....	110
1.13.2	INTRODUCCIÓN	111
1.13.3	OBJETIVO GENERAL	111
1.13.4	LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	112
1.13.5	METODOLOGÍA APLICADA	112
1.13.6	UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS).....	115
1.13.7	Criterios para la definición de las Unidades Geológicas Superficiales ..	119
1.13.8	Estudios climáticos e hidrológicos.....	120



ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de la Cuenca del Río Sucio Alto con distribución de planchas a Escala 1:25.000. Elaboración propia.....	19
Figura 2. Ubicación espacial de las principales escenas satelitales utilizadas en el proceso de interpretación monoscópica. Elaboración propia.	21
Figura 3. Mosaico de imágenes utilizadas en la fotointerpretación monoscópica. Elaboración propia	22
Figura 4. Configuración actual de las Placas Suramericana y Caribe con un desplazamiento relativo de 10-22 mm/año, en sentido este-oeste (Modificado de Suter et al. 2008. El límite entre los terrenos de Chocó-Panamá y Bloque Andino. Tomado de Hernández O. (2009).	24
Figura 5. Distribución espacial de los eventos sísmicos registrados por la Red Sismológica de Urabá, con mayor concentración hacia el área del Chocó y al sur de Golfo de Urabá. Son escasos los sismos localizados en las cuencas de Sinú- San Jacinto y Norte de la Cordillera Occidental. Tomado de Hernández (2009).	25
Figura 6. Mapa simplificado de los terrenos Aloctonos de Colombia. Tomado de Toussaint y Restrepo (1989)	26
Figura 7. Elementos fisiográficos de la esquina noroccidental de Suramerica: Serranías de San Blas – Darién, Baudó – Majé, Valles de Atrato y Chucunaque, colinas de Itsmina y Cordillera Occidental. Tomado de Duque-Caro (1989).....	27
Figura 8. Características litogenéticas y estructurales del Bloque del Chocó. Tomado de Duque – Caro (1989)	29
Figura 9. Columna estratigráfica generalizada del sector norte de la Cordillera Occidental Alvarez A. J. (1983)	31
Figura 10. Capas de calizas con intercalaciones de chert de 10 a 12 cm, estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N). Elaboración propia.....	34
Figura 11. Afloramiento de calizas que presentan un rumbo S44°E, buzando hacia el NE y un buzamiento. El conjunto tiene laminación fina a media plano paralelo marcada por cambios de color y composición. Estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N). Elaboración propia.....	34
Figura 12. Segmento de columna estratigráfica de uno de los bloques de chert levantada en la entrada a Frontino sobre la vía Medellín – Urabá Tomado de Rodriguez (2013). 35	
Figura 13. Chert altamente diaclasado y fracturado de la Formación Nutibara (K2cn), las cuales presentan un rumbo S20E, con un buzamiento hacia el NE. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N) Elaboración propia.....	36
Figura 14. Zona de contacto fallado de las formaciones K2cn y K2alu, cerca de la quebrada La Mina. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia.	36



- Figura 15. Zona de contacto de las lodolitas y litoarenitas de la Formación Urrao (K2alu) con capas de calizas con intercalaciones de chert de la Formación Nutibara (K2cn), Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia. 36
- Figura 16. Panorámica Estación JAM-09 sobre la vía Nacional Medellín – Turbo, donde se aprecia el corte sobre las calizas de la Formación Nutibara. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia. 36
- Figura 17. Capas de Chert. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia. 37
- Figura 18. Capas de chert Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia. 37
- Figura 19. Vereda Nobogacita, se observa un bloque de chert y calizas limitado por fallas, el cual forma una colina baja de forma alargada, con cuchillas rectas y vertientes cóncavas. Estación JAM-31, vía Frontino-Nutibara, municipio de Frontino, vereda Nobogacita, coordenadas (1095010.9E - 1245427.3N). Elaboración propia. 37
- Figura 20. Capas de litoarenitas y lodolitas de la Formación Urrao (K2alu), aflorantes en una cantera ubicada en la vía Abriaquí – Corcovado. Estación JAM-42, municipio de Abriaquí, vereda Corcovado, coordenadas (1113806.8 E - 1222616.2N). Elaboración propia. 40
- Figura 21. Detalles de capas de litoarenitas y lodolitas muy fracturadas de la Formación Urrao (K2alu), aflorantes en la vía Abriaquí – Corcovado. Estación JAM-42, municipio de Abriaquí, vereda Corcovado, coordenadas (1113806.8 E - 1222616.2N). Elaboración propia. 40
- Figura 22. Detalles de capas de lodolitas muy fracturadas de la Formación Urrao (K2alu), aflorantes en la vereda Camparrusia. Estación JAM-51, municipio de Dabeiba, coordenadas (1115105.7E - 1266055N). R:S0W; B:S. Elaboración propia. 40
- Figura 23. Afloramiento de lodolitas de la Formación Urrao (K2alu). Estación JAM-51, municipio de Dabeiba, coordenadas (1115105.7E - 1266055N). Elaboración propia. . 40
- Figura 24. Aspecto general de las litoarenitas y lodolitas de Urrao en zonas de falla. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2013). 41
- Figura 25. Fallas en los bordes de cuerpos de diabasa. Se aprecian los lentes de diabasa rodeados de milonitas con desarrollo de foliación dinámica alrededor de ellos y colas de deformación asimétricas. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2010) 42
- Figura 26. Afloramiento de diabasas que muestra los efectos de falla definido por el control estructural con orientación N-S en inmediaciones de la quebrada Ambalema. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2013). 43
- Figura 27. Afloramiento de diabasas y basaltos de los Basaltos de El Botón, estación JAM-18, vía Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda Choromando, coordenadas (1083073.1E - 1268303.6N). Elaboración propia. 45



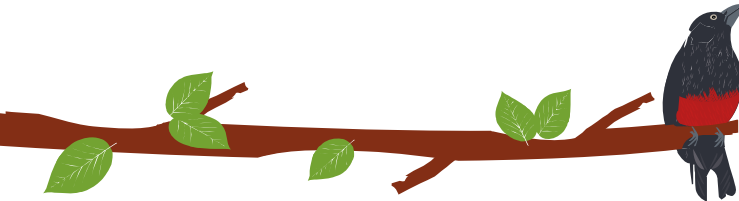


Figura 28. Detalle de diabasas y basaltos, estación JAM-18, vía Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda Choromando, coordenadas (1083073.1E - 1268303.6N). Elaboración propia.	45
Figura 29. Detalle de los Basaltos de El Botón, muy fracturado, con bloques angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, estación JAM-28, vía Nutibara – Murri, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N). Elaboración propia.....	46
Figura 30. Afloramiento de diabasas y basaltos de los Basaltos de El Botón, estación JAM-28, vía Nutibara – Murri, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N). Elaboración propia.	46
Figura 31. Columna estratigráfica de la Formación Guineales levantada en la vía Dabeiba – Mutatá. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2013).....	48
Figura 32. A). Intercalaciones de capas de arenitas con paquetes de conglomerados con lentes arenosos. B) Contacto gradacional de arenitas a conglomerados. C) Contacto neto entre capas. D). Aspecto general de los conglomerados. E) Lodolitas grises con guijos de chert y restos de carbón. F). Impresiones de hojas en capas de sublitoarenitas. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2013)	49
Figura 33. A) Intercalaciones de capas de arenitas con paquetes de conglomerados con lentes arenosos. B) Contacto gradacional de arenitas a conglomerados. C) Contacto neto entre capas. D). Aspecto general de los conglomerados, cuya composición varía entre chert, arenitas y calizas. Elaboración propia.....	50
Figura 34. Afloramiento de la Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf), estación JAM-34, vereda El Cerro, sector La Mina, municipio de Frontino, coordenadas (1101737.9E - 1232686.6N). Elaboración propia.....	54
Figura 35. Detalle de la Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf), estación JAM-34, vereda El Cerro, sector La Mina, municipio de Frontino, coordenadas (1101737.9E - 1232686.6N). Elaboración propia.....	54
Figura 36. Terrazas a lo largo del río Riosucio cerca de Uramita. Tomado de Rodriguez (2013).	56
Figura 37. Valle aluvial del río Musinga, sector entre Nutibara y Musinga. Elaboración propia.	56
Figura 102. Parte norte del Abanico de Frontino. Tomado de Rodríguez (2013).	57
Figura 103. Deslizamiento El Revenidero. Tomado de Rodriguez (2013)	57
Figura 40. Expresión morfológica y litológica de las formaciones Urrao y Barroso del Complejo Cañas Gordas. Elaboración propia.....	59
Figura 41. Expresión morfológica y geológica de las Diabasas de San José de Urama. Elaboración propia.	61
Figura 42. Expresión morfológica, fotogeológica y relación entre las Formaciones Diabasas de San José de Urama, Urrao, Nutibara, Basalto El Botón. Elaboración propia.	63
Figura 43. Expresión morfológica y fotogeológica de las formaciones Chert y Calizas de Nutibara, Diabasas de San José de Urama y su relación estructural. Elaboración propia.	65



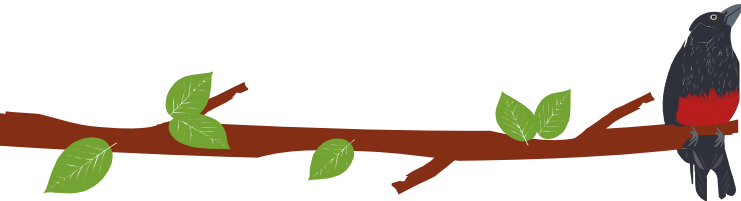


Figura 44. Relación estructural entre las formaciones Nutibara, y Diabasas de San José de Urama. Elaboración propia.	67
Figura 45. Expresión fotogeológica de la formación Urrao. Elaboración propia.	69
Figura 46. Expresión fotogeológica de la Formación Urrao en los alrededores del municipio de Dabeiba. Elaboración propia	71
Figura 47. Expresión de las Arcillolitas y limolitas de la Formación Urrao al SE del municipio de Abriaquí. Elaboración propia.....	73
Figura 48. Expresión fotolitológica de las unidades Santa Cecilia La Equis, Basalto El Botón y Guineales. Elaboración propia.....	75
Figura 49. Expresión fotogeológica del Basalto El Botón. Elaboración propia.....	77
Figura 50. Relación geológica entre las unidades Monzonita de Nudillales y Basalto El Botón. Elaboración propia	79
Figura 51. Expresión fotogeológica de los conglomerados y arenitas de la Formación Guineales y su relación estructural con El Basalto El Botón. Elaboración propia.....	81
Figura 52. Expresión fotogeológica y estructural de la Formación Sedimentitas de Beibaviejo. Elaboración propia.....	83
Figura 53. Expresión fotogeológica de las unidades Basaltos de La Clara Rio Calle y Monzonita de Cerro Frontino. Elaboración propia	85
Figura 54. Expresión morfológica de la unidad Monzonita de Cerro Frontino. Elaboración propia.	87
Figura 55. Expresión morfológica de la unidad Diorita de Morrogacho. Elaboración propia.	89
Figura 56. Disposición de los depósitos Cuaternarios en el área del municipio de Frontino y su relación espacial con la Formación Urrao. Elaboración propia.....	91
Figura 57. Depósitos Cuaternarios Aluviales en los alrededores del municipio de Nutibara. Elaboración propia.	93
Figura 58. Depósitos cuaternarios de Terrazas en los alrededores del municipio de Frontino. Elaboración propia.	95
Figura 59. Falla de Cañasgordas que controla el flujo del Río del mismo nombre y el efecto de los depósitos coluviales a lo largo de la vía que conduce a Frontino. Elaboración propia.	97
Figura 60. Terrenos tectonoestratigráficos y provincias geológicas en la esquina noroccidental de Suramerica. Elaboración propia a partir de Duque-Caro (1989)	99
Figura 61. a -c) Reconstrucción esquemática de la margen Andina norte, mostrando con flechas la dirección de influencia de las diferentes placas tectónicas sobre el bloque Andino norte y particularmente sobre el Valle del Magdalena y la Cordillera Oriental durante el Cenozoico. d) Reconstrucción esquemática de la de la deformación actual dentro del bloque Andino. Las Flechas indican la dirección y velocidad aproximada de las capas. Elaboración propia a partir de Acosta (2002).....	101
Figura 62. Esquema tectónico y evolutivo del área de la cuenca de Río Sucio Alto con su zona de influencia. Elaboración propia a partir de Gómez, H.(2018).....	102



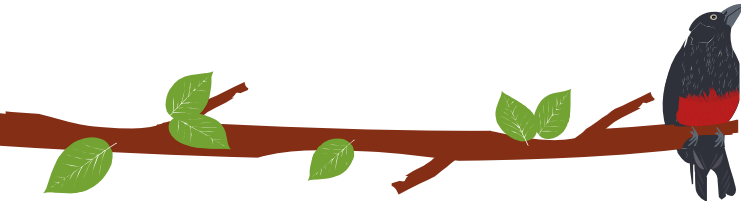
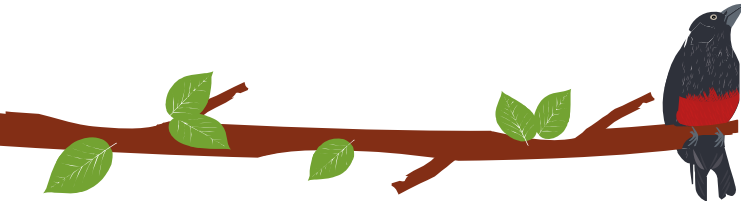


Figura 63. Sectorización estructural del área de la cuenca del Riosucio Alto. Elaboración propia.	103
Figura 64. Mapa Estructural cuenca Riosucio Alto. Elaboración propia.	105
Figura 65. Esquema Regional del NW de Colombia, con sectorización de Bloques Tectónicos (Gómez, H. 2018). Adaptado de Servicio Geológico Colombiano (2015).	106
Figura 66. Localización del área de la Cuenca del Río Sucio Alto con distribución de planchas a Escala 1:25.000. Elaboración propia.	112
Figura 67. Flujograma de actividades en la generación del mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) para la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia a partir de Servicio Geológico Colombiano (2017).	114
Figura 68. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales intermedio geológico-geomorfológico para la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.	122
Figura 69. Espacialización de las estaciones geológicas-geotécnicas utilizadas en la caracterización de las UGS de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.	125
Figura 70. Toma de muestra en suelo residual arcillo arenoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-01, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Uramita, vereda El Pital, coordenadas (1104613.6E – 1250227.46N).	127
Figura 71. Prueba de penetrómetro en suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-07, vereda Cestillal, municipio de Cañasgordas, (1110663.9E – 1250219.8N)	127
Figura 72. Toma de muestra inalterada de suelo residual arenolimoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-04, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda El Madero, coordenadas (1119730.5E – 1235601.7N).	128
Figura 73. Apique de 2X0.5m sobre suelo residual arenolimoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-04, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda El Madero, coordenadas (1119730.5E – 1235601.7N).	128
Figura 74. Apique de 1.5X0.5m realizado sobre suelo residual arcilloarenoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-03, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan, coordenadas (1232728.4E – 1121853.7N).	128
Figura 75. Suelo residual arcilloarenoso o de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-03. Prueba con penetrómetro Vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan (1232728.4E – 1121853.7N)	128
Figura 76. Prueba de penetrómetro sobre suelo residual arcilloso de la unidad Srs1K2cn, estación JAM-15, vereda Caunce, municipio de Uramita, coordenadas (1255616.5E – 1102792.4N).	129
Figura 77. Prueba de penetrómetro sobre suelo residual arenoarcilloso de la unidad Terraza aluvial StctaQ2t, estación JAM-16, vereda Alto Bonito, municipio de Dabeiba, coordenadas (1111954.9E – 1255576.7N).	129
Figura 78. Prueba de penetrómetro suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-20, vereda El Pital, municipio de Dabeiba coordenadas (1063309E – 1375915N).	129





- Figura 79. Toma de muestra de suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-21, vereda Dabeiba Viejo, municipio de Dabeiba coordenadas (1089907.8 E – 1260402.1N). 129
- Figura 80. Toma de muestra inalterada de suelo residual arenolimoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-23, vereda Pernilla, municipio de Cañasgordas, vereda Pernilla, coordenadas (1112262E – 1241980.5N)..... 130
- Figura 81. Toma de muestra inalterada de suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-52, vereda Camparrusia, municipio de Dabeiba, coordenadas (1106191.7E – 1270461.3N)..... 130
- Figura 82. Índice de resistencia geológica para rocas diaclasadas (Hoek y Marinos, 2000). Elaboración propia a partir de fuente Servicio Geológico Colombiano (2017).131
- Figura 83. Comparación de perfiles de meteorización de un macizo rocoso según Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991) y Forero et al. (1999), Fuente (Servicio Geológico Colombiano, 2017)..... 133
- Figura 84. Localización de las estaciones de medición y conteo de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso de la cuenca Río Sucion Alto. Elaboración propia. 136
- Figura 85. Discontinuidades presentes en el macizo rocoso de las diabasas y basaltos de San José de Urama (JK1du), ligeramente alteradas, estación JAM-02 vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan Río Verde, municipio de Uramita coordenadas (1092031.5E - 1253328.3N). 137
- Figura 86. Discontinuidades presentes en el macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), sin alterar, bien entrabadas, bloques formados por tres familias de discontinuidades intersectadas, estación JAM-03, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan, coordenadas (1232728.4E – 1121853.7N) 137
- Figura 87. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), con pocas discontinuidades espaciadas ampliamente, estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N). 137
- Figura 88. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), con pocas discontinuidades espaciadas ampliamente, también se observa los planos de estratificación, estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N)..... 137
- Figura 89. Macizo de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), parcialmente alterado, entrabado, con bloques de varias caras angulares, estación JAM-07, vereda Cestillal, municipio de Cañasgordas, (1110663.9E – 1250219.8N). 138
- Figura 90. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), estación JAM-09 C2, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106696.4E - 1247825.4N) 138
- Figura 91. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), muy fracturado, superficie pobremente entrabado, desintegrada, estación JAM-10 C2, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1105758.5E - 1248007.7N). Zona de enjambre de fallas..... 138



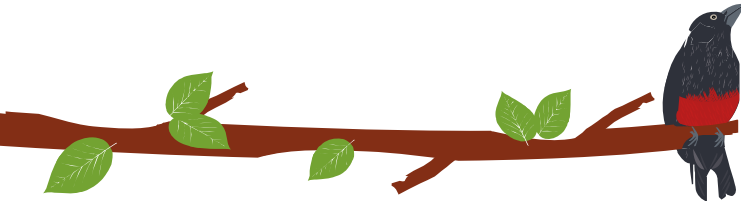


Figura 92. Milonita de falla presentes en el macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), estación GJAM-16, vía Uramita-Junta de Uramita, municipio de Uramita, vereda Santo Domingo, coordenadas (1111954.9 E - 1255576.7 N).... 138

Figura 93. Macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), muy fracturado, plegado, con bloques pequeños angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, persistencia de esquistosidad, estación JAM-19, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda El Pital, coordenadas (1105758.5E - 1248007.7N). 139

Figura 94. Disposición del macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), muy fracturado presente en la estación JAM-19, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda El Pital, coordenadas (1105758.5E - 1248007.7N). ... 139

Figura 95. Macizo rocoso de los Basaltos de El Botón, muy fracturado,, con bloques pequeños angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, parcialmente alterado, estación JAM-28, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N). 139

Figura 96. Macizo rocoso de los derrames diabásicos y basálticos de los Basaltos de El Botón, muy fracturado, con bloques angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, estación JAM-28, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N). 139

Figura 97. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), desintegradas, muy fracturado, pobremente entrabado, con mezcla de fragmentos de roca angulares, muy alteradas, estación JAM-32, municipio de Frontino, vereda El Paso, coordenadas (1094171.6E - 1245445.4N). 140

Figura 98. Roca masiva *in situ* de la Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf), con pocas discontinuidades, estación JAM-34, vereda El Cerro, sector La Mina, municipio de Frontino, coordenadas (1101737.9E - 1232686.6N)..... 140

Figura 99. Influencia de la Composición Mineralógica en la Plasticidad – Day 1999. Elaboración propia a partir de Gonzales de Vallejo (2002)..... 146

Figura 100. Espacialización y clasificación de las muestras de suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) presentes en la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia..... 149

Figura 101. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 199,75 kPa) simple realizado a muestra inalterada de suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja compresibilidad, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 23. Elaboración propia 154

Figura 102. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 258,66 kPa) simple realizado a muestra inalterada de suelo residual sedimentario limoso de alta y baja compresibilidad, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 25. 154

Figura 103. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 158,29 kPa) simple realizado a muestra inalterada de suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja compresibilidad, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 52. 155

Figura 104. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 1020,17 kPa) simple realizado a muestra de roca del Basalto el Botón, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 18. 155



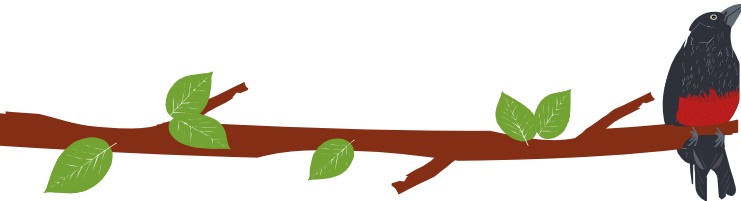
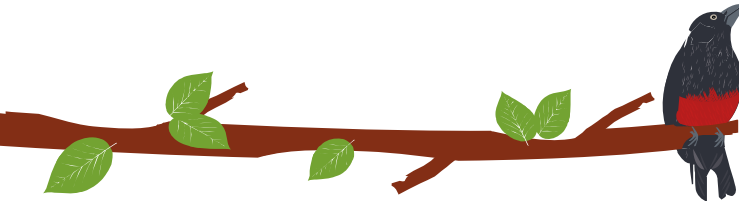


Figura 105. Resultados del ensayo de carga puntual realizado a muestra de roca caliza recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 30.....	156
Figura 106. Resultados del ensayo de carga puntual realizado a muestra de roca de caliza recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 07.....	157
Figura 107. Resultados del ensayo de carga puntual realizado a muestra de roca de Basalto el Botón recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 07.	157
Figura 108. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestra JAM04, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).	158
Figura 109. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestra JAM23, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).	158
Figura 110. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestra JAM24, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).	158
Figura 111. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestras JAM25, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Chert y Calizas de Nutibara (K1cn).	159
Figura 112. Clasificación de rocas de acuerdo con su resistencia. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2017).....	163
Figura 113. Estación JAM-17, ubicada sobre la vía a Mutatá (Antioquía), Corte vertical y detalle del afloramiento conglomerados, arcillolitas y areniscas de la Formación Guineales con más de 10 metros de espesor, de resistencia baja a intermedia, que favorecen los procesos de caídas.	166
Figura 114. Muestra de mano de las diabasas de San José de Urama con un metamorfismo de bajo grado, recolectada Estación JAM-06.	168
Figura 115. Afloramientos de la Roca intermedia de origen sedimentario (Rischn1) Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn).	169
Figura 116. Afloramientos de Roca intermedia de origen sedimentario (Risalu2) basaltos, limolitas, litoarenitas y lodolitas de Urrao (K2alu) falladas.	170
Figura 117. Afloramiento del Suelo residual parental de las diabasas y basaltos de San José de Urama, (Srie1JK1du), estación JAM26, vereda La Honda, municipio de Frontino, coordenadas 1108562E, 1241778.8N.	171
Figura 118. Suelo residual de material parental sedimentario (Srs1) de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn).	174
Figura 119. Afloramiento fallado de suelo residual de material parental sedimentario (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), en donde se observa los perfiles de meteorización de Deere & Patton (1971) y Dearman (1974, 1991), en los cuales considera como suelo a los horizontes VI (suelo residual), V (roca	





completamente meteorizada o descompuesta, saprolito fino) y IV (roca altamente meteorizada o descompuesta, saprolito grueso). 177

Figura 120. Afloramientos de suelo residual de material parental sedimentario (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu) de más de cinco metros de espesor, en donde se observa los perfiles de meteorización de Deere & Patton (1971) y Dearman (1974, 1991), en los cuales considera como suelo a los horizontes VI (suelo residual), V (roca completamente meteorizada o descompuesta, saprolito fino) y IV (roca altamente meteorizada o descompuesta, saprolito grueso). 178

Figura 121. Pequeño afloramiento del suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc) sobre la vía Frontino-Carauta, estación JAM-48, vereda Musinguita, municipio de Frontino, coordenadas 1097187.3E, 1234443.13N. 182

Figura 122. Afloramientos de suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb) en la cuenca Río Sucio Alto. 184

Figura 123. Suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf) observada en la vereda El Cerro, sector la mina. 187

Figura 124. Panorámica Estación JAM-02 sobre la vía Dabeiba-Mutatá (Antioquía), donde se aprecia el corte sobre materiales de origen aluviales de hasta 8 m de altura con buena estabilidad. 192

Figura 125. Unidades Geológicas Superficiales de la cuenca del Río Sucio Alto a escala 1:25.000. 193

Figura 126. Clasificación de suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) y espesor de las Unidades Geológicas Superficiales presentes en la cuenca Río Sucio Alto. 195

Figura 127. Cohesión, ángulo de fricción, peso unitario y capacidad de almacenamiento para los suelos de la cuenca Río Sucio Alto. 196



ÍNDICE DE TABALS

Tabla 1. Características técnicas sensor QuickBird.	20
Tabla 2. Descripción general de las unidades presentes en el área.	55
Tabla 3. Descripción Figura 40	58
Tabla 4. Descripción Figura 41	60
Tabla 5. Descripción Figura 42	62
Tabla 6. Descripción Figura 43	64
Tabla 7. Descripción Figura 44	66
Tabla 8. Descripción Figura 45	68
Tabla 9. Descripción Figura 46	70
Tabla 10. Descripción Figura 47.....	72
Tabla 11. Descripción Figura 48.....	74
Tabla 12. Descripción Figura 49.....	76
Tabla 13. Descripción Figura 50.....	78
Tabla 14. Descripción Figura 51.....	80
Tabla 15. Descripción Figura 52.....	81
Tabla 16. Descripción Figura 53.....	83
Tabla 17. Descripción Figura 54.....	86
Tabla 18. Descripción Figura 55.....	88
Tabla 19. Descripción Figura 56.....	89
Tabla 20. Descripción Figura 57.....	92
Tabla 21. Descripción Figura 58.....	94
Tabla 22. Descripción Figura 59.....	96
Tabla 23. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen.....	118
Tabla 24. Estaciones levantadas en la campaña de campo dentro de la cuenca Río Sucio Alto.	123
Tabla 25. Estaciones levantadas por cada Unidad Geológica Superficial	125
Tabla 26. Valores de GSI encontrados en la cuenca Río Sucio Alto	131
Tabla 27. Correlación de los parámetros de calificación de las discontinuidades, utilizados por INGEOMINAS para clasificar la calidad de los macizos rocosos.	134
Tabla 28. Resumen de los datos <i>in situ</i> por unidades geológicas	141
Tabla 29. Ensayos de laboratorios realizados.....	144
Tabla 30. Resumen de resultados de laboratorio por unidades geológicas	145
Tabla 31. Materiales tipos presentes en la cuenca Río Sucio Alto, teniendo en cuenta su tamaño y clasificación USCS.	148



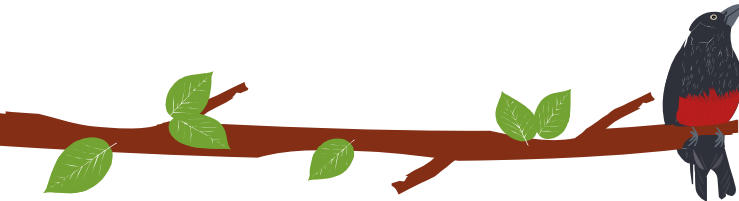


Tabla 32. Índice de Liquidez y comportamiento de suelos dentro de la cuenca Río Sucio Alto	150
Tabla 33. Peso específico. Valores típicos para suelos (Bowles, JE. (1997).	152
Tabla 34. Consistencia del suelo en función de la compresión confinada, tomado de Terzaghi y Peck, 1955.	153
Tabla 35. Índices de campo para determinar la resistencia a la compresión simple, de suelos cohesivos y rocas a partir de índices de campo Fuente: tomado y traducido de ISRM (1981), tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2017).....	162
Tabla 36. pruebas con penetrómetro de bolsillo – Srs1.....	176
Tabla 37. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo para la unidad Srs2.....	180
Tabla 38. Parámetros geotécnicos obtenidos para las UGS de la cuenca Río Sucio Alto.	194

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Estaciones geológicas levantadas por UGS en la cuenca Río Sucio Alto ...	126
Gráfico 2. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia de la plasticidad para cada Unidad Geológica Superficial dentro de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.	147
Gráfico 3. Carta de plasticidad de las unidades geológicas superficiales de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.	147
Gráfico 4. Clasificación de los suelos presentes en la cuenca Río Sucio Alto de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Elaboración propia.	148
Gráfico 5. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia del límite líquido para cada Unidad Geológica Superficial dentro de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia	151
Gráfico 6. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia del porcentaje de la humedad natural para cada Unidad Geológica Superficial de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.....	152
Gráfico 7. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia del peso específico para cada Unidad Geológica Superficial de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia	153
Gráfico 8. Resumen de los resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras inalteradas.....	159
Gráfico 9. Diagrama que muestra los valores <i>in situ</i> de la resistencia a la compresión de acuerdo a los datos tomados con el penetrómetro de bolsillo.	160
Gráfico 10.. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental de las diabasas y basaltos de San José de Urama, (Srie1JK1du): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico.....	172
Gráfico 11. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual parental de las diabasas y basaltos de San José de Urama, (Srie1JK1du).	172



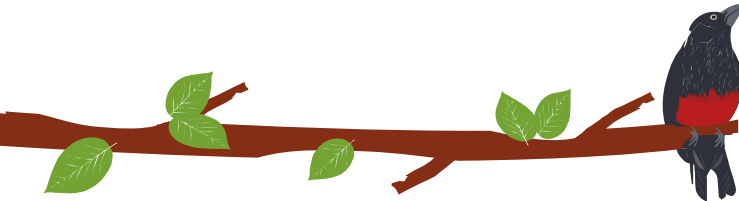


Gráfico 12. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental sedimentario (Srs1) de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico. 175

Gráfico 13. Carta de plasticidad de la unidad Suelo residual de material parental sedimentario (Srs1) de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn). 175

Gráfico 14. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental sedimentario (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico. 179

Gráfico 15. Carta de plasticidad de la unidad Suelo residual de material parental sedimentario (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu). 179

Gráfico 16. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico. 182

Gráfico 17. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc). 183

Gráfico 18. Resultados de las propiedades índices de la unidad suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico. 184

Gráfico 19. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb). 185

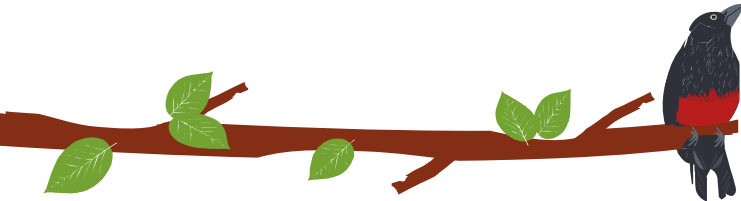
Gráfico 20. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf). 187

Gráfico 21. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico. 188

Gráfico 22. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental depósitos de terrazas (Stfdt5Ftas y Stftz3Fta): humedad natural, granulometría y peso específico. 190

Gráfico 23. Carta de plasticidad de la unidad Depósitos de terrazas (Stfdt5Ftas y Stftz3Fta) 191





1 GEOLOGÍA DEL ÁREA DE LA CUENCA DE RÍO SUCIO ALTO A ESCALA

1:25.000

1.1 INTRODUCCIÓN

Utilizando el marco Geológico Regional sobre el cual está incluida el área de la cuenca del Río Sucio Alto, se realizó una actualización temática utilizando interpretación monoscópica de sensores remotos a E 1:25.000, siendo el principal objetivo del presente estudio, sobre un área muy compleja tectonoestratigráficamente que se presenta en la Cordillera Occidental de Colombia al noroeste de Antioquia: sobre esta se desarrolló durante la Orogenia Andina una acreción de terrenos alóctonos, con desplazamientos secuenciales desde el Oeste hacia el Este, acompañados por eventos volcánicos, plutónicos, los cuales fueron afectados por un intenso tectonismo.

El área del Proyecto Río Sucio Alto comprendida dentro de las planchas geológicas, 114 – Dabeiba (Rodríguez, Zapata, & Gomez, 2013), 129 – Cañas Gordas (González & Londoño, 2003) se han tomado como base y material de soporte durante la presente actualización; se completa el esquema del área con parte de las planchas 103 – Mutatá, 104 – Ituango, 115 – Toledo (Hall R. , Álvarez, Rico, & Vasquez, 1970) y 130 – Santa Fe de Antioquia (Mejía M. , Geología y Geoquímica de las planchas 130 (Santa Fe de Antioquia) 146 (Medellín Occidental), 1984) interpretadas a escala 1:25.000 (Figura 1).

La utilización de sensores remotos tales como imágenes Quickbird del año 2010, imágenes Landsat de los años 2000 y 2001, y ortofotos de alta resolución, así como información topográfica del IGAC a escalas 1:25.000 y 1:10.000, permitieron realizar, mediante combinación de bandas, una interpretación fotogeológica monoscópica, con el fin de obtener una actualización adecuada y representativa de la cartografía geológica, para ser comprobada en campo y ser utilizada como un insumo en los procesos de acuerdo con los lineamientos de Corpourabá.

Los resultados obtenidos mediante la interpretación de los diferentes productos se presentan como soporte fundamental para actualizar la información obtenida inicialmente por INGEOMINAS y el Servicio Geológico: se considera importante que el producto final cumple con la mejor especificación en cuanto a exactitud. Se presentan adicionalmente algunas ventanas con mayor resolución, en las que se permite observar sedimentos coluviales diferenciados, que a su vez podrían relacionarse con algunos movimientos en masa.

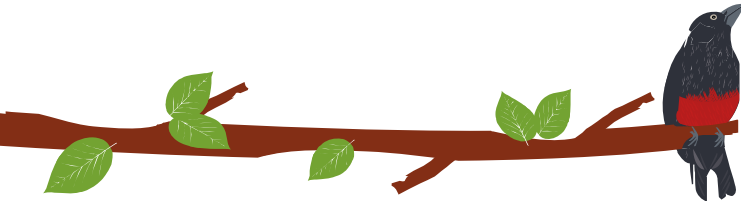
La actualización de la geología de la cuenca del Riosucio Alto a Escala 1:25.000 utilizando Sensores Remotos se presenta al final del presente estudio.

1.2 ANTECEDENTES

La cartografía geológica del sector noroeste del Departamento de Antioquia se inició metódicamente a escala 1:25.000, por parte del Inventario Minero Nacional/Ministerio de Minas, a partir de los años sesenta, con asesoría del Servicio Geológico de U.S.A. La

17





zona noroccidental en donde se encuentra el área de interés fue levantada en forma esporádica por múltiples profesionales quienes utilizaron como básicos estudios regionales (Botero, Formaciones Geológicas de Antioquia, 1941), (Burgl, 1961), (Duque-Caro, 1989), (Case, Durán, Lopez R., & Moore, 1971), (Toussaint & Restrepo, 1976) y (Estrada, 1977), basado en estudios petrológicos, mineralógicos relacionados con la exploración minera.

La Geología de La Cordillera Central y el Occidente Colombiano y Petroquímica de los Intrusivos Granitoides Mesocenoicos (Alvarez A. J., 1983), contiene información geológica regional y estructural a nivel regional, así como la posible relación estratigráfica entre las unidades litológicas predominantes en el área. Posteriormente (Etayo, y otros, 1983) publica el mapa de Terrenos Geológicos de Colombia, realizado por geólogos colombianos, asesorado por el Servicio Geológico de U.S.A y definen de acuerdo con el Mapa Preliminar de Terrenos Geológicos de Colombia, que la Falla de Dabeiba con dirección NW separa los terrenos de Cañasgordas de los terrenos Sinú – Buriticá.

(Aspden, McCourt, & Brook, 1987) publican el artículo Geometrical Control of Subduction-related magmatism: the Mesozoic Cenozoic plutonic history of Western Colombia, indicando que el batolito Antioqueño de edad cretácica comprime el sistema de fallas de Romeral al occidente y lo separa sinextralmente del batolito de Sonsón de edad Triásico.

Toussaint & Restrepo (1989), publican Las Acreciones Sucesivas en Colombia: Un Nuevo Modelo de Evolución Geológica, en donde se aprecia de W a E la aloctonía de los terrenos Cuna, Calima, Tahamí y Chibcha (Figura 6).

Duque-Caro (1989) define El Arco de Dabeiba: Nuevas Aportaciones al Conocimiento del Noroccidente de la Cordillera Occidental, el cual muestra la distribución tectonoestratigráfica y desde el punto de vista micropaleontológico define la presencia de microforaminíferos de edad eoceno – oligoceno, provenientes de Centroamérica: este concepto fue corroborado por (Acosta, 2002) quien indica cual es el área de influencia de la placa del Caribe en relación con el Bloque Chocó (Figura 7 y Figura 8).

La PALEOMEGACIZALLA TRANSVERSAL DE COLOMBIA, BASE DE UN NUEVO ESQUEMA GEOTECTÓNICO (Gómez H. , 1991), describe la expresión regional de la Falla Transversal de Colombia como un nuevo rasgo con dirección N45W, que atraviesa el Sistema Cordillerano Andino, produciendo desplazamiento de unidades geomórficas, litológicas y estructurales, las cuales desplazan a las estructuras regionales con dominio N-NE.

La geología del departamento de Antioquia (González H. , Geología del Departamento de Antioquia, 1999), designa con el nombre de Volcánico de Barroso a la secuencia de basaltos, diabasas y flujos volcánicos, que afloran al W del sistema de fallas de Romeral, limitado tectónicamente al W por la falla de Sabanalarga, siendo la unidad más antigua de edad cretácico con influencia en el área de la cuenca del Río Sucio Alto.

Toda esta información sirvió de base para realizar la interpretación geológica a Escala 1:25.000 principal objetivo del trabajo.

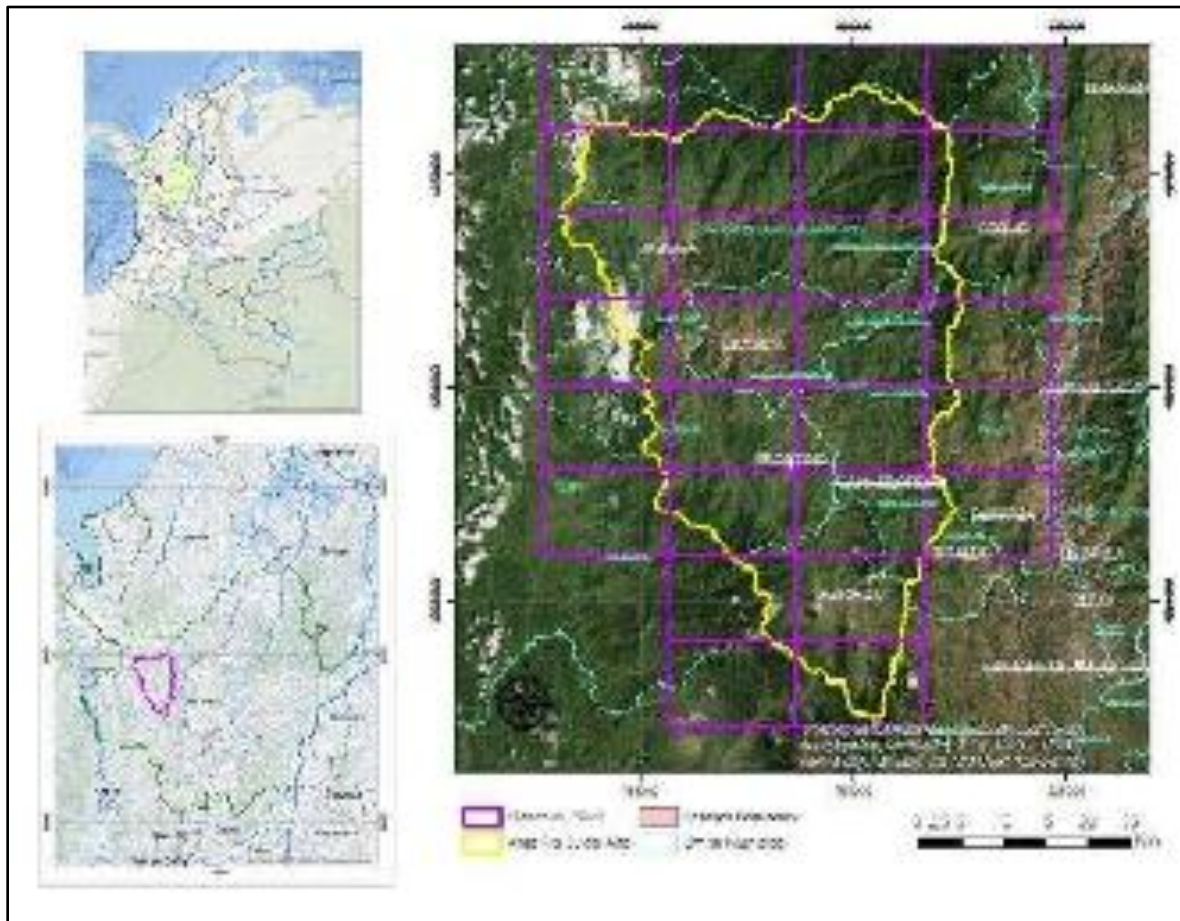


Figura 1. Localización del área de la Cuenca del Río Sucio Alto con distribución de planchas a Escala 1:25.000. Elaboración propia.

1.3 INSUMOS Y METODOLOGÍA

Para realizar el proceso de interpretación monoscópica de la geología del área de interés se utilizaron los siguientes materiales Figura 2:

- Información cartográfica de mapas del IGAC a escala 1:25.000 y escala 1:10.000
- Imágenes Landsat
 - LC08_L1TP_009055_20171218_20171224_01_T1
 - LC080100552018011001T1-SC20180212203931 (Suministrada por el contratista)
 - p009r055_7f20000821_z18_ps742
 - p010r055_7dp20011018_z18
 - Imagen Quickbird 7m resolución
- Ortofotos

- Frontino
- 10m
- DEM PALSAR 12.5m
- Planchas geológicas digitales a escala 1:100.000
 - 114 Dabeiba
 - 129 Cañasgordas

1.3.1.1 Características sensor Quickbird:

El satélite QuickBird, adquiere imágenes de tipo multiespectral y pancromática, de forma simultánea y una gama de productos procesados, sobre extensas zonas de terreno que puede alcanzar los 16.5km de longitud en una única pasada.

QuickBird proporciona el más amplio de los barridos, la mayor capacidad de almacenamiento de datos a bordo del satélite, así como la mejor resolución comparado con cualquiera de los satélites comerciales que actualmente se encuentran disponibles. QuickBird está diseñado para adquirir imágenes con una destacada precisión en su localización geográfica.

La fusión de imágenes de ambos sensores (Pancromatico y Multiespectral) permite obtener data multiespectral a 61 cm de resolución (Geoservice Perú, 2008).

Tabla 1. Características técnicas sensor QuickBird.

Sensores			PANCROMÁTICO	MULTIESPECTRAL
Resolución (mt/pixels)			0,61 cm	2,44 m
Bandas Espectrales	B1	Pancromático	450-900 nm	
	B2	Azul		450-520 nm
	B3	Verde		520-600 nm
	B4	Rojo		630-690 nm
	B5	Infrarrojo cercano		760-900 nm
Ancho de barrido			16,5 km	16,5 km
Tamaño de pixel			0,61 m. nadir 0,72 m a 25° del nadir	2,44 m. nadir 2,88 m a 25° del nadir

Fuente: Elaboración propia.

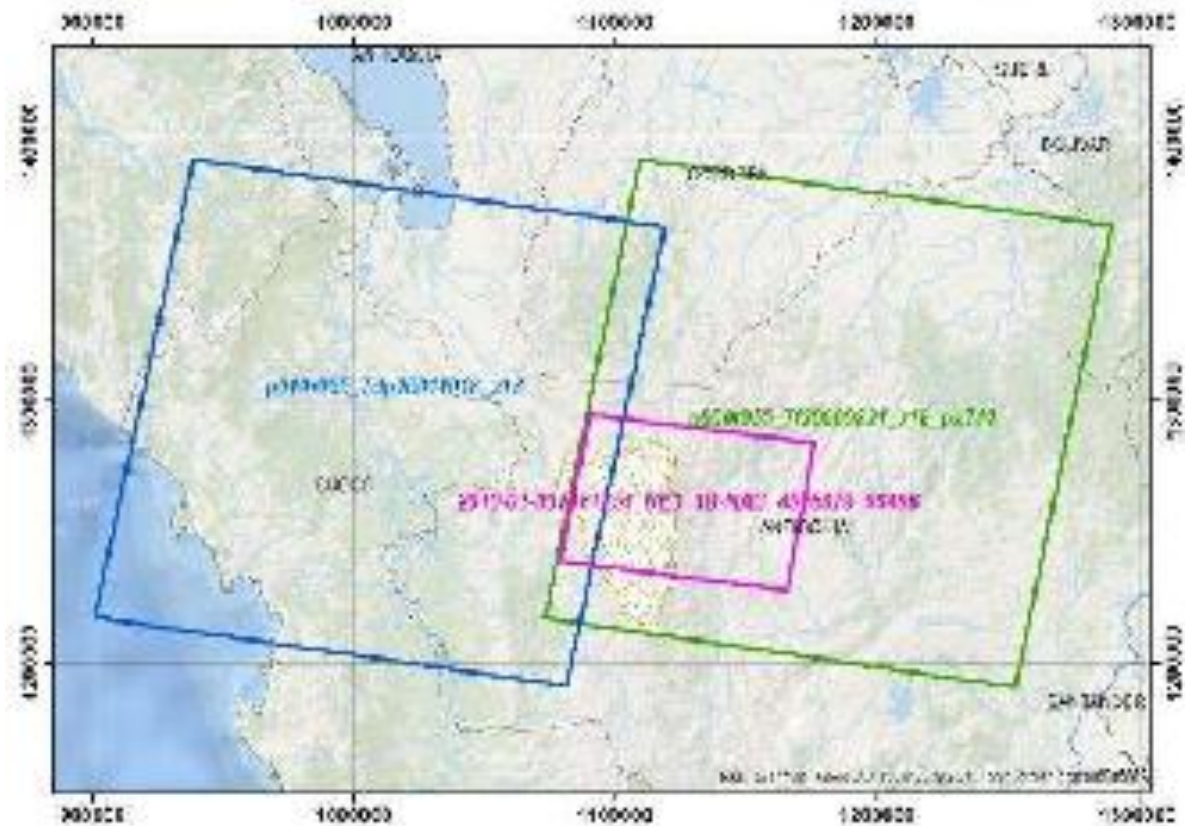


Figura 2. Ubicación espacial de las principales escenas satelitales utilizadas en el proceso de interpretación monoscópica. Elaboración propia.

La Figura 3 muestra la cobertura del área de estudio por diferentes imágenes de sensores remotos, tales como Quickbird, Landsat TM y ortofotomosaicos de alta resolución, con el fin de actualizar la conformación geológica del área de la cuenca Riosucio Alto.

Esta información fue almacenada en una Geodatabase, estructura de datos nativa para ArcGIS y formato de datos principal que se utiliza para la edición y administración de datos; de acuerdo con la estructura de datos del POMCA Rio Sucio, dentro del dataset correspondiente a geología, se alimentó la base de datos con la información interpretada de unidades geológicas, fallas y pliegues, teniendo en cuenta las reglas topológicas entre unidades y límites fallados, así como la alimentación de la tabla de datos con la información correspondiente para cada unidad. Las convenciones y colores utilizados están de acuerdo con el estilo definido por el Servicio Geológico Colombiano.

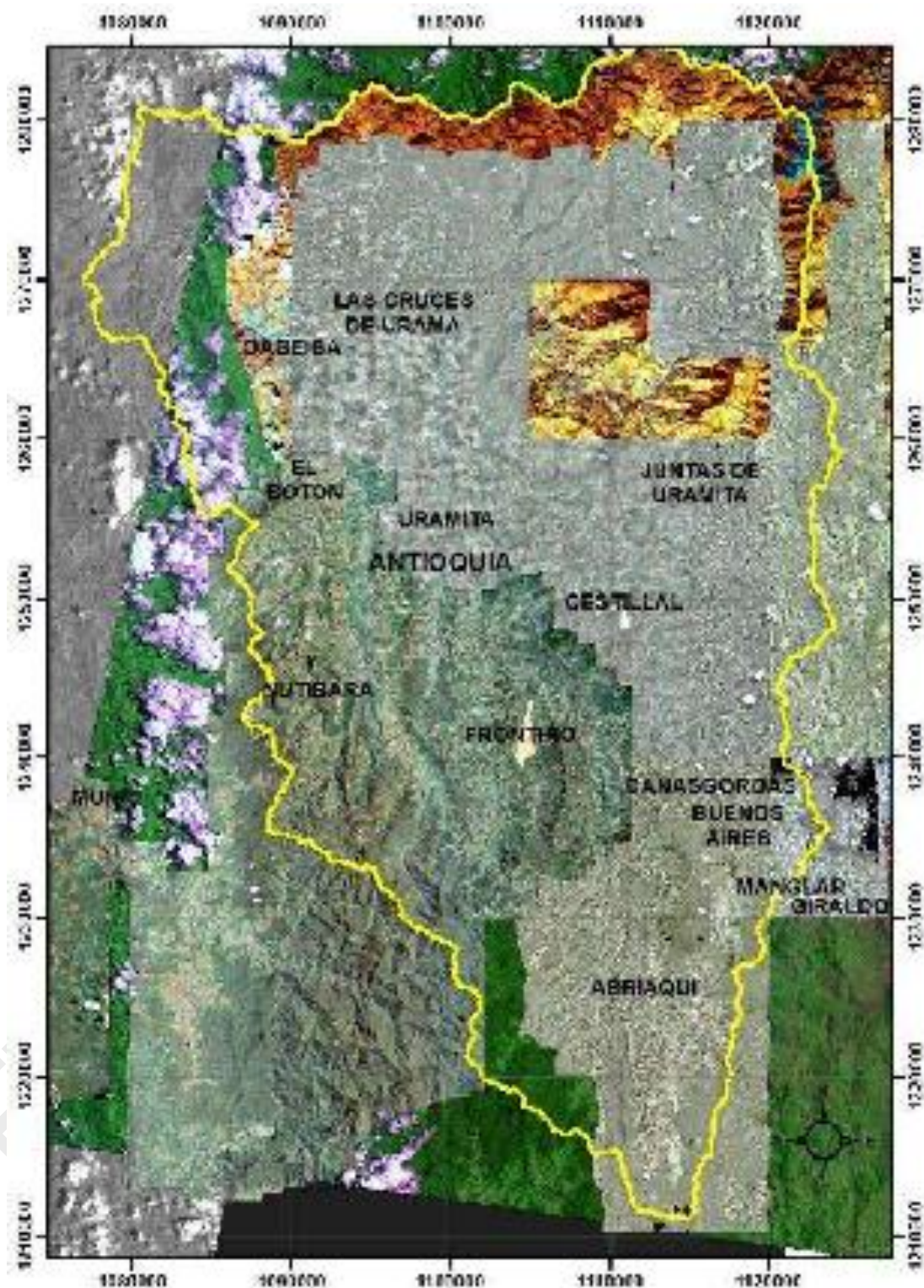
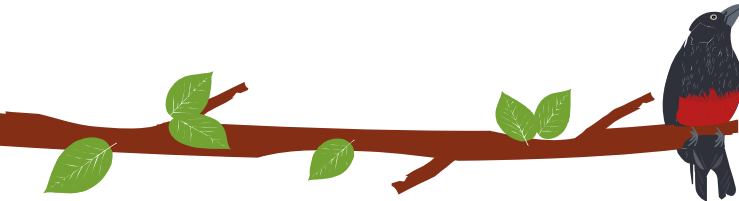
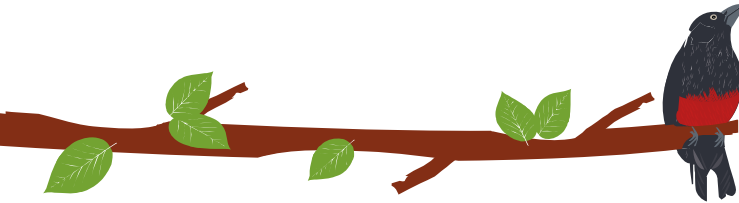


Figura 3. Mosaico de imágenes utilizadas en la fotointerpretación monoscópica. Elaboración propia





1.4 GENERALIDADES DE LA CUENCA

La cuenca del Río Sucio Alto sobre la cual trata el proyecto, se encuentra localizada 50 km al noroccidente del departamento de Antioquia (Figura 1) a partir del sitio donde se presenta la divisoria de aguas entre los ríos que fluyen hacia NW en dirección de la cuenca del Atrato y hacia el SE, en la subcuenca del río Tonusco que fluye hacia la cuenca del río Cauca. Topográficamente, la mayor parte del área varía entre los 2.500 y 1.400 msnm en la parte central; hacia el N se encuentran alturas de 3.200 m en las estribaciones del Nudo de Paramillo y hacia el SW, el Cerro Frontino con 3.400 msnm.

Hidrográficamente, la cuenca del Río Sucio Alto discurre hacia el NW, siendo sus principales tributarios los ríos Urama, Verde, El Cerro, Cañasgordas y Herradura.

Geológicamente, las unidades se distribuyen regionalmente en sentido N-S, con interrupciones esporádicas debido a las fallas que los controlan: las unidades más antiguas se encuentran localizadas hacia el E ocupando un 50% del área; mientras que las más recientes y tectonizadas se encuentran hacia el W.

Litoestratigráfica y estructuralmente existe una distribución de esfuerzos compresivos en sentido W-E, que fracturan en grado sumo la secuencia central en donde se entremezclan las rocas sedimentarias cretácicas de la formación Nutibara con los flujos Diabásicos de edad jurásica y cretácica, creando un típico "melange" o múltiples bloques delgados y alargados en sentido N-S. Hacia el W, predominan rocas intrusivas y volcánico-sedimentarias que contrastan morfoestructuralmente, de las sedimentitas cretácicas que predominan hacia el E del área.

La geología básica expresada en las planchas 114-Dabeiba y 129 Cañasgordas actualizada con la información interpretada a Escala 1:25.000, muestra que sobre el área predomina un intenso tectonismo el cual oscurece la relación tectónico-estructural y estratigráfica de un área en donde la acreción secuencial deforma la relación espacial que existe entre las rocas sedimentarias e ígneas intrusivas y extrusivas: lo anterior indica que no existe en esta área una secuencia estratigráfica típica y continua que sea correlacionable con otras zonas aledañas, y para entender esta discrepancia es importante tener como referencia el Marco Geológico Regional.

1.5 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

Regionalmente, el desarrollo y configuración actual entre las Placas Suramericana, el Bloque Chocó-Panamá y el Norandino, presenta una interacción evolutiva a través de la historia geológica debido a procesos geodinámicos progresivos, tal como se aprecia en el Esquema Geotectónico del noroccidente de Sur América (Figura 4). Las placas mayores de Cocos, Nazca, Suramericana y Caribe, convergentes entre sí en (Hernández, 2009), presentan una interacción mediante límites convergentes con subducción oceánica (Placa de Nazca bajo el Bloque Andes Norte) y la convergencia entre placas continentales, (Bloque Andes Norte y Placa de Suramérica), los cuales a su vez presentan límites transcurrentes (Bloque Panamá y Placa de Nazca), según lo propuesto por Kellog & Vega (1995) y Gutscher, et al. (1999). El Bloque Andes Norte se localiza en el extremo noroccidental de Suramérica y comprende la terminación norte del Sistema Cordillerano



de los Andes en Ecuador, Colombia y Venezuela: dicho bloque está limitado al oriente por el Sistema de Fallas de Guayaquil- Dolores-Algeciras- Frente Llanero Boconó (Figura 4).



Figura 4. Configuración actual de las Placas Suramericana y Caribe con un desplazamiento relativo de 10-22 mm/año, en sentido este-oeste (Modificado de Suter et al. 2008. El límite entre los terrenos de Chocó-Panamá y Bloque Andino. Tomado de Hernández O. (2009).

1.6 GEOTECTONICA DEL AREA DE INFLUENCIA

Los trabajos de investigación sobre la Cartografía Geológica y Modelamiento Estructural en las Cuencas de Urabá y Sinú-San Jacinto, a partir de la Interpretación de Imágenes de Sensores Remotos y Monitoreo Sísmico, (Hernández, 2009) y el Modelamiento Estructural de la Zona Límite entre la Microplaca Panamá y el Bloque Norandino, a partir de la Interpretación de Imágenes de Radar, Cartografía Geológica, Anomalías de Campo Potenciales y Líneas Sísmicas (Garzón, 2012), realizados por la Universidad Nacional de Bogotá y la A.N.H., conforman el pilar técnico-científico más representativo y actualizado, para presentar un marco geológico regional que incluya el área del Golfo de Urabá y norte de la Cordillera Occidental.

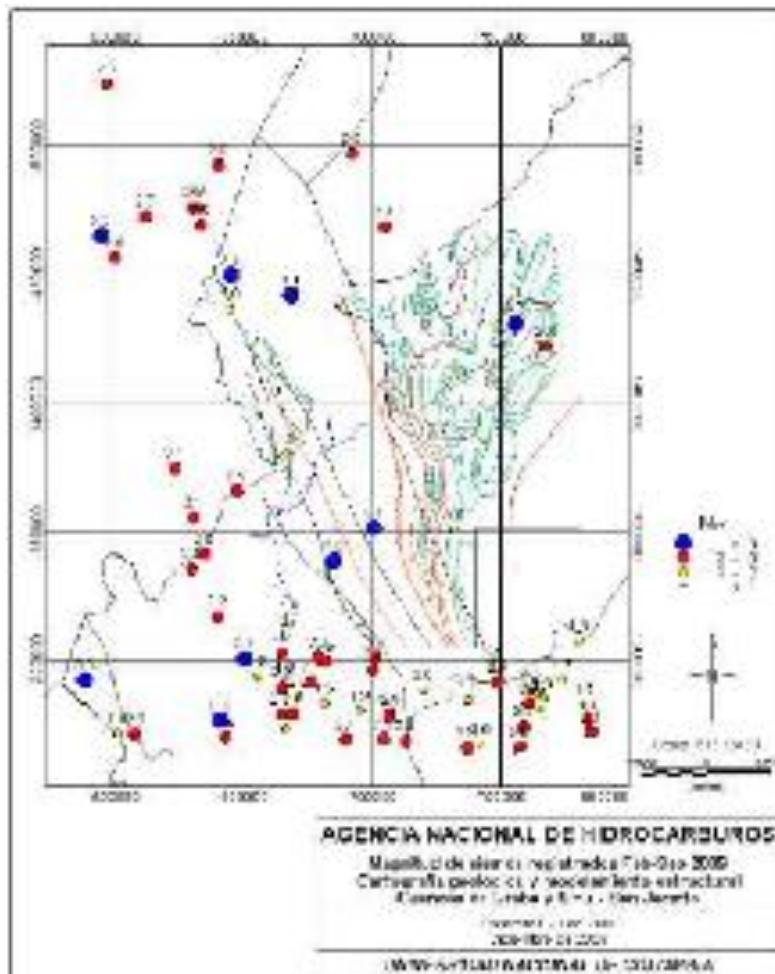
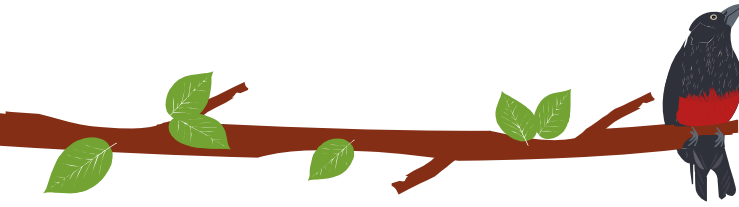


Figura 5. Distribución espacial de los eventos sísmicos registrados por la Red Sismológica de Urabá, con mayor concentración hacia el área del Chocó y al sur de Golfo de Urabá. Son escasos los sismos localizados en las cuencas de Sinú- San Jacinto y Norte de la Cordillera Occidental. Tomado de Hernández (2009).

El ambiente geotectónico y evolución del noroeste de Suramérica en donde se encuentra localizada el área de estudio involucra la presencia de límites entre placas oceánicas y continentales, sistemas montañosos y cuencas marinas, con presencia de pliegues y fallas regionales, cuyos eventos acrecionales dieron origen a la Cordillera Occidental, por el choque entre las placas de Nazca, Caribe y Suramericana, con desplazamiento relativo de 10-22 mm/año, en sentido este-noroeste (Modificado de Suter, et al., 2008), durante el Cretáceo superior-Paleoceno (Figura 4). Desde el Cretácico tardío al Neógeno temprano, la Placa del Caribe comienza a moverse continuamente hacia el noreste a lo largo de una zona de fallas con orientación NE-SW y de esta manera se lleva a cabo el emplazamiento de la Cordillera Occidental transpresivo y desplazamiento dextral. Esta aproximación se efectuó durante el Mesozoico-Cenozoico (Meissner, Flueh, Stibane, & Berg, 1976); (Feininger & Bristow, 1980).

El terreno Calima (Ca) con basamento oceánico de unos 35 kms de espesor comprende gran parte de la Cordillera Occidental y está formado por unidades cretácicas,



representativas de una corteza oceánica de arco insular y de ambiente de plateau oceánico (Figura 6, (Toussaint & Restrepo, 1989)). En la parte occidental el Terreno Cuna está representado por la Serranía de Baudó, en donde predominan basaltos y gabros: en la parte oriental, por secuencias de rocas volcánicas básicas, cenozoicas, que han sido agrupadas en las formaciones Santa Cecilia y la Equis, las cuales han sido intruidas en parte por el Batolito de Mandé, de composición tonalítica: estos a su vez han sido intruidos por varios pórfidos o "stocks" dioríticos y monzoníticos. Durante el Mioceno se produce la acreción del terreno Cuna al Bloque Andino y aparentemente poco después de la colisión se inicia una nueva actividad magmática.

El área del Proyecto Río Sucio Alto, localizada sobre el sector norte de la Cordillera Occidental y noroeste de Departamento de Antioquia, presenta una secuencia de rocas sedimentarias, extrusivas de afinidad volcánica submarina, e intrusivas, constituidas por plutones y stocks, cuya edad de formación varía desde el Jura-Triásico hasta el Cuaternario. Dicha secuencia heterogénea y compleja, se encuentra muy tectonizada y está conformada por varios conjuntos sedimentarios y volcánicos; estuvo sometida a esfuerzos y deformaciones intensas durante la Orogenia Andina por la acreción del Arco Volcánico del Terreno Cuna (Figura 6) durante el Mioceno, mediante una sutura, contra el Bloque Andino (Toussaint & Restrepo, 1989).

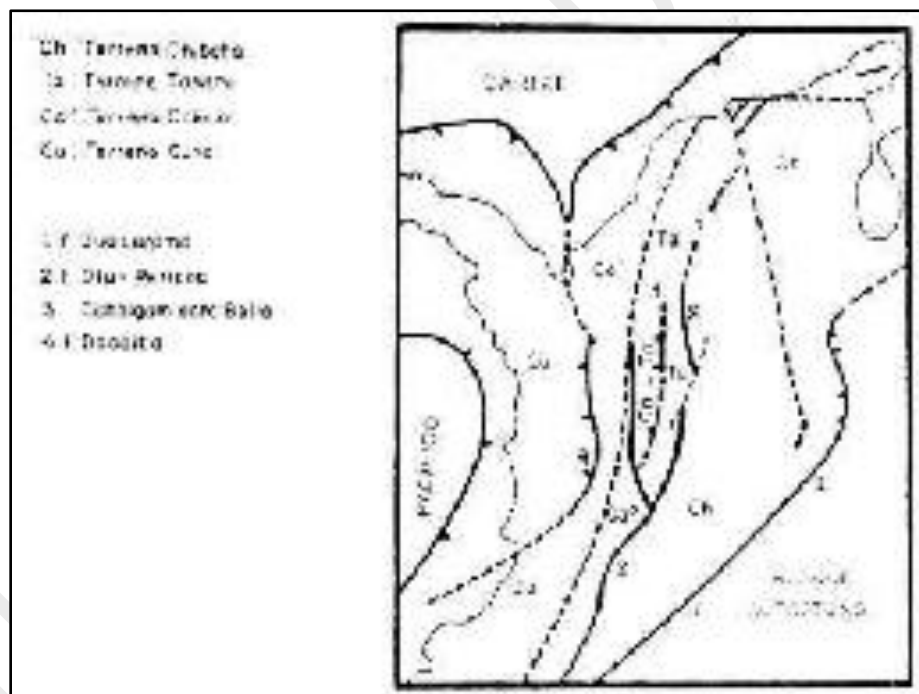


Figura 6. Mapa simplificado de los terrenos Aloctonos de Colombia. Tomado de Toussaint y Restrepo (1989)

Por otra parte, el Arco de Dabeiba (Duque-Caro, 1989) es una unidad fisiográfica (Figura 7) y tectonoestratigráfica (Figura 8), de origen centroamericano que limita el margen oriental del Bloque del Chocó, contra la Cordillera Occidental. Corresponde a una secuencia oceánica, (ofiolítica), de carácter volcánico-sedimentario, compuesta por una

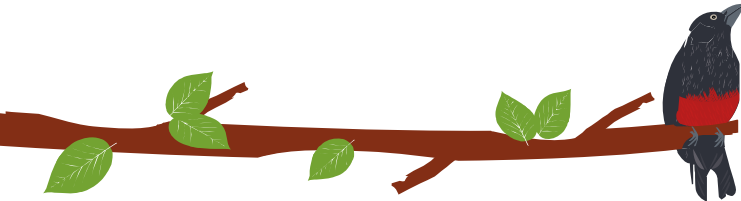


asociación caótica de bloques de diferentes edades, Cretáceo superior a Mioceno, con tamaños hasta kilométricos de longitud, ambientes oceánicos a neríticos, que no guardan ninguna coherencia estratigráfica regional: fábrica de tipo "melange", en su parte oriental, en donde son característicos estratos sin ninguna continuidad aparente e inclusiones de bloques exóticos, dispersos en una matriz pelítica muy cizallada de edad Mioceno medio, cuya microfauna planctónica del Cretáceo superior a Paleoceno, no es típica del NW suramericano, con inclusión de bloques pelágicos y hemipelágicos (Formación Nutibara). Estas características reconocibles, son difíciles de explicar dentro de un marco coherente, a partir de las relaciones estructurales y estratigráficas normales, pues el Arco de Dabeiba presenta bloques apilados tectónicamente, sobre los flancos noroccidentales de la Cordillera Occidental.



Figura 7. Elementos fisiográficos de la esquina noroccidental de Suramerica: Serranías de San Blas – Darién, Baudó – Majé, Valles de Atrato y Chucunaque, colinas de Itsmina y Cordillera Occidental. Tomado de Duque-Caro (1989).

Según Duque-Caro, (1989), El Arco de Dabeiba: Nuevas Aportaciones al Conocimiento del Noroccidente de la Cordillera Occidental, corresponde a secuencias estratigráficas compuestas orientadas N-S, NW-SE y NE-SW: tiene forma arqueada, limita al norte con las cuencas del Sinú- San Jacinto y al sur con la zona de Cizalla de Itsmina (Figura 7) y su nombre se escogió porque en esta localidad fue en donde se efectuaron las principales observaciones de campo, tanto litogenéticas como estructurales, siguiendo la carretera que conecta a Uramita con Mutatá: allí se reconocieron capas de chert y carbonatos con una edad Cretáceo superior a Paleoceno, asociadas con flujos de



diabasas y basaltos, todos incluidos dentro de una matriz pelítica muy cizallada, que en algunos lugares contiene foraminíferos planctónicos muy deformados, de edad Mioceno inferior y otros sectores, con faunas del Eoceno, que sólo se encuentran en Centroamérica. Este fenómeno es difícil de integrar y explicar dentro de un marco regional con relaciones estratigráficas y estructurales normales.

Las medidas geodésicas satelitales con GPS apoyan la existencia de la microplaca rígida de Panamá, la cual se mueve hacia el norte respecto de la placa Caribe y hacia el oriente, respecto de la microplaca Andes Norte (Kellog & Vega, 1995); (Mora H. , 2006); (Trenkamp, Kellogg, Freymueller, & Mora, 2002)). Los estudios de geodesia satelital realizados en las ciudades de Panamá, Cartagena y Bogotá, sugieren que la micro placa de Panamá está colisionando actualmente con la microplaca Andes Norte, (en donde se encuentra la Cordillera Occidental), a una tasa de 8 a 21 mm/año (Figura 4). Durante el período comprendido entre 1963 y 1981 ocurrieron en esta zona fronteriza más de 64 terremotos con magnitud mayor a 5.0, o mayor como el terremoto somero de enero 20 de 1994, con una intensidad de 7.9 en Murindó según la escala de Richter (Kellog & Vega, 1995). Los mecanismos focales de los dos terremotos en octubre de 1992, en el NW de Colombia ($M_s=6.6$ y 7.2) son consistentes con una compresión NW-SE (Kellog & Vega, 1995), así como lo sugieren también los estudios de sismicidad en la región offshore, limítrofe entre Colombia y Panamá, por fallamiento complejo y difuso, a lo largo de fallas de cabalgamiento y de rumbo, con orientación NW-SE ((Pennington, 1981); (Adamek, Frohlich, & Pennington, 1988)). La Magnitud de los sismos registrados entre Feb-Sep. del 2009, se aprecia distribuida en la Figura 5.

El Estudio Tectónico y Estructural a partir del Monitoreo Sísmico y Anomalías de Campos Potenciales, realizado por la Universidad Nacional de Colombia, define un Modelo Digital del Terreno en el Sector de Urabá, a partir de datos de elevación con estaciones gravimétricas compiladas (Figura 5, 2009): éste semidetalla la relación espacial presente en las rocas sedimentarias que conforman las secuencias plegadas y falladas del Cinturón del Sinú- San Jacinto al este y la Serranía del Darién al oeste, y su interrelación con la secuencia depositada en el Golfo de Urabá, así como la distribución de la sismicidad entre la Cuenca de Sinú-San Jacinto y la de Urabá separadas por la Falla de Uramita (Figura 5). La mayor sismicidad se presenta hacia el sector de Murindo, al oeste de la zona de estudio.



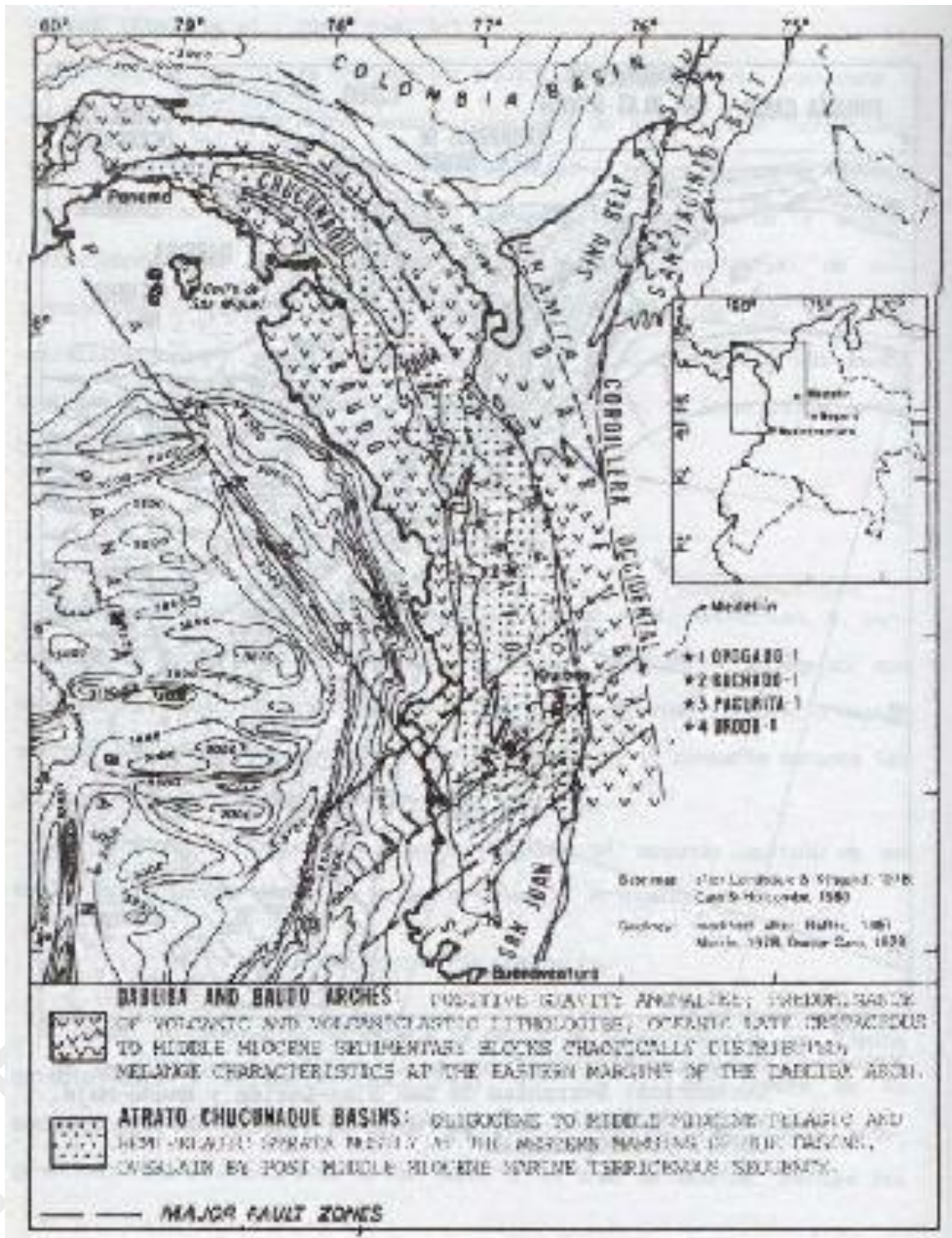
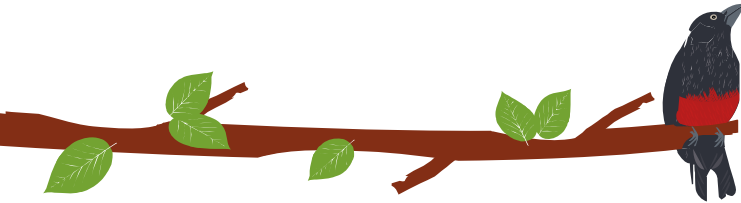


Figura 8. Características litogenéticas y estructurales del Bloque del Chocó. Tomado de Duque – Caro (1989)



1.7 ESTRATIGRAFÍA DE LA CUENCA RIO SUCIO ALTO.

En el presente proyecto se encuentran diferentes nombres para designar secuencias parciales desde el punto litoestratigráfico, observadas, levantadas y definidas por múltiples autores, quienes han cartografiado con una óptica local y conceptual, las diferentes unidades, sin lograr definir y obtener una coherencia secuencial, entre la evolución histórica, los diferentes eventos y efectos estratigráficos y tectónicos, expresados desde el oriente hacia el occidente. Punto de partida importante al analizar e interpretar con sensores remotos la secuencia geológica y el grado de afectación estructural en el área de la Cuenca de Río Sucio Alto, se puede realizar una sectorización aplicando claves fotogeológicas, que se fundamentan en la expresión del relieve, clase de drenaje, tipo y densidad, en relación con la dispersión del paisaje morfométrico, mediante combinación de imágenes de satélite, un DEM de 12.5 m, con transparencias de las planchas geológicas a escala 1:100.000 del Servicio Geológico Colombiano (2002, 2013), contrastándolas con las planchas topográficas ortorectificadas y georeferenciadas para el Proyecto, debido a grandes discrepancias que presentan las del SGC.

La estratigrafía regional definida inicialmente por (Alvarez A. J., 1983), sirve de referencia preliminar sobre el área de la Cuenca del Río Sucio Alto (Figura 9): las complejidades tectónicas presentes dificultan estructurar una columna estratigráfica tipo, utilizando la información levantada posteriormente por los geólogos de INGEOMINAS y el Servicio Geológico Colombiano, porque su enfoque fue más de carácter petrográfico, cronológico, petroquímico y metalogénico.

En este informe se incluyen las unidades litológicas teniendo en cuenta su expresión morfoestructural y se realiza una separación secuencial de acuerdo con criterios de interpretación monoscópica.

En el área de la cuenca del Río Sucio Alto afloran rocas sedimentarias, ígneas extrusivas e intrusivas, asociadas con posible metamorfismo de contacto y sedimentos cuaternarios. Las unidades principales corresponden a bloques tectónicos de sedimentitas que predominan hacia el E, diabasas y basaltos intercalados con sedimentitas en la parte central, y hacia el W predominio de plutones y stocks distribuidos irregularmente.

De acuerdo con Álvarez y González (1978) el Grupo Cañasgordas presenta una unidad basal, Formación Barroso o Vulcanitas del Barroso, y constituye la unidad litológica más antigua en la Cordillera Occidental, separada geológicamente de la Central por el Sistema de Fallas de Romeral; representan un intenso vulcanismo oceánico básico, de finales del Cretáceo temprano al Cretáceo tardío (Etayo, y otros, 1983) sobre el cual se depositaron sedimentos turbidíticos del Cretáceo Superior, Miembro Urrao y bioquímicos del Cretáceo superior al Paleoceno, correspondientes al Miembro Nutibara.

Este último consta de lavas almohadilladas con texturas ofíticas, subofíticas junto a bloques de chert y calizas, y bloques de lodolitas, limolitas y arenitas líticas denominados Diabasas de San José de Urama, Chert y Calizas de Nutibara y Lodolitas, limolitas y arenitas líticas de Urrao, que en conjunto forman el Complejo Cañasgordas o Bloque Cañasgordas (Rodríguez & Arango, 2012 y Rodríguez, et al., 2013).

Al occidente de esta zona aflora parte del Bloque Chocó - Panamá constituido por el Complejo Santa Cecilia-La Equis y el Batolito de Mandé. El primero de estos corresponde

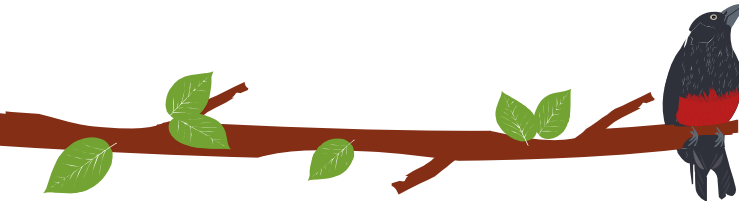


[illegible]

Figura 9. Columna estratigráfica de la zona de estudio.



El ambiente
es de todos



1.7.1 COMPLEJO CAÑAS GORDAS

Con este nombre se agrupan de manera informal un conjunto de bloques tectónicos que afloran en gran parte del área. El sector norte de la Cordillera Occidental, el Grupo Cañasgordas integra las unidades constituidas por las formaciones Barroso, Urrao y Nutibara (Penderisco) (Alvarez & González, Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao), 1978), las cuales fueron denominadas en la Plancha 114 por Mejía & Salazar (1989) como: Pizarras de Dabeiba, Diabasa de San José de Urama y Grupo Cañasgordas, este último constituido por las formaciones Barroso y Penderisco (Urrao y Nutibara).

La Formación Barroso en el sentido de Rodríguez & Arango (2012) consta en la base de basaltos, andesitas y rocas piroclásticas las cuales afloran esporádicamente en la margen oriental de la cuenca de Río Sucio Alto, y en el arco de Dabeiba, incluyendo Chert y Calizas de la Formación Nutibara, y lodolitas, limolitas y litoarenitas de la Formación Urrao, en forma de bloques sedimentarios intercalados con las Diabasas de San José de Urama entre las fallas de Cauca – Almaguer al oriente y Dabeiba – Pueblo Rico al occidente.

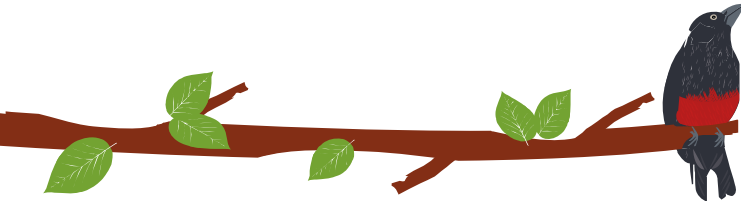
Las Pizarras de Dabeiba fueron descritas por (Zuluaga & Hoyos, 1978), como “Miembro pizarroso” de la Formación Penderisco; posteriormente (Mejía & Salazar, Geología de la plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo), 1989) le dan el nombre de Pizarras de Dabeiba a algunos paquetes de pizarras que afloran antes y después de Dabeiba, sobre la vía que une Medellín con Urabá y la correlacionan con la Formación Quebradagrande, asignándole una edad cretácea temprana. Estos mismos autores, en la localidad del río Frontino y el caserío Beibaviejo, denominan Diabasas de San José de Urama a las rocas volcánicas correlacionables con la Formación Barroso definida por Alvarez & González (1978) y denominadas posteriormente por (González, 2001) como Volcánico del Barroso.

Los bloques de diabasas y basaltos que corresponden a la Formación Barroso de estos autores son separados en dos unidades diferentes por Rodríguez & Arango (2012) en concordancia con la composición petrográfica, afinidad y ambiente geotectónico, debido a la litogeoquímica y edad, llamándolas Formación Barroso a las rocas volcánicas de arco, y Diabasas de San José de Urama a los basaltos y diabasas oceánicos.

1.7.2 Formación Barroso

La Formación Barroso está constituida por derrames lávicos basálticos y andesíticos, intercalados con tobas, aglomerados, tufas y paquetes sedimentarios de chert, lodolitas, limolitas y grauwacas que por lo general reposan discordantes sobre las rocas volcánicas de la Formación Barroso (Rodríguez & Arango, Formación Barroso: Arco volcánico toleítico y Diabasas de San José de Urama: un prisma acrecionario T-MORB en el segmento norte de la Cordillera Occidental de Colombia, 2012). Los basaltos y andesitas de la Formación Barroso presentan textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, en una matriz microcristalina a hialocristalina microlítica localmente con amígdalas. Las andesitas son porfídicas y están compuestas principalmente de plagioclasa (An40-50), y en menor proporción, anfíbol y piroxeno. Las tobas y aglomerados tienen fragmentos de vulcanitas máficas de diferente tamaño y textura, se han clasificado como tobas líticas y subordinadas litocristalinas y vitreocristalinas.





El vulcanismo representado por la Formación Barroso ocurrió en un ambiente marino, con intercalaciones delgadas de chert y limolitas silíceas (Alvarez & González, Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao), 1978), (Mejía & Salazar, Geología de la plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo), 1989). Las sedimentitas ocurren como capas intercaladas con los basaltos y en paquetes de areniscas líticas, conglomerados con guijos de vulcanitas, limolitas, lodolitas silíceas y chert (Hall, Álvarez, & Rico, 1972); (Alvarez & González, Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao), 1978); (Mejía & Salazar, Geología de la plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo), 1989)).

1.7.3 Chert y calizas de Nutibara (K2cn)

De acuerdo con la interpretación, en esta unidad se agrupan una serie de bloques tectónicos, conformados por chert, calizas y diabasas que afloran al occidente y oriente del municipio de Dabeiba, que distribuye en sentido Norte-Sur a partir de Frontino. La expresión de dicha unidad se presenta siguiendo la vía Medellín-Turbo. En esta unidad se agrupan una serie de bloques que afloran desde la entrada a Frontino hasta el occidente del municipio de Dabeiba siguiendo la vía Medellín-Turbo, y corresponden a franjas irregulares con dirección norte – sur y amplitudes variables, que oscilan entre decenas de metros y tres (3) km.: conforman bloques tectónicos alargados, continuos y discontinuos, limitados por fallas normales e inversas, con adelgazamientos y engrosamientos locales, generalmente plegados, que se intercalan con los bloques de diabasas y basaltos y menos frecuente con bloques de litoarenitas y lodolitas grises, correlacionables con el Miembro Urrao en el sentido de Álvarez & González (1978). Los mejores afloramientos de esta unidad se encuentran sobre la vía Cañasgordas–Dabeiba en cuyo trayecto se cruzan franjas de paquetes conformados por chert, calizas y lodolitas, y sobre la vía que va bordeando el río Urama hacia Urama Grande.

En la Plancha 114 los cuerpos de chert y calizas fueron denominados Miembro Nutibara de la Formación Penderisco; su nombre se originó del corregimiento de Nutibara, en el Municipio de Frontino-Antioquia. El Miembro Nutibara fue definido por (Álvarez, Memorandos Geológicos internos, 1970) y descrito en el informe geológico del Cuadrángulo I-7 Urrao (Alvarez & González, Geología y geoquímica del Cuadrángulo I-7 (Urrao), 1978); junto con el Miembro Urrao conformaban la Formación Penderisco del Grupo Cañasgordas. Posteriormente Mejía & Salazar (2007) nombran a esta unidad como Complejo Nutibara (Figura 12) por sus características litológicas, estructurales y paleontológicas diferentes, además de estar tectónicamente separada del Grupo Cañasgordas; se reconocen tres litologías dominantes: chert negro o lítica, chert calcáreo y calizas con niveles de jaspe, tal como se aprecia en la columna estratigráfica de la Figura 12.

La interpretación de sensores remotos sobre este sector comprueba la presencia de intercalaciones de bloques de Chert, calizas y diabasas con orientación preferencial NS en el sector sur del área. En el sector Norte, principalmente entre Dabeiba y Uramita, se observan efectos de flexodeslizamiento sobre las fallas que conforman los bloques compuestos por chert y diabasas, orientados N45W debido al efecto de la falla La Herradura. En la vereda Botija Bajo se encuentran afloramientos de Chert y calizas intercaladas (Figura 10 y Figura 11).

Tal como lo describen Rodríguez, et al., (2013) en la Vereda Nobogá, se observa un bloque de chert y calizas limitado por fallas, el cual forma una colina baja que tiene forma alargada, con cuchillas rectas y vertientes cóncavas.



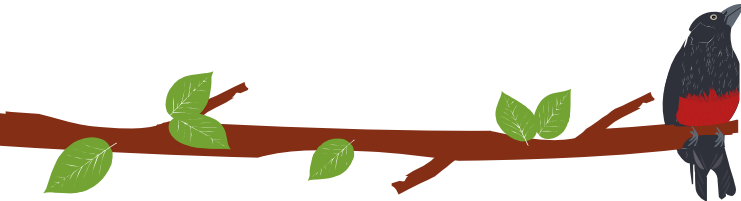


Figura 10. Capas de calizas con intercalaciones de chert de 10 a 12 cm, estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N). Elaboración propia.



Figura 11. Afloramiento de calizas que presentan un rumbo S44°E, buzando hacia el NE y un buzamiento. El conjunto tiene laminación fina a media plano paralelo marcada por cambios de color y composición. Estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N). Elaboración propia.



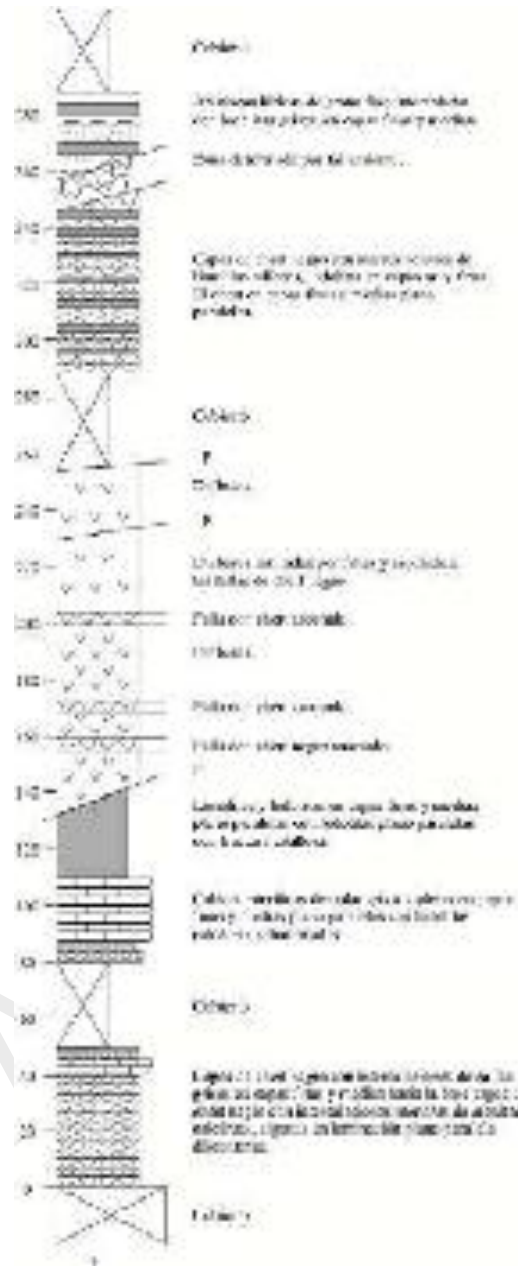
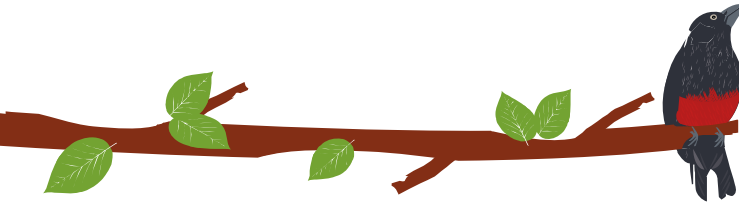


Figura 12. Segmento de columna estratigráfica de uno de los bloques de chert levantada en la entrada a Frontino sobre la vía Medellín – Urabá Tomado de Rodríguez (2013).

En la vereda la Esperanza, en las coordenadas y:1247825.493, x:1106696.414 se encontró el contacto entre las unidades Chert y Calizas de Nutibara (K2cn) y Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu) , posterior al contacto, capas de chert correspondientes a la presente unidad (Figura 17, Figura 18, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18 y Figura 19).



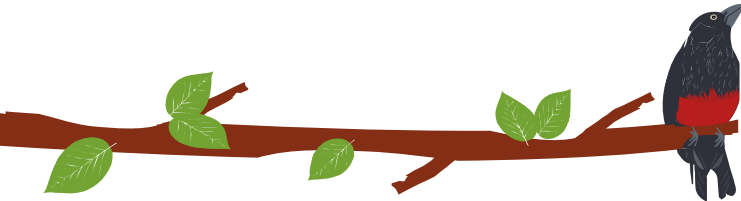


Figura 13. Chert altamente diaclasado y fracturado de la Formación Nutibara (K2cn), las cuales presentan un rumbo S20E, con un buzamiento hacia el NE. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N) Elaboración propia.



Figura 14. Zona de contacto fallado de las formaciones K2cn y K2alu, cerca de la quebrada La Mina. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia.



Figura 15. Zona de contacto de las lodolitas y litoarenitas de la Formación Urrao (K2alu) con capas de calizas con intercalaciones de chert de la Formación Nutibara (K2cn), Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia.



Figura 16. Panorámica Estación JAM-09 sobre la vía Nacional Medellín – Turbo, donde se aprecia el corte sobre las calizas de la Formación Nutibara. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia.



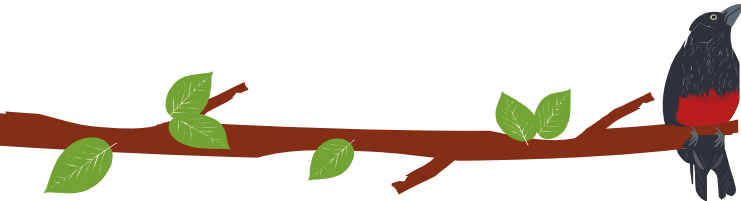


Figura 17. Capas de Chert. Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia.

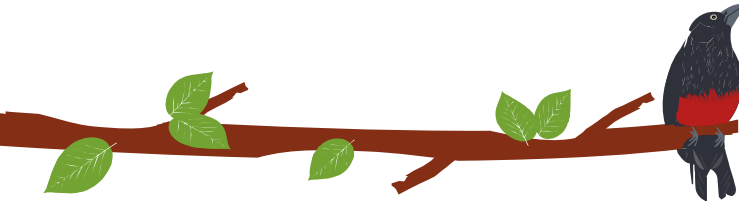


Figura 18. Capas de chert Estación JAM-09, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda La Esperanza, coordenadas (1106696.4 E - 1247825.4 N). Elaboración propia.



Figura 19. Vereda Nobogacita, se observa un bloque de chert y calizas limitado por fallas, el cual forma una colina baja de forma alargada, con cuchillas rectas y vertientes cóncavas. Estación JAM-31, vía Frontino-Nutibara, municipio de Frontino, vereda Nobogacita, coordenadas (1095010.9E - 1245427.3N). Elaboración propia.





1.7.4 Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu)

Como unidad de Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao se agrupa una serie de bloques tectónicos que afloran en el área, desde Cañasgordas hasta el occidente del municipio de Dabeiba.

Según algunos autores (Toussaint J. F., 1996) y (González H., Mapa geológico generalizado del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000, 1997) el Miembro Urrao está conformado por sedimentos tipo "flysch" plegados y fallados que pueden interpretarse como turbiditas proximales, pero hacia el techo, cuando aparecen intercalados o transicionales a la secuencia de calizas y lidita, correspondería a turbiditas distales con más de 3.000 m de espesor.

Esta unidad es predominantemente areno-arcillosa, compuesta por arenitas líticas, grawacas, limolitas y lodolitas silíceas y conglomerados ocasionales, con bancos delgados de chert y caliza hacia el techo localmente con silos y derrames diabásicos y basálticos. Las arcillolitas se encuentran en capas paralelas de 5 a 20 cm de espesor perturbadas por pliegues de orden centimétrico; interestratificadas con grauvaca y limolitas, en bancos gruesos a muy gruesos. Son rocas fisiles, con laminación fina, de color gris verdoso a pardo oscuro por hidróxidos de hierro en los planos de estratificación.

1.7.4.1 Lodolitas

Estas rocas se encuentran interestratificadas en bancos de espesor variable, 0,05 a 1 m. y están constituidas por láminas de minerales arcillosos y cuarzo, intercaladas con materia orgánica. Los fragmentos son subangulares a subredondeados de cuarzo, líticos, feldespatos, epidota y micas; localmente se encuentra cemento calcáreo. Por los efectos dinámicos se desarrollan clivajes y foliación, formando pizarras o filitas con intercalaciones arenosas.

Las limolitas se encuentran en bancos de espesor variable entre 0,05 a 1 m, intercalados en la secuencia de grauvacas. Son rocas macizas a finamente estratificadas, de color gris oscuro a negro, con alto contenido de materia orgánica.

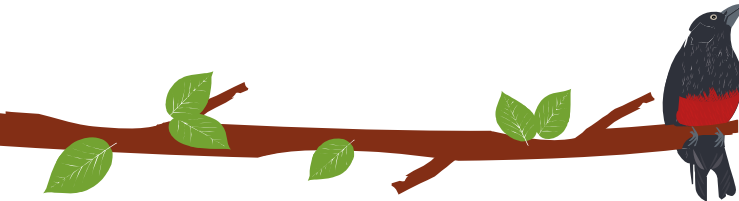
1.7.4.2 Arenitas y grawacas

En rocas frescas son de color gris verdoso a gris oscuro. Se presentan en capas de variado espesor de delgadas a muy gruesas con estratificación plana, paralela continua; a veces presentan estratificación cruzada a pequeña escala.

La selección de los fragmentos es de regular a mala, el tamaño varía de arena gruesa a muy fina, predominando arena media; los granos individuales son subredondeados a subangulares. Los clastos son de cuarzo (5-55%), feldespato (3-45%), micas (1-8%) y líticos (5-40%), con matriz arcillosa (5-25%). Los líticos son de rocas volcánicas basálticas, lodolitas silíceas y calcáreas, limolitas y chert.

El empaquetamiento de los granos es de flotante hasta lineal. Según la clasificación de Folk (1974), son litoarenitas, arcosas, arcosas líticas y wacas, a veces con matriz arcillosa y otras, en menor proporción, con cemento calcáreo. Localmente se presentan bancos de conglomerados; hacia la base de la secuencia conglomerados basales en el que predominan fragmentos de rocas volcánicas de composición basáltica, y otro intraformacional, interestratificado con las arenitas.





En él predominan los líticos de sedimentitas y su tamaño es menor. Esta secuencia de origen terrígeno corresponde a turbiditas de grano fino y grueso, el ambiente de sedimentación es marino, probablemente transicional entre el talud continental y llanuras abisales (Hoyos, Restrepo, & Salazar, 1990).

La interpretación de sensores remotos sobre el sector dentro del cual afloran las rocas correspondientes a la Formación Urrao, no permiten definir la presencia de límites litológicos claros entre arenitas, limolitas y arcillolitas. La densidad del drenaje, tipo de drenaje utilizando claves fotogeológicas han permitido definir algunas actitudes por sectores los cuales nos indican una tendencia con orientación NE y NW y buzamientos variables entre 70° y 45° de inclinación principalmente hacia el NE de la plancha 114.

Hacia el Este de la plancha el espesor de esta unidad es mayor, en una extensión continua hasta de 15 km de ancho, pero hacia el occidente, en la Cuchilla La Herradura, es cortada por una falla que la pone en contacto con un cuerpo de Chert y calizas de Nutibara: esa misma falla más al norte sirve de contacto con las Diabasas de San José de Urama.

Luego se encuentra otra franja de 0,5-1,5 Km de ancho, que al sur cubre el Municipio de Frontino, también separada por fallas, norte-sur, de los cherts, calizas, y rocas volcánicas. Más al occidente, pasando por Dabeiba y también limitada por fallas se encuentra una secuencia de milonitas con protolito de las sedimentitas tipo "flysch"; que Mejía & Salazar, 1989 denominan con el nombre informal de Pizarras de Dabeiba con bajo metamorfismo y las correlacionan con la Formación Quebradagrande.

Zuluaga & Hoyos, 1978 en Mejía & Salazar (1989) describieron esta faja como "Miembro pizarroso" de la Formación Penderisco y lo definieron como un nivel estructural inferior emplazado tectónicamente a superficie. Mejía & Salazar (1989) mencionan que en la excursión de la Décima Conferencia Geológica del Caribe (Burgois, Glacon, Tourmon, & Toussaint, 1983) se encontraron amonitas del Aptiano - Albiano, entre las Pizarras de Dabeiba, limitadas por fallamiento vertical, y correlacionables con niveles aún más inferiores al Grupo Cañasgordas como la Formación Quebrada Grande (Mejía M. , Geología y Geoquímica de las planchas 130 (Santa Fe de Antioquia) 146 (Medellín Occidental), 1984).

En la vereda Corcovado del municipio de Abriaquí, en las coordenadas y:1222616.197, x:1113806.832, en una cantera, se observó la presencia de lodolitas y limolitas de Urrao (K2alu) altamente alteradas, con presencia de estratificación, (Figura 20 y Figura 21)

En el municipio de Dabeiba, en la vereda Comparussia, en las coordenadas 1266055.091, 1115105.743, afloran rocas pertenecientes a la formación K2alu, caracterizadas por lodolitas altamente fracturadas (Figura 22 y Figura 23).



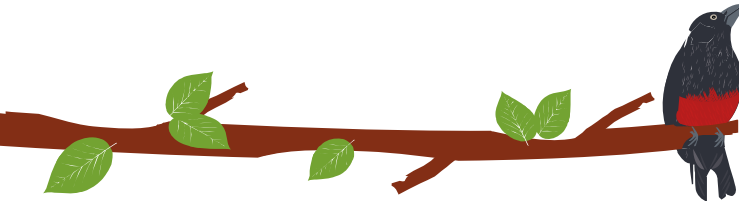


Figura 20. Capas de litoarenitas y lodolitas de la Formación Urrao (K2alu), aflorantes en una cantera ubicada en la vía Abriaquí - Corcovado. Estación JAM-42, municipio de Abriaquí, vereda Corcovado, coordenadas (1113806.8 E - 1222616.2N). Elaboración propia.



Figura 21. Detalles de capas de litoarenitas y lodolitas muy fracturadas de la Formación Urrao (K2alu), aflorantes en la vía Abriaquí - Corcovado. Estación JAM-42, municipio de Abriaquí, vereda Corcovado, coordenadas (1113806.8 E - 1222616.2N). Elaboración propia.

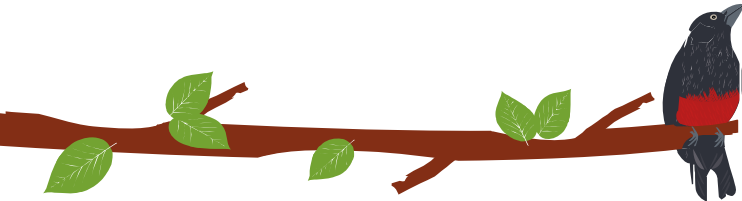


Figura 22. Detalles de capas de lodolitas muy fracturadas de la Formación Urrao (K2alu), aflorantes en la vereda Camparrusia. Estación JAM-51, municipio de Dabeiba, coordenadas (1115105.7E - 1266055N). R:S0W; B:S. Elaboración propia.



Figura 23. Afloramiento de lodolitas de la Formación Urrao (K2alu). Estación JAM-51, municipio de Dabeiba, coordenadas (1115105.7E - 1266055N). Elaboración propia.





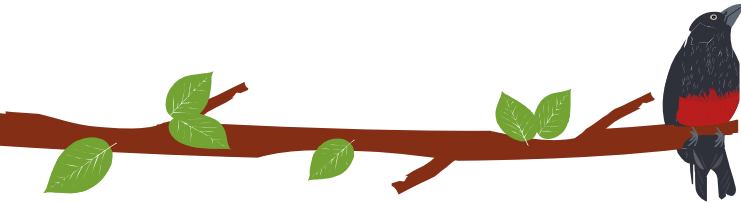
1.7.5 Diabasas de San José de Urama (JK1du)



Figura 24. Aspecto general de las litoarenitas y lodolitas de Urrao en zonas de falla. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2013).

Este nombre fue propuesto por Mejía & Salazar (1989) quienes incluyeron esta unidad como parte de la Formación Barroso (González & Londoño, Geología de las Planchas 129 Cañasgordas y 145 Urrao Escala 1:100.000, 2003); en la plancha 219 la denominaron Basaltos de La Clara – Río Calle: (Rodríguez, Gómez, & Zapata, Geología de la parte oriental de la plancha 114 Dabeiba. Escala 1:100.000. Producto. Versión año 2010, 2010) las describieron como Diabasas y Basaltos del Barroso. Rodríguez y Arango (2012, en imprenta), retoman la denominación de Diabasas de San José de Urama y consideran que no son parte de la Formación Barroso, sino que corresponde a una unidad diferente constituida por diabasas y pillow lavas con texturas ofíticas, subofíticas, intergranulares e intersectales. La unidad se restringe a las rocas que poseen estas características y afloran entre las fallas, Cauca – Almaguer y Dabeiba – Pueblo Rico, en el Segmento Norte de la Cordillera Occidental (Rodríguez & Zapata, Basalto de El Botón, arco volcánico mioceno de afinidad soshonítica al norte de la Cordillera Occidental de Colombia, 2011); toman como sección tipo los afloramientos de los diversos bloques tectónicos que se encuentran en la vía a Urabá, desde la entrada a Frontino, hasta antes de la vereda El Botón (Departamento de Antioquia), y como sección alternativa proponen la que aflora en la vía que del municipio de Anzá conduce al corregimiento de Wintar, en donde se presenta una buena secuencia de lavas almohadilladas.





Las Diabasas de San José de Urama que afloran en el flanco oriental y occidental de la Cordillera Occidental y al oriente de la Falla Dabeiba – Pueblo Rico, se presentan como bloques tectónicos lenticulares con un ancho menor de tres (3) km conformados por diabasas deformadas, orientados en dirección N-S y limitados por fallas de rumbo, con componentes normal a inverso, de ángulo alto, con adelgazamientos y engrosamientos locales, intercalados tectónicamente con bloques de chert – calizas y litoarenitas – lodolíticas, las cuales fueron llamadas por Álvarez y González (1978), como los miembros Urrao y Nutibara de la Formación Penderisco y por Rodríguez et al. (2010) como Chert y Calizas de Nutibara y Lodolitas limolitas y litoarenitas de Urrao.

Las secuencias están constituidas por diabasas y basaltos con textura almohadillada (Figura 25), las cuales macroscópicamente son de color gris oscuro y gris verdoso, masivas, afaníticas a faneríticas muy finas, compuestas por plagioclasa cálcica en cristales menores de 1 mm de color verde claro y piroxeno; como accesorios se observa esfena y localmente sulfuros diseminados como pirita y pirrotina en contenidos menores al 1%.

Las diabasas están fuertemente tectonizadas (Figura 26) y están controladas estructuralmente tal como se aprecia cerca de la quebrada Ambalema



Figura 25. Fallas en los bordes de cuerpos de diabasa. Se aprecian los lentes de diabasa rodeados de milonitas con desarrollo de foliación dinámica alrededor de ellos y colas de deformación asimétricas.
Elaboración propia a partir de Rodríguez (2010)





Figura 26. Afloramiento de diabasas que muestra los efectos de falla definido por el control estructural con orientación N-S en inmediaciones de la quebrada Ambalema. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2013).

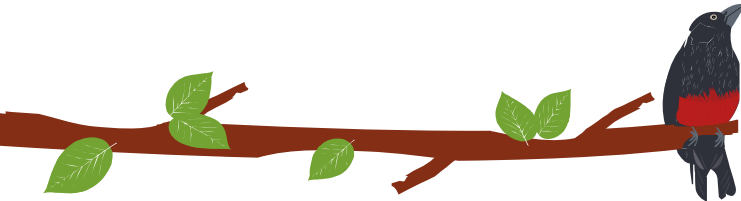
1.7.6 COMPLEJO SANTA CECILIA-LA EQUIS (E1csce)

La Formación Santa Cecilia fue definida por Calle & Salinas (1986) al oeste de la población de igual nombre. Está conformada por flujos de lava, aglomerados, brechas y tobas de composición básica, localmente lavas almohadilladas e intercalaciones de chert y calizas fosilíferas. La Formación La Equis la componen intercalaciones de aglomerados, brechas y flujos lávicos de composición intermedia-ácida, localmente con estructura columnar.

Se denomina Complejo Santa Cecilia-La Equis a las rocas volcánicas efusivas y piroclásticas localizadas al oeste de las sedimentitas de la Formación Guineales y al este del Batolito de Mandé y se incluye parcialmente las rocas volcánicas del Togoridó (Muñoz & Zapata, 1987).

Con el nombre de Rocas volcánicas del Togoridó (Muñoz & Zapata, 1987) conjunto de rocas volcánicas que se extiende desde Nutibara y la quebrada Carrá al Este, hasta los ríos Aguacatales y cabeceras de Pavarandó al Oeste, correspondiendo a las unidades Basaltos de El Botón de edad Mioceno superior y el Complejo Santa Cecilia – La Equis de edad Eoceno. De acuerdo con Muñoz y Zapata (1987) las Rocas volcánicas del Togoridó presentan dos tipos de litología: en los ríos Togoridó y Amparradó (parte central del cuerpo) predominan aglomerados, brechas y basaltos hialocristalinos de color rojizo a violeta, en el contacto con las rocas sedimentarias cenozoicas abundan las tobas, hacia el oeste predominan las andesitas y pórfidos andesíticos.

La parte que corresponde a los basaltos amígdalares, posteriormente fue considerada por Mejía & Salazar (1988) como parte de la Formación Togoridó, denominando los



derrames lávicos Miembro efusivo El Botón, y para la parte piroclástica Miembro explosivo Pavarandó. Salazar (1986) en (Rodríguez, Zapata, & Gomez, 2013) había denominado anteriormente estas mismas unidades Formación Riosucio con dos miembros Togoridó y Rio Verde, el primero de ellos volcánico efusivo y con composición andesítica-basáltica y el segundo piroclástico. Mejía & Salazar (1988) denominan Grupo Riosucio a las rocas volcánicas y sedimentarias que afloran al occidente de Beibaviejo y la dividen en las formaciones Togoridó para la parte volcánica efusiva y piroclástica y Beibaviejo-Amparradocito para la parte sedimentaria y tufácea. Estas unidades actualmente se han dividido en los Basaltos de El Botón (Rodríguez & Zapata, Basalto de El Botón, arco volcánico mioceno de afinidad soshonítica al norte de la Cordillera Occidental de Colombia, 2011) y Complejo Santa Cecilia – La Equis.

El Complejo Santa Cecilia – La Equis es la parte efusiva del Arco Chocó-Panamá y la parte plutónica corresponde a los batolitos de Mandé y Acandí, para el Segmento Norte de la Cordillera Occidental (en el sentido de Rodríguez y Zapata, 2011). El Arco de Chocó – Panamá de edad Eocena está constituido por una unidad volcano sedimentaria denominada en Colombia Complejo Santa Cecilia – La Equis (Calle & Salinas, 1986) modificado por Salazar, et al., (1991) y González (2001)), por dos batolitos, Batolito de Mandé (Álvarez, Mapa geológico generalizado y localización del muestreo geoquímico de la Cordillera Occidental, departamentos de Chocó y Antioquia, 1971) y Batolito de Acandí (Radelli, 1967) en (De Porta J. , 1974) y por cuerpos hipoabisales de andesitas y dacitas.

“El Arco de Chocó-Panamá en Colombia se encuentra limitado al occidente por la Cuenca del río Atrato, al oriente por las Fallas La Cerrazón – Murri y Dabeiba –Pueblo Rico que los separa respectivamente de los Basaltos de El Botón y del Bloque Cañasgordas; al sur está limitado por la Zona deformada de Itsmina y la Falla Aguasal – Amurrapá o Falla de San Juan y al norte se extiende por fuera de Colombia y continúa en el Istmo de Panamá”.

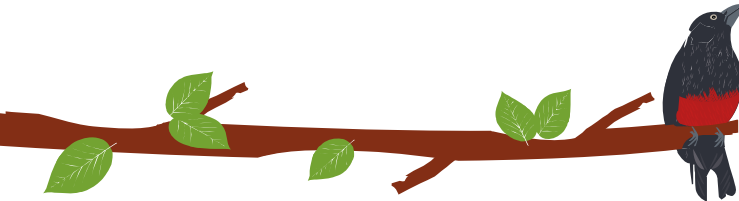
Mejía & Salazar (1988) analizaron cincuenta y cinco secciones delgadas pertenecientes al Complejo Santa Cecilia – La Equis, de las cuales treinta y ocho se clasificaron como andesitas porfídicas, once como basaltos porfídicos, algunos con olivino, cinco secciones como dacitas y una como traquita.

Desde el punto de vista genético se ha propuesto que existe una íntima relación entre las rocas volcánicas y plutónicas (Duque-Caro, 1989); (Salazar, James, & Tistl, 1991); (Toussaint J. , 1999); (González H. , Memoria explicativa del Mapa Geológico del Departamento de Antioquia. Escala 1:400.000, 2001)) y esto ha influido en los esquemas de nomenclatura planteados para su designación: Salazar et al. (1991) propusieron denominar Complejo Santa Cecilia – La Equis a todas las rocas volcánicas incluyendo el Batolito de Mandé, además, consideraron que se trata de un arco de islas del Terciario inferior. González (2001) sugiere incluir bajo el nombre de Complejo Santa Cecilia - La Equis únicamente las rocas volcánicas básicas sin incluir el Batolito de Mandé.

1.7.7 BASALTO DE EL BOTÓN (N1n4n5bb)

El Basalto de El Botón fue inicialmente descrito por Zuluaga y Hoyos (1978) cerca a la vereda El Botón, localizada sobre la vía Uramita – Dabeiba y Álvarez y González (1978) en el Cuadrángulo I-7 Urrao; aflora en el flanco occidental de la Cordillera Occidental como un bloque orientado norte-sur, con una amplitud entre 3 y 13 km. que se extiende





desde el noroccidente de Dabeiba y hasta el suroccidente de Frontino. Litoestratigráficamente está constituida por basaltos porfídicos, andesitas porfídicas y rocas piroclásticas (Rodríguez & Zapata, Características del plutonismo Mioceno Superior en el segmento norte de la Cordillera Occidental e implicaciones tectónicas en el modelo geológico del noroccidente colombiano, 2012), las cuales aparecen cartografiadas en los mapas del Ingeominas como parte del Complejo Santa Cecilia – La Equis. Forma un bloque tectónico con dirección norte-sur que aflora en el flanco occidental de la Cordillera Occidental, al occidente del Complejo Cañasgordas y al oriente del Complejo Santa Cecilia – La Equis, el cual está encajado entre las fallas La Cerrazón-Murri al occidente y la Falla Dabeiba-Pueblo Rico al oriente: tiene una amplitud variable entre 3 y 13 km. en la zona de sutura de ambos bloques y representa las facies eruptivas del Arco de El Botón (Rodríguez & Zapata, Características del plutonismo Mioceno Superior en el segmento norte de la Cordillera Occidental e implicaciones tectónicas en el modelo geológico del noroccidente colombiano, 2012).

En inmediaciones de la vereda Choromando, en las coordenadas y:1268303.647, x:1083073.188 se observó un afloramiento de la unidad Basalto de El Botón (N1n4n5bb), caracterizada por presentarse de forma masiva y fracturamiento moderado (Figura 27 y Figura 28).



Figura 27. Afloramiento de diabasas y basaltos de los Basaltos de El Botón, estación JAM-18, vía Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda Choromando, coordenadas (1083073.1E - 1268303.6N). Elaboración propia.



Figura 28. Detalle de diabasas y basaltos, estación JAM-18, vía Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda Choromando, coordenadas (1083073.1E - 1268303.6N). Elaboración propia.

En la vereda El Llano del municipio de Frontino, se encontró un afloramiento de El Basalto e El Botón, caracterizado por encontrarse la roca muy alterada, en los cuales se pueden observar los fenocristales tabulares de plagioclasas de hasta 4 cm de largo (Figura 29, Figura 30), orientados paralelamente en una matriz afanítica de color gris verdoso.





Figura 29. Detalle de los Basaltos de El Botón, muy fracturado, con bloques angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, estación JAM-28, vía Nutibara – Murri, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N). Elaboración propia.



Figura 30. Afloramiento de diabasas y basaltos de los Basaltos de El Botón, estación JAM-28, vía Nutibara – Murri, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N). Elaboración propia.

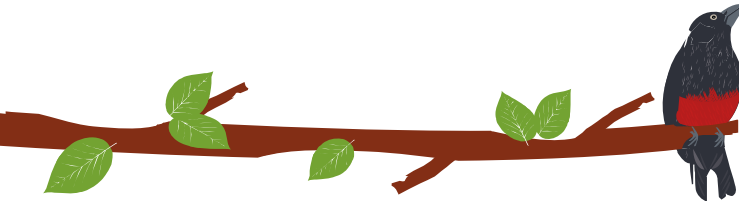
1.7.8 MONZONITA DE NUDILLALES (N1n4n5mn)

Esta unidad aflora al noroeste de Dabeiba, en una extensión de 20 km² para el cuerpo principal y unos 8 km² para la apófisis relacionada en el área, que inicialmente fue denominado como Granodiorita de Nudillales (González & Londoño, Edades K/Ar en algunos plutones del Graben del Cauca y norte de la Cordillera Occidental, 1998) y (González & Londoño, 2002) y diferenciado como Stock de Nudillales y Stock de La Virgen.

Este plutón aparece delimitado por primera vez en el mapa geológico de la Plancha 114 Dabeiba (Mejía & Salazar publicado en 1989) quienes se refieren a él como “Apófisis de la Quebrada Quiparadocito, Stock de Nudillales o Stock de la Virgen” como parte del Batolito de Mandé.

Posteriormente Rodríguez & Zapata, (2012) definen el Arco de El Botón e incluyen tres cuerpos asociados directamente con los basaltos miocénicos del Arco: la Monzonita de Nudillales, la Monzodiorita de Carauta y la Cuarzodiorita de Pérdidas. Estos tres intrusivos afloran entre las fallas Dabeiba- Pueblo Rico y Cerrazón – Murri, localizados al oeste de los plutones que intruyen el Complejo Cañasgordas y afloran entre el río Penderisco al sur y la vereda Nudillales al norte.

El stock de La Virgen se presenta como un cuerpo de forma alargada con una extensión de 7 km. en dirección este-oeste y 4 km en sentido norte-sur, transversal a las estructuras regionales. En los afloramientos alrededor de la mina La Virgen se puede observar la litología del cuerpo que varía de monzonita a diorita constituido por minerales félsicos (66-70%) y máficos (22-30%) con opacos <3% (Tabla 18). La roca es fanerítica equigranular de grano fino a medio, color gris claro a medio, moteado de negro y rosado; compuesta por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, clinopiroxeno, anfíbol y biotita.



1.7.9 FORMACIÓN GUINEALES (N1N2g)

Hubach & Alvarado (1934), en De Porta (1974), describieron en los ríos Tasidó y Tasidocito y en cercanías al municipio de Carepa una sucesión de arcillolitas y areniscas que reposa discordante sobre los conglomerados del Piso de Nuguales en la región de Nuguales-Guineales. Posteriormente Muñoz & Zapata (1987) en la Plancha 114 la denominan provisionalmente con el nombre de Rocas Sedimentarias de Beibaviejo-Amparradocito y la describen así por su variada composición y edad: que incluye calizas, conglomerados, areniscas, limolitas y tobas, con edades, desde el Eoceno Superior hasta Plioceno Inferior, las cuales descansan discordantemente sobre la Formación Togoridó.

Posteriormente Mejía & Salazar (1988) la denominan sub-unidad Beibaviejo-Amparradocito y al publicarla en el 2007, la describen como Complejo Riosucio, compuesto por dos subunidades litoestratigráficas: La subunidad Togoridó que relaciona las rocas volcánicas efusivas y piroclásticas, las cuales en el presente informe se describen como Basaltos de El Botón, en el sentido de Rodríguez & Zapata (2012) y la subunidad Beibaviejo-Amparradocito, compuesta por rocas sedimentarias y tufáceas, pero conservan el nombre original de Formación Guineales (Botero, Bosquejo de la paleontología colombiana, 1936), para aplicarla a la unidad de conglomerados que aflora sobre la vía al mar entre la quebrada Guineales al occidente (base de la unidad) y la quebrada Choromandó al oriente (techo de la unidad), antes de entrar al túnel de la Llorona regresando de Urabá (Figura 31).

La Formación Guineales en la Plancha Dabeiba-114, forma una franja irregular con dirección N-S y una amplitud variable entre 2 y 3 Km, la cual se extiende desde el río Togoridó al sur, donde tiene cierre tectónico hasta el norte para continuar en la Plancha 103: la mejor exposición y sección tipo se ubica en el corte de la vía Dabeiba – Mutatá, entre las quebradas Choromandó y Guineales. Mejía & Salazar (2007), describen buenos afloramientos entre las quebradas Vallesí, Nudillales y Guineales, en el río Choromandó y en las cabeceras del río Amparradocito (Figura 32)

En la vereda Alto Bonito, en las coordenadas y:1269357.646, x:1080754.039 se encuentra el contacto entre las formaciones Guineales y el Basalto El Botón (Figura 33), la Formación Guineales se presenta en bancos gruesos de conglomerados polimícticos clastosoportados, con regular a mala selección.



48

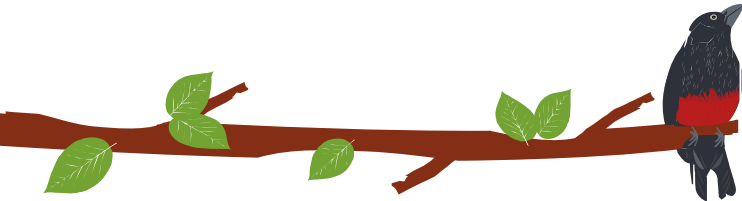


Figura 32. A). Intercalaciones de capas de arenitas con paquetes de conglomerados con lentes arenosos. B) Contacto gradacional de arenitas a conglomerados. C) Contacto neto entre capas. D). Aspecto general de los conglomerados. E) Lodolitas grises con guijos de chert y restos de carbón. F). Impresiones de hojas en capas de sublitoarenitas. Elaboración propia a partir de Rodríguez (2013)



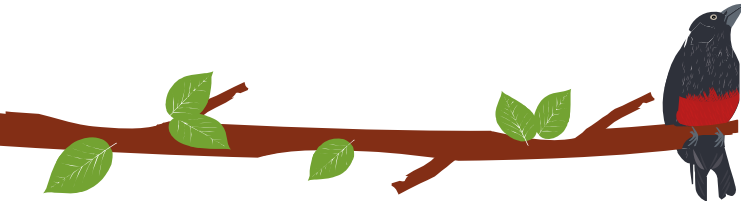
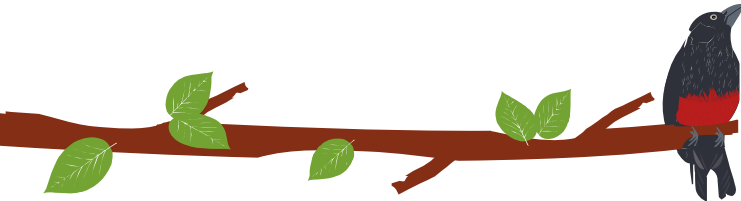


Figura 33. A) Intercalaciones de capas de arenitas con paquetes de conglomerados con lentes arenosos. B) Contacto gradacional de arenitas a conglomerados. C) Contacto neto entre capas. D). Aspecto general de los conglomerados, cuya composición varía entre chert, arenitas y calizas. Elaboración propia.

1.7.10 **SEDIMENTITAS DE BEIVAVIEJO (N1sb)**

Las Sedimentitas de Beibaviejo se encuentran aflorando entre las quebradas El Pital y Beibaviejo (Dabeiba Viejo en el mapa), compuesta por una secuencia de areniscas y tufitas de color gris claro a ocre, lodolitas grises, lignito y shales calcáreos con nódulos de caliza del Mioceno medio, que coinciden con la subunidad Beibaviejo sedimentaria y tufácea de Mejía & Salazar (1989). Estas son rocas detríticas, grano soportadas de color gris oscuro a gris verdoso, compactas con predominio del tamaño arena media, pero con aporte de limo y conglomerado. Los granos son angulares a subangulares, alargados a subesféricos con mala a moderada selección. Para Mejía y Salazar (1989) “no es clara la ubicación estratigráfica dentro de esta secuencia con intercalaciones de arenisca de grano medio, limolitas y una delgada capa de carbón, que con dirección N30°E y buzamiento 55°al E, en las cabeceras de la quebrada El Pital, parecen estar ubicada sobre el Nivel Superior”.





A continuación, se presenta un resumen de las principales unidades anteriormente descritas, y el mapa geológico correspondiente).

1.7.11 **BASALTOS DE LA CLARA – RÍO CALLE (K2bcc)**

Unidad de rocas volcánicas localizada en la parte central de la Plancha 129 Cañasgordas sobre el flanco occidental de la Cordillera Occidental entre la quebrada El Tambo al norte y el río San Pedro al sur y cuyas mejores exposiciones se encuentran en la quebrada La Clara y nacimiento del río Calle de donde se ha tomado su nombre. En la Plancha 145 Urrao se extienden desde la quebrada El Cuarzo y el río Ocaidó como una franja delgada limitada al oeste por la Falla Encarnación. En general, está constituida por derrames basálticos, silos y diques diabásicos que litológicamente son similares a los que constituyen la Formación Barroso en el flanco oriental de la Cordillera Occidental, pero se han separado de ésta por su localización geográfica y, además, porque marcan regionalmente, en el noroccidente, la separación entre sedimentitas areno arcillosas de origen turbidítico (Miembro Urrao) y sedimentitas calcáreas y silíceas de origen químico o bioquímico (Miembro Nutibara) del Grupo Cañasgordas (González & Londoño, Geología de las Planchas 129 Cañasgordas y 145 Urrao Escala 1:100.000, 2003).

Estos cuerpos tienen forma elongada, paralela a las estructuras regionales; en la Plancha 129 Cañasgordas tiene una longitud de 20-25 km y una amplitud máxima de 7 km en su parte central, y se adelgazan tanto al norte como al sur donde tiene unos 2-3 km de amplitud, con una extensión aproximada de 70 km²; sus mejores Los eventos magmáticos más antiguos representados en las planchas 129 Cañasgordas y 145 Urrao corresponden al vulcanismo básico oceánico en el flanco occidental de la Cordillera Occidental que se intercala concordantemente con sedimentitas del Grupo Cañasgordas, representado por los Basaltos de La Clara - Río Calle asignados por posición, correlación estratigráfica y relaciones, al Cretácico Superior, ya que no existen dataciones radiométricas de esta unidad.

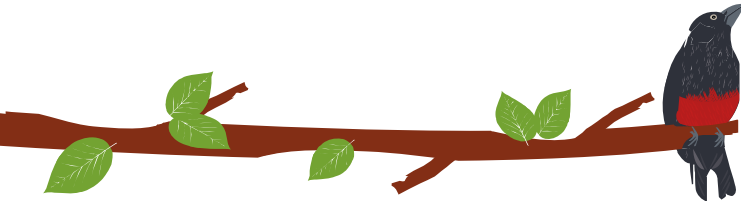
La actividad volcánica se extiende hasta finales del Cretácico - comienzos del Paleógeno con el Complejo Santa Cecilia - La Equis, constituido por flujos lávicos básicos, brechas, aglomerados, tobas con niveles locales de lavas almohadilladas e intercalaciones de limolitas, lodolitas calcáreas, chert y calizas.

La actividad magmática intrusiva comienza, en esta parte de la cordillera, en el Paleógeno medio con la intrusión del Batolito de Mandé y sus facies marginales hipoabisales a las cuales se asocian mineralizaciones de cobre diseminado, en el complejo volcano sedimentario de Santa Cecilia - La Equis (Complejo Santa Cecilia - La Equis). Esta actividad magmática se prolonga hasta el Plioceno con la intrusión del stock del Páramo de Frontino y stocks monzodioríticos correlacionados en el área de Urrao - Frontino - Abriaquí.

La actividad ígnea termina con el vulcanismo efusivo y explosivo que recubre las rocas del stock del Páramo de Frontino en el extremo sureste de la Plancha 129 Cañasgordas. Rocas hipoabisales andesíticas están relacionadas a este último ciclo de actividad magmática.

La descripción de las diferentes unidades de origen ígneo se hace de acuerdo con la leyenda afloramientos se encuentran en las quebradas Las Ánimas, La Clara y río Calle.





En la Plancha 145 Urrao, tiene una longitud aproximada de 14 km y una amplitud menor de un kilómetro y aflora, principalmente, en las quebradas Narciso y El Cuarzo. Esta unidad es intruida en la Plancha 129 por stocks monzodioríticos con formación de una aureola de contacto definida por la presencia de cornubianitas básicas en facies albita - epidota hasta hornblenda cornubianita. Al oriente aparece en contacto normal con sedimentitas del Miembro Urrao y al occidente, en parte, su contacto es normal con el Miembro Nutibara del Grupo Cañasgordas y, en parte, está marcado por las fallas de Portachuelo al norte (Plancha 129) y Encarnación (Plancha 145); en la parte norte, donde se interdigitan con sedimentitas del Miembro Urrao, el contacto es normal.

Los afloramientos consisten de lavas basálticas afaníticas a microporfídicas, y silos y diques diabásicos; localmente se presentan tobas básicas estratificadas y, asociados en cantidades menores, aglomerados, brechas y lentes delgados de sedimentitas.

Las rocas predominantes son diabasas en flujos masivos que presentan, algunas veces, desarrollo de diaclasamiento columnar y, ocasionalmente, estructuras almohadilladas, son de coloración variable entre gris claro y verde oscuro debido a cambios composicionales y a la intensidad de la alteración. Son rocas afaníticas a microporfídicas, macizas, localmente con estructuras de flujo cuando están asociadas a niveles tobáceos. La textura predominante es ofítica a subofítica e intersertal con vidrio en proceso de palagonitización y vesículas rellenas con ceolitas o sílice amorfa. Los basaltos y diabasas son holocristalinos a hialinos, de grano medio a fino, donde a veces se observan abundantes amígdulas. Las variedades microporfídicas se caracterizan, localmente, por la presencia de microfenocristales de clinopiroxeno en una matriz intersertal constituida por clinopiroxeno y plagioclasa.

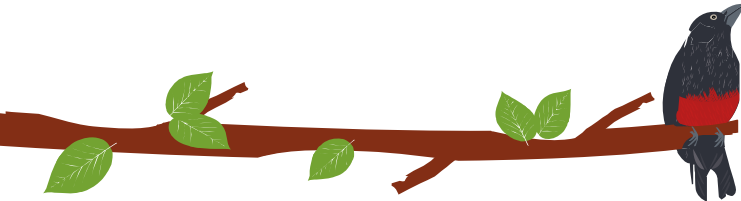
Tanto los basaltos como las diabasas están constituidos por plagioclasa (40-60%), clinopiroxeno (60-40%) y opacos que pueden alcanzar hasta un 5%; por lo general, el clinopiroxeno se encuentra fresco con desarrollo de clorita y uralitización a lo largo de los bordes del cristal, a veces son cristales zonados con bordes más oscuros; en los basaltos corresponde a augita - pigeonita, mientras que en las diabasas predomina augita. Algunos silos diabásicos contienen olivino como mineral caracterizante.

La plagioclasa se presenta en cristales euhedrales a subhedrales de hábito tabular, de aspecto sucio con diferentes estados de alteración a saussurita y sericita, y toma un color pardusco; aunque, por lo general, presentan un proceso de albitización pronunciado, en las rocas más frescas su composición varía entre An50 y An62 en los basaltos y entre An50 y An70 en las diabasas; sin importar el grado de alteración, siempre se conserva la forma tabular de los cristales y, en algunos casos, se observa zonamiento normal.

1.7.12 Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf)

La Monzonita del Cerro Frontino constituye un stock denominado Cerro Frontino (Álvarez & González, 1978), de forma trapezoidal, localizado en la Plancha 129 Cañasgordas, con un ancho de 2 km en su extremo norte y 7 km en su extremo sur con un área de 40 km² y considera las apófisis que afloran en la quebrada El Tambo, afluente del río Musinga; en la quebrada La Clarita, afluente del río Carauta; en el río Carauta; en la quebrada Horacio y en los cuerpos donde se encuentran localizadas las minas La Cumbre y El Cangrejo. Estos stocks asociados al cerro de Frontino son menores de 1 km² y por





ello no se describen independientemente del denominado stock del Cerro Frontino por Álvarez & González (1978) (González & Londoño, Geología de las Planchas 129 Cañasgordas y 145 Urrao Escala 1:100.000, 2003).

Excelentes afloramientos de roca relativamente fresca se encuentran en las quebradas El Carmen, San Pedro, La Blanquita, El Cerro y en los socavones de las numerosas minas que han sido explotadas sobre este cuerpo. Cerca a Frontino constituye el cerro Frontino, de donde recibe su nombre. El stock está emplazado al oriente en sedimentos areno arcillosos del Grupo Cañasgordas y al occidente en los basaltos de La Clara – Río Calle, aunque el contacto con esta unidad puede ser localmente fallado. Especialmente cerca al contacto con las sedimentitas se observa una amplia zona de cornubianitas, cuyo grado de metamorfismo varía desde bajo hasta alto con rocas en las facies albita - epidota hasta piroxeno cornubianita.

Son rocas faneríticas equigranulares, de grano medio, color moteado, con abundante piritita como relleno en microfracturas. El índice de color varía en un rango amplio (menos de 10 a más de 40) y, aunque no hay distribución regular, se pueden considerar dos facies: una félsica con $IC < 10$ y otra básica con $IC > 30$. Esencialmente, las rocas de este stock están constituidas por feldespato, hornblenda, biotita y clinopiroxeno en proporciones variables, con mineralizaciones en fracturas asociadas a la facies básica (González & Londoño, Geología de las Planchas 129 Cañasgordas y 145 Urrao Escala 1:100.000, 2003).

Como accesorios se encuentran circón no asociado o incluido en biotita, apatito, esfena, epidota, magnetita - ilmenita y piritita. El anfíbol presente es secundario como producto de uralitización del clinopiroxeno que se encuentra como núcleos en la hornblenda. El contenido de feldespato potásico varía considerablemente aun dentro de cada facies; por lo general, presenta textura peritítica y es intersticial entre plagioclasa. Hacia los contactos con los sedimentos, algunas muestras contienen cuarzo como accesorio, pero es escaso y falta en la mayoría de las muestras. Otros accesorios son circón, esfena y minerales opacos.

En la vereda El Cerro del municipio de Frontino, se encuentra en la entrada de una galería un afloramiento que muestra la monzonita de Cerro Frontino, localizada en las



coordenadas y:1232686.693, x:1101737.90, y caracterizada por (Figura 34 y Figura 35).



Figura 34. Afloramiento de la Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf), estación JAM-34, vereda El Cerro, sector La Mina, municipio de Frontino, coordenadas (1101737.9E - 1232686.6N). Elaboración propia.



Figura 35. Detalle de la Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf), estación JAM-34, vereda El Cerro, sector La Mina, municipio de Frontino, coordenadas (1101737.9E - 1232686.6N). Elaboración propia.

1.7.13 Diorita de Morrogacho (Ndmg)

La Diorita de Morrogacho constituye un stock de forma rectangular que conforma el cerro Morrogacho, de donde recibe el nombre, localizado a 8 km al SW de Cañasgordas tiene feldespato potásico, varía considerablemente aun dentro de cada facies; por lo general, presenta textura pertítica y es intersticial entre plagioclasa. Hacia los contactos con los sedimentos, algunas muestras contienen cuarzo como accesorio, pero es escaso y falta en la mayoría de las muestras. Otros accesorios son circón, esfena y minerales opacos, una longitud de 3 km en dirección norte sur y 1-2 km en dirección este-oeste y una extensión aproximada de 5,6 km². Los mejores afloramientos se encuentran en las quebradas Santa Teresa y Morrogacho y corresponde al denominado stock de Morrogacho por Álvarez & González (1978). Es intrusivo en sedimentitas areno arcillosas del Grupo Cañasgordas y forma una aureola de contacto de 250 m de amplitud donde predominan cornubianitas biotíticas (Álvarez & González, 1978). Son rocas faneríticas equigranulares, de grano medio, de color moteado gris claro a blanco y negro, con índice color entre 10 y 20, localmente con piritita fina en venillas y en los planos de diaclasamiento, constituidas por plagioclasa, clinopiroxeno y biotita y una composición predominantemente diorítica (González & Londoño, Geología de las Planchas 129 Cañasgordas y 145 Urrao Escala 1:100.000, 2003).

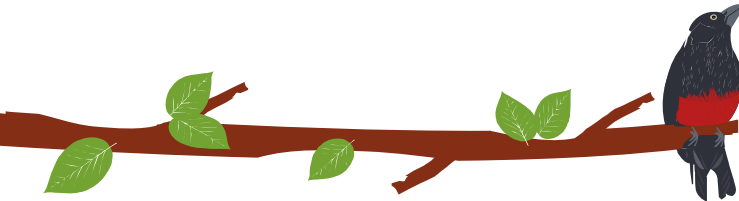


Tabla 2. Descripción general de las unidades presentes en el área.

UNIDAD		DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA
Formación Guineales		Conglomerados y litoarenitas
Basalto El Botón		Basalto y rocas piroclásticas (Ar/Ar 10.55±0,28 y 11.03±0,3)
Monzonita de Nudillales		Monzonita, monzogranito y tonalita
Sedimentitas de Beibaviejo		Arenitas, tufitas y calizas
Complejo Santa Cecilia - La Equis		Unidad vulcano-sedimentaria
Diabasas y basaltos de San José de Urama		Bloques de diabasas incluidos en Fm Nutibara
Grupo Cañasgordas	Formación Nutibara	Secuencia marina de chert y calizas
	Formación Urrao	Secuencia sedimentaria detrítica
	Volcánico del Barroso	Gabros Piroxénicos, Basaltos y diabasas

Fuente: Elaboración propia.

1.7.14 DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Depósitos sedimentarios no consolidados se encuentran a lo largo del área de estudio y se separan en: depósitos aluviales, depósitos de terrazas y depósitos coluviales

1.7.15 Depósitos aluviales (Q2al)

Los depósitos aluviales ocupan las llanuras de inundación de los cauces actuales; están conformados por material no consolidado como bloques y gravas de rocas volcánicas básicas, plutónicas y sedimentarias en diferentes proporciones en una matriz de tamaño arena. Se destacan los aluviones que se encuentran a lo largo de los ríos y forman depósitos que ocupan la zona de inundación y sectores aledaños a ésta, rellenando los valles estrechos Figura 36 y Figura 37. Generalmente estos valles están cubiertos por cultivos de caña de azúcar o potreros, forman planicies estrechas entre las montañas aledaños (Rodríguez, Zapata, & Gomez, 2013).



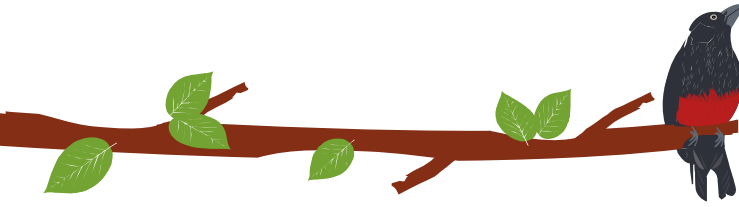


Figura 36. Terrazas a lo largo del río Riosucio cerca de Uramita. Tomado de Rodríguez (2013).

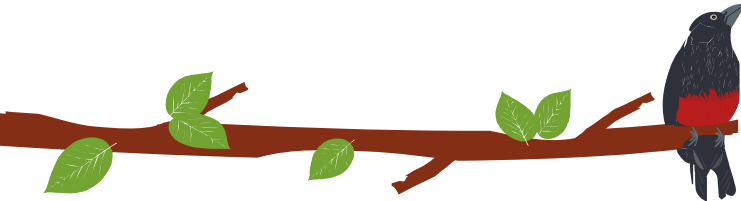


Figura 37. Valle aluvial del río Musinga, sector entre Nutibara y Musinga. Elaboración propia.

1.7.16 Depósitos de terrazas (Q2t) y Depósitos Coluviales (Q2c)

Dentro del área se presentan depósitos de origen fluvio torrencial originados por avenidas torrenciales, los cuales presentan características como: la estructura interna es matriz soportada, contienen clastos tanto angulares como redondeados, arrastrados de los lechos de las corrientes, tienen una mala selección que revela la sedimentación caótica y simultánea de bloques y finos, diferenciándose como flujos de escombros o flujos de lodo por el porcentaje de bloques. Adicionalmente, pueden tener acumulación superficial de bloques dispuestos paralelamente a la dirección de la corriente o mostrar pendientes mayores a 3 ó 4%, que no son normales en los depósitos aluviales propiamente dichos.





Según Mejía & Salazar (2007) el Abanico de Frontino es un grueso flujo de escombros asociado a un proceso de desglaciación del Páramo de Frontino. Este depósito está formado por grandes bloques de basaltos, diabasas y sedimentitas del Complejo Cañasgordas, envueltos en una matriz arcillosa abundante, tiene forma alargada en dirección N-S y una extensión aproximada de 1 km, se ensancha dentro de la plancha 6 km, está atravesado por el río Frontino y algunas quebradas, este flujo está disectado y ha generado varias terrazas donde se ha expandido la población de Frontino (Rodríguez, Zapata, & Gomez, 2013).

Dentro de los depósitos coluviales está el denominado Revenidero, que corresponde a un depósito de vertiente en una zona altamente tectonizada, que dio origen al cierre de la antigua vía a Urabá y represo el río Riosucio entre Uramita y Dabeiba (Figura 39). Este tipo de depósitos yacen inconformes sobre las unidades ígneas y sedimentarias más antiguas.

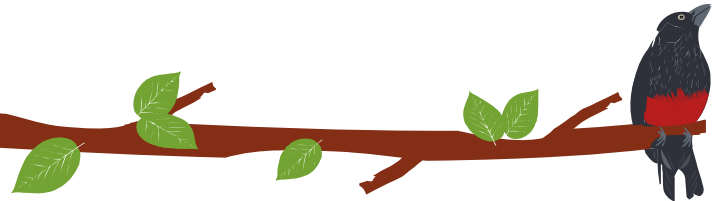


Figura 38. Parte norte del Abanico de Frontino. Tomado de Rodríguez (2013).



Figura 39. Deslizamiento El Revenidero. Tomado de Rodríguez (2013)





1.8 ACTUALIZACIÓN GEOLÓGICA INTERPRETATIVA DEL ÁREA DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO

Utilizando como referencia la estratigrafía descrita en el capítulo anterior, se utilizaron diferentes sensores remotos en escenas sencillas e integradas con el fin de interpretar monoscópicamente toda el área de interés.

A continuación, se presentan diferentes ventanas o escenas correspondientes a sectores representativos que tienen que ver con las características fotolitológicas que presentan cada una de las unidades que integran el informe, con el fin de mostrar visualmente cual es la expresión superficial que presenta cada una de las unidades.

Durante el proceso fotointerpretativo se utilizaron diferentes claves fotogeológicas tales como tono, textura, tipo y densidad de drenaje, clase y patrón de drenaje, clase de relieve, y relación con curvas de nivel topográfico y pendiente, elementos que permitieron obtener una interpretación fotointerpretativa y darle validez al mapa geológico a escala 1:25.000.

1.8.1 COMPLEJO CAÑAS GORDAS

1.8.1.1 Formación Barroso

Tabla 3. Descripción Figura 40

FIGURA	Figura 40
TITULO	Figura 40. Expresión morfológica y litológica de las formaciones Urrao y Barroso del Complejo Cañas Gordas.
PLANCHA	115-I-C 115-III-A
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Barroso Formación Urrao
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

La Formación Barroso ubicada en la parte oriental del área se caracteriza por presentar un relieve disectado topográficamente y modelado por un drenaje subdendrítico de densidad media cuyo espaciamiento expresa la relación morfoestructural conformada por gabros, diabasas y flujos volcánicos afectados tectónicamente por el sistema de fallas de Romeral hacia el río Cauca Figura 40.



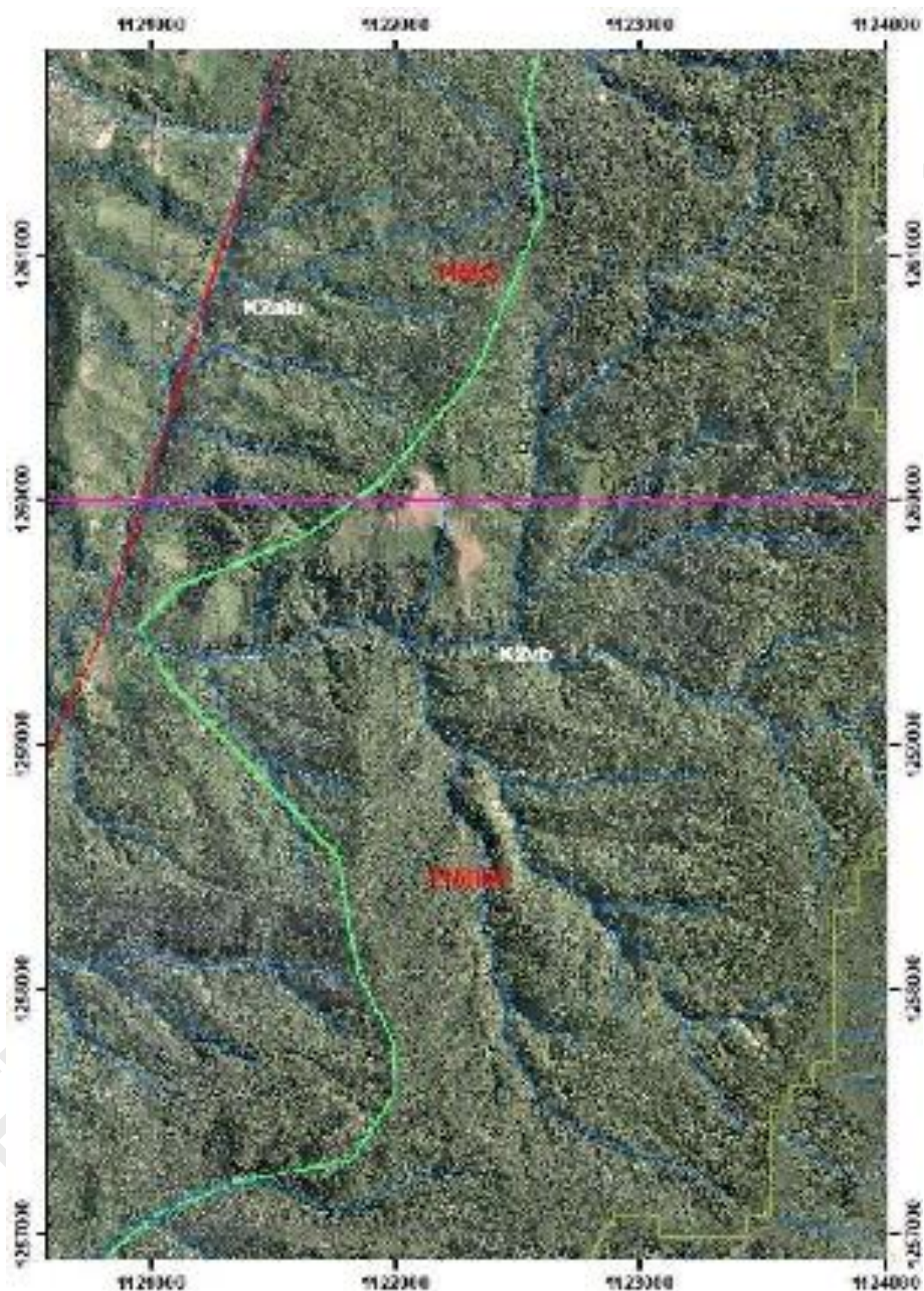
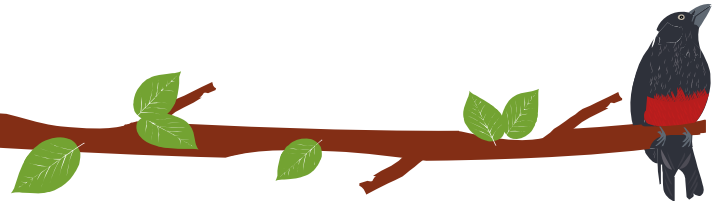
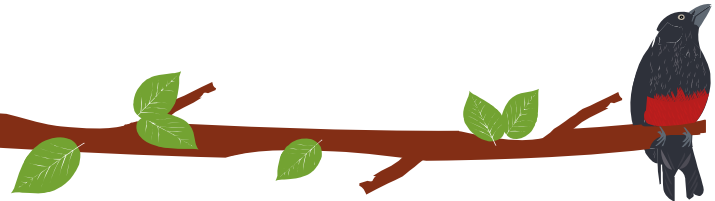


Figura 40. Expresión morfológica y litológica de las formaciones Urrao y Barroso del Complejo Cañas Gordas. Elaboración propia.





1.8.1.2 Diabasas de San José de Urama (JK1du)

Tabla 4. Descripción Figura 41

FIGURA	Figura 41
TITULO	Figura 41. Expresión morfológica y geológica de las Diabasas de San José de Urama
PLANCHA	114-II-A 114-II-C
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Urrao Formación Nutibara Diabasas de San José de Urama Depósitos Cuaternarios (Q2al, Q2t, Q2c)
IMAGEN BÁSICA	QuickBird combinación de bandas B5-B4-B3 (Tabla 1)

Fuente: Elaboración propia.

Esta ventana multicolor (Figura 41) muestra los efectos de la tectónica entre las unidades Urrao, Nutibara y Diabasas localizadas sobre un relieve medio disectado por un drenaje subdendrítico a subparalelo espaciado, de densidad baja, supeditado por las pendientes topográficas y el control ejercido por las fallas con dirección NE y NW que separan principalmente las diabasas de las dos unidades detríticas.



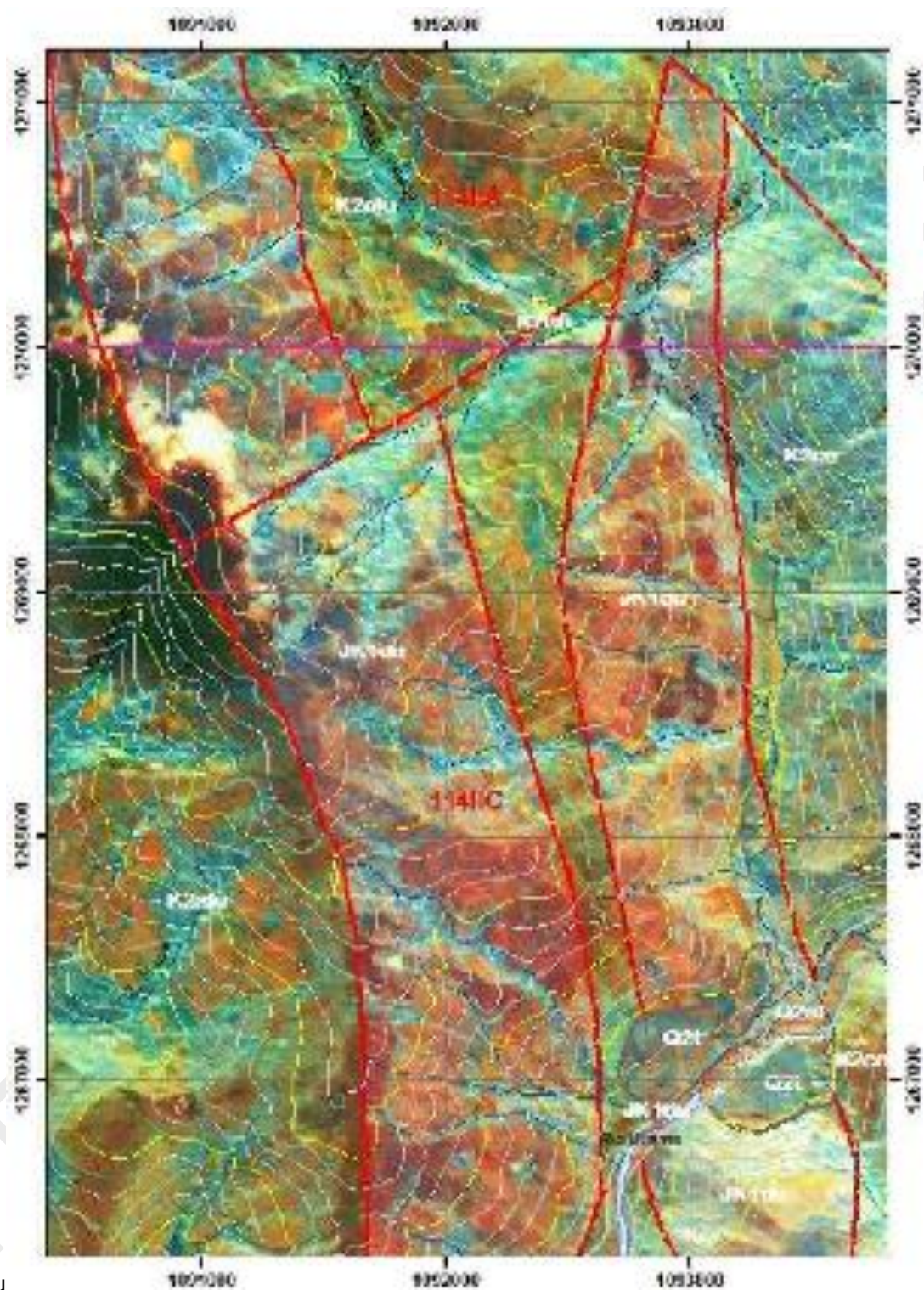
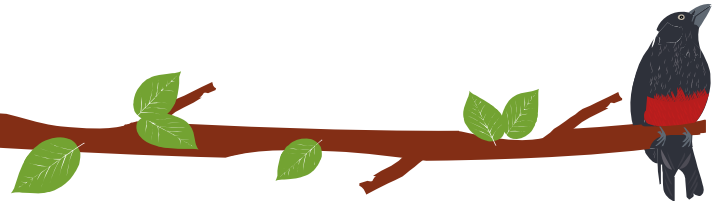


Figura 41. Expresión morfológica y geológica de las Diabasas de San José de Urama. Elaboración propia.



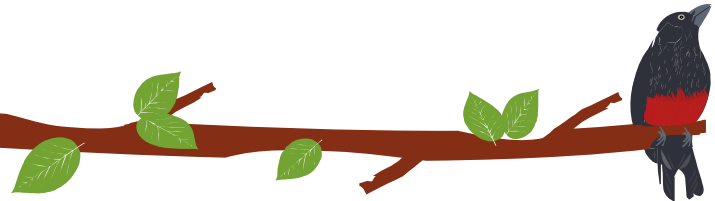


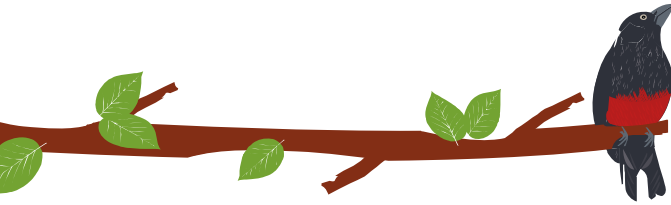
Tabla 5. Descripción Figura 42

FIGURA	Figura 42
TITULO	Figura 42. Expresión morfológica, fotogeológica y relación entre las Formaciones Diabasas de San José de Urama, Urrao, Nutibara, Basalto El Botón
PLANCHA	114-IV-C
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Urrao Formación Nutibara Diabasas de San José de Urama Basalto El Botón Depósitos Cuaternarios (Q2al, Q2t, Q2c)
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

La escena al NE de la cabecera municipal de Nutibara (Figura 42) muestra la distribución y relación espacial que presentan las diabasas y los Chert y Calizas de la Formación Nutibara, las cuales están separadas tectónicamente por un sistema de fallas con tendencia NW, que indica claramente la presencia de intercalaciones de bloques tectónicos, incluida la Formación Urrao. La disecación del relieve producida por la quebrada Nutibara y sus tributarios sobre las rocas con diferente composición muestra un drenaje subdendrítico de muy baja densidad, con presencia de depósitos cuaternarios.





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

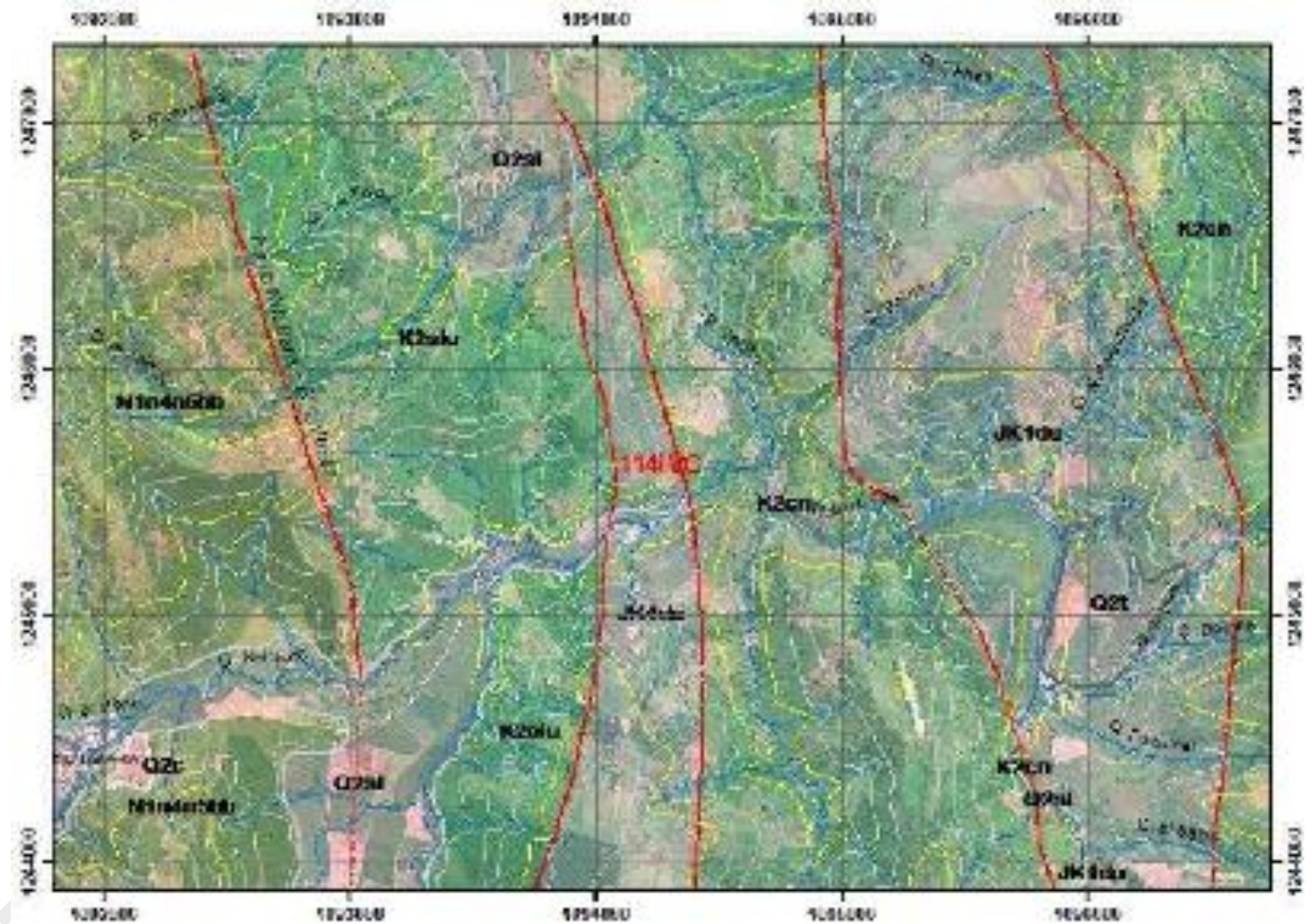
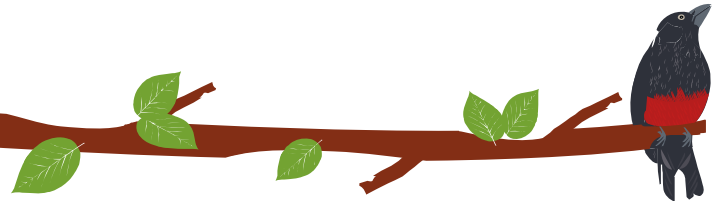


Figura 42. Expresión morfológica, fotogeológica y relación entre las Formaciones Diabasas de San José de Urama, Urrao, Nutibara, Basalto El Botón. Elaboración propia.



1.8.1.3 Chert y calizas de Nutibara (K2cn)

Tabla 6. Descripción Figura 43

FIGURA	Figura 43
TITULO	Figura 43. Expresión morfológica y fotogeológica de las formaciones Chert y Calizas de Nutibara, Diabasas de San José de Urama y su relación estructural.
PLANCHA	114-II-A
ESCALA	1:50.000
UNIDADES	Formación Urrao Formación Nutibara Diabasas de San José de Urama Depósitos Cuaternarios (Q2al, Q2t, Q2c)
IMAGEN BÁSICA	QuickBird combinación de bandas B5-B4-B3 (Tabla 1)

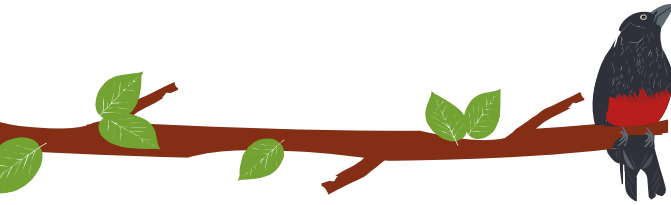
Fuente: Elaboración propia.

Escena que muestra el grado de tectonismo ejercido sobre el sector centro-norte de la cuenca del Riosucio Alto, que explica la interdigitación de unidades diabásicas en relación con la serie detrítica de las Formaciones Urrao y Nutibara. Adicionalmente, los efectos compresivos con direcciones NE y NW muestran predominio de este último por la flexión presente en las diabasas, apreciándose que este es un sector de transferencia con disposición sinextral ejercido entre las fallas de Urama al sur y la Falla de Uramita al norte, ambas con orientación NW-SE.

Se observa una topografía alta con una red de drenaje de densidad baja en la Formación Urrao, y subdendrítico a subparalelo de densidad media en los sectores controlados por fallas.

Las diabasas presentan una tonalidad morada media clara en la combinación de bandas utilizada, lo cual contrasta con los tonos verdes y cyan que presentan las Formaciones Urrao y Nutibara.





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

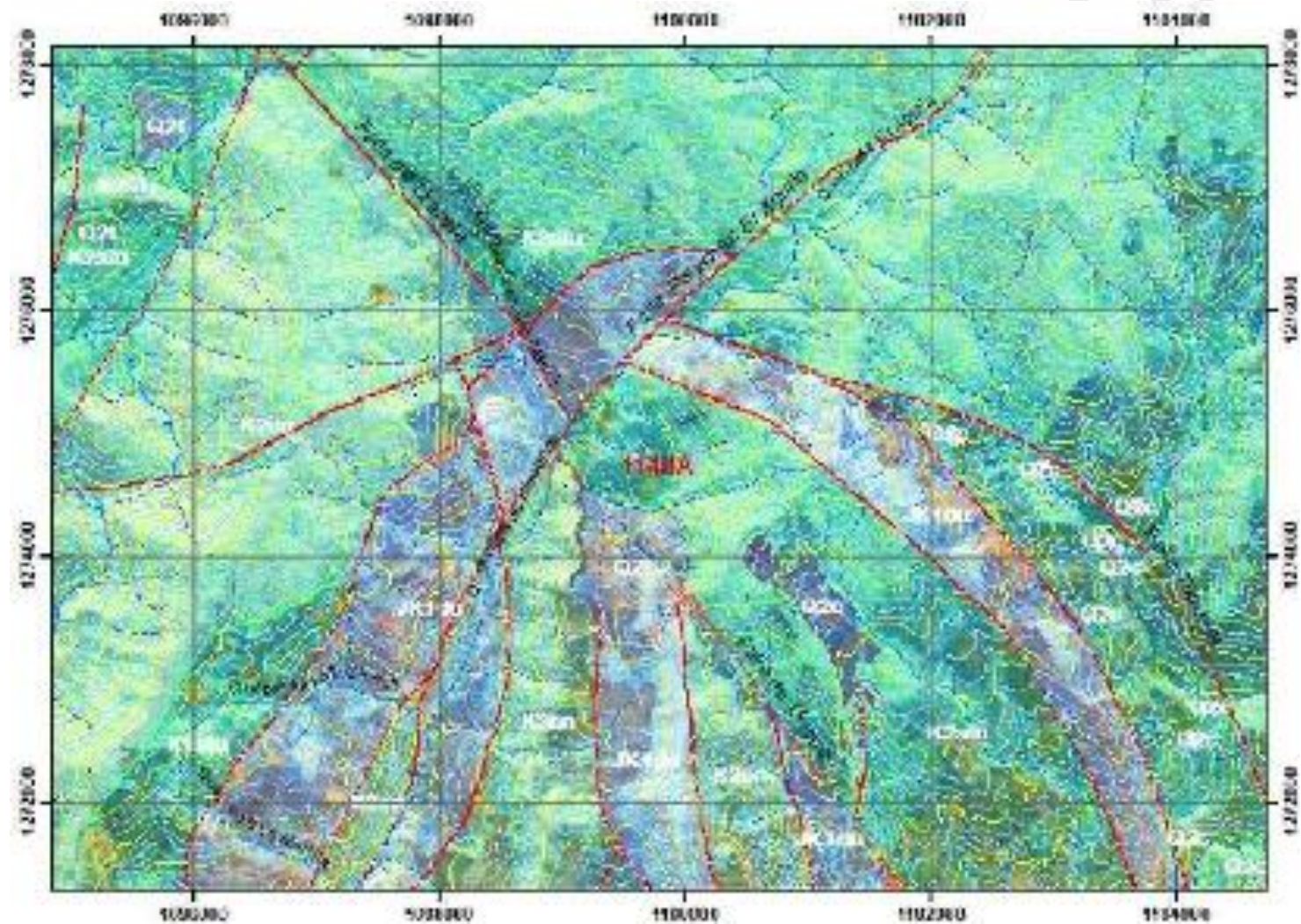


Figura 43. Expresión morfológica y fotogeológica de las formaciones Chert y Calizas de Nutibara, Diabasas de San José de Urama y su relación estructural. Elaboración propia.

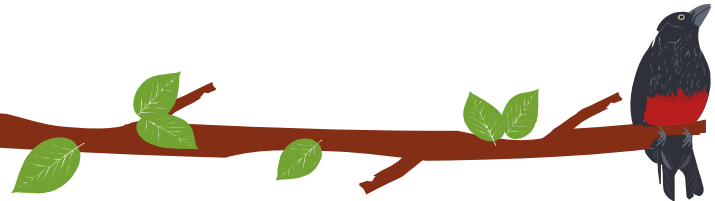


Tabla 7. Descripción Figura 44

FIGURA	Figura 44
TITULO	Figura 44. Relación estructural entre las formaciones Nutibara, y Diabasas de San José de Urama
PLANCHA	114-II-C
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Urrao Formación Nutibara Diabasas de San José de Urama Depósitos Cuaternarios (Q2al, Q2t, Q2c)
IMAGEN BÁSICA	QuickBird combinación de bandas B5-B4-B3 (Tabla 1)

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 44 muestra la relación espacial y tectónica entre la Diabasas de San José de Urama, y los Chert y Calizas de la formación Nutibara, cuyas tonalidades y separación guardan una relación y características similares a la escena anterior, en cuanto a relieve medio y disectación baja a media, características de la segmentación litológica. La tonalidad de las diabasas, al igual que la anterior escena, muestra contraste entre las unidades.

Es un sector caracterizado por un relieve medio disectado por un drenaje subdendrítico de baja densidad, controlado por fallas con orientación NNE y EW.



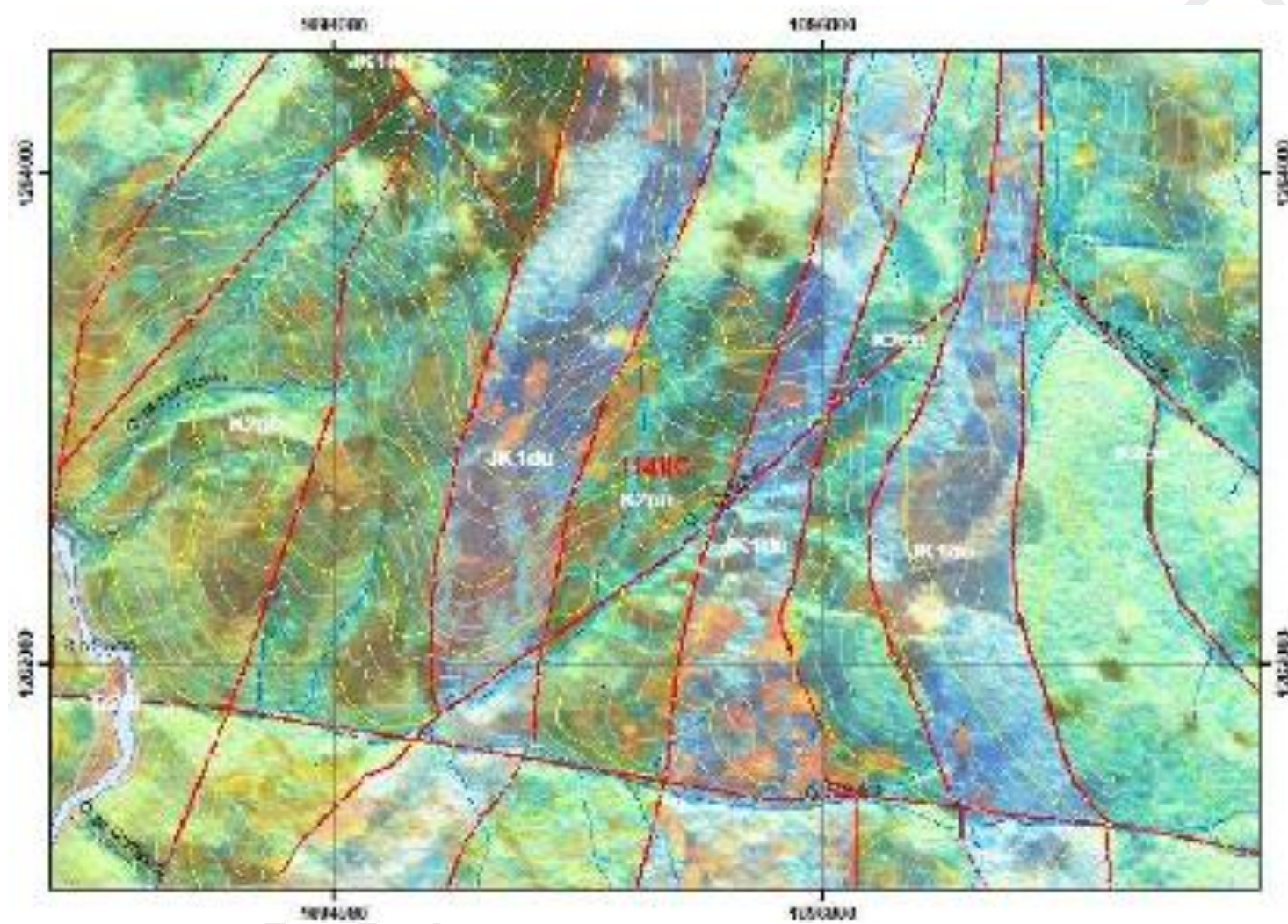
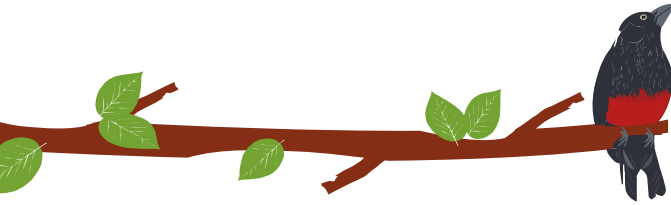
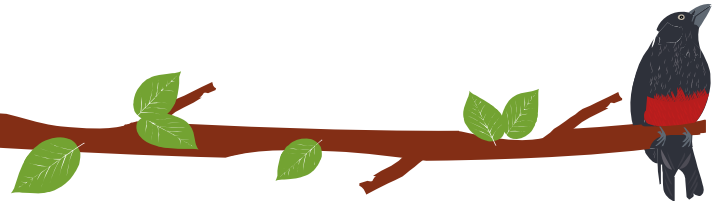


Figura 44. Relación estructural entre las formaciones Nutibara, y Diabases de San José de Urama. Elaboración propia.



1.8.1.4 Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu)

Tabla 8. Descripción Figura 45

FIGURA	Figura 45
TITULO	Figura 45. Expresión fotogeológica de la formación Urrao
PLANCHA	114-II-B 115-I-A
ESCALA	1:50.000
UNIDADES	Formación Urrao
IMAGEN BÁSICA	QuickBird combinación de bandas B5-B4-B3 (Tabla 1)

Fuente: Elaboración propia

Esta ventana muestra la distribución predominante de la Formación Urrao sobre la parte alta de la cuenca Riosucio Alto hacia el NE del área, en donde el grado de disectación sobre el relieve alto (2.500 a 3.200 msnm) está definido por un drenaje subdendrítico a subparalelo que discurre hacia el occidente en dirección de la quebrada Chachafrutal y el río Urama.

La Falla de Urama Alto con rumbo NS, presenta al oriente una secuencia detrítica consistente en bancos de areniscas conglomeráticas hasta de grano medio con inclinaciones entre 60 y 80° hacia el occidente, definido por drenajes subparalelos que entallan planos estructurales. La primera estructura está desplazada por la Falla Chachafrutal con disposición sinextral.

El drenaje sobre el área centro-occidental es subdendrítico de densidad media combinado con subparalelo por estar controlado por fallas con orientación NW que han modelado un relieve con disectación alta.

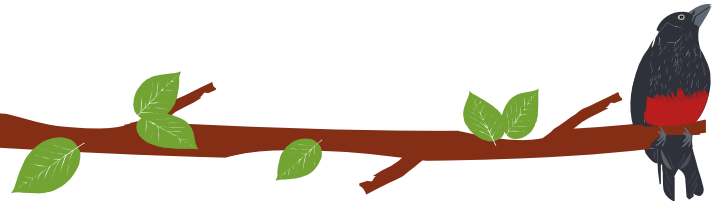


Tabla 9. Descripción Figura 46

FIGURA	Figura 46
TITULO	Figura 46. Expresión fotogeológica de la Formación Urrao en los alrededores del municipio de Dabeiba
PLANCHA	114-I-D 114-II-C
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Urrao
IMAGEN BÁSICA	QuickBird combinación de bandas B5-B4-B3 (Tabla 1)

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 46 presenta un relieve alto a medio y homogéneo conformado por las limolitas y arcillolitas de la Formación Urrao en los alrededores de la localidad de Dabeiba: el sector está disectado por un drenaje subdendrítico de baja densidad, y al oriente de la Falla del Alto de Dabeiba se aprecia un segmento longitudinal de las Diabasas de San José de Urama, con un patrón de drenaje subparalelo el cual discurre cerca a la confluencia del río Urama con el río Riosucio.



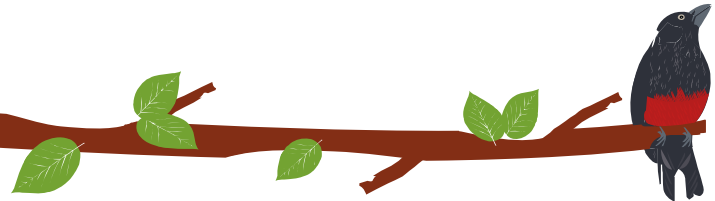


Tabla 10. Descripción Figura 47

FIGURA	Figura 47
TITULO	Figura 47. Expresión de las Arcillolitas y limolitas de la Formación Urrao al SE del municipio de Abriaquí
PLANCHA	129-II-D 129-IV-B
ESCALA	1:30.000
UNIDADES	Formación Urrao
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

La expresión morfoestructural de las arcillolitas y limolitas de la Formación Urrao predominantes al SE de la cabecera municipal de Abriaquí (Figura 47), es consistente y presenta alternancias litológicas las cuales definen sobre el relieve medio una serie de crestas transversales al drenaje que permiten definir el rumbo y el buzamiento fotogeológicos.

El análisis de drenaje realizado sobre esta ventana nos permite deducir que existe una estructura sinclinal al sur de la localidad de Abriaquí de tipo asimétrico cuyo eje tiene un rumbo predominantemente NS: el flanco occidental está inclinado unos 30 a 45° hacia el E aproximadamente, mientras que el oriental lo está hacia el occidente entre 60 y 80° aproximadamente.

La Falla de Abriaquí con desplazamiento sinextral controla estructuralmente la dirección del río del mismo nombre, desviándolo hacia el noroccidente.

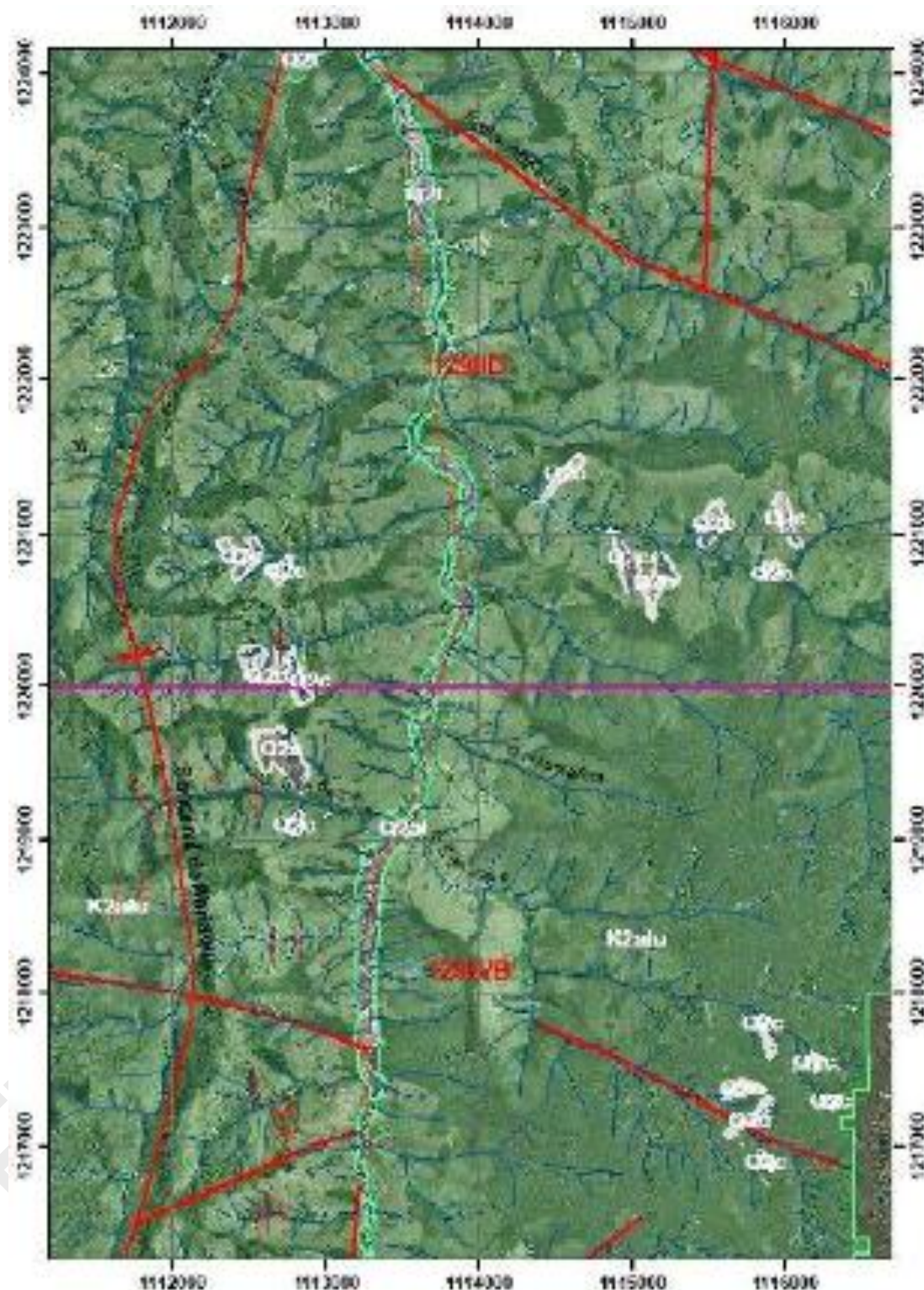
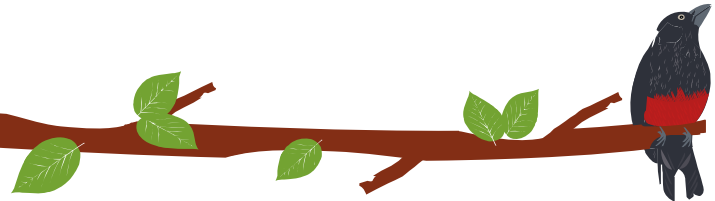
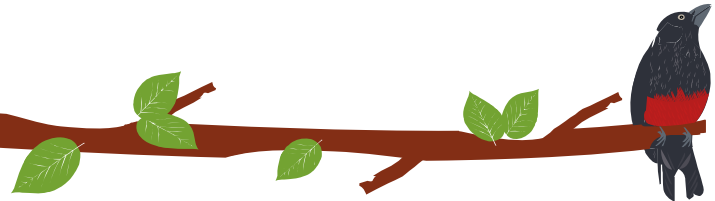


Figura 47. Expresión de las Arcillolitas y limonolitas de la Formación Urrao al SE del municipio de Abriaquí.
Elaboración propia.



1.8.1.5 COMPLEJO SANTA CECILIA-LA EQUIS (E1csce)

Tabla 11. Descripción Figura 48

FIGURA	Figura 48
TITULO	Figura 48. Expresión fotolitológica de las unidades Santa Cecilia La Equis, Basalto El Botón y Guineales
PLANCHA	114-I-B 114-I-D
ESCALA	1:30.000
UNIDADES	Complejo Santa Cecilia La Equis Basalto El Botón Formación Guineales
IMAGEN BÁSICA	Imagen Landsat TM Banda pancromática

Fuente: Elaboración propia.

Esta ventana pancromática muestra la distribución y relación espacial que presenta el basalto de El Botón el cual afecta estructuralmente a las formaciones Guineales y Santa Cecilia La Equis.

La expresión de la escena es muy difusa y presenta al NE el efecto de la falla inversa de La Cerrazón, cuya compresión ejercida en la dirección WE es un indicio de la acreción de segmentos con procedencia alóctona.

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

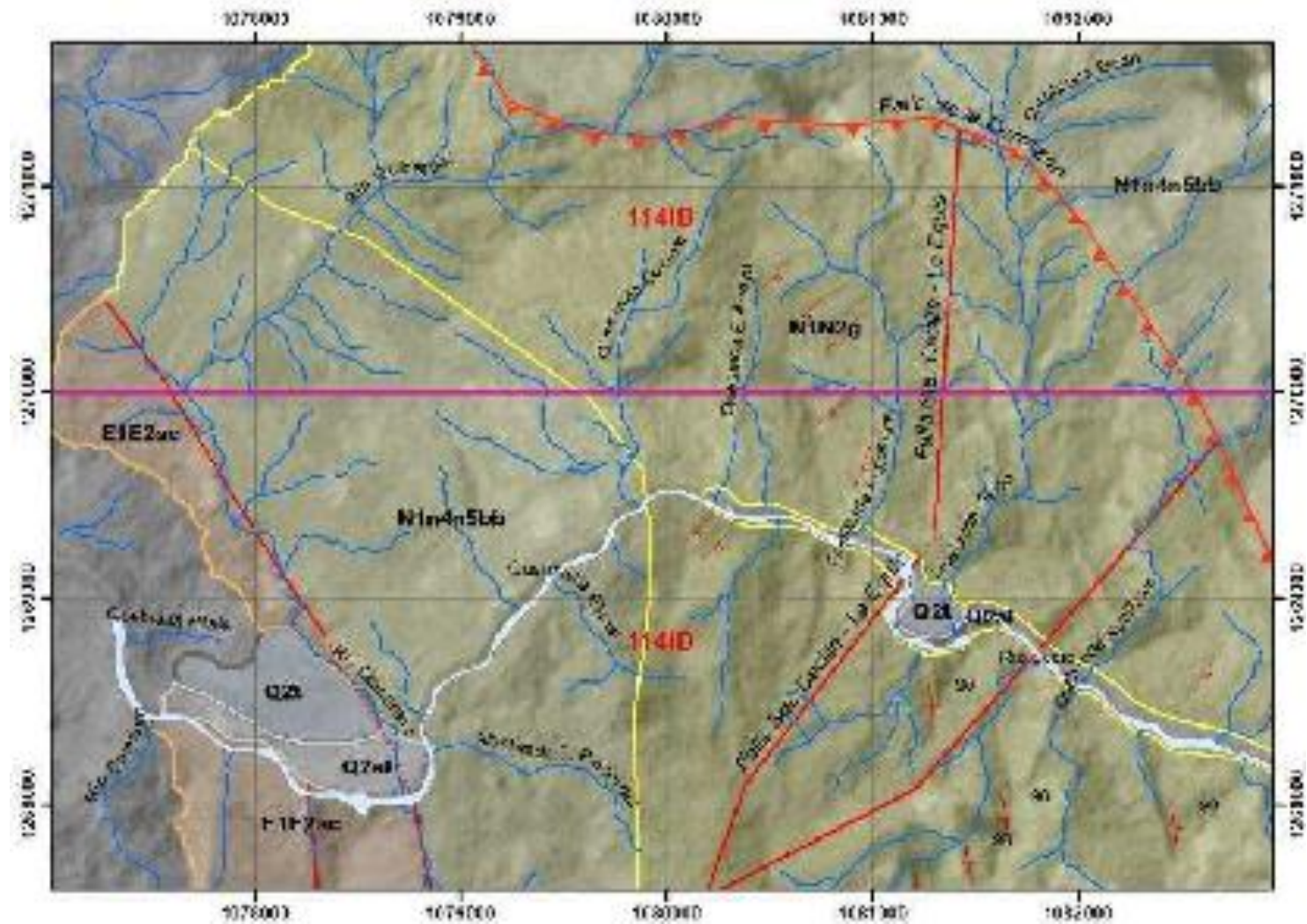
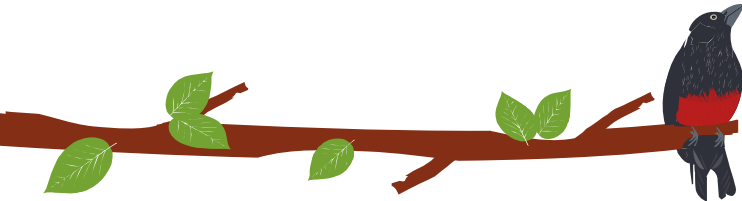


Figura 48. Expresión fotolitológica de las unidades Santa Cecilia La Equis, Basalto El Botón y Guineales. Elaboración propia.



1.8.1.6 BASALTO DE EL BOTÓN (N1n4n5bb)

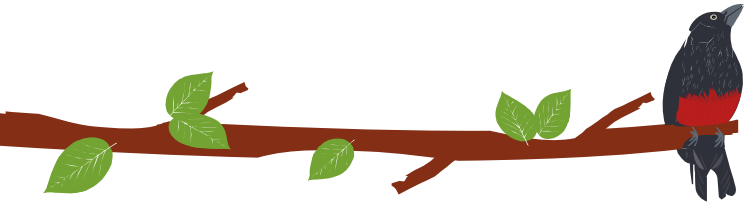
Tabla 12. Descripción Figura 49

FIGURA	Figura 49
TITULO	Figura 49. Expresión fotogeológica del Basalto El Botón
PLANCHA	114-I-D
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Basalto El Botón Formación Guineales Formación Urrao
IMAGEN BÁSICA	Imagen Landsat TM Banda pancromática

Fuente: Elaboración propia.

La expresión del relieve que muestra la escena de la Figura 49 nos indica que el Riosucio ha disectado uniformemente las pendientes con inclinación media conformadas por el basalto El Botón en donde predomina un drenaje subdendrítico de densidad muy baja sobre lomas alargadas. Contrasta al occidente la presencia de la formación Guineales cuyo drenaje es de tipo más subparalelo con densidad media.

Hacia el NE, presencia de la formación Urrao refleja sobre la superficie un relieve con disectación baja y un tipo de drenaje subdendrítico de densidad baja.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

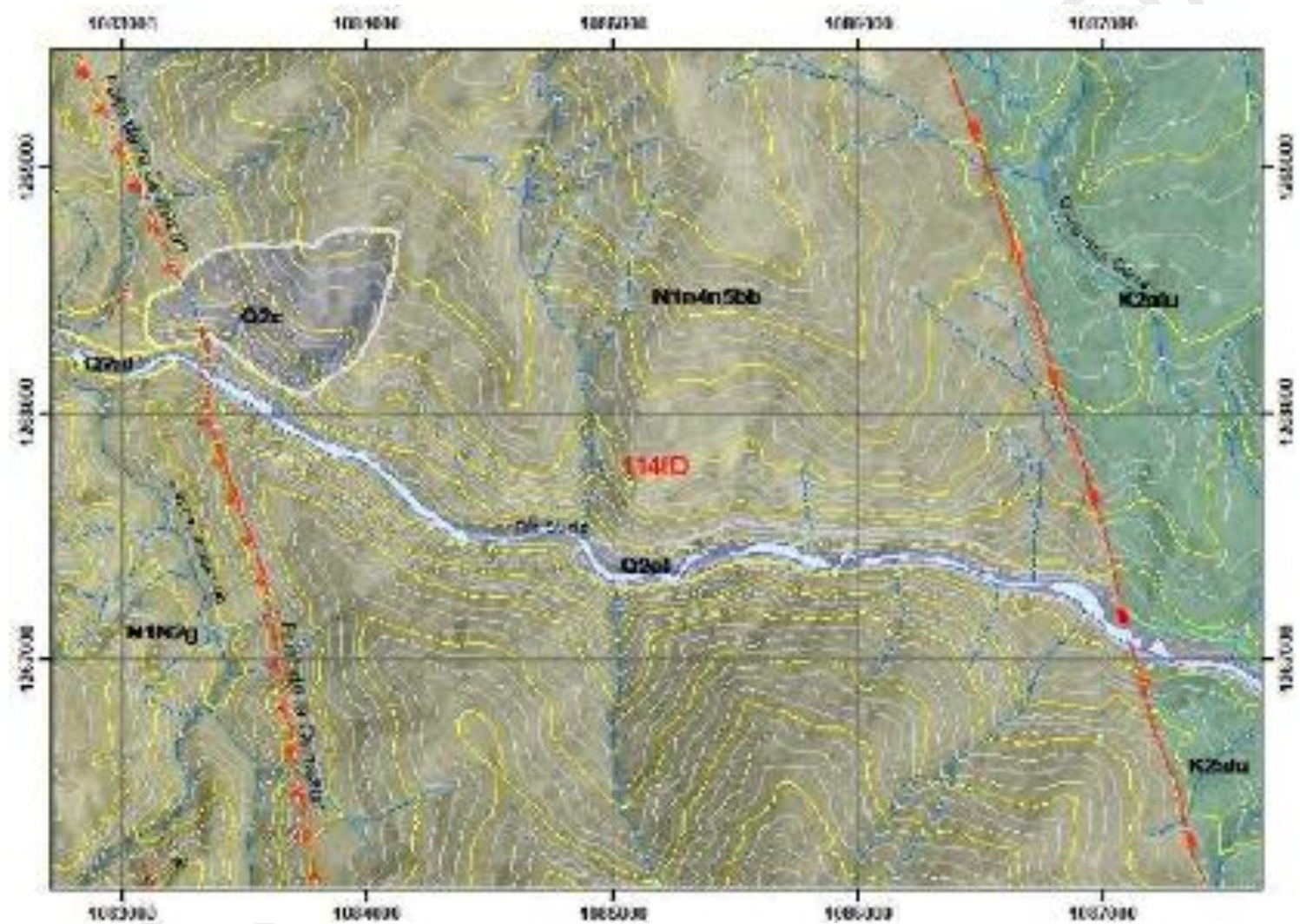
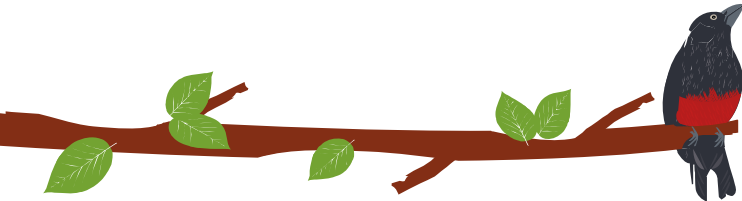


Figura 49. Expresión fotogeológica del Basalto El Botón. Elaboración propia.



1.8.1.7 MONZONITA DE NUDILLALES (N1n4n5mn)

Tabla 13. Descripción Figura 50

FIGURA	Figura 50
TITULO	Figura 50. Relación geológica entre las unidades Monzonita de Nudillales y Basalto El Botón
PLANCHA	114-I-B
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Basalto El Botón Monzonita de Nudillales Formación Urrao
IMAGEN BÁSICA	Imagen Landsat TM Banda pancromática

Fuente: Elaboración propia

La unidad geológica Monzonita de Nudillales aflorante en la zona noroccidental de la cuenca de Riosucio alto, se manifiesta como varios cuerpos intrusivos semiredondeados (Figura 50) topográficamente más altos, mostrando una red de drenaje subparalelo radial.

Su apariencia en la imagen Landsat TM, específicamente en la banda pancromática, se muestra con una rugosidad intermedia y un tono gris oscuro mayor que las unidades circunvecinas, claves fotogeológicas que junto con el análisis de la red de drenaje soportan el límite de estos cuerpos, que incluyen al Basalto El Botón principalmente.

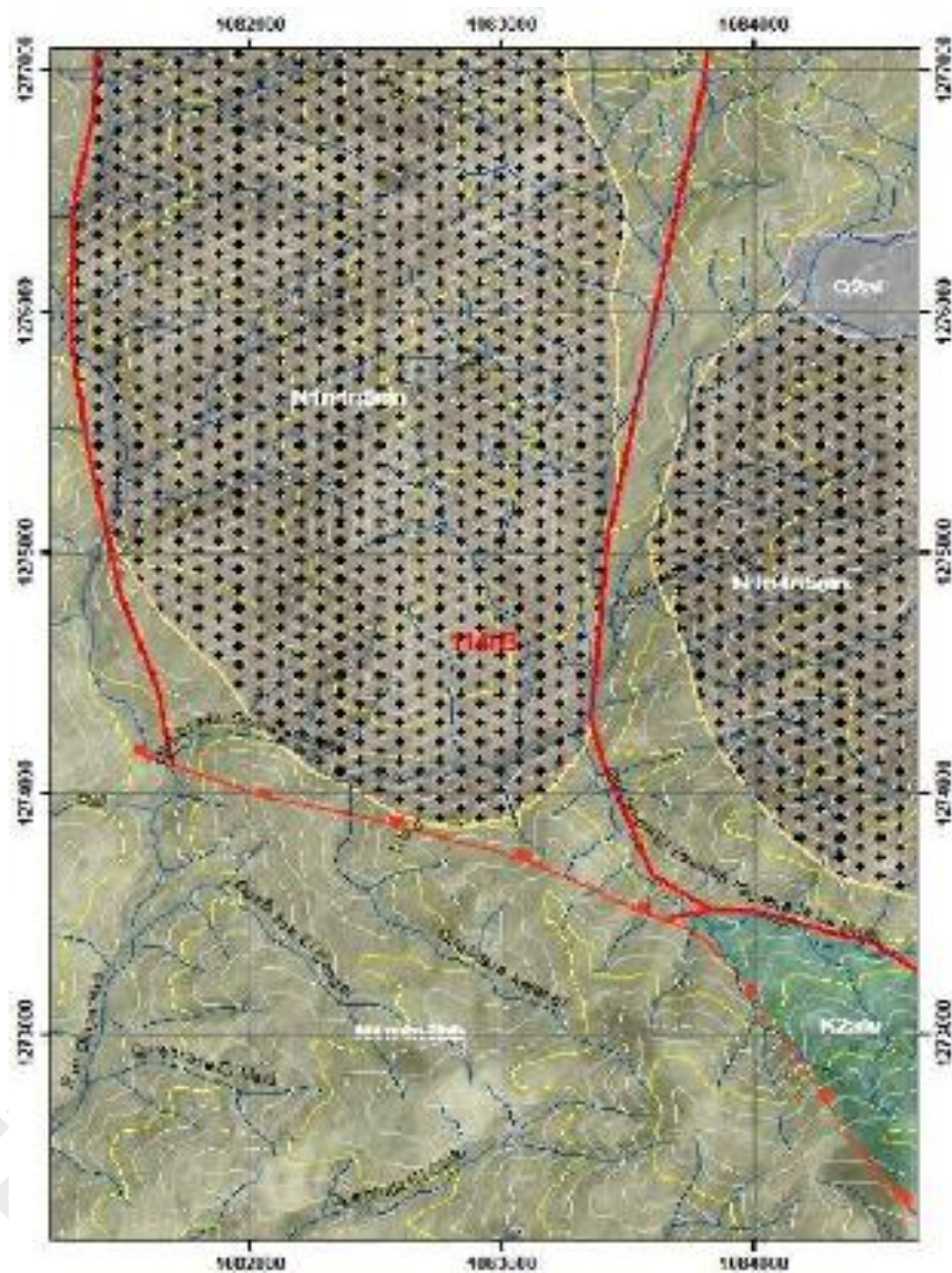
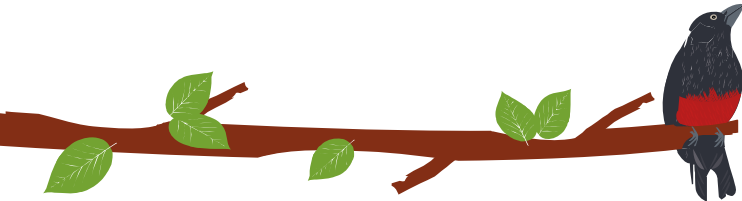
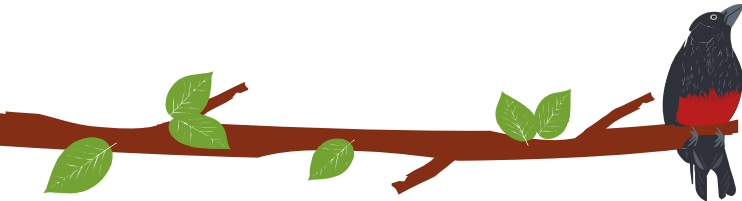


Figura 50. Relación geológica entre las unidades Monzonita de Nudillales y Basalto El Botón. Elaboración propia





1.8.1.8 FORMACIÓN GUINEALES (N1N2g)

Tabla 14. Descripción Figura 51

FIGURA	Figura 51
TITULO	Figura 51. Expresión fotogeológica de los conglomerados y arenitas de la Formación Guineales y su relación estructural con El Basalto El Botón
PLANCHAS	114-I-B 114-I-D
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Guineales Basalto El Botón
IMAGEN BÁSICA	Imagen Landsat TM Banda pancromática

Fuente: Elaboración propia.

Los conglomerados y arenitas de la formación Guineales presentes en el área de estudio (Figura 51) desarrollan un relieve ondulado medio conformado por secuencias de roca cuya resistencia a la erosión es diferencial, lo cual produjo el desarrollo de un drenaje subparalelo, en el que se observan las intercalaciones de conglomerados y areniscas propias de esta unidad, cuyas actitudes verticales de dirección NNE observadas fotogeológicamente, son características de esta zona.

La formación Guineales presenta un contacto fallado con el El basalto El Botón el cual cabalga sobre esta por la Falla de la Cerrazón.

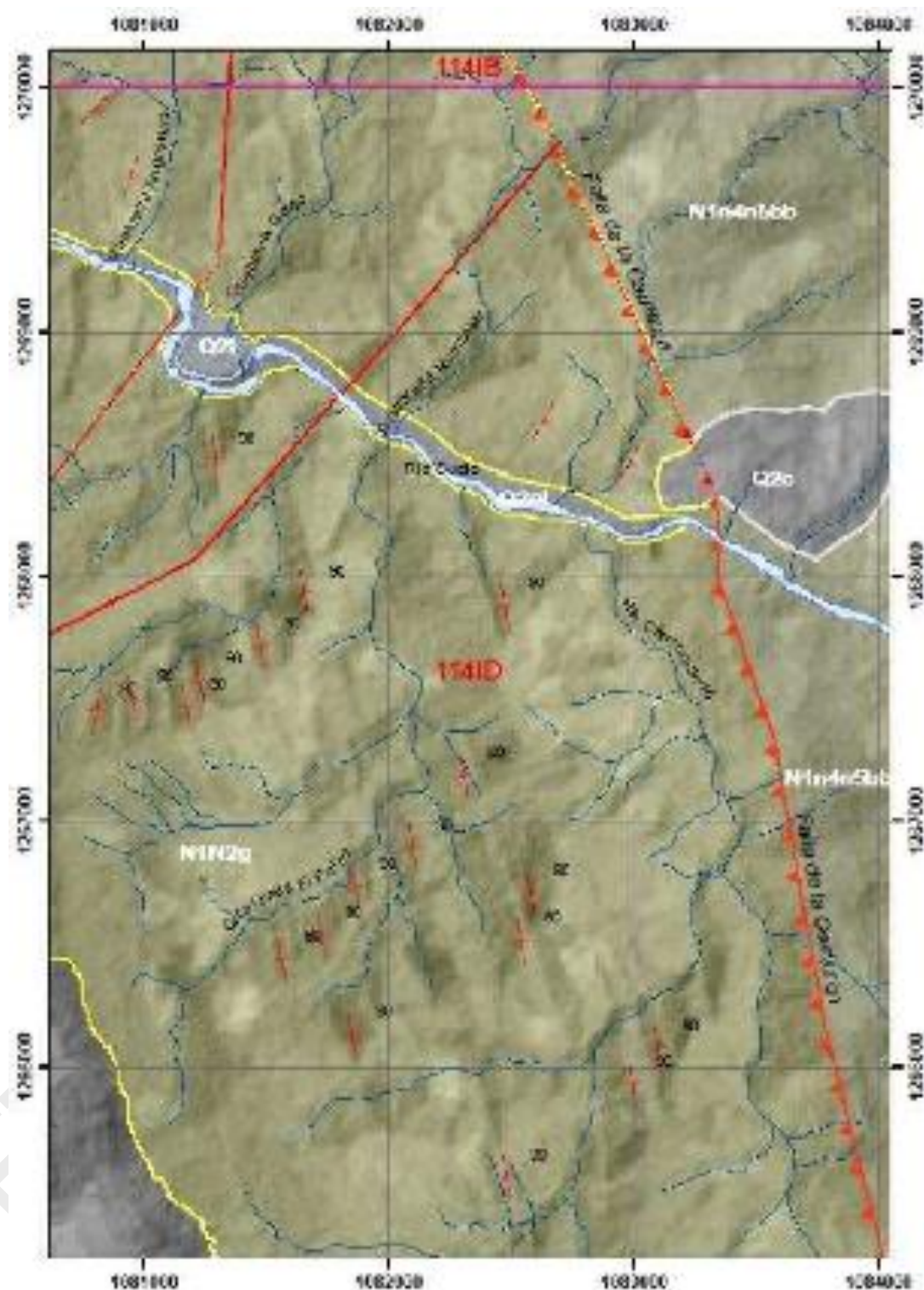
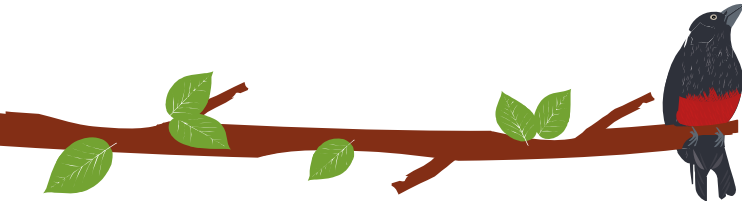


Figura 51. Expresión fotogeológica de los conglomerados y arenitas de la Formación Guineales y su relación estructural con El Basalto El Botón. Elaboración propia.

1.8.1.9 SEDIMENTITAS DE BEIVAVIEJO (N1sb)

Tabla 15. Descripción Figura 52

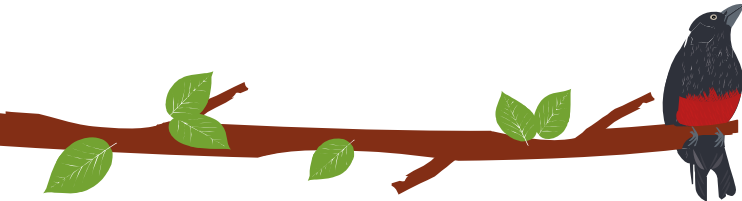


FIGURA	Figura 52
TITULO	Figura 52. Expresión fotogeológica y estructural de la Formación Sedimentitas de Beibaviejo
PLANCHA	114-I-D 114-II-C
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Guineales Basalto El Botón
IMAGEN BÁSICA	Imagen Landsat TM combinación de bandas 742

Fuente: Elaboración propia.

Unidad de distribución muy local presente entre un sistema de fallas con orientación NNW, limitada por la falla de Dabeiba-Pueblo Rico al occidente y la Falla El Pital al oriente: esta última la separa de la Formación Urrao, y al sur, la Falla de Beibaviejo que la separa del Basalto El Botón.

Presenta un drenaje lineal a subparalelo de muy baja densidad

1.8.1.10 BASALTOS DE LA CLARA – RÍO CALLE (K2bcc)

El ambiente
es de todos

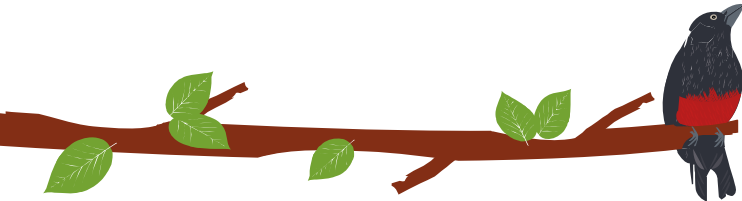


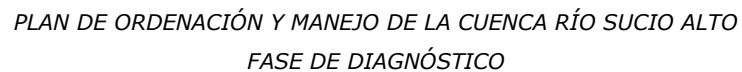
FIGURA	Figura 53
TITULO	Figura 53. Expresión fotogeológica de las unidades Basaltos de La Clara Rio Calle y Monzonita de Cerro Frontino
PLANCHA	129-II-A
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Basaltos de La Clara – Rio Calle Monzonita de Cerro Frontino Formación Urrao Depósitos Cuaternarios Aluviales, de terrazas y Coluviales
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

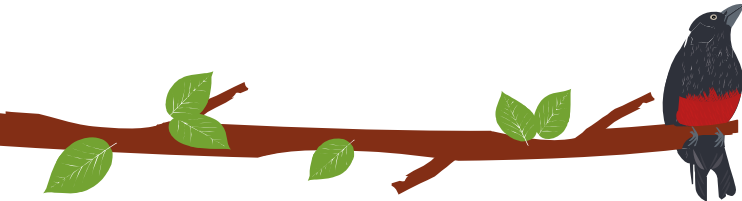
Fuente: Elaboración propia.

La Figura 53 muestra la distribución de la unidad Basaltos de La Clara – Rio Calle, en la que se observa una morfología ondulada y disectada sobre la cual prevalece un drenaje subparalelo angular producto de la composición litológica conjuntamente con la afectación tectónica que la secciona.

Esta unidad tiene una expresión y distribución muy local al suroeste de la falla Abriaquí que la limita conjuntamente con la Monzonita de Cerro Frontino.

Se aprecia sobre el sector una terraza aluvial con morfología muy plana desarrollada en sentido NS al nororiente de las unidades anteriormente descritas, conformadas por los tributarios de la quebrada el Hoyo





1.8.1.11 Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf)

Tabla 17. Descripción Figura 54

FIGURA	Figura 54
TITULO	Figura 54. Expresión morfológica de la unidad Monzonita de Cerro Frontino
PLANCHA	129-II-A 129-II-C
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Basaltos de La Clara – Rio Calle Monzonita de Cerro Frontino Formación Urrao Depósitos de terraza y coluviales
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

Esta unidad metalogénica de origen intrusivo presenta una distribución areal muy local, ocupa un relieve muy suigeneris en el sentido de que presenta un domo central en la porción norte, a partir del cual se desarrolló un drenaje centrífugo con expresión radial que divergen hacia los contactos con unidades mas antiguas como son los sedimentos detríticos de la Formación Urrao al oriente y los Basaltos de La Clara Rio Calle al occidente. Hacia el sur

Hacia el sur, el drenaje se observa mas subdendrítico de baja densidad, debido posiblemente a variaciones petrológicas.

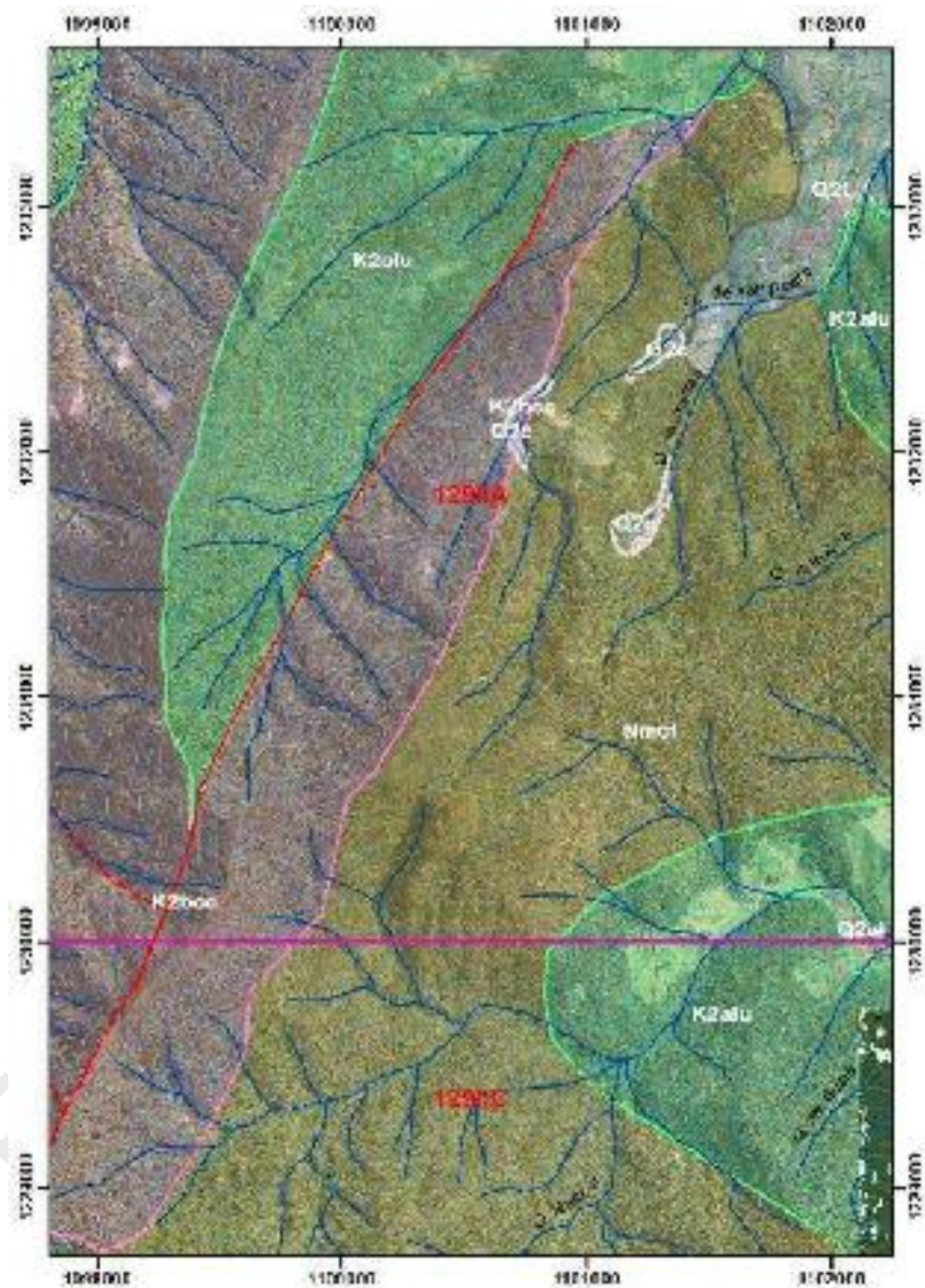
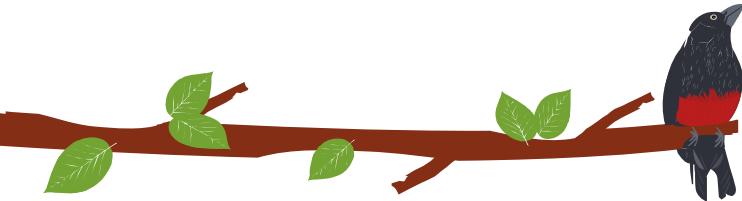


Figura 54. Expresión morfológica de la unidad Monzonita de Cerro Frontino. Elaboración propia.

1.8.1.12Diorita de Morrogacho (Ndmg)

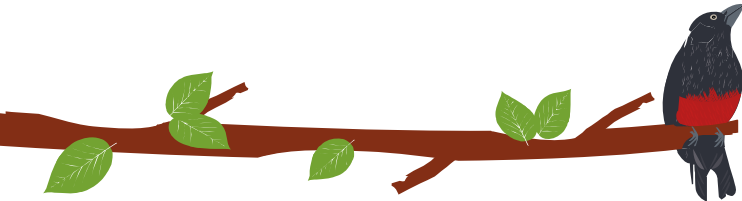


Tabla 18. Descripción Figura 55

FIGURA	Figura 55
TITULO	Figura 55. Expresión morfológica de la unidad Diorita de Morrogacho
PLANCHA	129-II-B
ESCALA	1:15.000
UNIDADES	Diorita de Morrogacho Formación Urrao
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

Esta ventana nos muestra la distribución espacial que tiene el intrusivo diorítico de Morrogacho con orientación NS en relación con la Formación Urrao sobre un relieve muy suavemente disectado, el cual ha sido disgregado por los cursos que divergen hacia la quebrada Santa Teresa, mostrando un drenaje subparalelo de baja densidad.

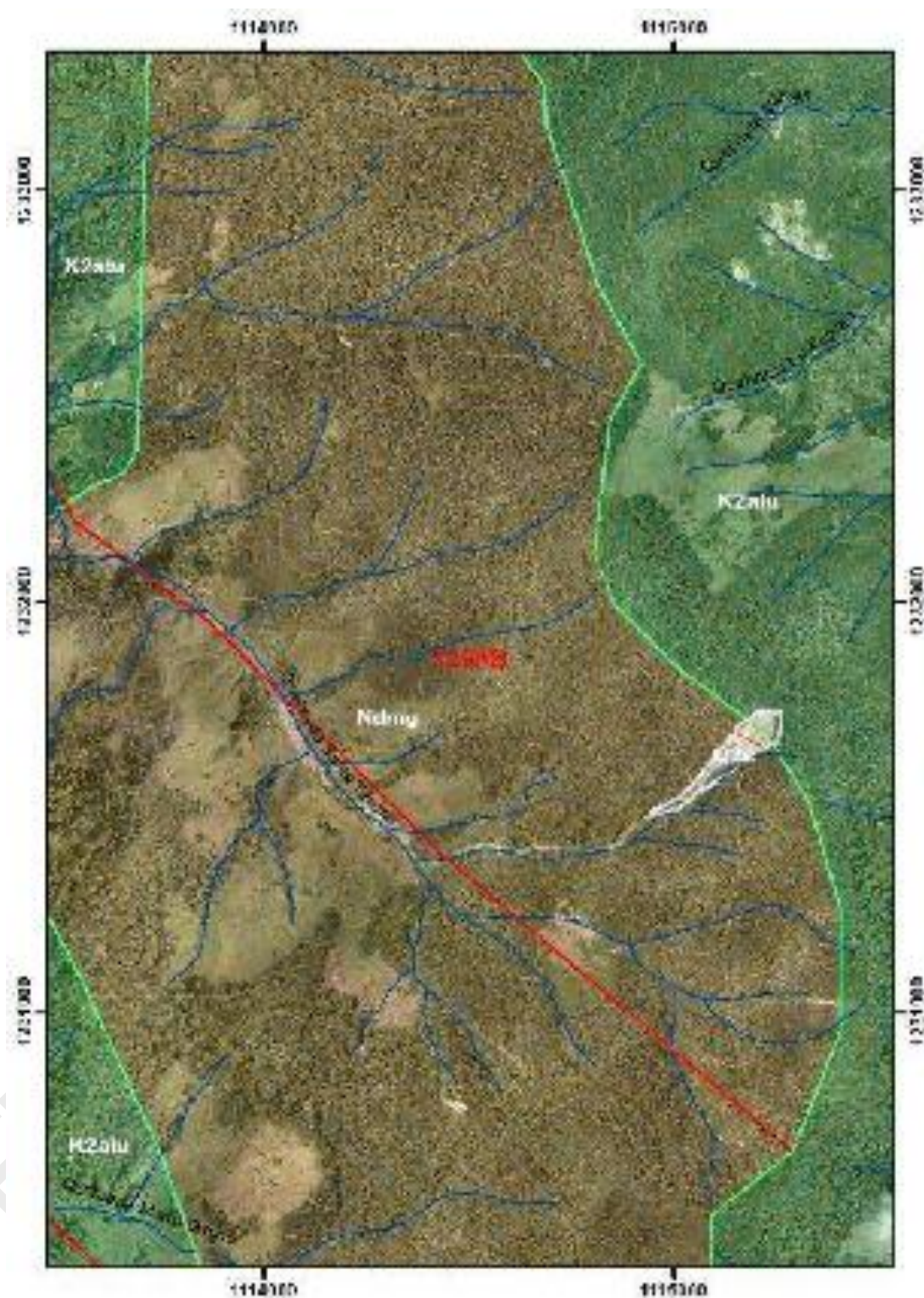
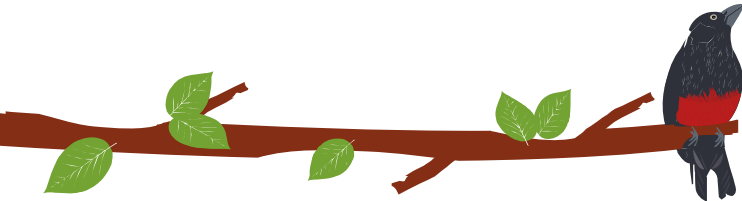


Figura 55. Expresión morfológica de la unidad Diorita de Morrogacho. Elaboración propia.

1.8.1.13 DEPÓSITOS CUATERNARIOS

Tabla 19. Descripción Figura 56

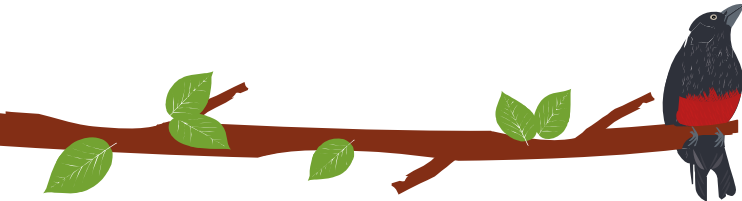
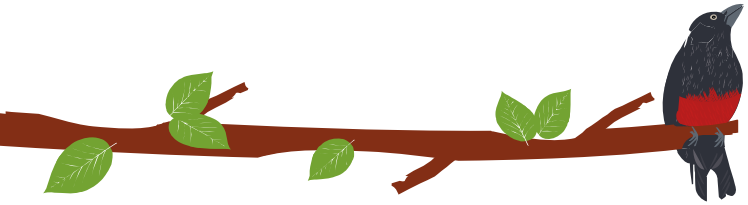


FIGURA	Figura 56
TITULO	Figura 56. Disposición de los depósitos Cuaternarios en el área del municipio de Frontino y su relación espacial con la Formación Urrao.
PLANCHA	114-IV-C 114-IV-D 129-II-A 129-II-B
ESCALA	1:50.000
UNIDADES	Diabasas de San José de Urama Formación Nutibara Formación Urrao Depósitos Cuaternarios Aluviales, de terrazas y Coluviales
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia a partir.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

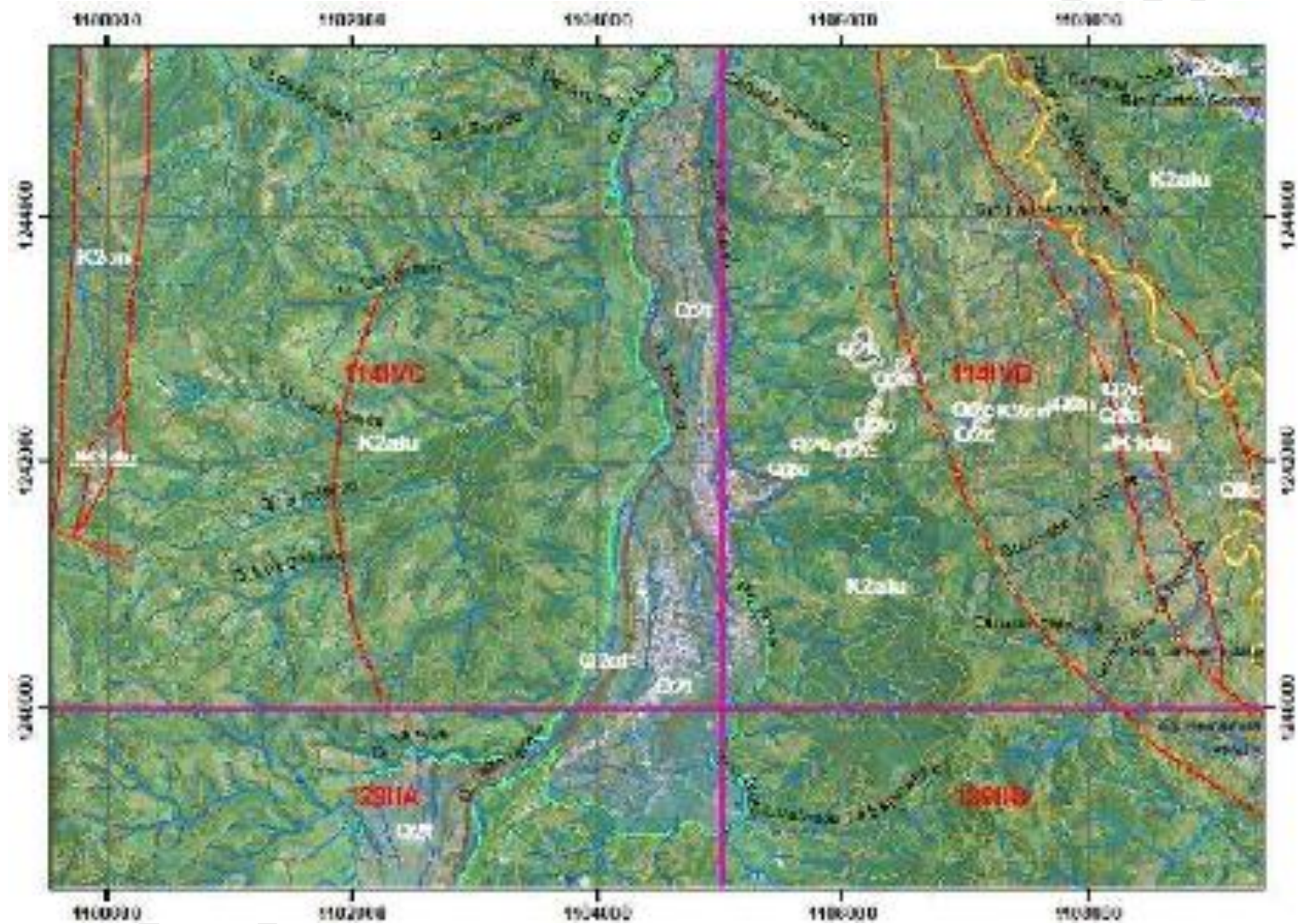
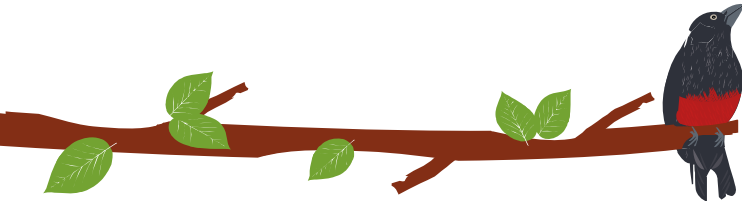


Figura 56. Disposición de los depósitos Cuaternarios en el área del municipio de Frontino y su relación espacial con la Formación Urrao. Elaboración propia.



1.8.1.14 Depósitos aluviales (Q2al)

Tabla 20. Descripción Figura 57

FIGURA	Figura 57
TITULO	Figura 57. Depósitos Cuaternarios Aluviales en los alrededores del municipio de Nutibara
PLANCHA	114-IV-C
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Diabasas de San José de Urama Formación Nutibara Formación Urrao Basalto El Botón Depósitos Cuaternarios Aluviales
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

Ventana digital en la cual se muestra la relación espacial entre las formaciones Basalto El Botón, Urrao, Nutibara y Diabasas de San José de Urama, separadas por un sistema de fallas con orientación NS. Se aprecia la distribución de los depósitos cuaternarios conformados principalmente por sedimentos aluviales, al este del municipio de Nutibara, a lo largo de los cursos del Río Verde y la quebrada Nutibara.



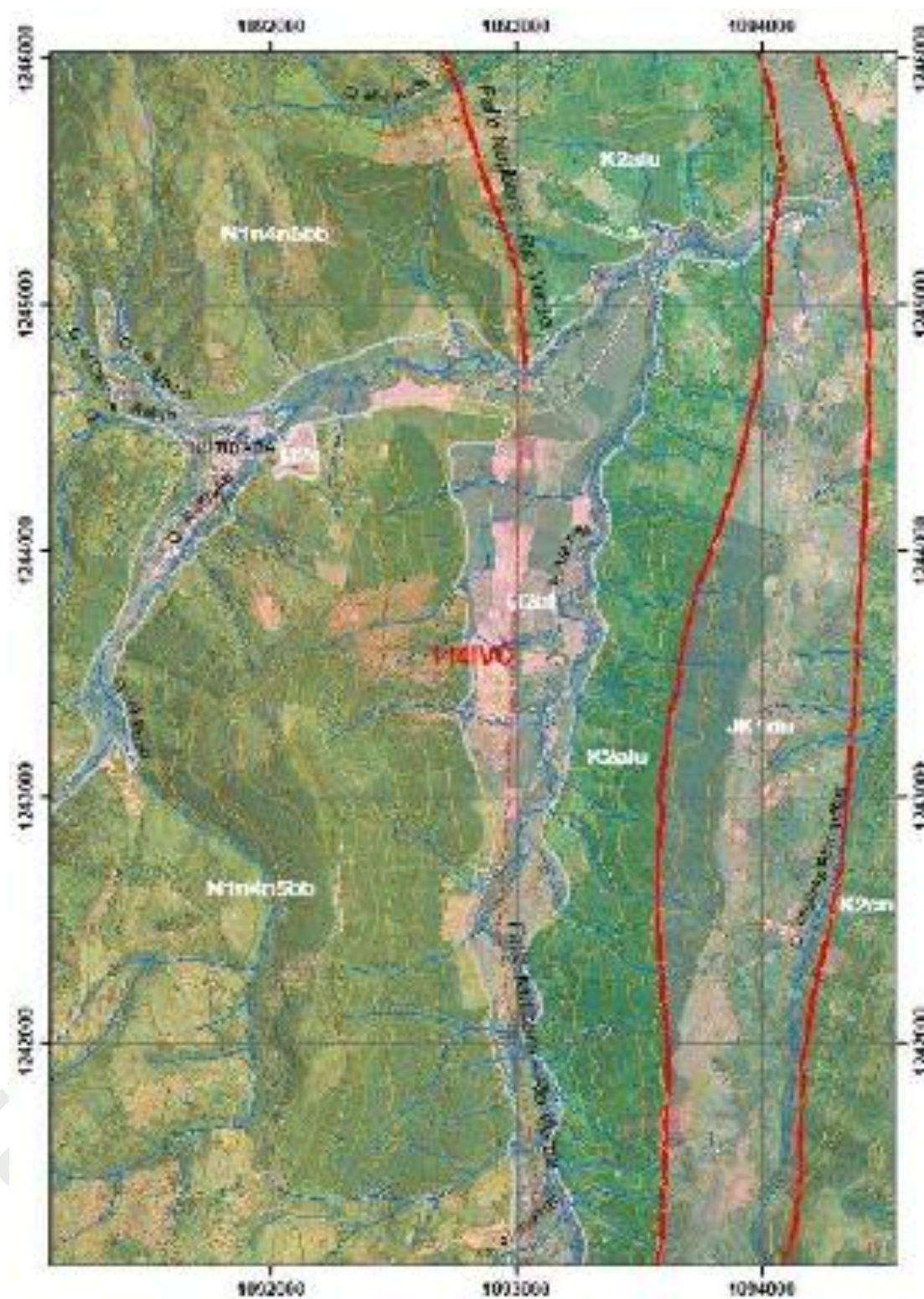
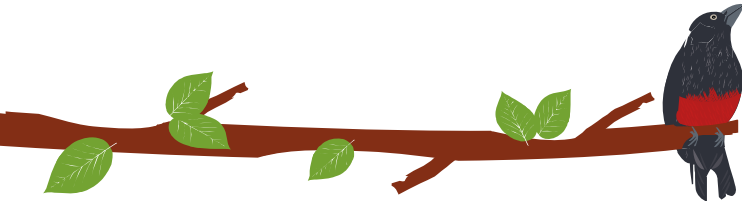


Figura 57. Depósitos Cuaternarios Aluviales en los alrededores del municipio de Nutibara. Elaboración propia.

1.8.1.15 Depósitos de terrazas (Qt)



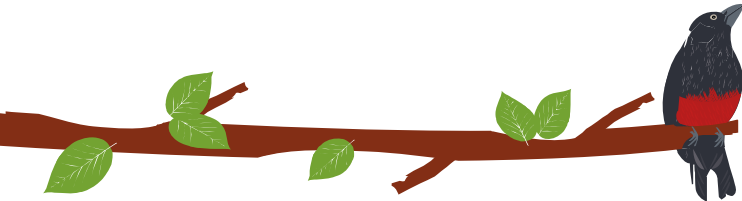


Tabla 21. Descripción Figura 58

FIGURA	Figura 58
TITULO	Figura 58. Depósitos cuaternarios de Terrazas en los alrededores del municipio de Frontino
PLANCHA	114-IV-C 114-IV-D 129-II-A 129-II-B
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Urrao Depósitos Cuaternarios Aluviales y terrazas
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

Escena digital del sector de Frontino conformado por la secuencia sedimentaria de la Formación Urrao con drenaje subdendrítico a subparalelo de densidad media a baja desarrollado sobre una morfología moderadamente disectada, consistente en una secuencia detrítica de grano medio. Se aprecia un amplio sistema de terrazas desarrolladas a lo largo de los tributarios y del río Frontino.

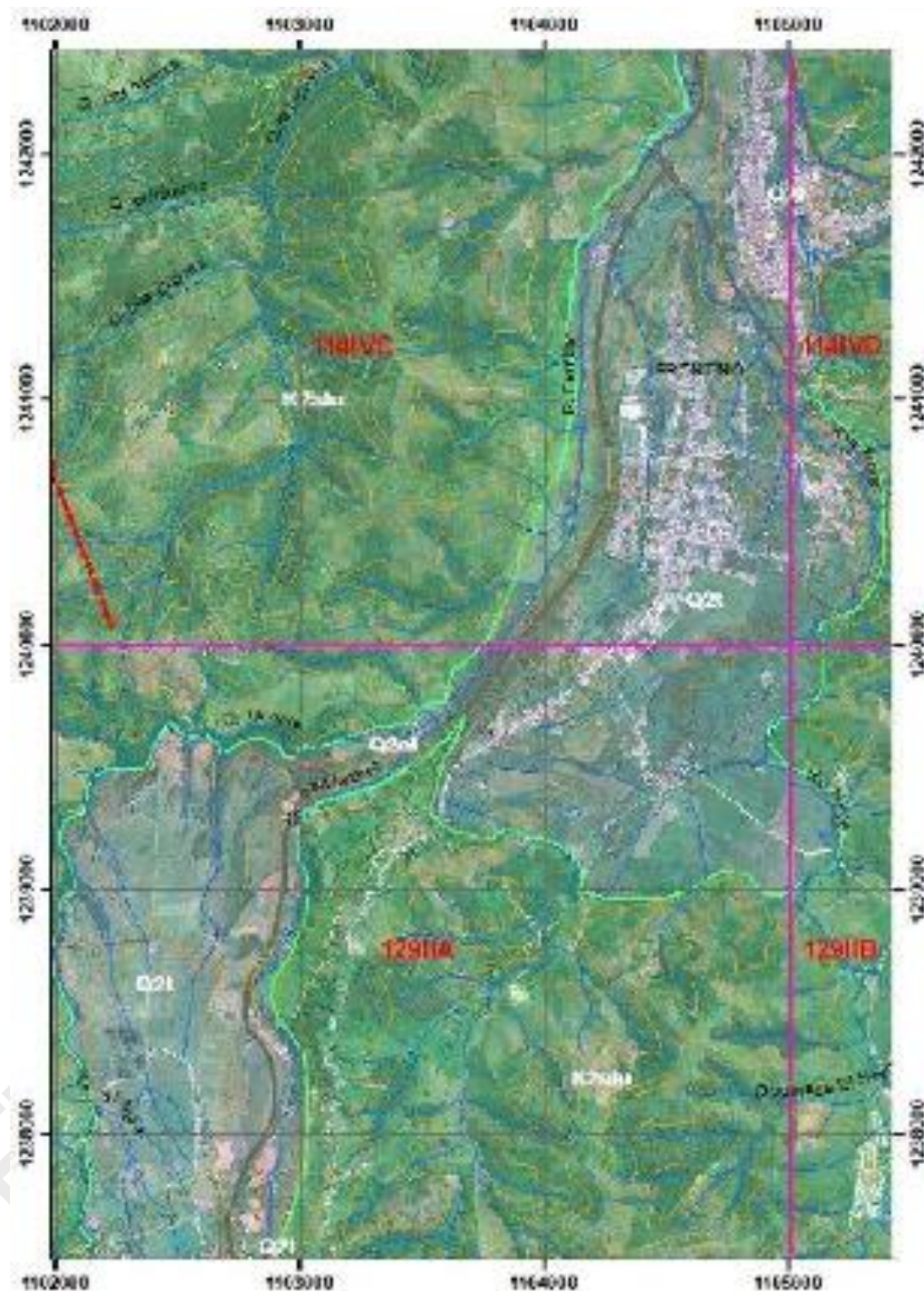
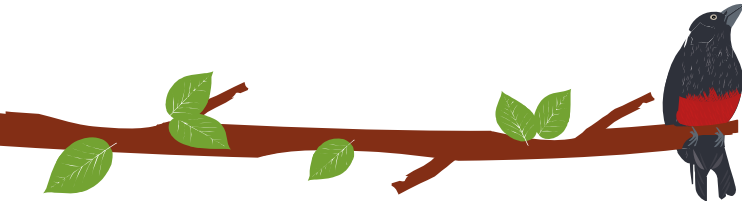
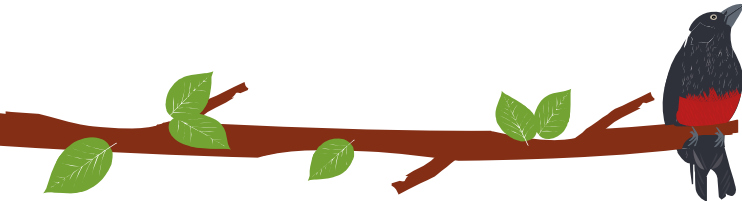


Figura 58. Depósitos cuaternarios de Terrazas en los alrededores del municipio de Frontino. Elaboración propia.





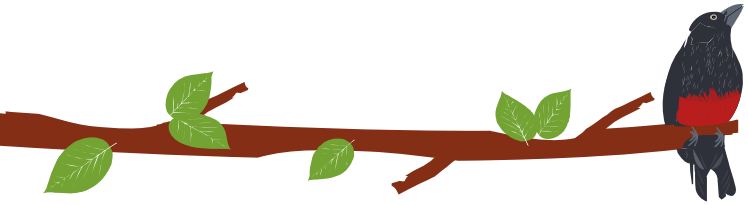
1.8.1.16 Depósitos Coluviales

Tabla 22. Descripción Figura 59

FIGURA	Figura 59
TITULO	Figura 59. Falla de Cañasgordas que controla el flujo del Río del mismo nombre y el efecto de los depósitos coluviales a lo largo de la vía que conduce a Frontino. Figura 58. Depósitos cuaternarios de Terrazas en los alrededores del municipio de Frontino
PLANCHA	114-IV-D
ESCALA	1:25.000
UNIDADES	Formación Urrao Depósitos Cuaternarios Aluviales y coluviales
IMAGEN BÁSICA	Ortofoto

Fuente: Elaboración propia.

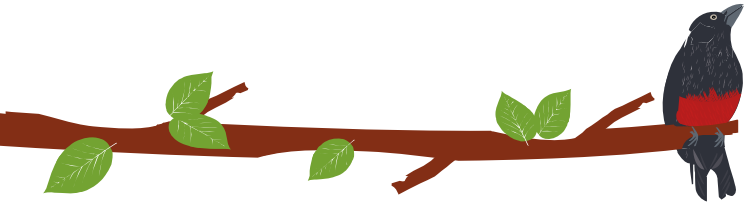
Ventana digital que nos muestra al norte el control del río Cañasgordas por la Falla del mismo nombre y hacia el centro el desarrollo de una serie de coluviones que afecta la vía que conduce hacia la cabecera municipal de Frontino. La secuencia sedimentaria sobre la cual se encuentran estos elementos estructurales corresponde a la Formación Urrao, unidad detrítica emplazada sobre un relieve relativamente ondulado a suave en donde predomina un drenaje subparalelo de muy baja densidad.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO



Figura 59. Falla de Cañasgordas que controla el flujo del Río del mismo nombre y el efecto de los depósitos coluviales a lo largo de la vía que conduce a Frontino.
Elaboración propia.



1.9 EVOLUCIÓN GEOLÓGICA

Las etapas de evolución geológica en la Cordillera Occidental, en donde se encuentra localizada el área del proyecto Río Sucio Alto, es muy compleja, tal como se estructuró en el Marco Geológico Regional. La distribución espacial que presentan las diferentes unidades litogénicas desde la Costa Pacífica hasta el Sector Central del Batolito Antioqueño sobre la Cordillera Oriental, tal como se aprecia en el Mapa Geológico Colombiano (Servicio Geológico Colombiano, 2015), guardan estrecha relación, en parte con los conceptos planteados por Toussaint & Restrepo (1989), sobre la existencia de acreciones sucesivas, mediante las cuales plantearon un Nuevo Modelo de Evolución Geológica en el país: adicionalmente, Duque-Caro (1989) confirma por la misma época, la aloctonía de un “melangé”, de origen oceánico (ofiolítico) conformada por secuencias de carácter volcánico-sedimentario, compuesta por una asociación de bloques caóticos, dispersos, de diferentes edades, entre el Cretáceo Superior y Mioceno, cuyo origen tuvo lugar en Centroamérica, el cual dio origen al Arco de Dabeiba.

A continuación se presenta el modelo de Evolución de los Terrenos Tectonoestratigráficos y Provincias Geológicas en la Esquina Noroccidental de Suramérica de acuerdo con la distribución de las Cuencas según Duque-Caro (1989) (Figura 60), al referirse a los esquemas progresivos indicados por (Dengo, 1983), (Case, Holcombe, & Martin, 1984), (Etayo, y otros, 1983): de acuerdo con dicho autor, el Terreno o Arco de Dabeiba, actualmente limita por el oriente con la Cordillera Occidental y por el occidente con la Cuenca Chuquaque-Atrato. Mientras que el Terreno Cuna está constituido por tres elementos estructurales importantes, los cuales son de este a oeste: el flanco oeste de la Cordillera Occidental (que corresponde al Arco de Mandé), unido al norte con Panamá, por el Arco de Sautatá, la Cuenca del Atrato-San Juan y la Serranía de Baudó (Toussaint & Restrepo, 1976): no obstante, no explican cuál es la relación espacial que guardan entre sí y cuál fue la secuencia de la acreción, desde el oeste hacia el este.

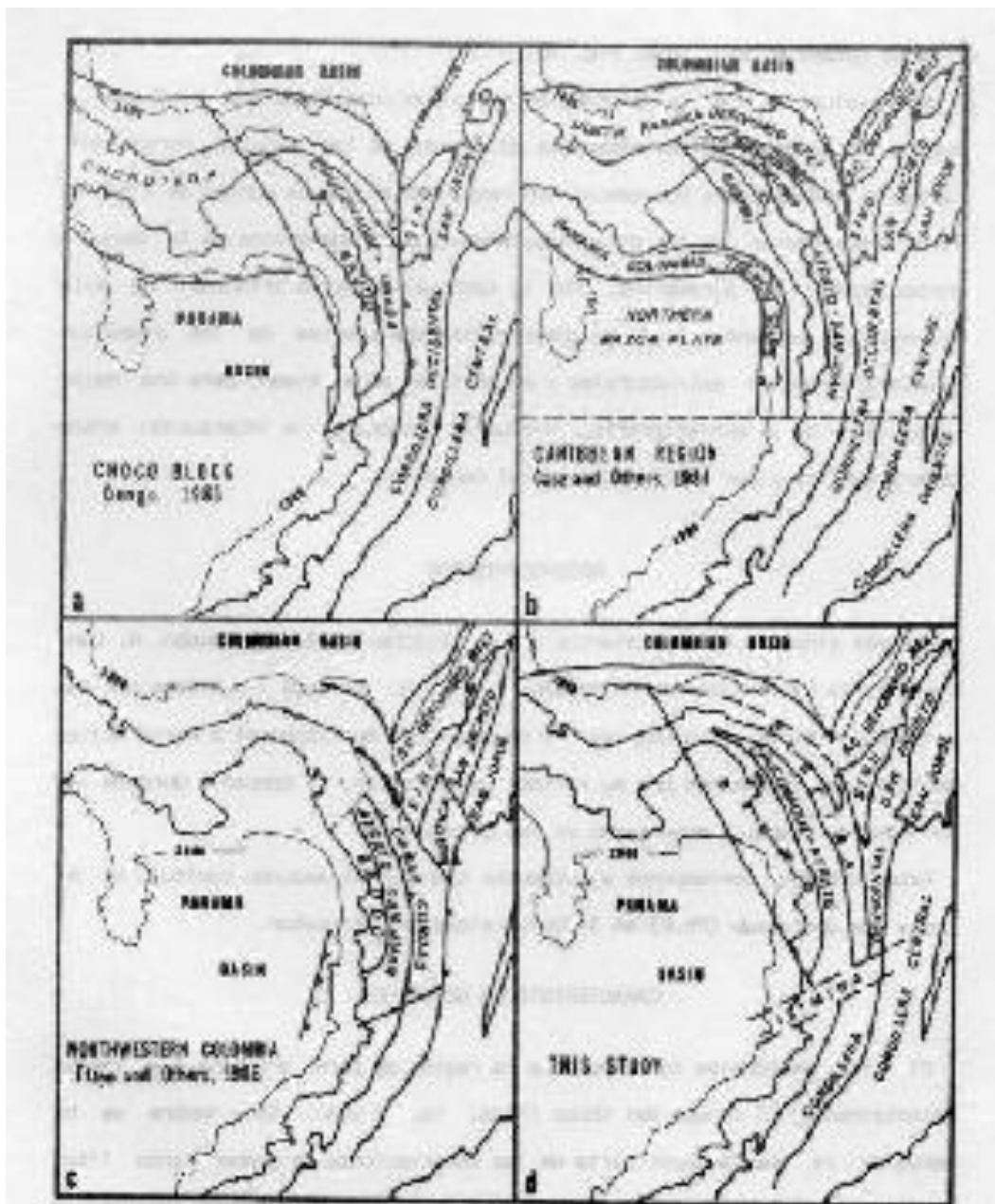
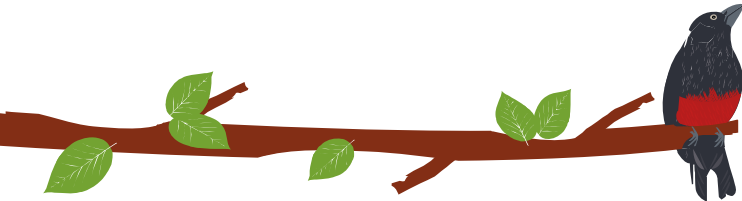
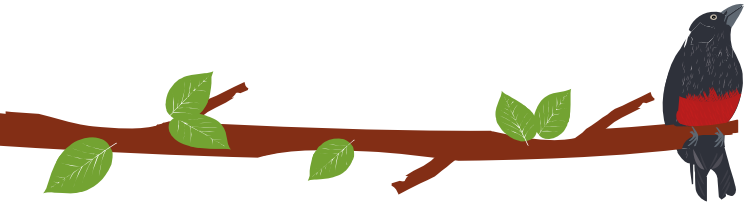


Figura 60. Terrenos tectonoestratigráficos y provincias geológicas en la esquina noroccidental de Suramerica.
Elaboración propia a partir de Duque-Caro (1989)

Posteriormente INGEOMINAS (Acosta, 2002), da a conocer en la Publicación Especial N°25, el artículo Estructura Tectónica y Modelos en 3D del Piedemonte Occidental de la Cordillera Oriental y el Valle Medio del Magdalena, una reconstrucción esquemática del margen norte andino, en donde se aprecia cual ha sido la evolución de las diferentes placas tectónicas y del Bloque Chocó, desde el Eoceno, hasta el Reciente (Figura 61). Este último esquema indica que la Falla de Uramita, presenta movimiento lateral izquierdo (sinetral) y de cabalgamiento con vergencia hacia el SW (Proyecto Turbo-Curralao por Gomez, 2015/6), por medio de la cual sobreyace sobre la Cuenca de Urabá (Hernández P. et al,2008). Adicionalmente, Gómez H. (2017), define que el Batolito Antioqueño presenta efectos de rotación dextral, debido a un conjunto de Fallas



Sinextrales (La Pintada, San Jerónimo, Entreríos-Bello-Copacabana etc.), que corresponde a la Paleomegacizalla Transversal de Colombia (Gómez, 1991, Gómez, 2008, Gómez, 2017 y que la Falla de Uramita - Dabeiba de INGEOMINAS (1986) y Gómez (2017), es de movimiento sinextral.

A continuación, se presenta el mapa tectónico y evolutivo de la cuenca Río SUCIO ALTO, como resultado de la interpretación monoscópica de sensores remotos a escala 1:100.000 (Figura 62). En esta se observa que el bloque Chocó al occidente está separado por la Falla de Encarnación con rumbo NS, del bloque Cordillera Occidental en dirección del sistema de fallas de Romeral. En el primer bloque se agruparon las unidades de edad terciaria que incluyen rocas intrusivas volcano-sedimentarias y sedimentarias: en el segundo, se integran rocas sedimentarias de ambiente marino (pelágico) intercaladas con rocas volcánicas sobre las cuales descansa una secuencia detrítica de origen más continental.

Entre 1985 y 1987 se realizaron varios proyectos, en la cuenca del río Atrato para Pladeicoc-Codechocó, el Proyecto Colombo-Holandes y el DIAR, entre otras y como valor agregado, el autor realizó la publicación, Principales Rasgos Estructurales al Norte de Buenaventura (Gómez Mejía, 1986. Inédito), utilizando cartografía geológica a escala 1:50.000, utilizando imágenes estereoscópicas de RADARSAT (fajas) y como resultado se definió por primera vez la Falla de Buenaventura-Garrapatas NE-30° como sinextral, la Zona de Cizalla de Itsmina con la misma tendencia como sinextral: ambas definen el Bloque San Juan levantado hacia el NE y hundido hacia el SW. Hacia el norte el Bloque del Atrato limitado al oeste por la Falla de Baudó, también sinextral, presenta efectos de obducción, con vergencia circular hacia al oriente/sureste. Completa el esquema la Falla de la Sierra, como otra escama obducida con vergencia hacia el este y la situación hacia el norte el Valle del Río Atrato está hundido, con efectos de subducción en donde sobresalen estructuras anticlinales con rumbo N-S, adosadas a la Falla de la Cordillera Occidental, que forma un umbral hacia el norte con el Batolito de Mandé y el predominio de rocas efusivas y sedimentarias, con la unidad de Santa Cecilia- La Equis.

A continuación, se presenta el Mapa Geológico de Colombia (Figura 65), reformado, combinando los criterios definidos en el Marco Geológico Regional y como un valor agregado, extrapolando información inédita, aplicada para el Proyecto Río SUCIO ALTO: se separan, desde el oriente hacia el occidente los bloques, que conforman la tectónica del área y la ubicación de las principales fallas que lo afectan.

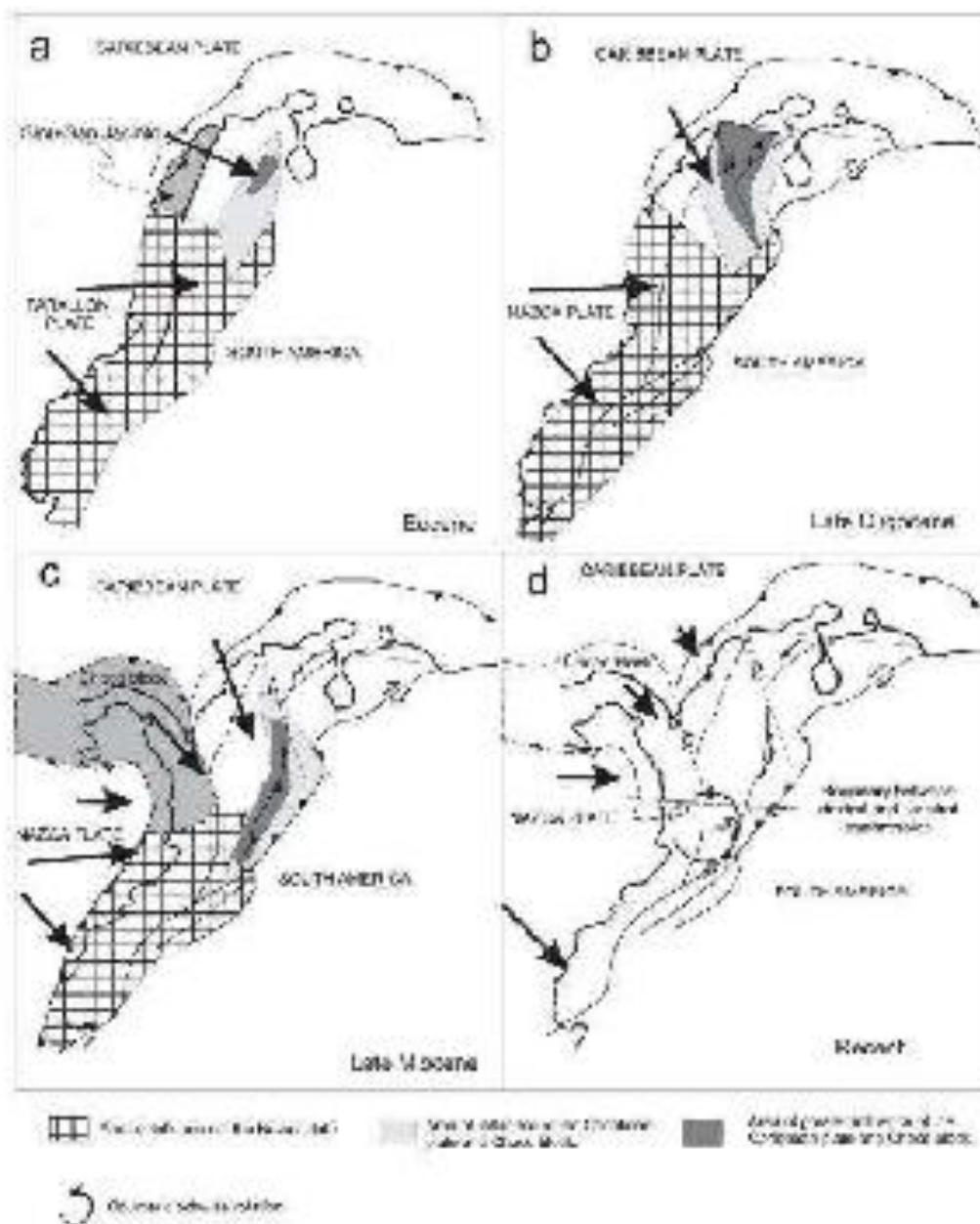


Figura 61. a -c) Reconstrucción esquemática de la margen Andina norte, mostrando con flechas la dirección de influencia de las diferentes placas tectónicas sobre el bloque Andino norte y particularmente sobre el Valle del Magdalena y la Cordillera Oriental durante el Cenozoico. d) Reconstrucción esquemática de la de la deformación actual dentro del bloque Andino. Las Flechas indican la dirección y velocidad aproximada de las capas. Elaboración propia a partir de Acosta (2002).

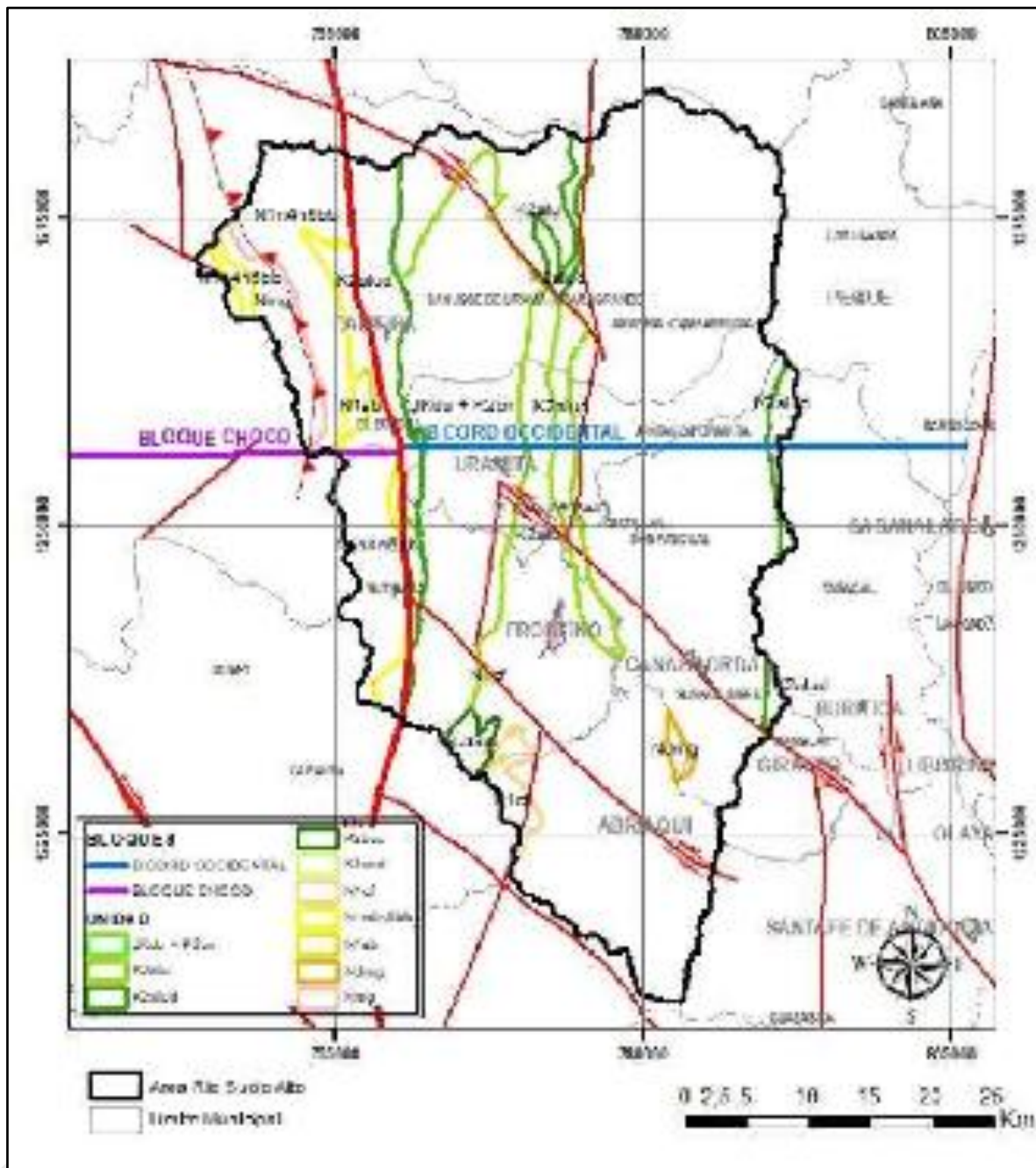
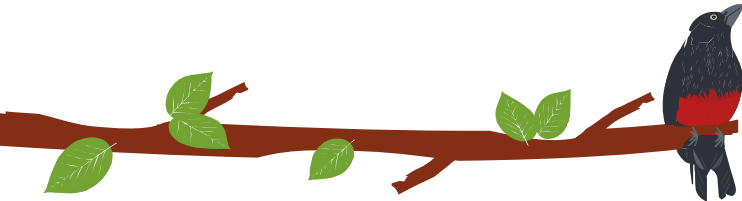


Figura 62. Esquema tectónico y evolutivo del área de la cuenca de Río SUCIO ALTO con su zona de influencia. Elaboración propia a partir de Gómez, H.(2018).

1.10 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

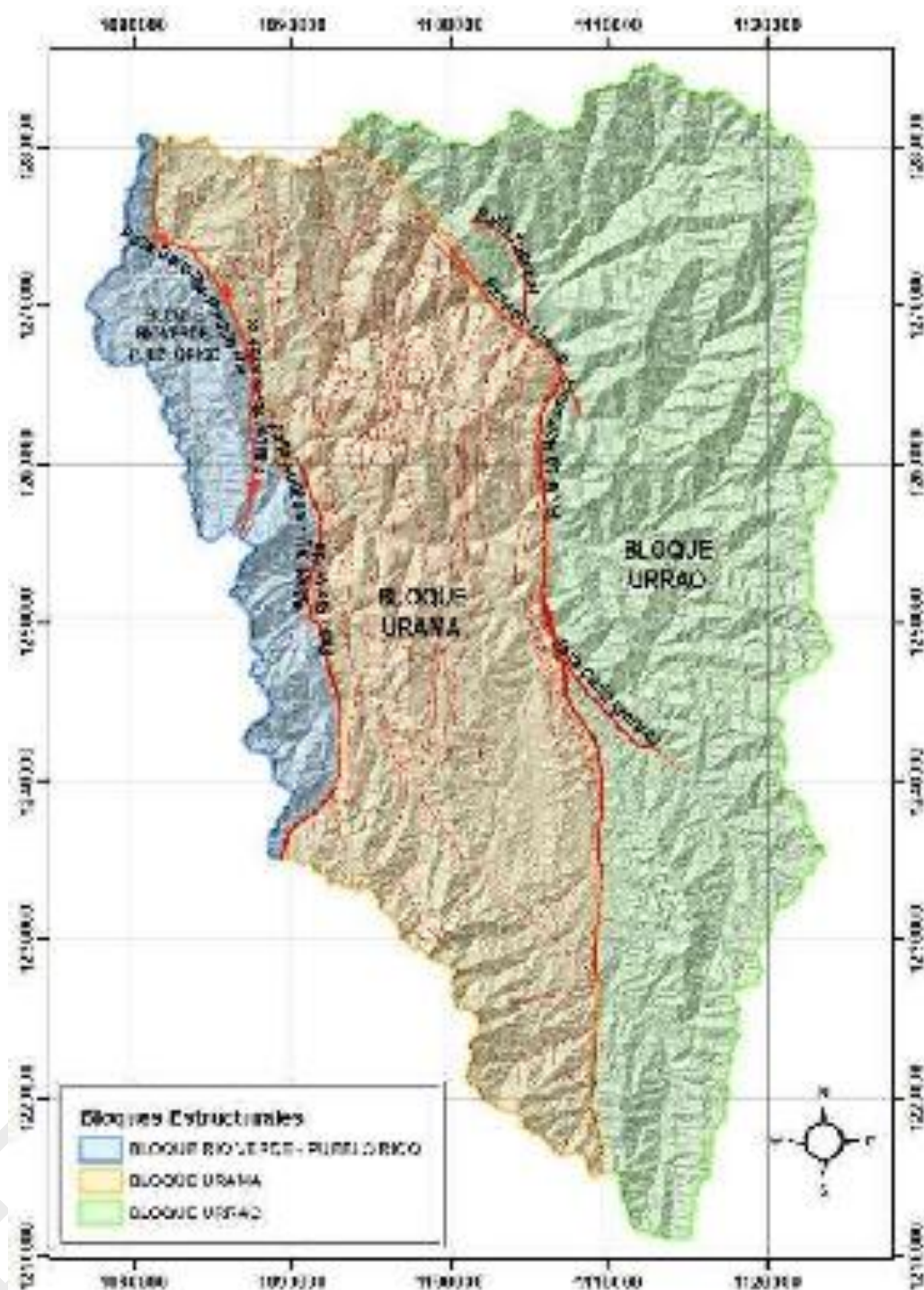
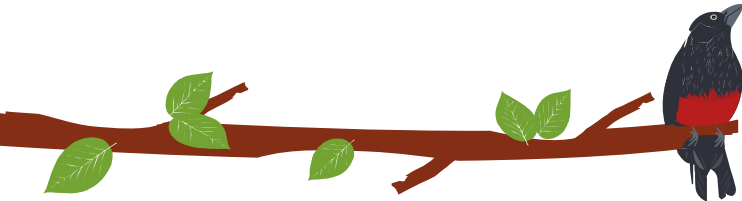
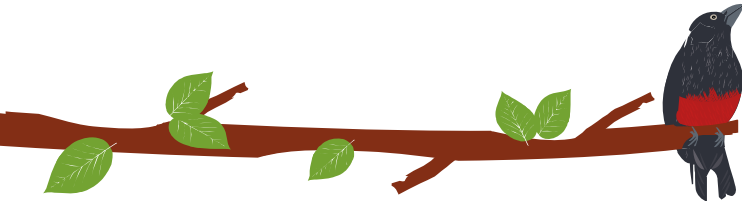


Figura 63. Sectorización estructural del área de la cuenca del Riosucio Alto. Elaboración propia.

Durante el proceso de actualización geológica utilizando sensores remotos se han tenido en cuenta dos factores básicos e importantes, como son, en primer lugar, la conformación de las unidades y secuencias litológicas, y en segundo lugar, su afectación por factores tectónicos; estos parámetros nos han permitido diferenciar el área en tres bloques estructurales representativos, tal como se aprecia en la Figura 63, en donde la proyección interpretativa está superpuesta a un modelo de elevación con el propósito de





resaltar regionalmente las características morfoestructurales que presenta cada uno de estos bloques.

1.10.1 BLOQUE URRAO

Al oriente del área de la cuenca del Riosucio Alto se presenta una secuencia detrítica cuya granulometría variable se expresa diferencialmente desde el este hacia el oeste en la parte norte, sobre un relieve morfoestructural conformado por arenitas conglomeráticas a arenitas de grano medio que varían transicionalmente en dirección oeste y sur; el grado de disectación generado por el drenaje subdendrítico principalmente, de densidad baja a media presente en el norte, se incrementa a medida que la secuencia se torna mas fina allí en donde predominan las limolitas y arcillolitas.

Este sector se encuentra estructuralmente limitado al este por el sistema de fallas de Romeral, siendo la Formación Barroso la expresión litológica más antigua anexa a este sistema; al occidente por la Falla de la Herradura que lo separa del bloque Urama, sobre el cual se conforma un sector de transferencia estructural hacia la falla de Uramita, localizada hacia el noroeste del área.

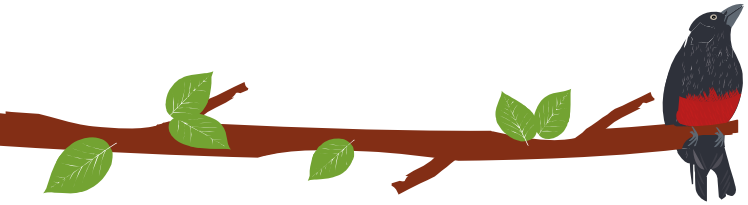
1.10.2 BLOQUE URAMA

Ocupa la parte central del área investigada y está conformada por una secuencia de cherts y calizas provenientes de un ambiente distal de la antigua cuenca de sedimentación, anómalamente intercalados con segmentos alargados de diabasas provenientes del basamento, muy afectadas tectónicamente puesto que corresponde a una secuencia alóctona que conforma el denominado Arco de Dabeiba. Este bloque característicamente interdigitado presenta espacialmente una alta compresión en el sector norte con efectos de flexión hacia el noroeste, mientras que hacia el sur, se notan efectos distensivos separados por fallas secuencialmente paralelas orientadas sentido NS.

1.10.3 BLOQUE RIO VERDE – PUEBLO RICO



 El ambiente es de todos



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

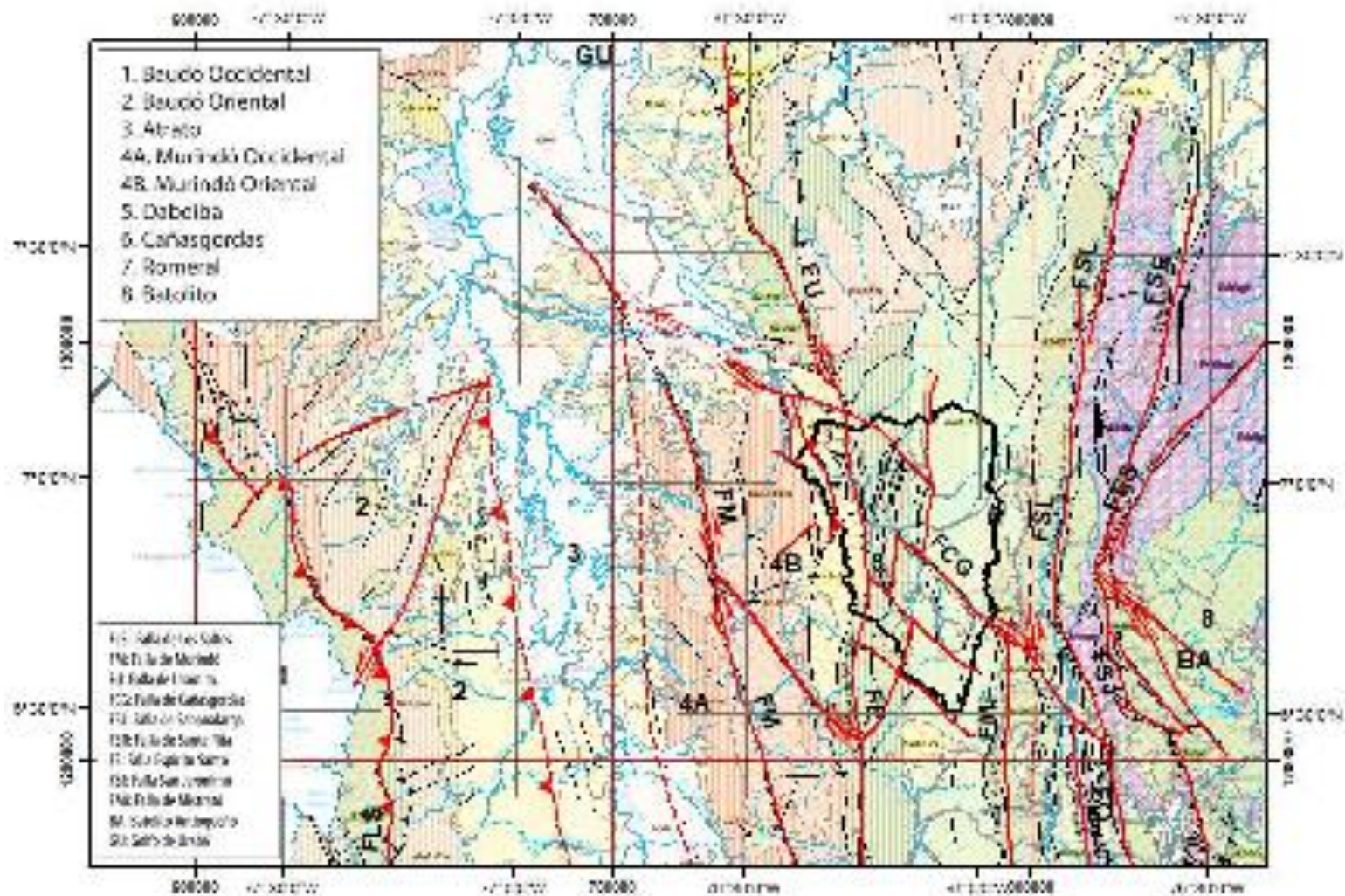
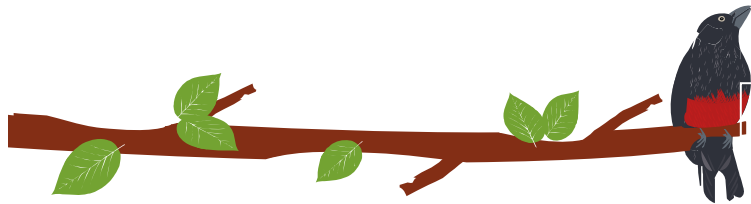
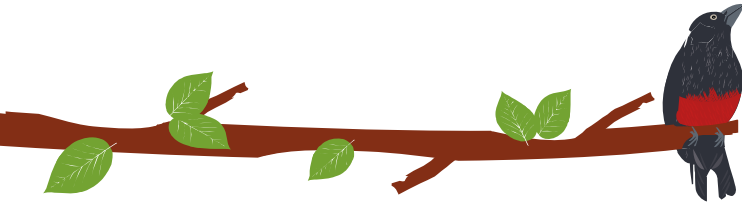


Figura 65. Esquema Regional del NW de Colombia, con sectorización de Bloques Tectónicos (Gómez, H. 2018). Adaptado de Servicio Geológico Colombiano (2015)



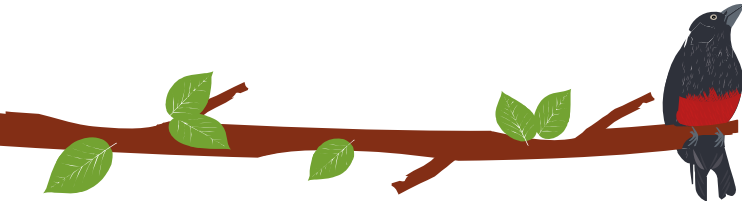
1.11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- I. El área del Proyecto Río Sucio Alto se encuentra localizada en la “zona de confluencia tectónica entre el Bloque Chocó y el sector centro oriental de la Cordillera Occidental: está limitada hacia el oriente por el Sistema de Fallas de Romeral y hacia el occidente por el sistema de Fallas de Murindo-Quiparadó, formando un escalón hacia el Valle del Río Atrato.
- II. El área de interés se encuentra dispuesta sobre una zona de influencia entre los Terrenos Cuna y Calima, hacia el Tahami, definido en el Modelo de Acreciones Sucesivas en Colombia (Toussaint & Restrepo, 1989), los cuales indican que estos proceden desde el occidente, generados por presencia de corteza oceánica (basaltos, diabasas, gabros etc.) y el emplazamiento del denominado Arco de Dabeiba (Duque-Caro, 1989), indica a su vez que los foraminíferos encontrados en chert y calizas del terciario y ambiente pelágico, proceden de una fauna Centroamericana. Dichas rocas al estar intercaladas con diabasas del Jurásico forman en el área bloques alargados y caóticos, cuya simbiosis comprueban un alto grado de tectonismo generado en profundidad, que asimiló rocas incongruentes con diferente origen y ambiente de formación.
- III. La evolución geológica regional expresada en los artículos, esquemas y mapas geológicos utilizados para soportar los resultados aquí planteados y representados, esquemáticamente, a escalas 1:100.000, regional y subregional, permiten proyectar una separación entre bloques tectónicos en el NW de la Cordillera Occidental, tal como se presenta en la Figura 62.
- IV. Se presenta finalmente un Mapa Simplificado de Unidades Estructurales del NW de la Cordillera Occidental, que soporta los efectos estructurales a nivel más regional, como un valor agregado, que incluye estudios de investigación posteriores, al unificarlos con otros estudios ya publicados (Figura 65).
- V. La obtención de escenas digitales en diferentes escalas y la combinación de bandas multispectrales de las imágenes de satélite TM, imagen Quickbird, así como las ortofofotografías ampliadas a diferentes escalas de acuerdo con su resolución, permitieron realizar una interpretación monoscópica y actualizar la información contenida en los mapas a escala 1:25.000, generados por INGEOMINAS y el Servicio Geológico Colombiano.
- VI. Para lograr este objetivo se utilizaron durante el proceso interpretativo una serie de “claves fotogeológicas, consistentes en tipo de relieve, paisaje morfoestructural, tipos, clases y densidad del drenaje, criterios de pendiente y contrapendiente en rocas sedimentarias, presencia de facetas triangulares, clase de vegetación, factor de rugosidad del relieve, expresión diferencial entre



unidades competentes e incompetentes, en rocas intrusivas, etc: adicionalmente se demarcaron una serie de actitudes fotogeológicas, que permitieron definir la relación espacial en algunas secuencias correspondientes a las Formaciones Urrao, en donde existen estructuras anticlinales y sinclinales y diferenciar las secuencias de las formaciones Nutibara y Guineales, principalmente.

- VII. El sector NW de la Cordillera Occidental está conformado principalmente por secuencias sedimentarias de origen detrítico correspondientes a las Formaciones Urrao y Nutibara, las cuales se diferencian por su origen y granulometría: sobre éstas se realizó una separación litodémica. Desde el oriente hacia el occidente, se encuentran en la base rocas volcánicas con gabros y diabasas: le sobreyace litológicamente la Formación Urrao, compuesta por areniscas, algo conglomeráticas hacia la base, las cuales van gradando hacia arenitas de grano medio y fino, para continuar la secuencia con limolitas y arcillolitas, hacia el oeste. La primera presenta un grado de tectonismo bajo a medio, mientras que la Formación Nutibara hacia el occidente, está compuesta por intercalaciones de chert y calizas con diabasas, en donde predomina un alto grado de deformación y fracturación por tectonismo.
- VIII. Se utilizaron diferentes escenas o “ventanas digitales” representativas, correspondientes a cada una de las unidades litodémicas presentes, desde la Formación Barroso, del Grupo Cañasgordas hasta la Formación Beibaviejo, así como la separación diferentes sedimentos cuaternarios: se incluyen los sedimentos coluviales, que en algunos casos corresponderían a zonas inestables, en proceso de remoción en masa.
- IX. Se produjo un Mapa Geológico Actualizado a escala 1:25.000, sobre una base topográfica generada mediante actualización, a escalas 1:25.000 y 1:10.000, por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Para sustentar el proceso de actualización digital se presentan diferentes escenas o “ventanas digitales” representativas, correspondientes a cada una de las unidades litodémicas presentes, desde la Formación Barroso, del Grupo Cañasgordas hasta la Formación Beibaviejo, así como los diferentes sedimentos cuaternarios: se incluyen los sedimentos coluviales, los cuales en algunos casos corresponderían a zonas inestables, en proceso de remoción en masa.
- X. Estructuralmente al área investigada se dividió en tres bloques denominados desde el oriente hacia el occidente, como, Urrao, Nutibara y Río Verde, los cuales están separados por dos sistemas de Fallas: el primero conformado por las fallas de Cañas Gordas, La Herradura y Urama-Uramita, que presentan entre si efectos de transferencia en sentido sinextral y además flexionan y comprimen hacia el norte a las rocas de la Formación Nutibara y las distienden hacia el sur: presenta

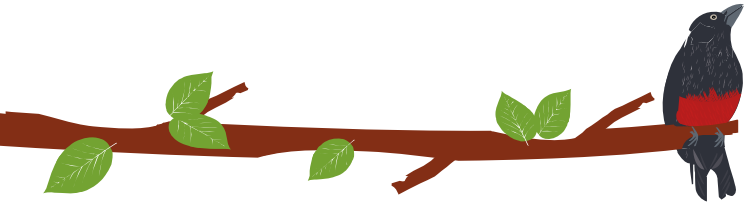


un grado de tectonismo bajo medio. El Bloque Urama o central, está constituido por chert, calizas y segmentos alargados de diabasa, limitados por una imbricación de fallas, como producto y respuesta a una alta compresión generada por el efecto la aloctonía regional de bloques en sentido oeste-este, proveniente desde la Cuenca del Río Atrato, factor que produjo una alta deformación sobre esta secuencia más frágil que la anterior, la cual a su vez limita con el Bloque Río Verde- Nutibara por medio del sistema de fallas de Río Verde- Dabeiba-Pueblo Rico, en donde predominan unidades volcánicas, intrusivas y sedimentarias como Santa Cecilia- La Equis, el Basalto del Botón y la Formación Guineales, con características más homogéneas y competentes.

- XI. El área de Río SUCIO en la parte centro y oriente, en donde predomina la Formación Urrao presenta un grado de fracturación bajo, a continuación, la Formación Nutibara con bloques de diabasa, presenta un alto grado de tectonismo y fracturación alta, acompañado por un grado de deformación alto. Las unidades ígneas intrusivas y volcanogénicas-sedimentarias distales, un grado de fracturación bajo a medio.
- XII. La falla de Uramita es activa de acuerdo con lo indicado en el esquema presentado en la Figura 4, lo cual muestra que la sismicidad entre los bloques Sinú – San Jacinto es baja en relación con la parte occidental en donde se encuentra la falla de Murindó en donde la sismicidad es alta (Hernández, 2009 Y Proyecto Turbo-Currulao), en el cual se indica que ésta es sinextral y de cabalgamiento con vergencia hacia el SW, sobre la cuenca de Urabá. Esto puede incidir en la ocurrencia de deslizamientos e inundaciones como el del Revenidero (Rodríguez, Zapata, & Gomez, GEOLOGÍA DE LA PLANCHA 114 DABEIBA, 2013). El sistema de fallas de Cañas Gordas- La Herradura-Urama, podría ser activa por corresponder a la continuación de la Falla de Uramita.

1.12 GEOLOGIA APLICADA A MOVIMIENTOS EN MASA

- a) Las imágenes de satélite utilizadas y el DEM de 12.5, al ser interpretadas monoscópicamente, no permiten definir áreas con susceptibilidad a deslizamientos, por limitación de la escala.
- b) Para realizar una interpretación óptima que permita localizar, definir y conceptualizar las áreas con deslizamientos, se requieren imágenes o fotografías recientes que permitan aplicar una interpretación estereoscópica.
- c) El deslizamiento de El Revenidero es un ejemplo clásico y representativo del alto grado de tectonismo y fracturación que tiene la secuencia de la Formación Nutibara con emplazamiento tectónico de bloques de Diabasas. Es de tipo



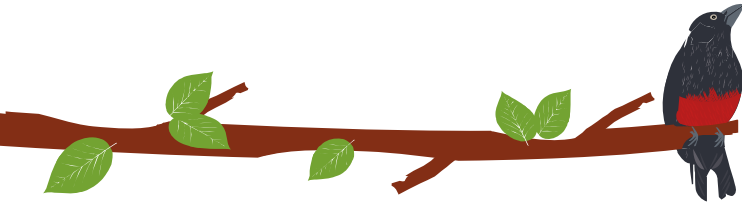
rotacional con una zona de deflexión determinada por rasgos secuenciales de bloques deslizantes a lo largo de la zona de interfase entre cherts, calizas y coluvios sobre una morfología dominante, en donde la secuencia litológica está buzando en el sentido de la pendiente: la zona de deflexión progresivamente va afectando el curso del Río Sucio.

1.13 GEOLOGIA PARA LA INGENIERIA

1.13.1 RESUMEN

Se presenta la memoria técnica correspondiente al mapa de Unidades Geológicas Superficial elaborado en el marco del proyecto "Actualización de la fase de Aprestamiento del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Sucio Alto (Código 1111-01), como apoyo a la zonificación de las amenazas e incorporación del tema de gestión del riesgo en la cuenca".

El mapa de Unidades Geológicas Superficial elaborado cubre la totalidad del área de la cuenca Río Sucio Alto. Se identificaron y delinearon veinte y dos (25) Unidades Geológicas Superficial. La totalidad de las unidades delimitadas interpretadas pertenecen a dos (2) ambientes geológicos y fueron clasificadas y distribuidas de la siguiente forma: quince (18) unidades pertenecen al ambiente sedimentario, siete (7) unidades del ambiente ígneo (intrusivas y extrusivas). Cada una de las unidades delimitadas están representadas en la leyenda del mapa, identificadas con un símbolo, una descripción y un código de color según su origen respectivo.



1.13.2 INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta el Decreto 1640 de 2012 y para dar cumplimiento a lo establecido en el título IV “De los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas” y sus anexos, se llevó a cabo los trabajos correspondientes a la delimitación de la Unidades Geológicas Superficiales, iniciando con una revisión y análisis de información básica y temática existente sobre el área de la cuenca.

La cuenca Río Sucio Alto, se encuentra en la jurisdicción de los municipios de Abriaquí, Cañasgordas, Frontino, Uramita y Dabeiba, ocupando una extensión de 217.850 hectáreas, de las cuales Abriaquí, Cañasgordas y Uramita, se encuentran totalmente en su interior y Dabeiba y Frontino solo comparten aproximadamente el 50% de sus territorios con la cuenca.

En esta memoria, los dos (2) primeros capítulos, corresponden a la introducción y las generalidades (objetivos, metodología), y en el capítulo 3, se presenta la caracterización de las Unidades Geológicas Superficiales (UGS), definición de las propiedades geomecánicas de los materiales presentantes en la cuenca Río Sucio Alto, junto con la descripción de las UGS que fueron interpretadas y verificadas durante los recorridos efectuados en la etapa de campo.

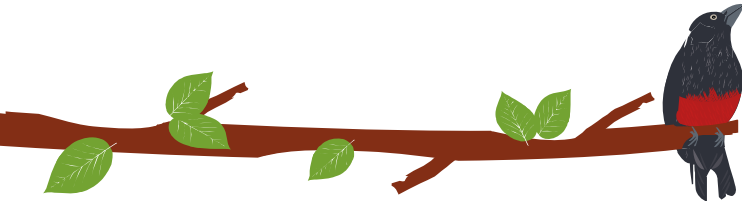
La unidad cartográfica utilizada es el tipo litológico-LT y para su elaboración se realizaron actividades de oficina, campo y laboratorio que permitieron caracterizar los materiales superficiales (rocas, suelos y depósitos) mediante la definición de parámetros tales como: litología, dureza, porosidad, permeabilidad, humedad, condición de discontinuidades, meteorización, densidad de rasgos estructurales y la toma de las muestras requeridas para los análisis de laboratorio de clasificación (humedad, granulometría, límites de Atterberg, índice de plasticidad, peso específico y consolidación), resistencia (cortes y compresión confinada), deformación (consolidación y control de expansión rápida), cohesión, fricción y peso unitario en los sitios definidos previamente.

1.13.3 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un mapa de geología para ingeniería o Unidades Geológicas Superficiales (UGS) a escala 1:25.000, definir el conjunto de materiales superficiales (rocas y suelos (depósitos)) junto con sus rasgos estructurales y características geomecánicas mediante estimaciones de propiedades índices o a través de correlaciones de parámetros comparativos, la toma de muestras y los respectivos análisis de laboratorio. Este mapa será utilizado en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa. Las áreas objeto de evaluación, serán las que corresponden a las zonas de susceptibilidad media y alta.

1.13.3.1 Objetivos específicos

- Elaborar el mapa Unidades Geológicas Superficial de la cuenca del Río Sucio Alto a escala 1:25.000, a partir de la recopilación de información secundaria existente, del uso e interpretación de imágenes de sensores remotos, modelos de elevación digitales y fotografías aéreas, con el propósito de apoyar la temática de zonificación de la susceptibilidad y amenazas en el marco de la inclusión de la gestión del riesgo en el POMCA de la cuenca Río Sucio Alto.
- Comprobar las Unidades Geológicas Superficial delineadas en la fase de fotointerpretación mediante trabajos de verificación en campo, efectuar la toma de datos y muestras en campo, para complementar la caracterización



geomecánica de las unidades y el modelo geológico-geotécnico presente en el área.

1.13.4 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Sucio Alto sobre la cual trata el proyecto, se encuentra localizada 50 km al noroccidente del departamento de Antioquia a partir del sitio donde se presenta la divisoria de aguas entre los ríos que fluyen hacia NW en dirección de la cuenca del Atrato y hacia el SE, en la subcuenca del río Tonusco que fluye hacia la cuenca del río Cauca. Topográficamente, la mayor parte del área varía entre los 2.500 y 1.400 msnm en la parte central; hacia el N se encuentran alturas de 3.200 m en las estribaciones del Nudo de Paramillo y hacia el SW, el Cerro Frontino con 3.400 msnm. Hidrográficamente, la cuenca del Río Sucio Alto discurre hacia el NW, siendo sus principales tributarios los ríos Urama, Verde, El Cerro, Cañasgordas y Herradura.

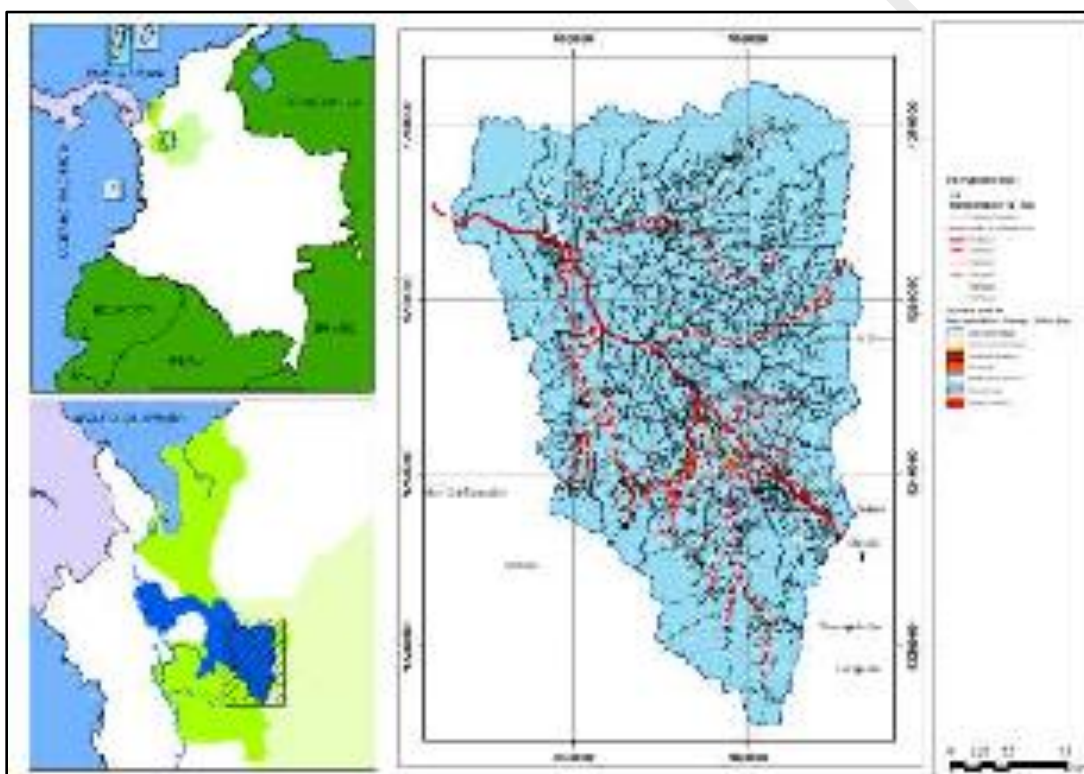
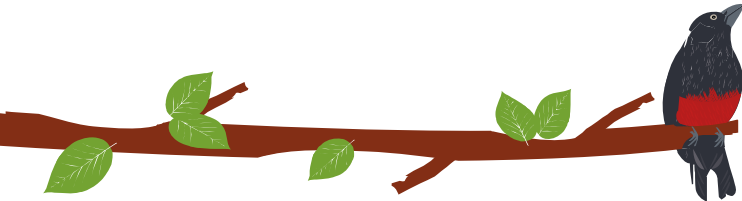


Figura 66. Localización del área de la Cuenca del Río Sucio Alto con distribución de planchas a Escala 1:25.000. Elaboración propia.

1.13.5 METODOLOGÍA APLICADA

En cuanto a la aplicación de la metodología, se siguieron las indicaciones consignadas en los documentos sobre la aplicación de las metodologías solicitadas (MADS, 2015), para su aplicación en los POMCA, sintetizada en 4 pasos para la obtención del producto y siguiendo la propuesta metodológica del Servicio Geológico Colombiano (Calderón, Y., Carlos Murcia, C., Padilla, J. y Carvajal, H., 2004a), (Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J. y Calderon, Y., 2004b), que comprenden: a) Revisión y recopilación de información existente, b) Preparación de la información básica existente, c) Procesamiento de la información de insumos utilizados, d) Trabajos de fotointerpretación, e) Trabajos de verificación en el campo, f) Reinterpretación de



insumos y ajuste de la información colectada en campo, g) Elaboración del mapa final con su respectiva leyenda, h) Preparación de la memoria técnica explicativa que acompaña el mapa de Unidades Geológicas Superficial.

EN ETAPA DE PUBLICIDAD

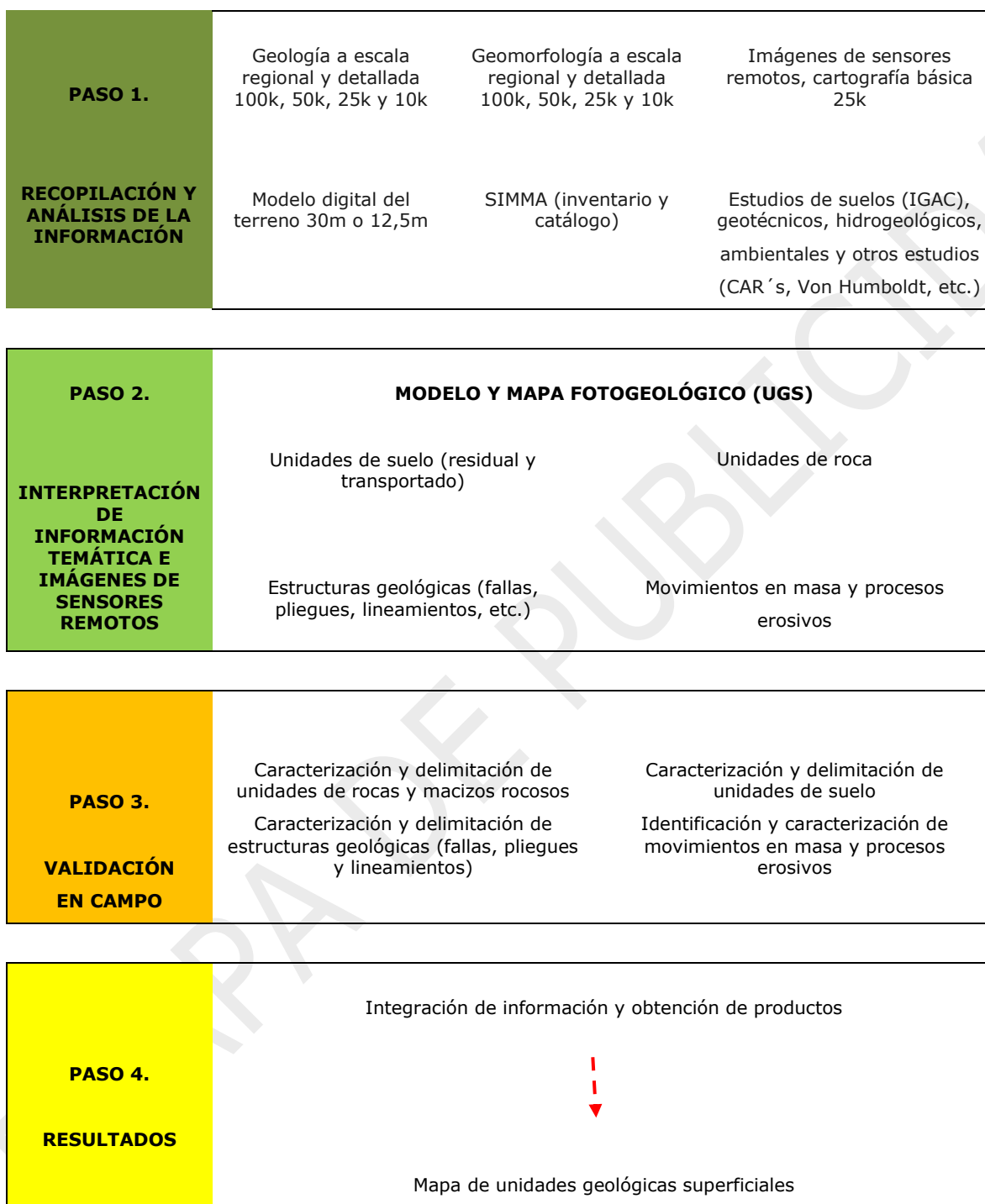
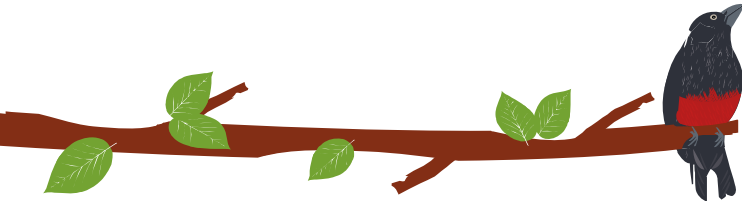
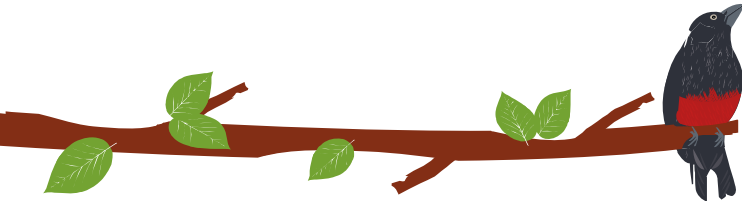


Figura 67. Flujograma de actividades en la generación del mapa de Unidades Geológicas Superficiales (UGS) para la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia a partir de Servicio Geológico Colombiano (2017).

En la definición de las características geomecánicas de las Unidades Geológicas Superficiales, se realizaron las siguientes actividades:



1. Fase precampo. Basados en la fotointerpretación a escala 1:25.000, realizada para la geología con fines de ordenación de cuencas se planificaron varios recorridos o transectos, para ser realizadas en la etapa de campo donde se levantaron puntos de control o estaciones de campo.
2. Se realizó un reconocimiento geológico-geomorfológico en el área de la cuenca simultáneamente, la caracterización de los puntos críticos donde existen o han existido movimientos en masa.
3. Trabajo de campo. Esta actividad se orientó hacia el reconocimiento y registro de las condiciones geológicas y geotécnicas de la cuenca, identificando los sitios o sectores con problemas de estabilidad activos o potenciales. La fase de validación de campo, tiene como objetivo la toma de datos y de muestras, que permitan caracterizar las unidades de roca y suelo, así como corroborar, corregir y complementar el modelo geológico preliminar de la zona, planteado con base en el análisis de la información secundaria y de la fotointerpretación, haciendo uso de las guías y los formatos de captura de información de campo diseñados para tal fin.
4. En la etapa de integración de la información y la presentación de los productos finales, se elaboran los mapas de UGS y las respectivas memorias explicativas de las unidades identificadas en el área de estudio.

1.13.6 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)

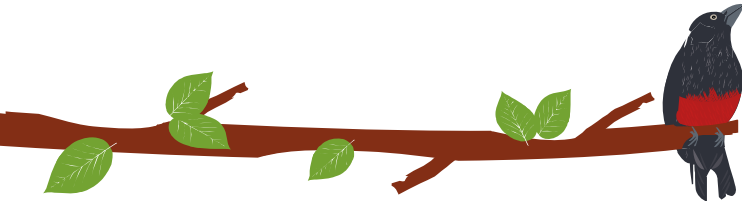
Los mapas con información geológica constituyen un insumo básico para cualquier análisis y zonificación de amenaza por movimientos en masa. Dependiendo de la escala de trabajo, la información geológica disponible es interpretada en términos de sus características ingenieriles y complementada con trabajos de fotointerpretación, levantamientos de campo e incluso ensayos de laboratorio, con el fin de obtener información sobre la composición, disposición y comportamiento esperado de los materiales geológicos, para la escala de trabajo (1:25.000), es necesario la elaboración de mapas de geología para ingeniería que contengan información sobre la litología de los materiales presentes (rocas o suelos), su origen, disposición estructural, características físicas y mecánicas, características hidrológicas e hidrogeológicas, entre otros (Calderón, Y., Carlos Murcia, C., Padilla, J, y Carvajal, H., 2004a).

Al igual que la geomorfología, las unidades geológicas de superficie son uno de los factores condicionantes más importantes en la inestabilidad de las laderas, por lo que es necesario obtener y espacializar datos relacionados con sus características.

Cada UGS se considera como el resultado de una serie de procesos tanto exógenos como endógenos que modelan la superficie terrestre y le confieren al terreno una serie de propiedades que la hacen más o menos susceptible a la ocurrencia de movimientos en masa.

A continuación, se presenta el marco general para la elaboración de mapas de UGS y la información que este debe contener, con el fin de contribuir en la zonificación de amenazas por movimientos en masa. La información y conceptos presentados en este documento hacen parte de la metodología de cartografía geológica para ingeniería presentada por INGEOMINAS en el 2004 (Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J. y Calderon, Y., 2004b).

La geología superficial se refiere al material expuesto en la superficie del terreno, el cual puede corresponder a suelos o rocas, clasificados desde el punto de vista ingenieril. En



este mapa se clasifican los materiales superficiales en suelos y rocas; las UGS incluyen los diferentes tipos de rocas clasificadas según su origen y composición mineralógica, grado de meteorización o alteración, dureza o resistencia e índice de resistencia geológica (GSI), así como, los suelos diferenciados de acuerdo con su origen, composición mineralógica, clasificación genética, características y propiedades del suelo, estructura o empaquetamiento, selección, gradación, color, tamaño, forma y composición de las partículas, grado de meteorización, consistencia, resistencia, condición de humedad, densidad relativa, compacidad, propiedades de la masa del suelo, estructuras relictas o discontinuidades en la masa de suelo y propiedades ingenieriles (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

La clasificación de UGS de acuerdo con su origen se presenta en la

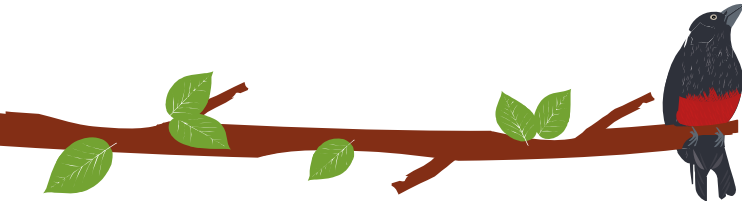


Tabla 23 (Hermelin, 1985; INGEOMINAS, 2001, 2004b). Estas comprenden:

- ✓ Rocas y sus estructuras
- ✓ Suelos residuales (saprolito y suelo residual del perfil de Dearman, 1974, 1991)
- ✓ Depósitos de origen volcánico
- ✓ Depósitos transportados
- ✓ Depósitos antrópicos

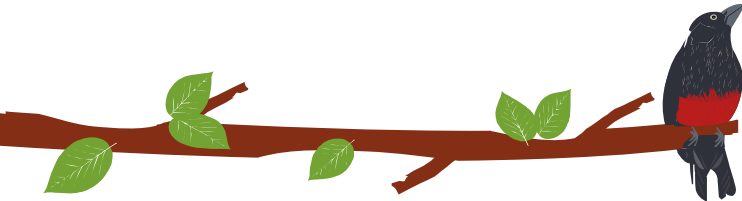
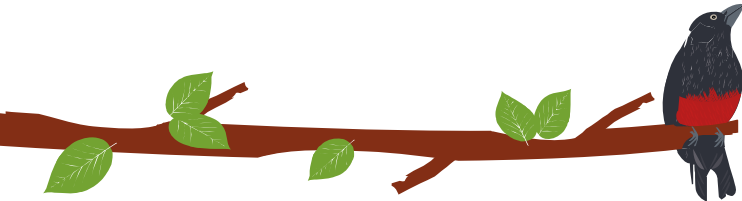


Tabla 23. Unidades Geológicas Superficiales (UGS) según su origen

TIPO DE MATERIAL		ORIGEN DE LA UGS		TIPO DE UGS
Roca		Roca inalterada		Roca dura (calidad de macizo buena y muy buena).
				Roca intermedia (calidad de macizo regular).
				Roca blanda (calidad de macizo mala y muy mala).
		Derivadas de roca in situ		Suelo residual: Horizontes IV (saprolito grueso), V (saprolito fino) y VI.
Suelo	Depósitos	Depósitos primarios	Volcaniclásticos	Flujos piroclásticos (ignimbrita), oleada piroclástica, caídas piroclásticas (bombas, bloques y ceniza).
			Volcaniclásticos secundarios	Lahar, avalancha de escombros
	Depósitos aluviales			Aluviones recientes y de cauce activo
				Llanura aluvial
				Abanicos o conos aluviales
				Terrazas aluviales
				Depósitos fluviotorrenciales
	Suelo transportado	Depósitos lacustres y paludales		Suelos fluviolacustre
				Suelos paludales
		Depósitos costeros		Dunas y Médanos
		Deltas, Barras, Playas, etc.		
		Depósitos eólicos		
		Depósitos glaciares		Loess
				Morrenas y Tillitas
		Depósitos de gravedad y ladera		Suelos Fluvioglaciares
				Coluvial
	Depósitos antrópicos			Talus, derrubios de pendiente
				Flujos (de lodo, tierra y de escombros)
				Llenos de basuras
				Llenos de escombros
				Llenos mixtos

Fuente: Elaboración propia a partir de Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J. y Calderon, Y., 2004b) (2004b).



1.13.7 Criterios para la definición de las Unidades Geológicas Superficiales

La clasificación de rocas y suelos para la cuenca Río Sucio Alto está basada en la combinación de elementos como el origen, la diagénesis, la historia tectónica, el metamorfismo y los procesos de meteorización, los cuales controlan su comportamiento mecánico (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Para la descripción y caracterización de las UGS se tuvo en cuenta cinco parámetros fundamentales: génesis, litología (composición y textura), propiedades ingenieriles, grado de meteorización y rasgos estructurales. Todos obtenidos mediante la descripción de perfiles de afloramientos rocosos, exploración de campo, muestreo de suelos y rocas y ensayos índice, los cuales fueron complementados con exploración del subsuelo, ensayos *in situ* y análisis de laboratorio para un mejor conocimiento del comportamiento de los materiales.

A continuación, se definen, clasifican y describen los parámetros utilizados:

Génesis: esta característica corresponde al origen del material.

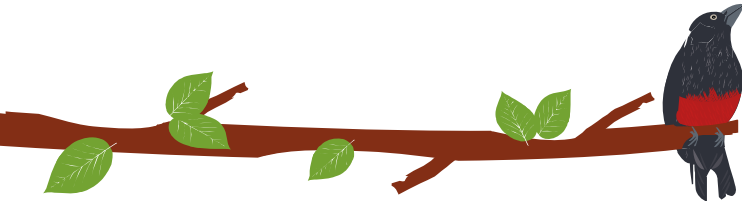
Litología: trata de la composición mineralógica de las rocas y suelos y de la forma como dichos componentes se interrelacionan (textura).

Propiedades ingenieriles: desde el punto de vista ingenieril cada tipo de roca o suelo tiene unas propiedades que se relacionan de manera directa con su origen y composición y, por consiguiente, con el comportamiento geomecánico de los materiales cuando se encuentran expuestos en superficie, entre estas se incluyen: dureza o resistencia, consistencia, condición de humedad, densidad relativa y compacidad.

Clasificación geomecánica: el comportamiento geomecánico de macizos rocosos puede ser analizado y clasificado de acuerdo con su potencial para ser usado en determinadas aplicaciones, González de Vallejo et al., 2002 en (Servicio Geológico Colombiano, 2017). Existen diferentes métodos para clasificar geomecánicamente un macizo rocoso, los cuales permiten obtener índices de calidad del macizo a través de la observación directa de sus características físicas o mediante la realización de pruebas de campo. Como insumo para la definición de las UGS correspondientes a roca con fines de zonificación de amenazas por movimientos en masa, se propone como mínimo el uso del Índice Geológico de Resistencia (GSI, por sus siglas en inglés), el cual es un sistema que utiliza el carácter geológico del material rocoso junto con la evaluación visual del macizo, como una forma para la selección de parámetros que permiten la predicción de su resistencia y deformabilidad (Servicio Geológico Colombiano, 2017). Su función es la estimación de propiedades y no reemplaza sistemas cuya función está dirigida al análisis detallado de macizos rocosos a nivel de diseño.

Grado de meteorización: Es la descripción cualitativa del estado de meteorización de los materiales tomando en cuenta la distribución y proporción relativa de la meteorización en el macizo rocoso y en sus discontinuidades.

La meteorización tiene un efecto sobre la resistencia y comportamiento mecánico del macizo rocoso, por lo tanto, es importante definir el grado de meteorización de las rocas, para lo cual se utilizan los perfiles generalizados de Deere & Patton (1971) y Dearman (1974, 1991) (Servicio Geológico Colombiano, 2017), en los cuales se considera como suelo a los horizontes VI (suelo residual), V (roca completamente meteorizada o descompuesta, saprolito fino) y IV (roca altamente meteorizada o descompuesta, saprolito grueso). El saprolito se define como el manto meteorizado que se comporta en general como un suelo en términos geotécnicos y que presenta rasgos texturales y



estructurales de la roca madre, y el cual sumado con el horizonte VI conforma el suelo residual tropical (Anon, 1990, citado en (Servicio Geológico Colombiano, 2017)).

Rasgos estructurales: representa la serie de procesos geodinámicas endógenos propios de la evolución de la corteza terrestre. En consideración a que la deformación de la corteza es proporcional a la cantidad de pliegues y fracturas (fallas, lineamientos y diaclasas), en un área determinada se debe evaluar la densidad de estos rasgos estructurales.

Como resultado de la aplicación de estos parámetros se obtiene una descripción sistemática de cada unidad representada en el mapa, de acuerdo con los lineamientos metodológicos presentados en INGEOMINAS (Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J. y Calderon, Y., 2004b).

De acuerdo a lo explicado en los párrafos anteriores, y tratando de dar un enfoque más global a la información temática requerida para efectuar el modelo de evaluación de zonificación geomecánica, se puede dividir en cuatro los temas que debe abordar esta zonificación (Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J. y Calderon, Y., 2004b):

1. Propiedades y modelos Geotécnicos:

Esta temática incluye: Caracterización geotécnica de los materiales superficiales, Perfiles y propiedades índice de los materiales geológicos, Propiedades hidráulicas de suelos y rocas, Propiedades esfuerzo-deformación y resistencia de suelos y rocas.

2. Propiedades y Modelos geológicos y geomorfológicos:

Incluye: Unidades geológicas superficiales, densidad estructural, estructuras geológicas, unidades geomorfológicas, Procesos geomorfológicos.

3. Suelos y agrología.

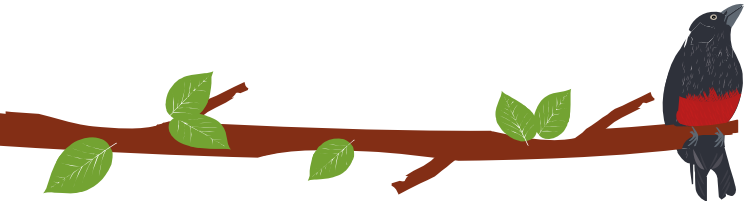
1.13.8 Estudios climáticos e hidrológicos

1.13.8.1 Mapas de unidades geológicas superficiales (UGS) para la zonificación de amenazas por movimientos en masa

Para la cuenca Río Sucio Alto, se caracterizaron y cartografiaron Unidades Geológicas Superficiales a escala 1:25.000, las cuales fueron clasificadas desde el punto de vista ingenieril de acuerdo con las condiciones físico-mecánicas de las rocas y suelos, siguiendo la metodología y nomenclatura de INGEOMINAS (Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J. y Calderon, Y., 2004b).

El mapa de UGS para la cuenca Río Sucio Alto se realizó en cuatro etapas básicas: recopilación y análisis de información temática existente (secundaria), interpretación de la información temática; la validación de campo, la integración de la información y la presentación del producto final (mapa de UGS) (Figura 68).

La fase de validación de campo, tuvo como objetivo la toma de datos y de muestras, que permitan caracterizar las unidades de roca y suelo, así como corroborar, corregir y



complementar el modelo geológico preliminar de la cuenca, planteado con base en el análisis de la información secundaria y de la fotointerpretación.

La descripción y caracterización de las UGS se hizo con base en los cinco parámetros descritos anteriormente: génesis, litología (composición y textura), propiedades ingenieriles, grado de meteorización y rasgos estructurales, a través de las descripciones de los perfiles de los afloramientos encontrados a lo largo de los recorridos trazados, tomando muestras (alteradas e inalteradas) y realizando ensayos *in situ* con la ayuda de tablas índices. También se hizo uso del penetrómetro de bolsillo en la toma de datos *in situ* con el fin de medir la resistencia del material y clasificarlo de acuerdo a los diferentes autores (Figura 112).

Uno de los criterios en la escogencia de los sitios seleccionados para la caracterización geomecánica fue la existencia de procesos morfodinámicos y a la susceptibilidad del terreno a procesos de remoción en masa.

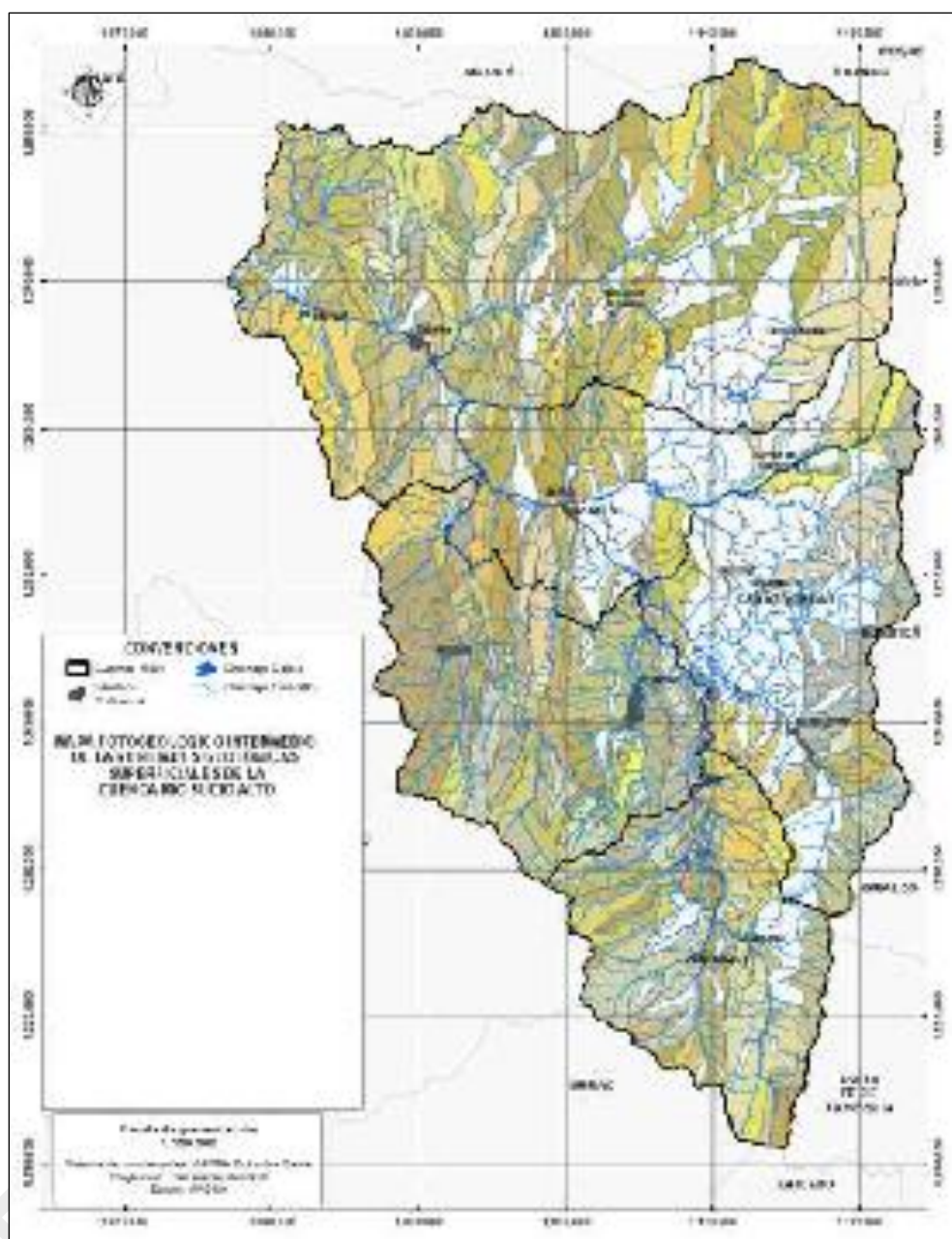
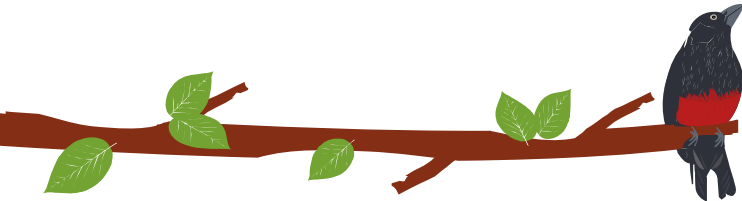
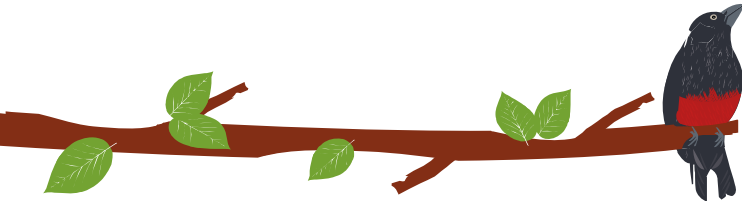


Figura 68. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales intermedio geológico-geomorfológico para la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.

Durante las actividades de exploración del subsuelo se diligenciaron el Formatos 3 y el Formato 4 del Protocolo (Ver **Anexo 2** y **Anexo 3**), donde se describieron los materiales encontrados consignando en cada caso: espesor, tipo de material, tamaño de grano, distribución granulométrica, color, plasticidad y contenido de humedad. Así mismo se registró en cada uno de los puntos de exploración el nivel freático. La compilación de los registros en resúmenes gráficos facilita la comprensión del modelo geológico – geotécnico y permite agrupar en niveles los diferentes materiales encontrados, por lo



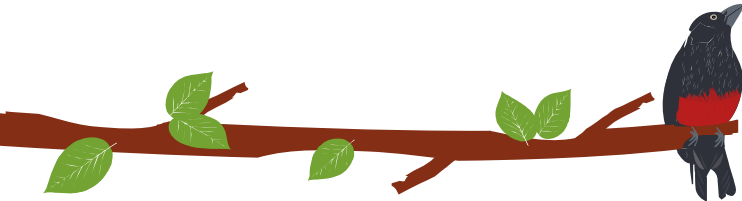
que los registros de campo obtenidos durante la exploración se procesaron en forma gráfica.

En total, se realizaron 53 estaciones de campo donde se identificaron los perfiles de meteorización y se caracterizó el macizo rocoso, se tomaron 49 muestras para descripción de materiales (Representativas para análisis de laboratorio) realizando a su vez el ensayo de la resistencia con el penetrómetro de bolsillo, las muestras fueron distribuidas en las 26 unidades previamente identificadas.

En la Tabla 24, se listan las coordenadas, municipio y vereda de las estaciones de caracterización de las unidades geológicas superficiales llevada a cabo en la cuenca Río Sucio Alto y su distribución en planta se muestra en la Figura 69. Las estaciones se identifican en el orden de los recorridos realizados.

Tabla 24. Estaciones levantadas en la campaña de campo dentro de la cuenca Río Sucio Alto.

ESTACIÓN	COORDENADA Y	COORDENADA X	MUNICIPIO	VEREDA
JAM01	1250227.464	1104613.698	Uramita	El Pital
JAM02	1253328.309	1092031.536	Uramita	Río Verde
JAM03	1232728.442	1121853.746	Giraldo	Toyo
JAM04	1235601.774	1119730.587	Cañasgordas	El Madero
JAM05	1247864.666	1106263.647	Cañasgordas	Botija Bajo
JAM06	1248031.961	1105960.521	Cañasgordas	Botija Bajo
JAM07 F2	1250219.835	1110663.918	Cañasgordas	Cestillal
JAM07 F3	1250137.923	1110792.985	Cañasgordas	San Miguel
JAM09-C2	1247825.493	1106696.414	Cañasgordas	La Esperanza
JAM10	1248007.779	1105758.597	Cañasgordas	La Esperanza
JAM11	1254329.053	1100465.413	Uramita	Oro Bajo
JAM12	1255775.558	1111726.893	Uramita	San Benito
JAM13	1256107.811	1105945.341	Uramita	Limon Chupadero
JAM14	1256517.45	1105151.349	Uramita	Limon Chupadero
JAM15	1255616.554	1102792.406	Uramita	Caunce
JAM 16	1268376.508	1078008.574	Dabeiba	Alto Bonito
JAM17	1269357.646	1080754.039	Dabeiba	Alto Bonito
JAM18	1268303.647	1083073.188	Dabeiba	Choromandó
JAM19	1265681.964	1090483.729	Dabeiba	El Pital
JAM20	1263983.235	1090042.21	Dabeiba	El Pital
JAM21	1260402.158	1089907.809	Dabeiba	Dabeiba Viejo
JAM22	1257415.275	1090951.199	Dabeiba	El Botón
JAM23	1241980.507	1112262.064	Cañasgordas	Pernilla
JAM24	1241949.128	1111483.104	Cañasgordas	Chontaduro
JAM25	1241614.406	1108776.555	Frontino	La Honda
JAM26	1241778.885	1108562.062	Frontino	La Honda
JAM27	1242371.067	1092204.166	Frontino	El Llano



ESTACIÓN	COORDENADA Y	COORDENADA X	MUNICIPIO	VEREDA
JAM28	1242571.361	1092264.959	Frontino	El llano
JAM29	1243145.034	1092255.016	Frontino	El llano
JAM30	1245445.468	1094171.635	Frontino	El Paso
JAM31	1245427.379	1095010.967	Frontino	Nobogacita
JAM32	1241035.308	1097022.885	Frontino	Musinga
JAM33	1237422.161	1099764.081	Frontino	Musinguita
JAM34	1232686.693	1101737.90	Frontino	El Cerro
JAM35	1232835.967	1101715.947	Frontino	El Cerro
JAM36	1233206.589	1101886.538	Frontino	El Cerro
JAM37	1233623.329	1101819.63	Frontino	El Cerro
JAM38	1232958.476	1101042.85	Frontino	El Cerro
JAM39	1236433.957	1103372.293	Frontino	El Cerro
JAM40	1237101.149	1103270.95	Frontino	El Cerro
JAM41	1238790.264	1103194.851	Frontino	Nore
JAM42	1222616.197	1113806.832	Abriaquí	Corcovado
JAM43	1224930.693	1112487.142	Abriaquí	Corcovado
JAM44	1226549.204	1110424.337	Abriaquí	Las Juntas
JAM45	1237719.967	1108062.295	Frontino	Pontón
JAM46	1233987.925	1096089.706	Frontino	Musinguita
JAM47	1234342.311	1096967.808	Frontino	Musinguita
JAM48	1234443.132	1097187.338	Frontino	Musinguita
JAM49	1236625.929	1098257.047	Frontino	Musinguita
JAM50	1237633.694	1098169.191	Frontino	Musinguita
JAM51	1266055.091	1115105.743	Dabeiba	Camparrusia
JAM52	1270461.357	1106191.762	Dabeiba	Chachafrutal
JAM53	1268048.835	1095346.249	Dabeiba	Barrancón

Fuente: Elaboración propia.

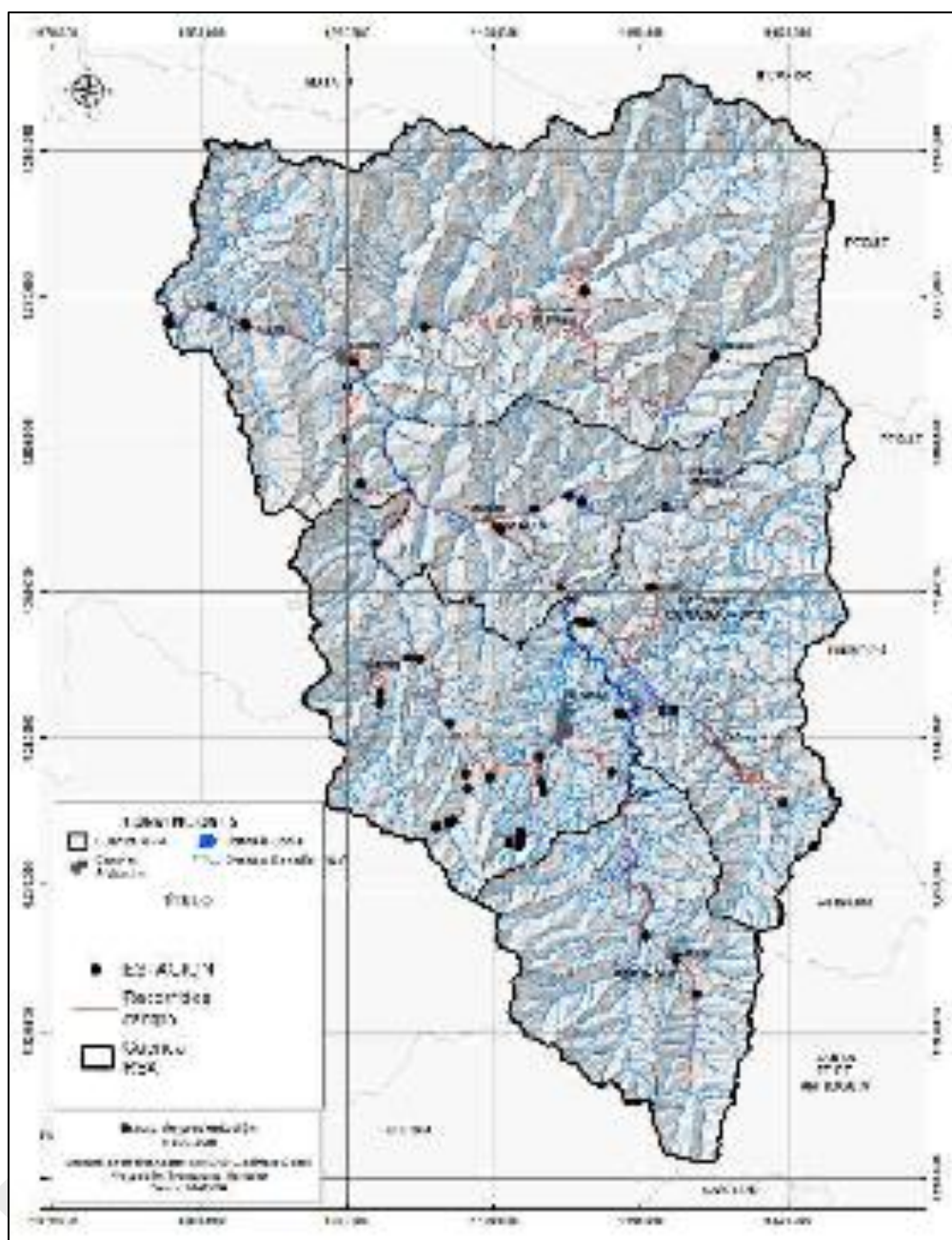
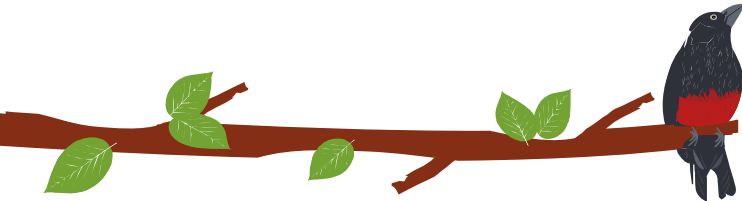
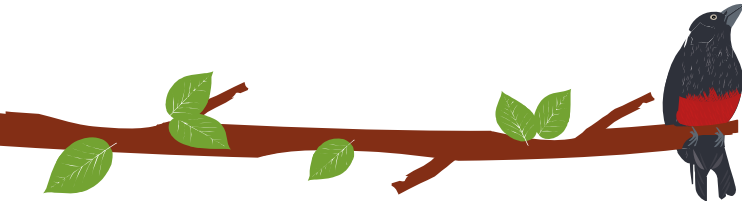


Figura 69. Especialización de las estaciones geológicas-geotécnicas utilizadas en la caracterización de las UGS de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.

En la Tabla 24 y en el Gráfico 1, se presenta el número de estaciones levantadas por cada unidad geológica superficial, además del número de muestra por cada UGS.

Tabla 25. Estaciones levantadas por cada Unidad Geológica Superficial

UNIDAD (UGS)	ESTACIONES POR UNIDAD GEOLÓGICA	TOTAL
Roca intermedia de origen sedimentario (Rischcn1) Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn).	JAM05, JAM09 C2, JAM13, JAM30, JAM46, JAM49 y JAM53	7



UNIDAD (UGS)	ESTACIONES POR UNIDAD GEOLÓGICA	TOTAL
Suelo residual de origen sedimentario (Rischn1) Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn).	JAM10, JAM11, JAM12, JAM25, JAM31 y JAM47	6
Roca intermedia de origen sedimentario (Risalu2) Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).	JAM07 F3, JAM42, JAM44 y JAM51	4
Srs2: Suelo residual de origen sedimentario (Risalu2) Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).	JAM01, JAM03, JAM04, JAM07 F2, JAM15, JAM20, JAM21, JAM23, JAM24, JAM39, JAM40, JAM41, JAM43, JAM45, JAM50 y JAM52	16
Roca intermedia de origen ígneo extrusivo (Riiedsj1) Diabasas de San José de Urama (JK1du).	JAM06	1
Srie1: Suelo residual de origen ígneo extrusivo (Riiedsj1) Diabasas de San José de Urama (JK1du).	JAM14, JAM26 y JAM32	3
Roca moderadamente blanda (Rmbs3) de la Formación Guineales (N1N2g).	JAM17	1
Roca intermedia de origen ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb).	JAM18 y JAM28	2
Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb).	JAM22, JAM27 y JAM29	3
Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc)	JAM34, JAM37 y JAM38	3
Suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf)	JAM33, JAM35 y JAM36	3
Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc)	JAM-48	1
Terraza aluvial	JAM02 y JAM16	2

Fuente: Elaboración propia.

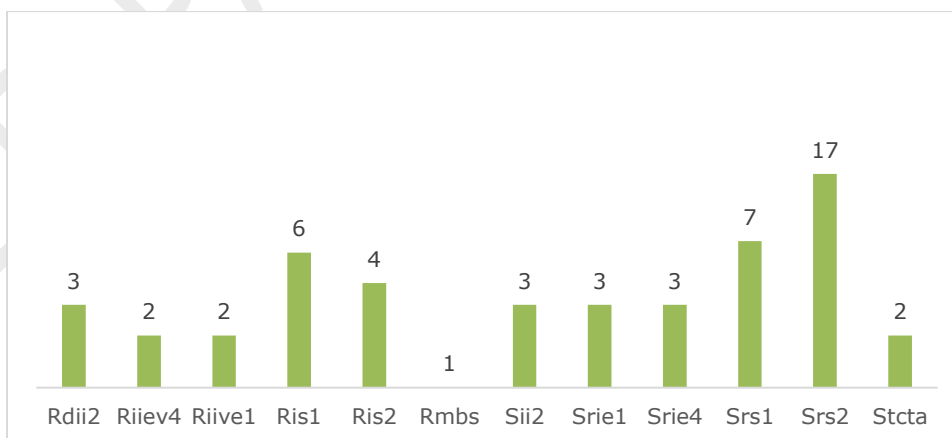
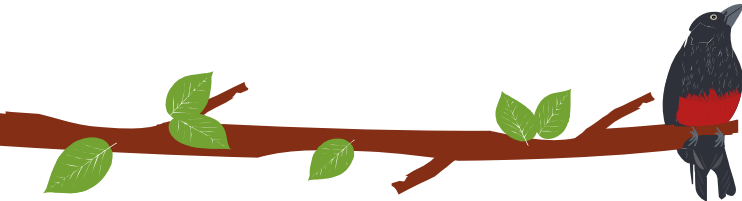


Gráfico 1. Estaciones geológicas levantadas por UGS en la cuenca Río Sucio Alto



En fase de validación y comprobación de campo, se tomaron datos y muestras, que permitieron caracterizar las unidades de roca y suelo, muestras, alteradas e inalteradas mediante exploración directa en taludes de corte, apiques, trincheras, y barreno. La descripción de los materiales geológicos con fines ingenieriles requiere determinar sus propiedades básicas y obtener parámetros para su clasificación geomecánica.

La identificación de la litología de los materiales se basó en las clasificaciones geológicas de las rocas de acuerdo con su origen (sedimentaria), composición (cuarzosas, arcillosas, feldespáticas, etc.), texturales (tamaño de grano, tipo de cementación, cristalinidad, porosidad, estratificación), edad y formación a la que pertenecen. Estas características se obtienen mediante la descripción de perfiles de afloramientos rocosos, exploración del subsuelo, muestreo de suelos y rocas, ensayos *in situ* y análisis de laboratorio.

Se diligenciaron las fichas descriptivas, para cada lugar donde se realizaron descripciones, exploraciones y toma de muestras, consignando las propiedades ingenieriles de las UGS: resistencia, consistencia, condición de humedad, densidad relativa y compacidad.

La medida de resistencia en campo, se realizó mediante el ensayo (*in situ*) con penetrómetro de bolsillo para apoyar la evaluación geológico-geotécnica, enterrando manualmente a una profundidad predeterminada, midiendo la presión requerida para su penetración, este ensayo da un valor muy crudo de la resistencia a la compresión confinada y su utilización requiere correlaciones con otros ensayos. En campo se tomaron 5 lecturas de resistencia en cada estación.

Para la toma de las muestras se ejecutaron apiques a una profundidad promedio de 1.5 m, se utilizaron los cortes naturales y taludes expuestos en las vías (Figura 70 a la Figura 81).

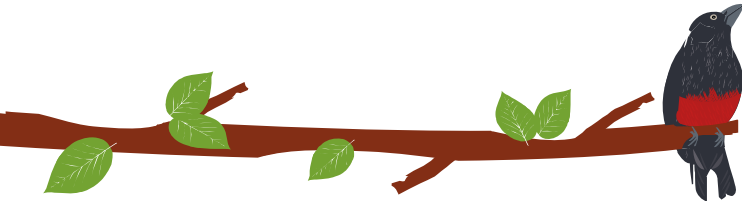
En la caracterización litológica y geomecánica de los materiales que conforman el área de la cuenca, y considerando criterios de inestabilidad como son los procesos morfodinámicos, la inclinación de laderas, el grado de fracturamiento de las rocas, las unidades geológicas superficiales UGS, se realizaron 53 estaciones de campo donde se identificaron los perfiles de meteorización y se caracterizó el macizo rocoso, se tomaron 49 muestras superficiales de suelo y/o roca (alteradas e inalteradas) ver Figura 70 a Figura 81, para la caracterización de unidades superficiales que presentan susceptibilidad alta y/o media a deslizamientos. Ver **Anexo 2** y **Anexo 3**.



Figura 70. Toma de muestra en suelo residual arcillo



Figura 71. Prueba de penetrómetro en suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-07,



arenoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-01, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Uramita, vereda El Pital, coordenadas (1104613.6E – 1250227.46N).

vereda Cestillal, municipio de Cañasgordas, (1110663.9E – 1250219.8N)



Figura 72. Toma de muestra inalterada de suelo residual arenolimoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-04, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda El Madero, coordenadas (1119730.5E – 1235601.7N).



Figura 73. Apique de 2X0.5m sobre suelo residual arenolimoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-04, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda El Madero, coordenadas (1119730.5E – 1235601.7N).



Figura 74. Apique de 1.5X0.5m realizado sobre suelo residual arcilloarenoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-03, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan, coordenadas (1232728.4E – 1121853.7N).



Figura 75. Suelo residual arcilloarenoso o de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-03. Prueba con penetrómetro Vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan (1232728.4E – 1121853.7N)

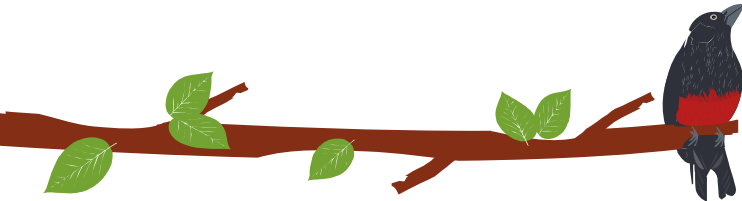


	
Figura 76. Prueba de penetrómetro sobre suelo residual arcilloso de la unidad Srs1K2cn, estación JAM-15, vereda Caunce, municipio de Uramita, coordenadas (1255616.5E – 1102792.4N).	Figura 77. Prueba de penetrómetro sobre suelo residual arenoarcilloso de la unidad Terraza aluvial StctaQ2t, estación JAM-16, vereda Alto Bonito, municipio de Dabeiba, coordenadas (1111954.9E – 1255576.7N).
	
Figura 78. Prueba de penetrómetro suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-20, vereda El Pital, municipio de Dabeiba coordenadas (1063309E – 1375915N).	Figura 79. Toma de muestra de suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-21, vereda Dabeiba Viejo, municipio de Dabeiba coordenadas (1089907.8 E – 1260402.1N).

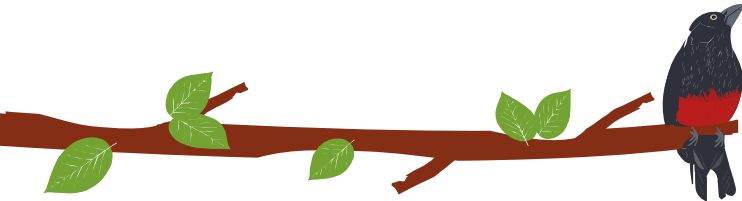


Figura 80. Toma de muestra inalterada de suelo residual arenolimoso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-23, vereda Pernilla, municipio de Cañasgordas, vereda Pernilla, coordenadas (1112262E - 1241980.5N).



Figura 81. Toma de muestra inalterada de suelo residual arcilloso de la unidad Srs2K2alu, estación JAM-52, vereda Camparrusia, municipio de Dabeiba, coordenadas (1106191.7E - 1270461.3N).

Clasificación geomecánica: la clasificación geomecánica del macizo rocoso, se realizó a través de la observación directa de las características (Tabla 26), con la ayuda del índice Geológico de Resistencia (GSI, por sus siglas en inglés), el cual es un sistema que utiliza el carácter geológico del material rocoso junto con la evaluación visual del macizo, como una forma para la selección de parámetros que permiten la predicción de su resistencia y deformabilidad (Servicio Geológico Colombiano, 2017), ver Figura 85 a la Figura 98.

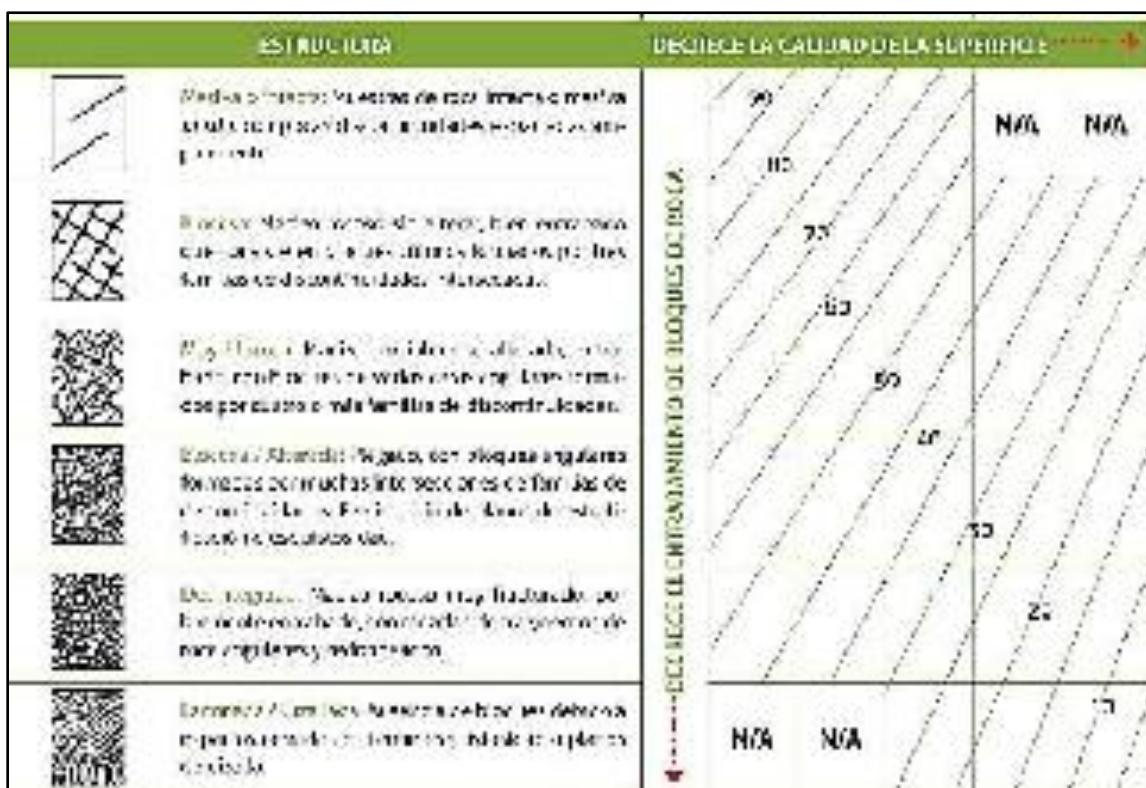
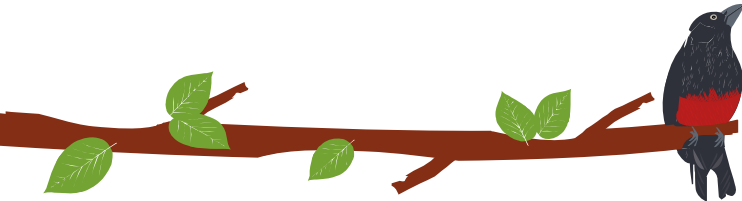


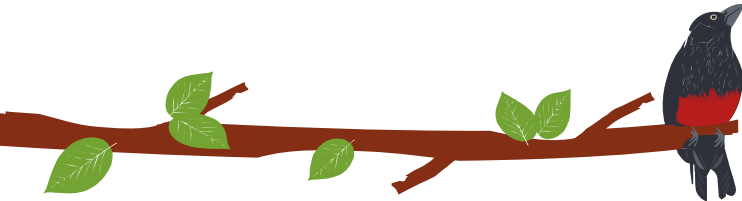
Figura 82. Índice de resistencia geológica para rocas diaclasadas (Hoek y Marinos, 2000). Elaboración propia a partir de fuente Servicio Geológico Colombiano (2017).

El GSI se presenta como un método sencillo a nivel ingenieril para clasificar las discontinuidades y su efecto en el comportamiento de un macizo rocoso; este índice permite valorar de manera rápida si un macizo rocoso ha sido sometido a diferentes tipos de esfuerzos y la valoración del carácter geológico del material rocoso (Marinos et al., 2007). El (GSI) está basado en una valoración de la litología, la estructura y las condiciones de las superficies de discontinuidades dentro del macizo rocoso, y es estimado mediante un examen visual de macizo rocoso en los afloramientos, en excavaciones superficiales como en cortes de carretera y en las caras de túneles y núcleos de testigos (Marinos et al., 2007).

El valor del índice GSI (Geological Strength Index - índice de Resistencia introducido por Hoek (1994) y Hoek et al. (1995) permite estimar la reducción del macizo rocoso para distintas condiciones geológicas, en función del grado y de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. Esta carta fue utilizada para estimar los valores de GSI en los materiales encontradas en el área de estudio (Figura 112) para macizos rocosos diaclasado con una calidad extremadamente pobre de material laminado, como limolitas, arcillolitas laminadas o filitas, a veces interestratificadas con rocas más resistentes como areniscas, calizas o cuarcitas.

Tabla 26. Valores de GSI encontrados en la cuenca Río Sucio Alto

ESTACIÓN	UGS	GSI	ESTACIÓN	UGS	GSI
JAM01	Srs2	20	JAM30	Srs1	60
JAM04	Srs2	20	JAM31	Srs1	20
JAM05	Ris1	60	JAM32	Srie1	20
JAM06	Riive1	60	JAM33	Sii2	20
JAM07 F2	Srs2	40	JAM34	Rdii2	90

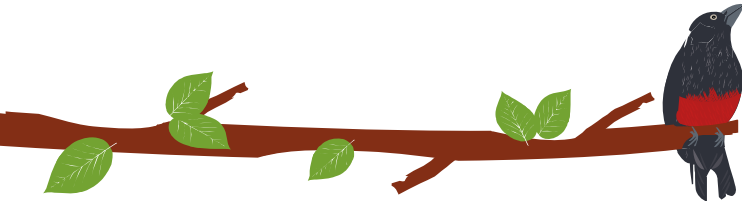


JAM07 F3	Ris2	30		JAM35	Sii2	20
JAM09-C2	Ris1	60		JAM36	Sii2	20
JAM10	Srs1	30		JAM37	Rdii2	50
JAM11	Srs1	20		JAM38	Rdii2	90
JAM12	Srs1	50		JAM39	Srs2	20
JAM13	Ris1	60		JAM40	Srs2	20
JAM14	Srie1	20		JAM41	Srs2	20
JAM15	Srs2	20		JAM42	Ris2	30
JAM 16	Stcta	50		JAM43	Srs2	20
JAM17	Rmbs	50		JAM44	Ris2	40
JAM18	Riiev4	60		JAM45	Srs2	30
JAM19	Srs2	40		JAM46	Ris1	30
JAM20	Srs2	20		JAM47	Srs1	20
JAM21	Srs2	20		JAM48	Srs1	20
JAM22	Srie4	20		JAM49	Ris1	60
JAM23	Srs2	20		JAM50	Srs2	20
JAM24	Srs2	20		JAM51	Ris2	40
JAM25	Srs1	20		JAM52	Srs2	20
JAM26	Srie1	60		JAM53	Ris1	60
JAM27	Srie4	20		JAM30	Srs1	60
JAM28	Riiev4	50				
JAM29	Srie4	20				

Fuente: Elaboración propia

Grado de meteorización: el grado de meteorización de las rocas, se definió con la ayuda de los perfiles generalizados de Deere & Patton (1971) y Dearman (1974, 1991), los cuales considera como suelo a los horizontes VI (suelo residual), V (roca completamente meteorizada o descompuesta, saprolito fino) y IV (roca altamente meteorizada o descompuesta, saprolito grueso) del perfil de meteorización de Dearman (1974, 1991) (Figura 83).

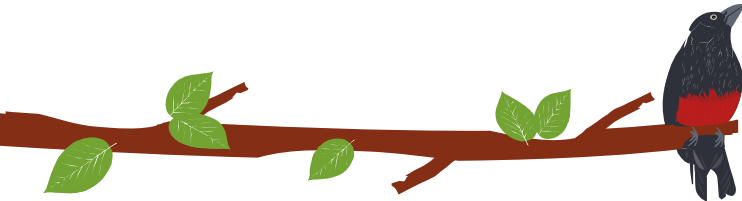
El tipo y grado de meteorización influye en la estabilidad de las laderas y en la acción de los procesos erosivos, al igual que sobre las propiedades físico-mecánicas de las rocas, tales como densidad, esfuerzo a la comprensión inconfina, esfuerzo a la tensión inconfina, porosidad, permeabilidad, deformabilidad y consistencia.



DEERE Y PATTON (1971) (TODAS LAS ROCAS) ZONA		DEARMAN (1974-1991) (TODAS LAS ROCAS)			FORERO ET AL, (1999) (TODAS LAS ROCAS)		DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE CAMPO
		ZONA	GRADO	UNIDAD			
I -SUELO RESIDUAL	IA. HORIZONTE A (Capa vegetal)	SUELO RESIDUAL (Sr)	VI	SUELO	SUELO	SUELO RESIDUAL TROPICAL (SUELO IN SITU) >50% Suelo	Las capas superiores, ricas en materia orgánica, contienen humus y restos de raíces de plantas; generalmente de color gris oscuro. Todo el material rocoso es convertido a suelo. La macro fábrica y la estructura original es destruida. Característicamente arcillo-limoso. Suelo sin estructuras heredadas.
	IB. HORIZONTE B						
	IC. HORIZONTE C (SAPROFITO) (Roca descompuesta)	ROCA COMPLETAMENTE METEORIZADA (Rpm)	V		SAPROLITO FINO	Roca decolorada pasando generalmente a colores variados. Macizo rocoso completamente descompuesto y/o desintegrado a suelo, pero aun conservando algo de la macro fábrica original. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se conservan. Presencia de fragmentos rocosos entre 10 y 35%, fácilmente excavable y desmenuzable, aun sin ayuda del martillo. Ocasionalmente pueden recobrarse núcleos. Suelos con estructuras heredadas.	
II -ROCA METEORIZADA	IA TRANSICIÓN DESDE SAPROLITO HASTA ROCA METEORIZADA	ROCA ALTAMENTE METEORIZADA (Ram)	IV	ROCA Y SUELO - MATERIAL INTERMEDIO	SAPROLITO GRUESO	SAPROLITO	Roca decolorada y altamente alterada, en la cual más del 50% del material rocoso está descompuesto o desintegrado a suelo. Fragmentos rocosos rompibles y desmenuzables sin ayuda del martillo. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se mantienen, en general se presentan oxidadas, abiertas, con o sin relleno. Saprolito con fragmentos pequeños de roca. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se conservan. Las estructuras heredadas (planos de estratificación, foliación, diaclasas y fallas) se conservan. La meteorización esferoidal es común. Presencia de fragmentos de roca sin meteorizar entre 35 y 70%.
	IIB ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA	ROCA MODERADAMENTE METEORIZADA (Rmm)	III				MACIZO ROCOSO METEORIZADO >50% Roca
III -ROCA NO METEORIZADA	III ROCA FRESCA	ROCA DÉBILMENTE METEORIZADA (Rdm)	II	ROCA	MACIZO ROCOSO NO METEORIZADO		
		ROCA NO METEORIZADA (FRESCA) (Rf)	I				Roca fresca sin signos visibles de meteorización. Las discontinuidades mayores pueden presentar ocasionalmente decoloración y oxidación. +C1:19

Figura 83. Comparación de perfiles de meteorización de un macizo rocoso según Deere y Patton (1971), Dearman (1974, 1991) y Forero et al. (1999), Fuente (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Rasgos estructurales: se evaluaron a través de la medición y conteo de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso, obteniendo luego la densidad de estos rasgos estructurales (fallas, lineamientos y diaclasas) ver Figura 85 a la Figura 98.



Los tipos de discontinuidades que se pueden diferenciar en un afloramiento rocoso incluyen las diaclasas, planos de estratificación, laminación, foliación, fallas, diques y superficies de contacto entre rocas sedimentarias y metamórficas o ígneas. La orientación de las familias de discontinuidades con respecto a la dirección del talud, así como su espaciamiento, persistencia, abertura, rugosidad y resistencia de las paredes, determinan en un macizo rocoso su comportamiento ante cargas y cortes o excavaciones.

Las fallas producen una zona de debilidad por varios metros al lado y lado, y en el caso de grandes fallas de centenares de metros en dirección normal a éstas. En el caso de la cuenca Río Sucio Alto son verdaderas familias de fallas que parecen especies de diaclasamiento (Figura 85 a la Figura 98). El material fracturado a lado y lado de la falla produce zonas inestables dentro de la formación estables, en la cuenca es común que los deslizamientos estén directamente relacionados con la presencia de las fallas geológicas.

1.13.8.1.1 Índice de fracturamiento Jv

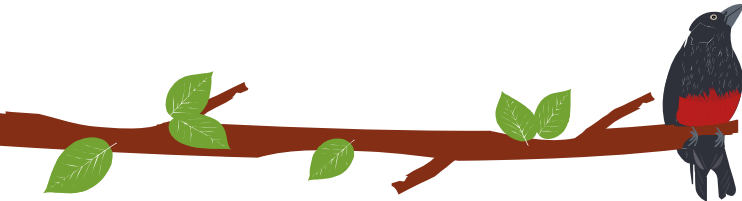
Mide la intensidad de fracturamiento de un macizo rocoso y se define como la sumatoria del número de discontinuidades por familia, encontrados por metro cúbico, en un afloramiento. En forma práctica, para calcular este valor, se suman las discontinuidades de la misma familia, encontradas en un tramo o longitud que puede variar entre 5 y 10 m, medido en forma perpendicular a la dirección de cada familia:

$$J_v = \sum ((\text{Numero de discontinuidades por familia} / \text{longitud (m)})$$

Mediante este valor encontrado y de acuerdo con lo sugerido por la ISRM (1981), se puede estimar el tamaño del bloque (Tabla 6):

Tabla 27. Correlación de los parámetros de calificación de las discontinuidades, utilizados por INGEOMINAS para clasificar la calidad de los macizos rocosos.

TIPO DE MACIZO	NÚMERO DE FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES	DESCRIPCIÓN DEL TAMAÑO DE BLOQUE	GSI (%)	Jv No. DISCONT./M ³	CLASIFICACIÓN UGS
VIII-IX	Cuatro o más familias de discontinuidades brechificado	BLOQUES MUY PEQUEÑOS	0-30	>30	Roca blanda



VI-VII	Tres familias discontinuidades otras ocasionales	de más	BLOQUES PEQUEÑOS		10-30	
IV-V	Dos familias discontinuidades otras ocasionales	de más	BLOQUES MEDIANOS	30-60	3-10	Roca intermedia
II-III	Una familia discontinuidades otras ocasionales	de más	BLOQUES GRANDES	60-80	1-3	ROCA DURA
I	Masivo, discontinuidades ocasionales		BLOQUES MUY GRANDES	80-90	<1	ROCA MUY DURA

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 84, se espacializan las estaciones en donde se hicieron las descripciones de las propiedades geomecánicas de los materiales encontrados en cada una de ellas, tales como la medición y conteo de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso, obteniendo luego la densidad de estos rasgos estructurales (fallas, lineamientos y diaclasas) ver Figura 85 a la Figura 98.

Los tipos de discontinuidades encontrados en los afloramientos rocoso incluyen las diaclasas, planos de estratificación, laminación, foliación, fallas y superficies de contacto.

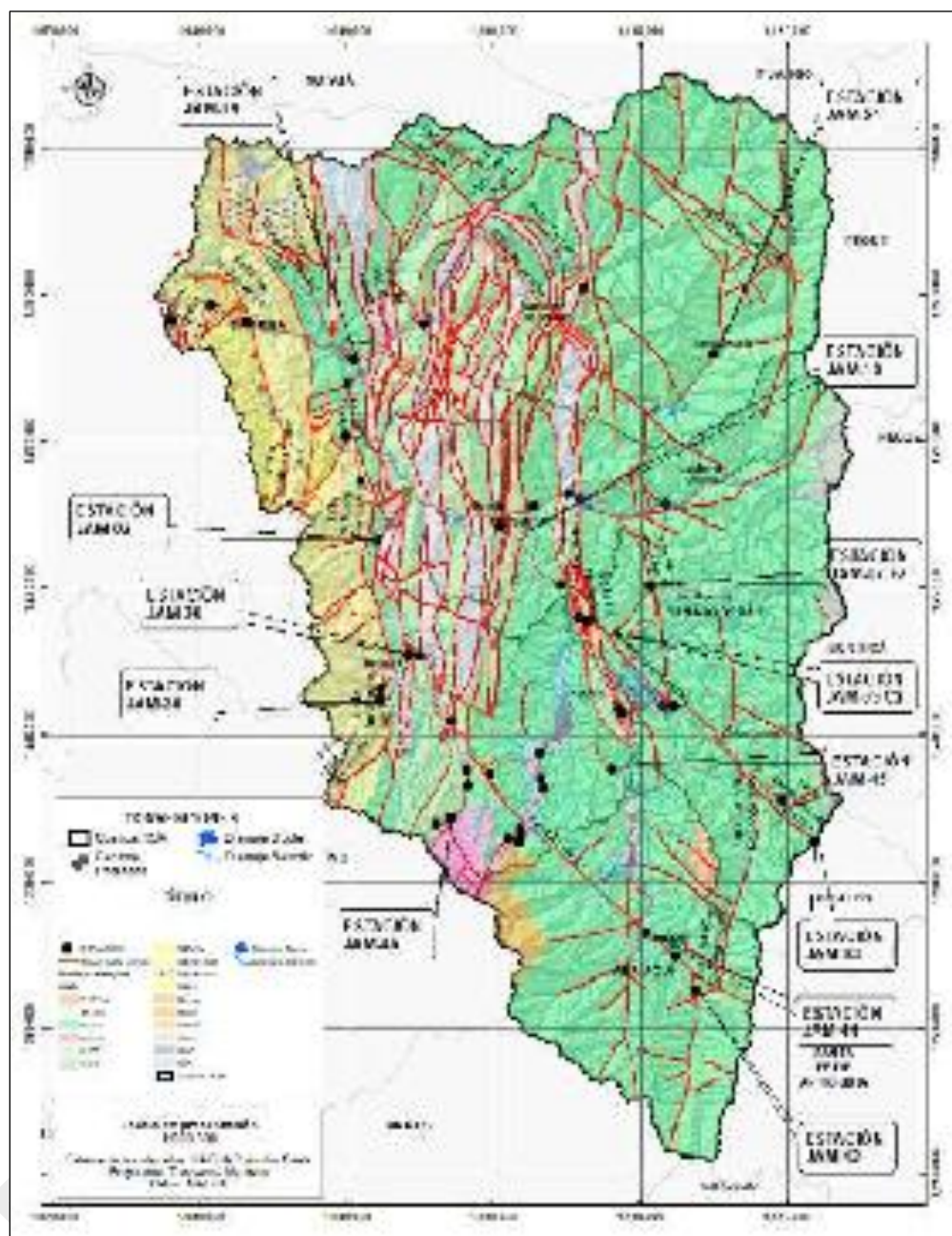
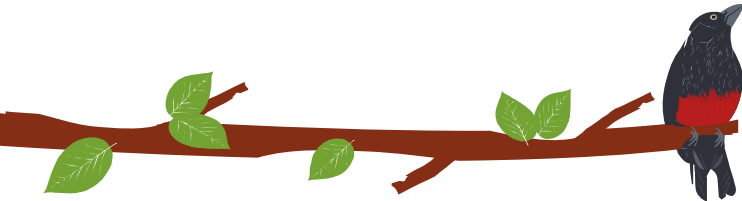


Figura 84. Localización de las estaciones de medición y conteo de las discontinuidades presentes en el macizo rocoso de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.

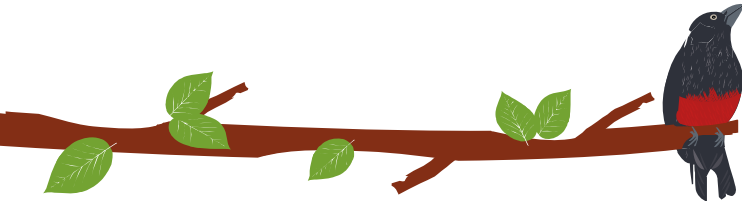


Figura 85. Discontinuidades presentes en el macizo rocoso de las diabasas y basaltos de San José de Urama (JK1du), ligeramente alteradas, estación JAM-02 vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan Río Verde, municipio de Uramita coordenadas (1092031.5E - 1253328.3N).



Figura 86. Discontinuidades presentes en el macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), sin alterar, bien entrabadas, bloques formados por tres familias de discontinuidades intersectadas, estación JAM-03, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Cirigüan, coordenadas (1232728.4E - 1121853.7N)



Figura 87. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), con pocas discontinuidades espaciadas ampliamente, estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N).



Figura 88. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), con pocas discontinuidades espaciadas ampliamente, también se observa los planos de estratificación, estación JAM-05, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106263.6 E - 1247864.6 N)

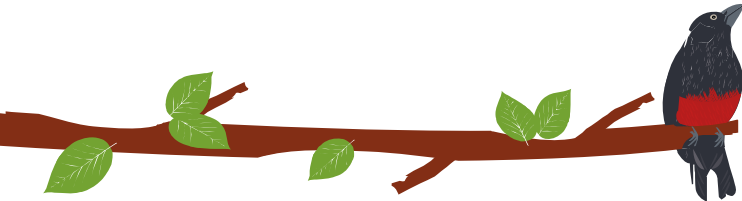


Figura 89. Macizo de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), parcialmente alterado, entrabado, con bloques de varias caras angulares, estación JAM-07, vereda Cestillal, municipio de Cañasgordas, (1110663.9E - 1250219.8N).



Figura 90. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), estación JAM-09 C2, vía Nacional Medellín - Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1106696.4E - 1247825.4N)



Figura 91. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), muy fracturado, superficie pobremente entrabado, desintegrada, estación JAM-10 C2, vía Nacional Medellín - Turbo, municipio de Cañasgordas, vereda Botija Bajo, coordenadas (1105758.5E - 1248007.7N). Zona de enjambre de fallas.



Figura 92. Milonita de falla presentes en el macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), estación GJAM-16, vía Uramita-Junta de Uramita, municipio de Uramita, vereda Santo Domingo, coordenadas (1111954.9 E - 1255576.7 N)

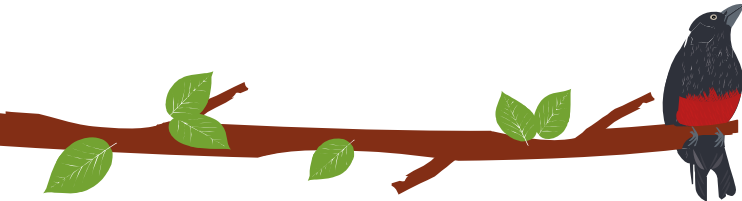


Figura 93. Macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), muy fracturado, plegado, con bloques pequeños angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, persistencia de esquistosidad, estación JAM-19, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda El Pital, coordenadas (1105758.5E - 1248007.7N).



Figura 94. Disposición del macizo rocoso de las litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), muy fracturado presente en la estación JAM-19, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Dabeiba, vereda El Pital, coordenadas (1105758.5E - 1248007.7N).



Figura 95. Macizo rocoso de los Basaltos de El Botón, muy fracturado,, con bloques pequeños angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, parcialmente alterado, estación JAM-28, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N).



Figura 96. Macizo rocoso de los derrames diabásicos y basálticos de los Basaltos de El Botón, muy fracturado, con bloques angulosos formados por intersecciones de familias de discontinuidades, estación JAM-28, vía Nacional Medellín – Turbo, municipio de Frontino, vereda El Llano, coordenadas (1092264.9E - 1242571.3N).

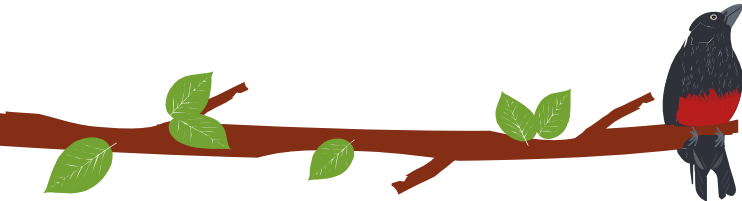
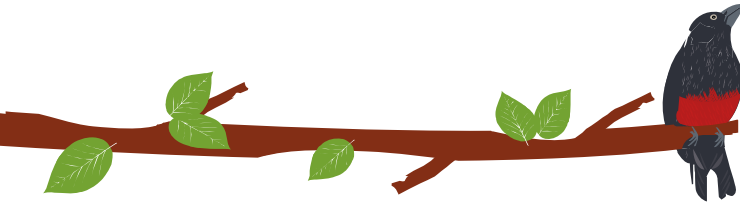


	
Figura 97. Macizo rocoso de los Chert y calizas de Nutibara (K2cn), desintegradas, muy fracturado, pobremente entrabado, con mezcla de fragmentos de roca angulares, muy alteradas, estación JAM-32, municipio de Frontino, vereda El Paso, coordenadas (1094171.6E - 1245445.4N).	Figura 98. Roca masiva <i>in situ</i> de la Monzonita del Cerro Frontino (Nmcf), con pocas discontinuidades, estación JAM-34, vereda El Cerro, sector La Mina, municipio de Frontino, coordenadas (1101737.9E - 1232686.6N)

En la medida en que los detalles de la microfábrica y de la macroestructura se preservan en el suelo residual, se presentan estructuras heredadas dentro del suelo, las cuales actúan como discontinuidades que pueden eventualmente facilitar la ocurrencia de deslizamientos.

Aunque estas juntas relictas sufren un proceso de debilitamiento por la meteorización, su localización, orientación, continuidad y su papel como planos preferenciales de debilidad se mantienen.

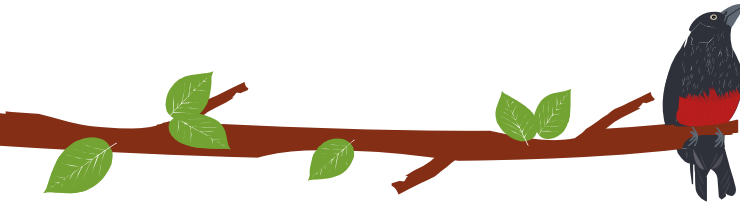
La descripción de las propiedades geomecánicas de los materiales encontrados en cada estación tales como espesor, tipo de material, tamaño de grano, distribución granulométrica, color, plasticidad y contenido de humedad, se compilaron y se muestran en la Tabla 28.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

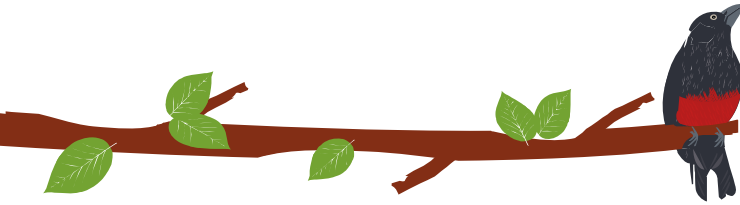
Tabla 28. Resumen de los datos *in situ* por unidades geológicas

ESTACIÓN	UGS	Textura	Humedad Natural	Permeabilidad Cualitativa	Forma de los clastos	Redondez de los clastos	Orientación de los clastos	Granulometría	Plasticidad	Penetrómetro	Fábrica	Humedad Natural	Tamaño de grano	Grado de Meteorización	Dureza	GSI
JAM01	Srs2	Clasto soportado	Húmedo	Baja	Tabular	Angular	Isotropía	Arcilla	Poco Plástico	0.63						20
JAM02	Stcta	Clasto soportado	Seco	Media	Esférica	Subredondeada	Isotropía	Arena media	No plástico	1.16						
JAM03	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Esférica	Subredondeada	Anisotropía	Arena fina	Poco Plástico	1.16	Clástica consolidada	Seco	Fino	Alta	Moderada	
JAM04	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Alta	NA	NA	NA	Arena fina	Plástico	0.9	Cristalina foliada	Húmedo	Fino	Moderada	Moderada	20
JAM05	Ris1										Clástica consolidada	Seco	Fino	Débil	Muy dura	60
JAM06	Riive1										Cristalina masiva	Seco	Grueso	Débil	Dura	60
JAM07 F2	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Media	NA	NA	NA	Limo	Plástico	0.43						40
JAM07 F3	Ris2										Clástica consolidada	Húmedo	Fino	Alta	Blanda	30
JAM09-C2	Ris1										Cristalina foliada	Seco	Fino	Moderada	Dura	60
JAM10	Srs1	Clasto soportado	Húmedo	Media	Tabular	Subredondeada	Imbricado	Arena fina	Poco Plástico	0.73						30
JAM11	Srs1	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Esférica	Subredondeada	Isotropía	Limo	Plástico	0.5						20
JAM13	Ris1										Clástica cementada	Seco	Fino	Moderada	Moderada	60
JAM14	Srie1	Intermedia	Húmedo	Media	Esférica	Subredondeada	Anisotropía	Arena fina	Poco Plástico	0.63						20
JAM15	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Media	Esférica	Subredondeada	Anisotropía	Arena fina	Poco Plástico	0.3	Clástica cementada	Seco	Fino	Moderada	Moderada	20
JAM 16	Stcta	Clasto soportado	Húmedo	Media	Tabular	Subangular	Anisotropía	Arena fina	No plástico	0.73						50
JAM17	Rmbs										Clástica consolidada	Húmedo	Fino	Alta	Moderada	50
JAM18	Riiev4										Cristalina masiva	Seco	Fino	Moderada	Dura	60
JAM19	Srs2										Clástica consolidada	Seco	Fino	Moderada	Blanda	40



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

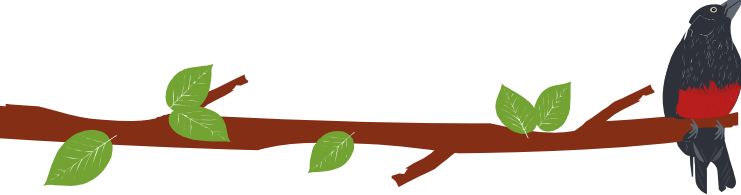
ESTACIÓN	UGS	Textura	Humedad Natural	Permeabilidad Cualitativa	Forma de los clastos	Redondez de los clastos	Orientación de los clastos	Granulometría	Plasticidad	Penetrómetro	Fábrica	Humedad Natural	Tamaño de grano	Grado de Meteorización	Dureza	GSI
JAM20	Srs2	Matriz soportado	Seco	Media	Tabular	Subangular	Anisotropía	Limo	Poco Plástico	1.46						20
JAM21	Srs2	Matriz soportado	Seco	Media	Prismático	Subangular	Anisotropía	Limo	No plástico	0.66						20
JAM22	Srie4	Matriz soportado	Húmedo	Media	Prismático	Subredondeada	Isotropía	Limo	Poco Plástico	3.7						20
JAM23	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Alta	NA	NA	NA	Arena fina	Plástico	2.23						20
JAM24	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Media	Prismático	Angular	Isotropía	Guijos	No plástico	2.66						20
JAM25	Srs1	Matriz soportado	Húmedo	Baja	NA	NA	NA	Arcilla	Plástico	0.8						20
JAM26	Srie1	Clasto soportado	Húmedo	Media	Prismático	Angular	Anisotropía	Arcilla	Plástico	1.1						60
JAM27	Srie4	Matriz soportado	Húmedo	Baja	NA	NA	NA	Arcilla	Muy Plástico	0.56						20
JAM28	Riiev4										Cristalina masiva	Húmedo	Grueso	Alta	Blanda	50
JAM29	Srie4	Matriz soportado	Húmedo	Media	Esférica	Subangular	Anisotropía	Arena fina	No plástico	1.4						20
JAM30	Srs1										Clástica cementada	Seco	Fino	Débil	Moderada	60
JAM31	Srs1	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Prismática	Subangular	Anisotropía	Arcilla	Plástico	0.5						20
JAM32	Srie1	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Discoidal	Subredondeada	Isotropía	Limo	Plástico	3.5						20
JAM33	Sii2	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Esférica	Subredondeada	Anisotropía	Arcilla	Muy Plástico	1.23						20
JAM34	Rdii2										Cristalina masiva	Seco	Grueso	Débil	Muy dura	90
JAM35	Sii2	Clasto soportado	Húmedo	Alta	Discoidal	Angular	Anisotropía	Arena gruesa	No plástico	2.16						20
JAM36	Sii2	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Prismática	Angular	Isotropía	Grava	Muy Plástico	0.63						20
JAM37	Rdii2										Cristalina masiva	Húmedo	Grueso	Moderada	Blanda	50



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

ESTACIÓN	UGS	Textura	Humedad Natural	Permeabilidad Cualitativa	Forma de los clastos	Redondez de los clastos	Orientación de los clastos	Granulometría	Plasticidad	Penetrómetro	Fábrica	Humedad Natural	Tamaño de grano	Grado de Meteorización	Dureza	GSI
JAM38	Rdi2										Cristalina masiva	Húmedo	Grueso	Débil	Muy dura	90
JAM39	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Media	NA	NA	NA	Limo	Plástico	0.46						20
JAM40	Srs2	Clasto soportado	Húmedo	Baja	Prismática	Angular	Isotropía	Guijos	Plástico	0.56						20
JAM41	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Discoidal	Angular	Anisotropía	Guijos	Plástico	1.06						20
JAM42	Ris2										Clástica consolidada	Seco	Fino	Alta	Blanda	30
JAM43	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Prismática	Subredondeada	Anisotropía	Arcilla	Plástico	0.4						20
JAM44	Ris2										Clástica consolidada	Seco	Fino	Alta	Blanda	40
JAM45	Srs2	Matriz soportado	Seco	Baja	Prismática	Subredondeada	Isotropía	Limo	Poco Plástico	2.5						30
JAM46	Ris1										Clástica consolidada	Húmedo	Fino	Alta	Blanda	30
JAM47	Srs1	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Tabular	Subangular	Isotropía	Limo	Plástico	0.83						20
JAM48	Srs1	Matriz soportado	Húmedo	Media	Esférica	Subredondeada	Anisotropía	Arena media	No plástico	0.46						20
JAM49	Ris1										Clástica cementada	Seco	Fino	Moderada	Moderada	60
JAM50	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Esférica	Subredondeada	Anisotropía	Arcilla	Plástico	0.6						20
JAM51	Ris2										Clástica cementada	Seco	Fino	Moderada	Moderada	40
JAM52	Srs2	Matriz soportado	Húmedo	Baja	Prismática	Subangular	Anisotropía	Arcilla	Muy plástico	0.1						20
JAM53	Ris1										Clástica cementada	Seco	Fino	Moderada	Moderada	60

Fuente: Elaboración propia.



1.13.8.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Las muestras de suelo obtenidas durante la etapa de exploración fueron debidamente rotuladas y protegidas (cadena de custodia) y posteriormente llevadas al laboratorio para realizar ensayos de humedad, granulometría, límites de Atterberg, índice de plasticidad, peso específico, consolidación, resistencia (cortes y compresión inconfiada), deformación (consolidación y control de expansión rápida), cohesión, fricción, peso unitario. Los ensayos de laboratorio se efectuaron para complementar los atributos de cada una de las unidades cartografiadas. (Anexo 2.3. Caract. Físico - Biótica / 2. Geología-geomorfología Formatos de campo) y (Anexo 2.3. Caract. Físico - Biótica / 2. Geología-geomorfología/ Formatos de campo).

En la **Tabla 4** se presenta cuadro resumen de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras tomadas en la exploración geotécnica. Ver soportes de ensayos de laboratorio en el **Anexo 4**.

Tabla 29. Ensayos de laboratorios realizados

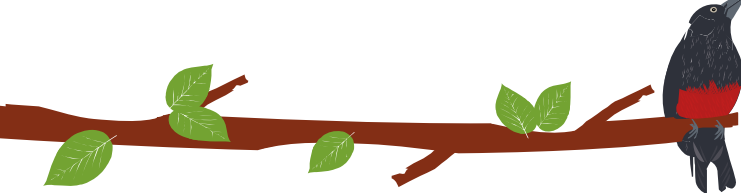
Ensayos de Laboratorio	Unidad	Cantidad
Determinación del contenido de humedad natural	UND	32
Límites de consistencia	UND	33
Granulometría	UND	32
Lavado Pasa Tamiz 200	UND	32
Peso Unitario	UND	32
Resistencia a la compresión inconfiada en suelo	UND	5
Carga Puntual	UND	7
Corte Directo – CU (Tres puntos – Tiempo de falla 3 horas)	UND	4
Consolidación lenta	UND	4
Compactación	UND	5
Gravedad Específica	UND	5
Resistencia con Penetrómetro	UND	33

Fuente: Elaboración propia.

Para la determinación de las propiedades índice de los suelos y el ajuste de las descripciones realizadas en campo, se realizaron los siguientes ensayos de clasificación: humedad natural, límites líquido y plástico, lavado sobre el tamiz N°. 200, granulometrías, peso unitario y gravedad específica.

Los parámetros de resistencia de los materiales del subsuelo se establecen a partir de ensayos de compresión inconfiada, carga puntual, corte directo en condición sumergida, practicados a muestras inalteradas y representativas de cada unidad. De otra parte, los parámetros de deformación para las unidades se establecieron a partir de ensayos de consolidación.

En el **Anexo 4** se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados sobre las muestras representativas, así mismo se incluye el resumen de estos resultados y en la **Tabla 6** y **Tabla 7** se sintetizan los valores obtenidos para las unidades identificadas en el área de interés, de acuerdo con su caracterización, resistencia de los materiales y propiedades geomecánicas. En estas tablas se puede comparar los



diferentes rangos de valores de propiedades geomecánicas de cada una de unidades identificadas y analizadas.

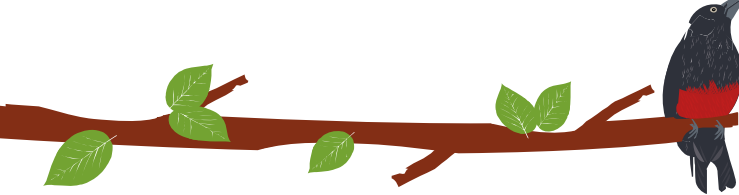
Tabla 30. Resumen de resultados de laboratorio por unidades geológicas

ESTACIÓN	UGS	Humedad Natural (%)	Límite Plástico (%)	Límite Líquido (%)	Índice de plasticidad	USCS	AASHTO	% Gravas	% Arenas	% Finos	P.E. APARENTE
JAM01	Srs2	11	20	38	18	SC	A-6 (3)	18.8	39.6	41.6	2.66
JAM03	Srs2	10	24	43	19	SC	A-7-5 (4)	13.4	45.7	40.9	2.69
JAM04	Srs2	22	36	47	11	SM	A-2-7 (0)	0	66.9	33.1	2.67
JAM07 F2	Srs2	41	27	46	19	CL	A-7-5 (15)	2.5	21.2	76.3	2.6
JAM10	Srs1	25	25.4			CL	A-7-5 (12)	15.2	17.4	67.4	2.68
JAM11	Srs1	33	34	59	25	MH	A-7-5 (27)	2.2	8.5	89.3	2.55
JAM14	Srie1	22	33	52	19	MH	A-7-5 (11)	5.5	31.9	62.6	2.57
JAM15	Srs2	19	18	35	17	CL	A-6 (13)	1.4	18.2	80.4	2.6
JAM 16	Stcta	22	23	39	16	SC	A-6 (4)	21	33.2	45.8	2.64
JAM20	Srs2	12	24	45	21	CL	A-7-5 (9)	12.2	32.9	54.9	2.63
JAM21	Srs2	19	21	40	19	CL	A-6 (11)	1.4	30.7	67.9	2.67
JAM22	Srie4	11	21	38	17	SC	A-6 (3)	23.3	33.7	43	2.55
JAM23	Srs2	14	NA	NA	NP	SP-SM ó SP-SC	A-1-b	0	89.8	10.2	2.7
JAM24	Srs2	30	30	51	21	MH	A-7-5 (23)	0.3	7.8	91.9	2.64
JAM25	Srs1	45	29	48	19	ML	A-7-5 (20)	0.6	9.7	89.7	2.69
JAM26	Srie1	40	36	44	8	ML	A-5 (9)	1.7	17.3	81	2.5
JAM27	Srie4	61	39	64	25	MH	A-7-5 (32)	0	3	97	2.6
JAM29	Srie4	31	27	36	9	SM	A-2-4 (0)	0	68.7	31.3	2.59
JAM31	Srs1	29	31	53	22	MH	A-7-5 (22)	0	15.2	84.8	2.55
JAM32	Srie1	39	30	47	17	ML	A-7-5 (20)	0	4.2	95.8	2.57
JAM33	Sii2	34	28	38	10	ML	A-4 (12)	0	3.3	96.7	2.61
JAM35	Sii2	22	NA	NA	NP	SP-SM ó SP-SC (NP)	A-1-b	0	89	11	2.84
JAM36	Sii2	35	34	41	7	ML	A-5 (6)	16.7	13.4	69.9	2.6
JAM39	Srs2	48	37	52	15	MH	A-7-5 (19)	1.5	6.7	91.8	2.6
JAM40	Srs2	41	44	57	13	MH	A-7-5 (18)	0	8.5	91.9	2.55
JAM41	Srs2	22	30	41	11	ML	A-7-5 (4)	4.7	40.5	54.8	2.59
JAM43	Srs2	44	47	70	23	MH	A-7-5 (29)	2.3	7.1	90.6	2.59
JAM45	Srs2	28	36	54	18	MH	A-7-5 (17)	3.6	18.6	77.8	2.63
JAM47	Srs1	60	41	57	16	MH	A-7-5 (22)	0	5.7	94.3	2.56
JAM48	Srs1	30	34	38	4	ML	A-4 (3)	0	32.2	67.8	2.62
JAM50	Srs2	41	35	53	18	GM	A-7-5 (6)	31	19.8	49.2	2.63
JAM52	Srs2	29	32	44	12	ML	A-7-5 (7)	5,5	30,6	63,9	2.58

Fuente: Elaboración propia.

1.13.8.2.1 Análisis de los ensayos de laboratorio

Plasticidad: Clasificación de suelos de partículas finas en el laboratorio del sistema unificado de clasificación de suelos – SUCS de Arthur Casagrande, donde se relaciona el límite líquido con el índice plástico.



La Figura 99, muestra que la cantidad de agua adsorbida por los minerales de la arcilla depende de la capacidad de cambio catiónico y de la superficie específica (González de Vallejo, 2002). La plasticidad baja corresponde a las caolinitas y la más alta a las esmectitas, siendo las montmorillonitas sódicas las más elevadas dentro del este grupo.

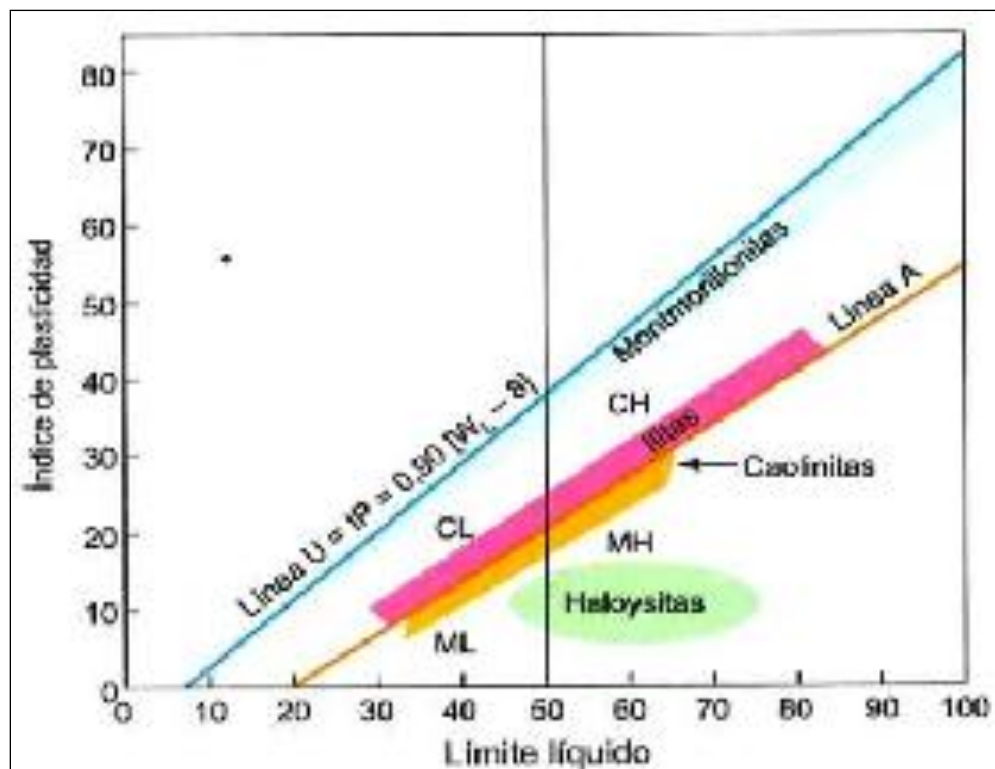


Figura 99. Influencia de la Composición Mineralógica en la Plasticidad – Day 1999. Elaboración propia a partir de Gonzales de Vallejo (2002).

En los Gráfico 2 y Gráfico 3, se presentan las propiedades de las unidades geológicas, donde se muestra la carta de plasticidad realizada para cada unidad geológica de acuerdo con los ensayos de laboratorio. Se observa homogeneidad de los materiales predominantemente limoarenoso, clasificados CL, ML y MH en su mayoría, clasificados de baja a media plasticidad.

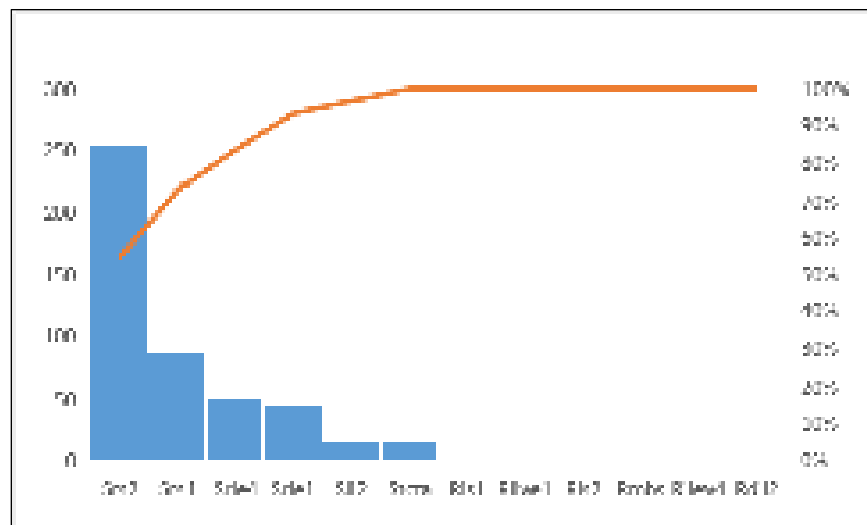
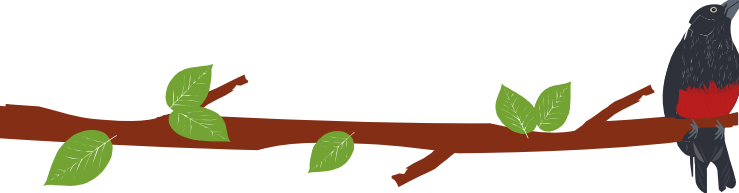


Gráfico 2. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia de la plasticidad para cada Unidad Geológica Superficial dentro de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.

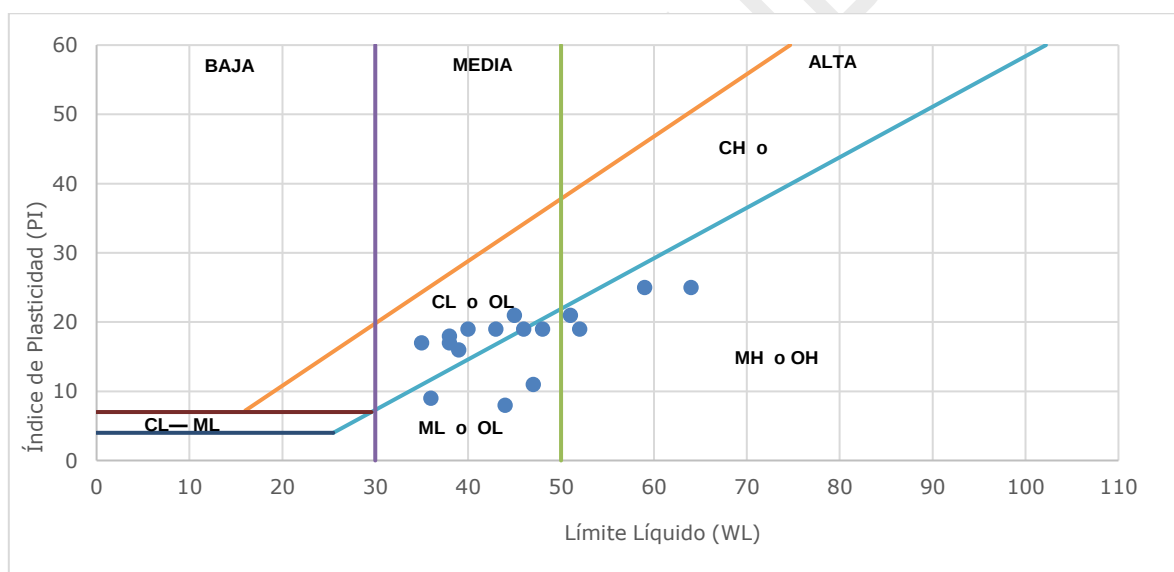
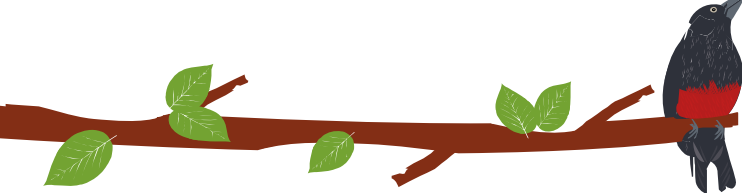


Gráfico 3. Carta de plasticidad de las unidades geológicas superficiales de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia.

De acuerdo con la composición mineralógica en la carta de plasticidad del Gráfico 3, los suelos de la cuenca están compuestas principalmente por minerales de ilitas y de caolinitas en su respectiva proporción (por su proximidad con la línea A de la Figura 99). En donde los suelos se clasifican como finos de alta plasticidad (MH), finos de baja plasticidad (ML), además de arenas y gravas (Tabla 31) (Gráfico 4), y Figura 100.



Los ensayos de límites de Atterberg, arrojaron los siguientes valores: límite líquido (LL= 0-70%), límite plástico (LP= 0-47%) y un índice de plasticidad (IP= 0-25), con una húmeda natural de 0-60%, con una clasificación SUCS:

SC:	Arena arcillosa
SM:	Arena limosa
CL :	Arcilla de baja plasticidad
MH:	Limo de alta compresibilidad
GM:	Gravas, arenas limosas y arcillosas
ML:	Limo de baja compresibilidad
SP-SM ó SP-SC:	Arena mal gradada, limo arcilloso, no plástica

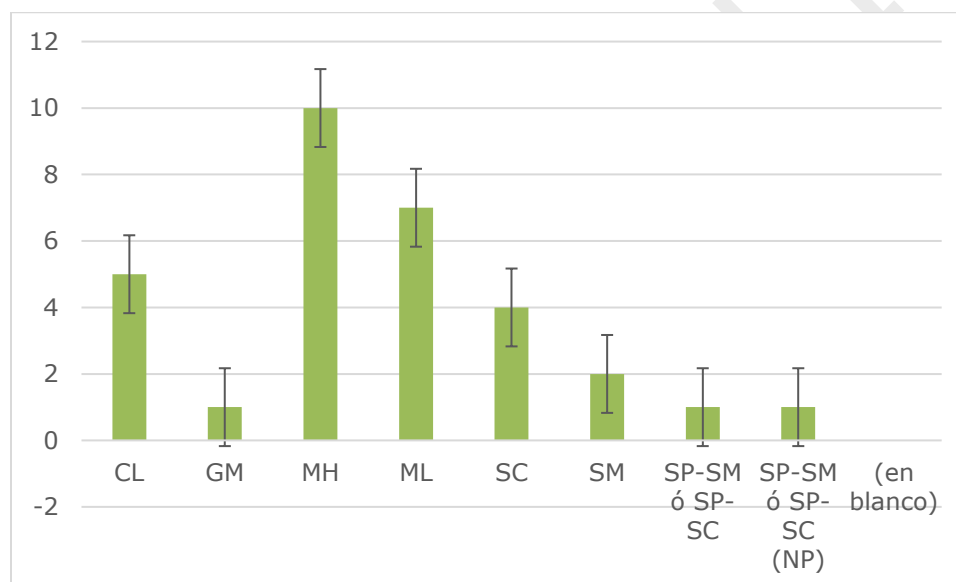
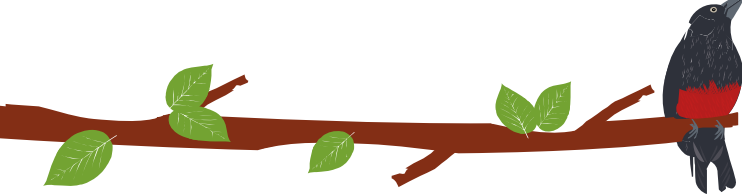


Gráfico 4. Clasificación de los suelos presentes en la cuenca Río Sucio Alto de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS). Elaboración propia.

Tabla 31. Materiales tipos presentes en la cuenca Río Sucio Alto, teniendo en cuenta su tamaño y clasificación USCS.

Clasificación o símbolo	Tipo Materiales
MH, CH	Fino de alta plasticidad (H)
ML, CL, ML CL	Fino de baja Plasticidad (L)
SC, SM, SP, SW, SW SM, SW SC, SP SM, SP SC Y SC SM	Arena (S)



La distribución de los materiales arenosos mostrados en la Figura 100 es menos densa que los materiales finos, con una tendencia NW, sobre el trazo de la Falla Cañasgordas (vía al mar).

La distribución de los materiales gravosos es concentrada en los sectores de depósito fluviotorrenciales, especialmente en los abanicos aluviales.

La composición de los materiales finos está dada principalmente por MH, en segunda proporción están los ML y CL. Las humedades naturales están en un rango entre 20 y 60% (Gráfico 6), la humedad representativa está cerca de 35%. El límite líquido presenta una distribución normal, entre 40 y 70% con valores promedio de 50%. El límite plástico posee una distribución normal entre 30 y 47% con valores representativos entre 37 y 40%. Los pesos específicos poseen una distribución normal con valores representativos de 2.6 gr/cm³. Los valores de resistencia a la compresión simple, tienen una distribución normal con un valor promedio de 200 kPa.

Los materiales arenosos se componen principalmente por arenas SC y SM y en segunda proporción están las arenas con mezclas menores de materiales finos. La humedad natural está un rango de 22 y 31%. Límite líquido con valor de 36%, límite plástico de 27%, índice de plasticidad de 9%, peso específico 2.59-2.84 gr/cm³.

Los materiales gravosos se componen principalmente de gravas GM. La humedad natural es de 41%. Límite líquido con valor de 53%, límite plástico de 35%, índice de plasticidad de 18%, peso específico 2.63 gr/cm³.

Índice de Liquidez. El índice de liquidez muestra, de acuerdo con los resultados de laboratorio (Gráfico 5) y la Tabla 32, que en general el 55% de las muestras ensayadas de suelos se encuentran en estado de normalmente consolidado a ligeramente sobreconsolidado y el 45% de las muestras ensayadas de suelos se encuentran en estado mediana a fuertemente sobreconsolidado.

Tabla 32. Índice de Liquidez y comportamiento de suelos dentro de la cuenca Río Sucio Alto

Valor IL %	Características	Comportamiento esperado
IL<0	Suelos mediana a fuertemente sobreconsolidados	Suelos duros con resistencias inconfiadas mayores de 100 kPa
0<IL<100	Suelos ligeramente sobreconsolidado a normalmente consolidado	Suelos de resistencia inconfiada media variando entre 30kPa y 100kPa
IL>100	Suelo normalmente consolidado o en estado de líquido viscoso	Suelos de baja resistencia (<30kPa), sensibles al remoldeo.

Fuente: Elaboración propia

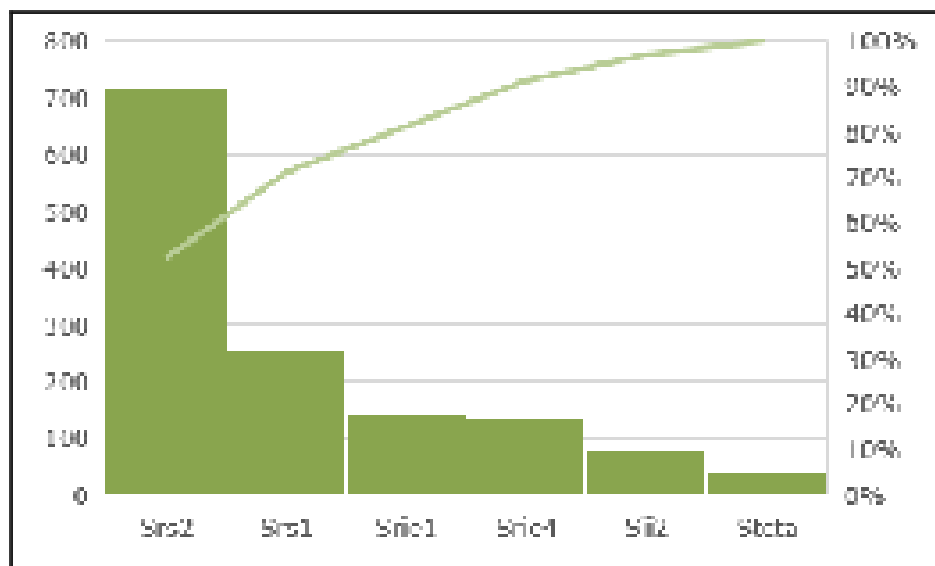
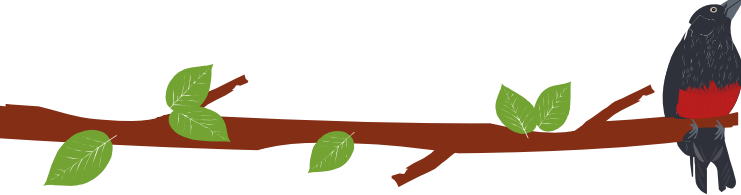


Gráfico 5. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia del límite líquido para cada Unidad Geológica Superficial dentro de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia

De acuerdo con NZGS (2005), existen dos características que pueden presentar en mayor o menor medida los suelos finos, pero que no la presentan los suelos gruesos, las cuales se conocen como cohesión y plasticidad. La cohesión se refiere al hecho de que las partículas del material se mantienen adheridas unas con otras (pegadas), mientras que la plasticidad es la propiedad que le permite a un material ser deformado sin experimentar cambio de volumen o rebote, y sin agrietarse o desmoronarse. En general podría considerarse que los suelos finos tienden a ser cohesivos y plásticos, mientras que los suelos gruesos no lo son (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Humedad de Equilibrio. Se ha definido como aquella humedad que corresponde a la avidez natural del suelo por el agua; si la humedad natural es inferior, el suelo buscará satisfacerla, proceso en el cual tiene lugar la expansión.

En general se observa que la humedad natural es menor que la de equilibrio en las muestras obtenidas (Gráfico 6), por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio especialmente en temporadas de lluvias, aumentando los procesos de remoción de masas.

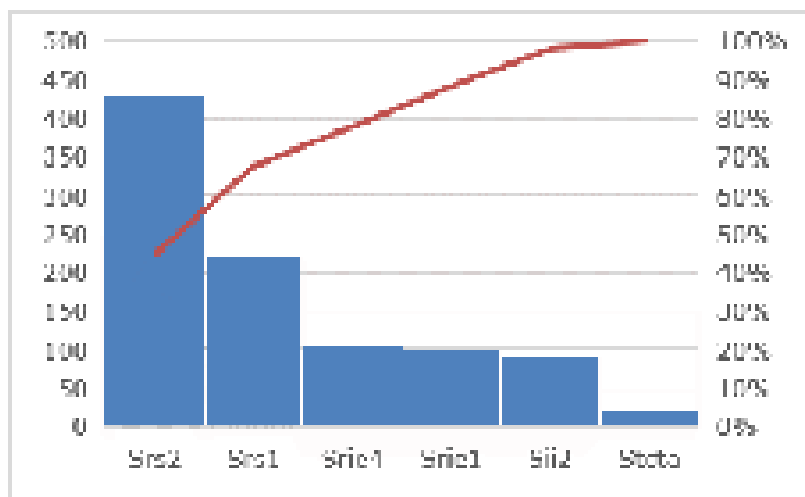
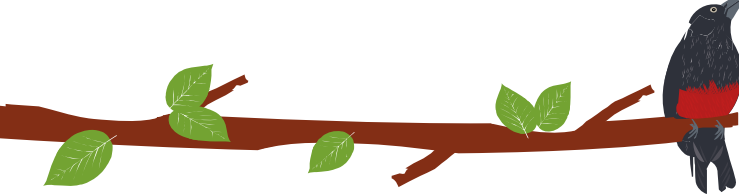


Gráfico 6. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia del porcentaje de la humedad natural para cada Unidad Geológica Superficial de la cuenca Río Sucio Alto. Elaboración propia

Peso Específico. El peso específico (G_s) mide la densidad de la fase sólida de un suelo en relación a la densidad del agua. Debido a que la mayoría de arenas están compuestas por cuarzo o minerales del grupo de los feldspatos y a que las arcillas están compuestas por caolinita o illita, el peso específico de los suelos varía en un rango estrecho de 2.7 ± 0.1 [Kramer, S.L., (1996)]. Existen excepciones debidas a la presencia de algunos minerales livianos y a altos contenidos de materia orgánica. La Tabla 33 presenta los valores típicos de peso específico para algunos suelos.

Tabla 33. Peso específico. Valores típicos para suelos (Bowles, JE. (1997).

Tipo de suelo	$G_s[-]$
Gravas	2.65 – 2.68
Arenas	2.65 – 2.68
Limos inorgánicos	2.62 – 2.68
Arcillas inorgánicas	2.68 – 2.75
Arcillas orgánicas	2.58 – 2.65
Turbas y suelos orgánicos	2.30 – 2.50

Fuente: Elaboración propia

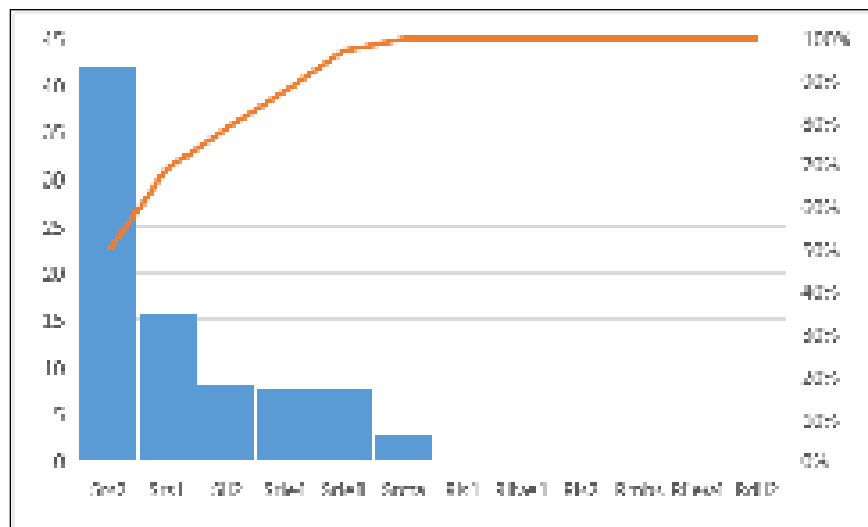
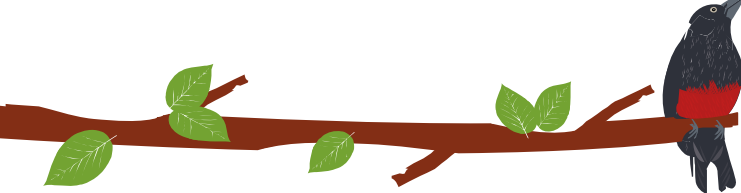


Gráfico 7. Diagrama de distribución de los datos en orden de frecuencia del peso específico para cada Unidad Geológica Superficial de la cuenca Río Sucto Alto. Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos de las muestras ensayadas (Gráfico 7) se presenta la mayor dispersión de valores de gravedad específica en materiales especialmente de los suelos de origen parental ígneo intrusivo (Sii2) y los de rocas sedimentarias respectivamente, debido a que se encuentran conformados por sedimentos de diferentes fuentes de aportes.

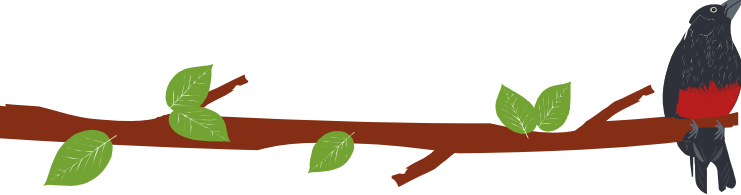
Compresión Inconfinada. Resistencia a la compresión inconfinada, es la carga por unidad de área a la cual una probeta de suelo, cilíndrica o prismática, falla en el ensayo de compresión simple. El resultado de esta prueba puede ser utilizado para diseño de cimentaciones infraestructura como edificios, puentes, presas, túneles, terraplenes, como también en análisis de estabilidad de taludes, túneles y empujes sobre estructuras de contención.

El ensayo de compresión inconfinada es un método rápido y de amplio uso para determinar el parámetro de resistencia no drenado – c_u del suelo saturado arcilloso.

La resistencia a la compresión inconfinada se emplea también para calificar la consistencia del suelo como muy blanda, blanda, mediana, firme, muy firme y dura de acuerdo con el valor obtenido en la Tabla 34.

Tabla 34. Consistencia del suelo en función de la compresión inconfinada, tomado de Terzaghi y Peck, 1955.

Consistencia del Suelo	Resistencia a la Compresión Inconfinada	
	Kg/cm ²	kPa
Muy blanda	< 0.25	< 25
Blanda	0.25-0.50	25 – 50
Mediana	0.50-1.00	50 – 100



Firme	1.00-2.00	100 – 200
Muy firme	2.00-4.00	200 – 400
Dura	>4.00	> 400

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 101, Figura 102, Figura 103 y Figura 104, se presenta el resumen de resultados de ensayos de compresión simple realizados a muestras inalteradas de suelos y rocas tomadas recolectadas en la campaña de campo en el área de la cuenca Río Sucio Alto.

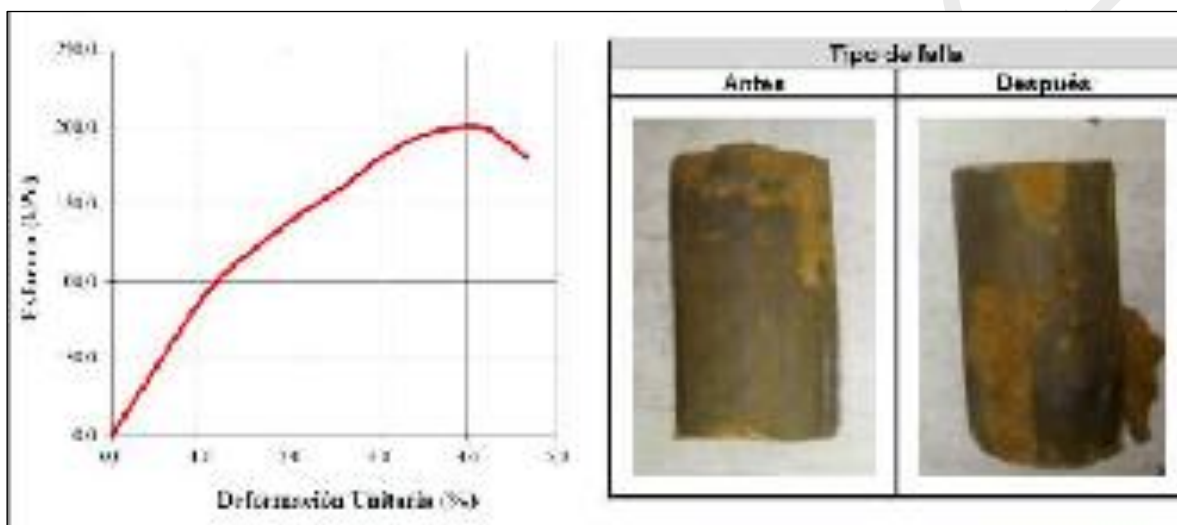


Figura 101. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 199,75 kPa) simple realizado a muestra inalterada de suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja compresibilidad, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 23. Elaboración propia

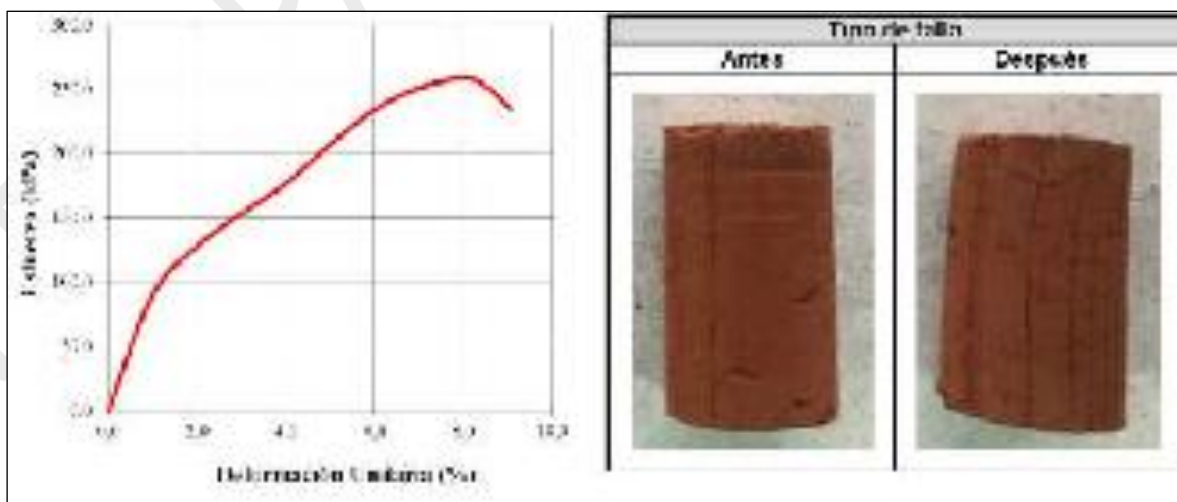
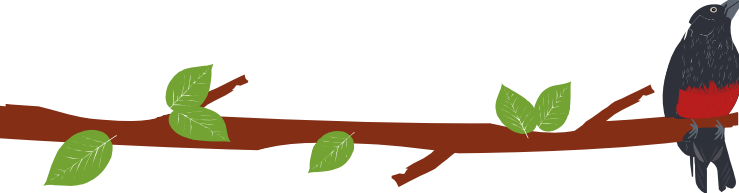


Figura 102. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 258,66 kPa) simple realizado a muestra inalterada



de suelo residual sedimentario limoso de alta y baja compresibilidad, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 25.

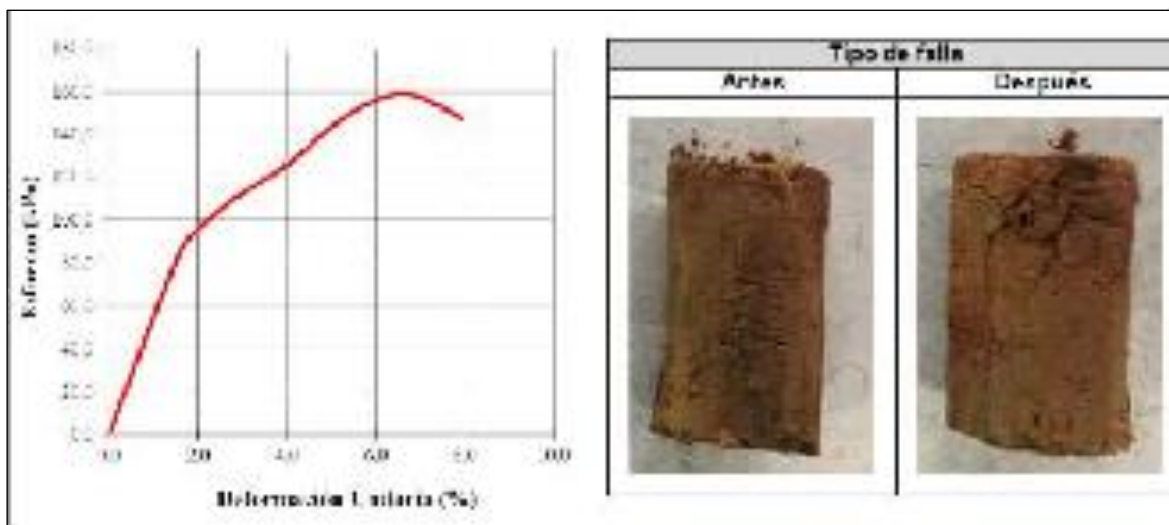


Figura 103. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 158,29 kPa) simple realizado a muestra inalterada de suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja compresibilidad, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 52.

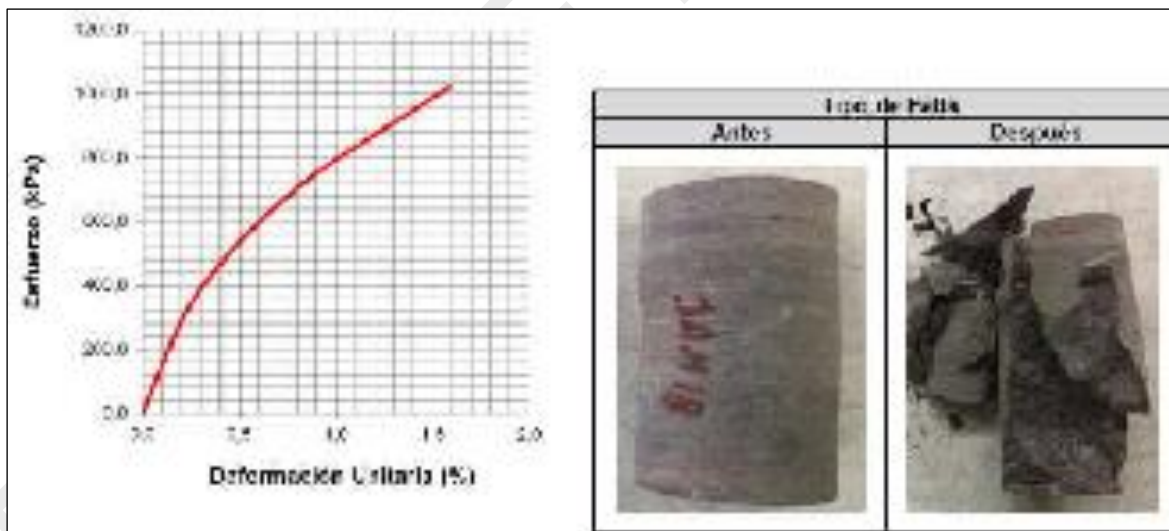


Figura 104. Resultados del ensayo de compresión (Esfuerzo Máximo 1020,17 kPa) simple realizado a muestra de roca del Basalto el Botón, recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 18.

De acuerdo con la Figura 101, Figura 102, Figura 103 y Figura 104, se puede concluir que las muestras ensayadas presentan consistencia entre firme para los suelo y dura para las rocas. Los suelos residuales provenientes de la Formación Chert y Calizas de Nutibara presentan mejor consistencia.

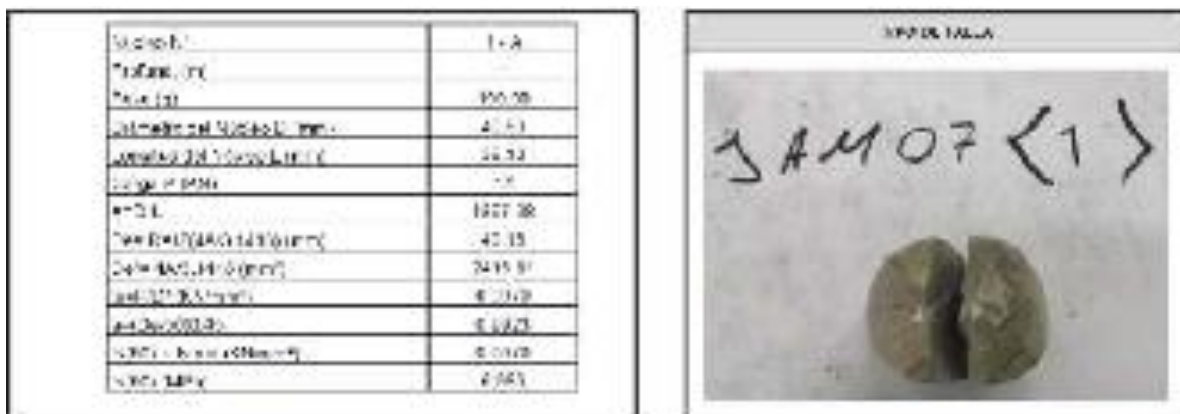
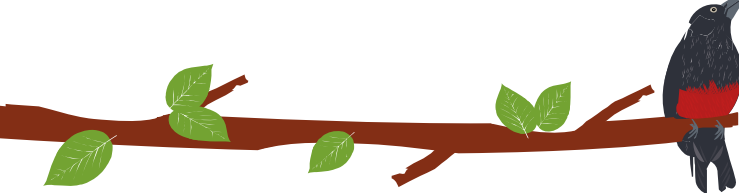


Figura 106. Resultados del ensayo de carga puntual realizado a muestra de roca de caliza recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 07.

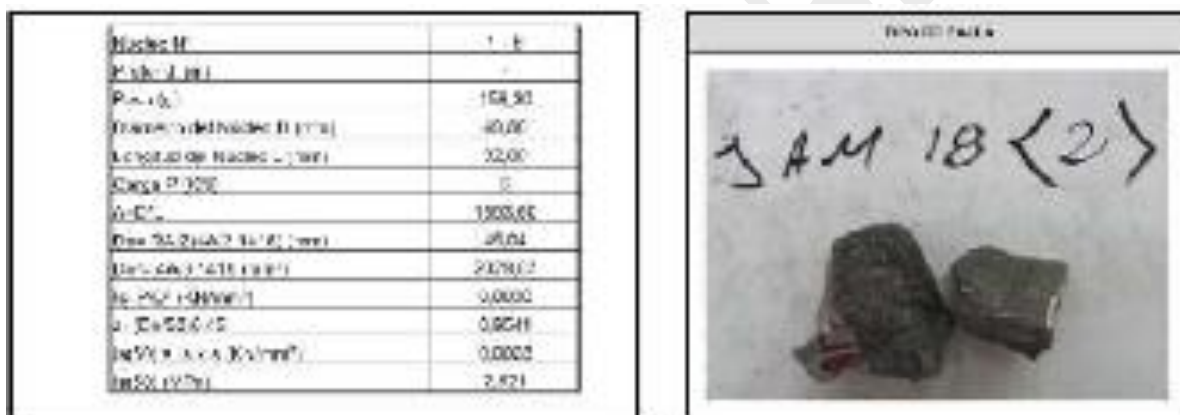


Figura 107. Resultados del ensayo de carga puntual realizado a muestra de roca de Basalto el Botón recolectada en la cuenca Río Sucio Alto, estación JAM 07.

Ensayo de Corte Directo. Propiedad de un terreno que le permite resistir el desplazamiento entre las partículas del mismo al ser sometido a una fuerza externa. También llamada resistencia al cizallamiento.

Los ensayos realizados son de tipo modalidad CD (Norma ASTM D 3080, NTC 1000), el cual permite simular la situación real en campo donde el suelo será sometido a un cambio de esfuerzos respecto al tiempo necesario para que se disipen las presiones de poros generadas, de manera que la probable ocurrencia de la falla del suelo se alcance en condiciones no drenadas.

El ensayo se lleva a cabo deformando una muestra a velocidad controlada, cerca de un plano de cizalladura determinado por la configuración del aparato de cizalladura. Se ensayaron tres especímenes de cada muestra bajo una carga normal diferente para determinar su efecto sobre la resistencia al corte y al desplazamiento y las propiedades de resistencia a partir de las envolventes de resistencia de Mohr. Los resultados de los ensayos permiten conocer los valores de cohesión (c), ángulo de fricción (ϕ) y la relación esfuerzo deformación de los suelos (Figura 108, Figura 109, Figura 110 y Figura 111).

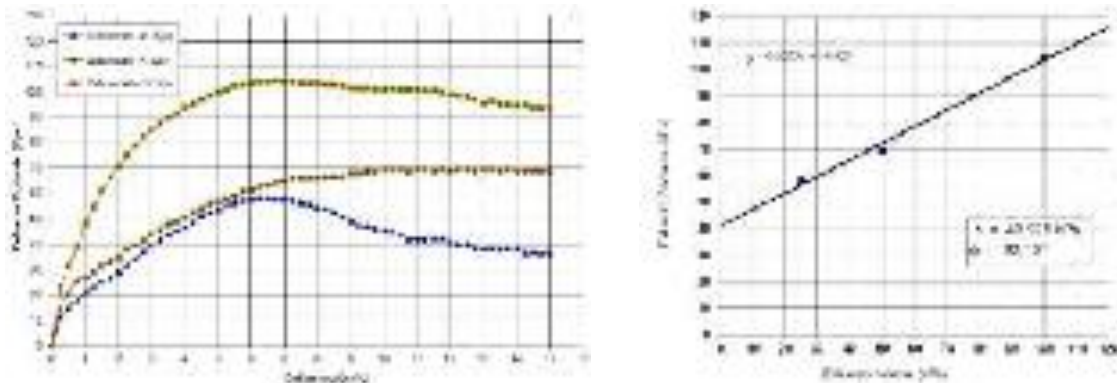
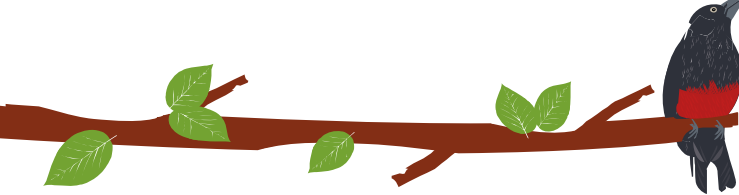


Figura 108. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestra JAM04, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).

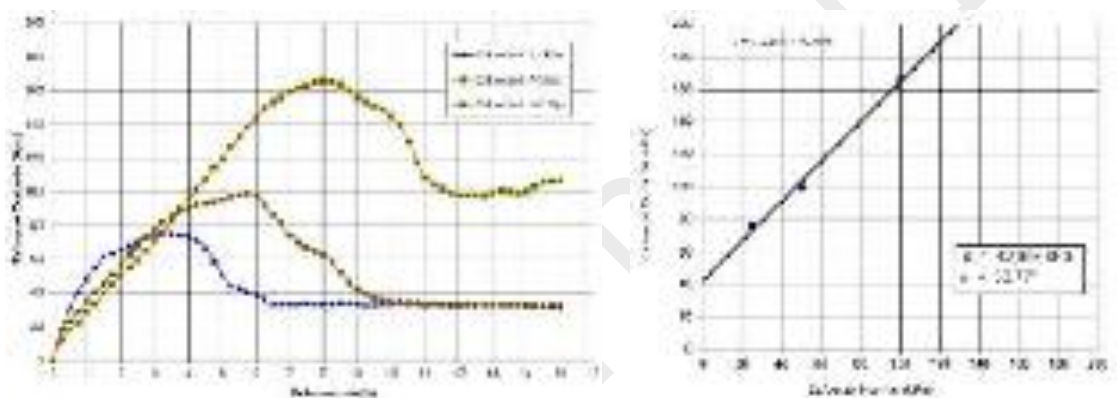


Figura 109. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestra JAM23, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).

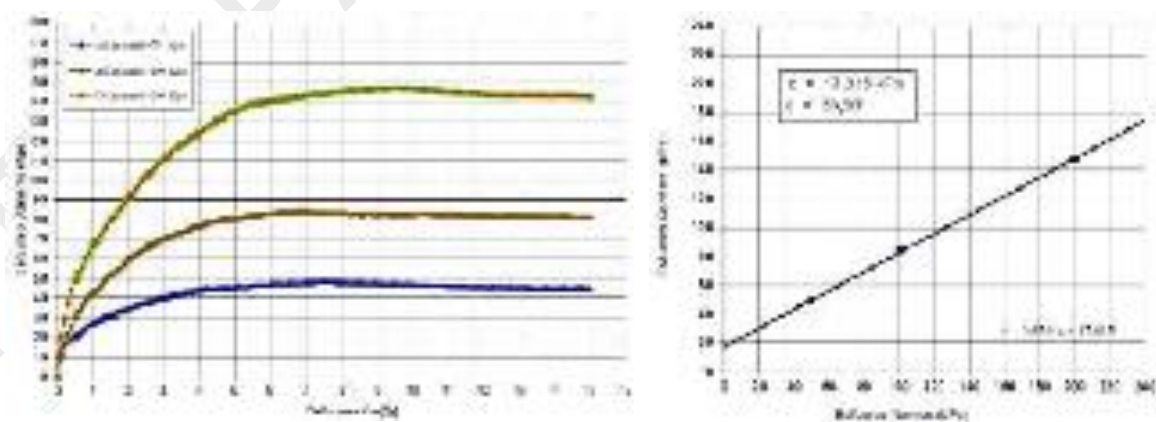


Figura 110. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestra JAM24, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).

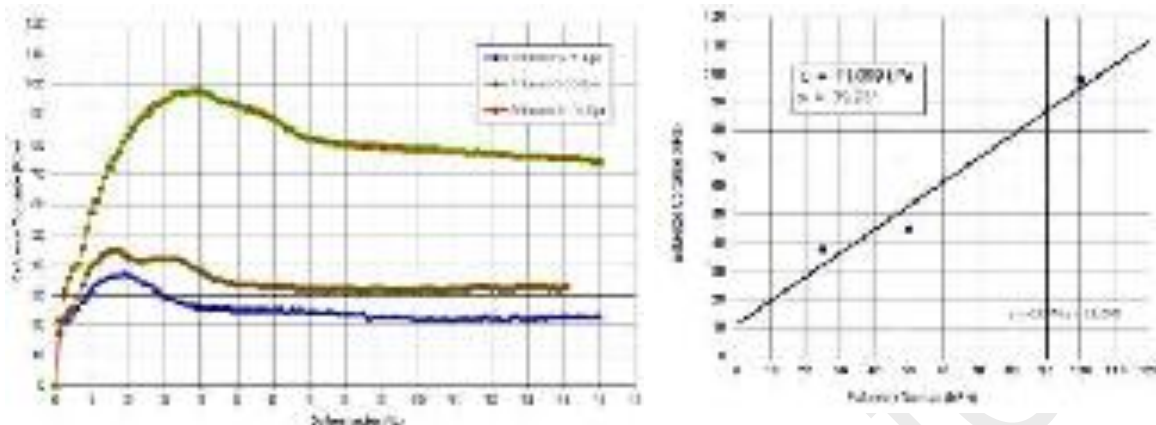
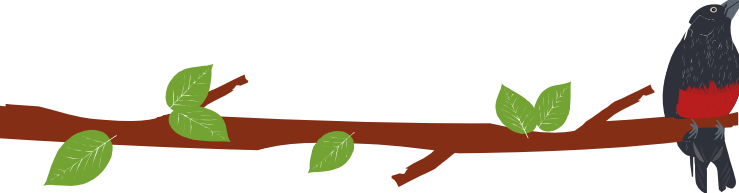


Figura 111. Resultados de los ensayos corte directo, realizados a muestras inalteradas de suelo tomadas en la etapa de exploración geológica-geotécnica en el área de la cuenca Río Sucio Alto, muestras JAM25, suelo residual de material parental sedimentario de la Formación Chert y Calizas de Nutibara (K1cn).

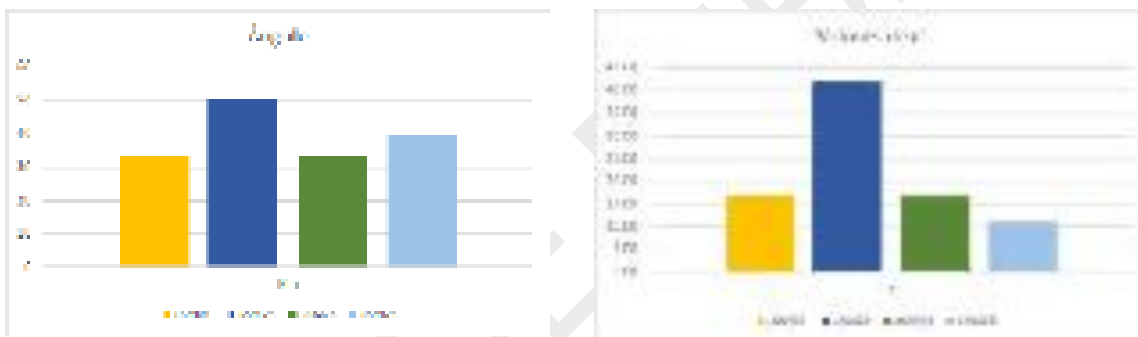


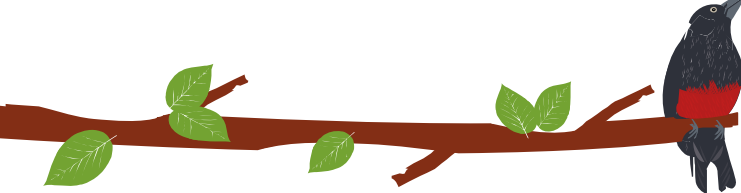
Gráfico 8. Resumen de los resultados de los ensayos de corte directo realizados a muestras inalteradas.

En la Figura 108, Figura 109, Figura 110 y Figura 111, se ilustra las envolventes de resistencia pico de las muestras analizadas. En términos generales se observa que los materiales presentan un ángulo de fricción (ϕ) que fluctúa entre 32 y 50, y el intercepto de cohesión (c) varía entre 11 y 42 kPa (Gráfico 8).

Los limos presentes en la cuenca Río Sucio Alto, es un material muy duro, que se caracteriza por ser muy rígido y resistente, en la figura se puede apreciar que el material es de una rigidez tal, que el incremento de presión de poros es muy pequeño y por lo tanto la trayectoria de esfuerzos es prácticamente una recta, hasta llegar a la envolvente de resistencia. Los valores del ϕ son relativamente altos 33-39. 95°.

Las arenas presentan un ángulo de fricción relativamente alto ($\phi=32$ y 50°) y la presión de poros inicialmente se incrementa para posteriormente decaer por efecto de la dilatación del material.

Los parámetros de resistencia obtenidos en los ensayos son diferentes para diferentes tipos de roca, lo cual está directamente relacionados con las condiciones geoambientales de la cuenca, en donde la formación de los suelos residuales se da por un proceso de meteorización intenso, heterogéneo y desigual, ayudado, además por los esfuerzos compresivos que actualmente experimenta el área de la cuenca.



Penetrómetro de bolsillo. El penetrómetro de bolsillo es un instrumento liviano para clasificación de suelos cohesivos en términos de consistencia, determinando el esfuerzo de compresión inconfiada aproximado y evaluando el esfuerzo de corte usando el principio de penetración.

Las lecturas obtenidas con el penetrómetro no reemplazan los resultados obtenidos en el laboratorio debido al hecho que una pequeña área de penetración probada daría resultados dispersos.

En el Gráfico 9, se presenta el resumen de los resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados en materiales arcillosos inalterados en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca, por cada unidad geológica y en Anexo 2 se presentan los formatos 3 del protocolo donde se consignó la información en campo.

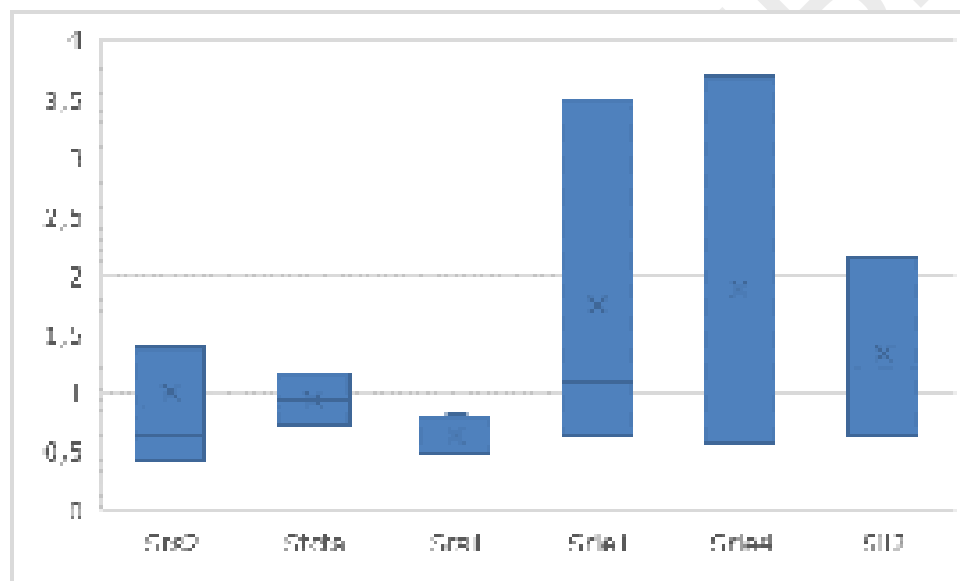


Gráfico 9. Diagrama que muestra los valores *in situ* de la resistencia a la compresión de acuerdo a los datos tomados con el penetrómetro de bolsillo.

La resistencia tomada en campo con el penetrómetro de bolsillo sirve para clasificar el suelo y es mayor en suelos cohesivos pero menor en suelos no cohesivos (

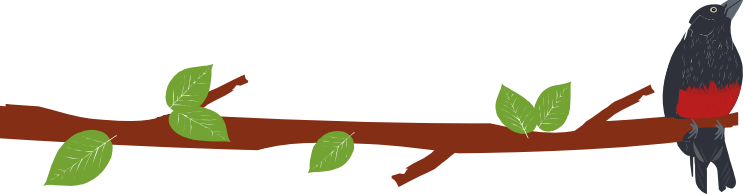


Tabla 35 y Figura 112). La resistencia de punta y la fricción lateral se correlacionan con el tipo de suelo y otras propiedades como la razón de sobreconsolidación, el grado de cementación, la edad y la sensibilidad obteniéndose así una clasificación final. Discrimina entre suelos muy blandos a duros, entre arenas muy sueltas a muy densas, entre arenas y arcillas limosas, arcillas arenosas, arcillas inorgánicas insensitivas, arcillas orgánicas y turba.

Tabla 35. Índices de campo para determinar la resistencia a la compresión simple, de suelos cohesivos y rocas a partir de índices de campo Fuente: tomado y traducido de ISRM (1981), tomado de (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

CLASE	DESCRIPCIÓN	IDENTIFICACIÓN EN CAMPO	APROXIMACIÓN AL RANGO DE
			RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)
S1	Suelo muy blando	El puño penetra fácilmente varios cm	< 0,0025
S2	Suelo blando	El dedo penetra fácilmente varios cm	0,0025 – 0,05
S3	Suelo firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo	0,05 – 0,10
S4	Suelo rígido	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0,10 – 0,25
S5	Suelo muy rígido	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0,25 – 0,50
S6	Suelo duro	Se marca con dificultad al presionar con la uña	> 0,50
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0,25 – 1
R1	Roca muy blanda	Al golpear con la punta del martillo la roca se desmenuza. Con navaja se talla fácilmente	1 – 5
R2	Roca blanda	Al golpear con la punta del martillo se producen ligeras marcas. Con navaja se talla con dificultad	5 – 25
R3	Roca moderadamente dura	Con un golpe fuerte del martillo puede fracturarse. Con la navaja no puede tallarse	25 – 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe del martillo para fracturarla	50 – 100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes del martillo para fracturarla	100 – 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpear con el martillo sólo saltan esquirlas	> 250

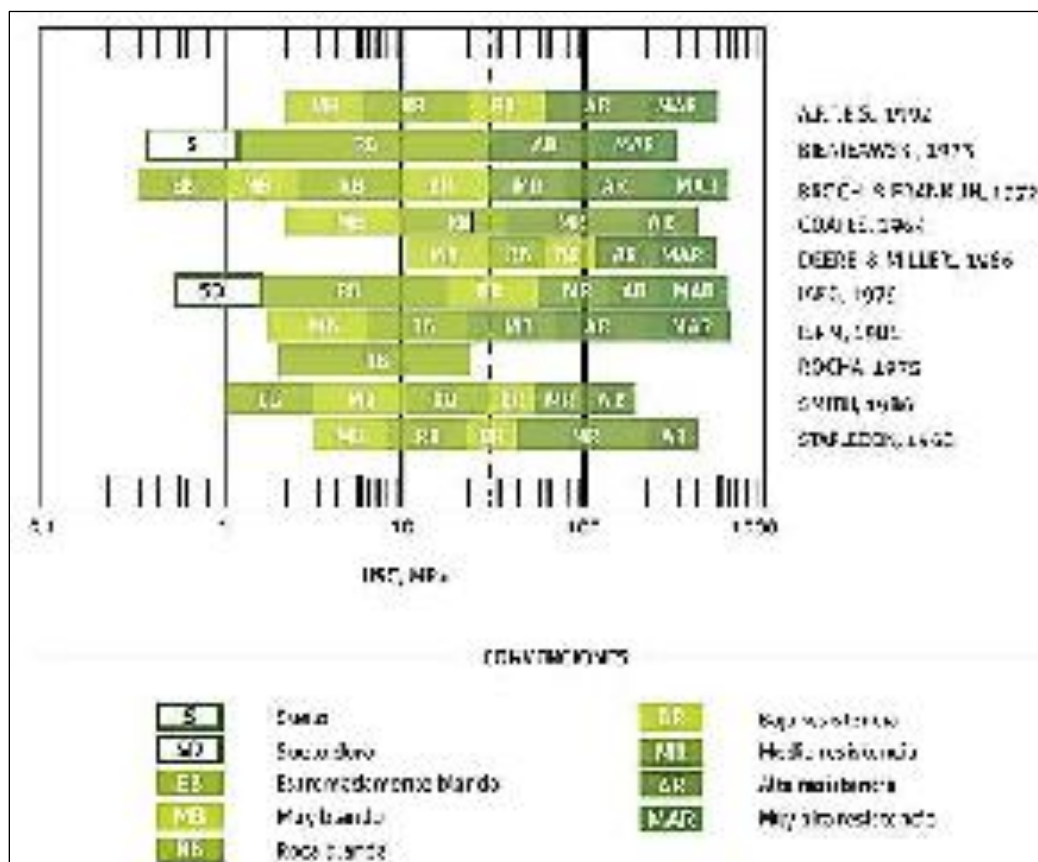
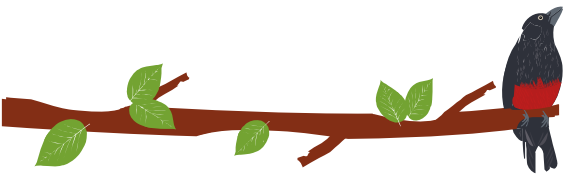


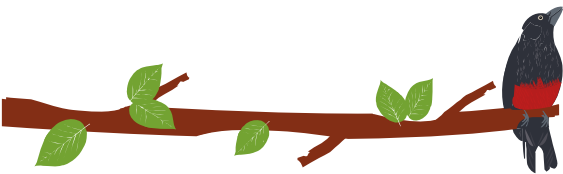
Figura 112. Clasificación de rocas de acuerdo con su resistencia. Fuente: (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

1.13.8.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES

En la Cuenca del Río Sucio Alto, se caracterizaron 25 unidades superficiales, teniendo en cuenta las características de la masa del suelo (compacidad, estratificación, discontinuidades), características de los materiales constituyentes del suelo (color, forma y composición de la partícula, clasificación, tamaño del grano y plasticidad) además de formación geológica, (origen, era y tipo de depósito).

Las unidades de suelo se agruparon de acuerdo con el tamaño de grano, tal como lo plantean New Zealand Geotechnical Society (NZGS) (2005) basados en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS, por sus siglas en inglés), en el cual se proponen dos grandes grupos de suelos a partir del tamaño de grano: suelos gruesos (coarse soils) y suelos finos (fine soils). Conforme a ASTM D 2487 - 06 se considera que un suelo es grueso si más del 50% de los granos superan los 0,075 mm de tamaño (gravas y arenas) y un suelo es fino si más del 50% de los granos son inferiores a 0,075 mm de tamaño (limos y arcillas) (Servicio Geológico Colombiano, 2017).

Teniendo en cuenta lo presentado por NZGS (2005) y adaptando lo planteado por Dearman 1991), existen características generales que son comunes para cualquier tipo de suelo, entre las que se encuentran: génesis (origen), composición de las partículas,



color, condición de humedad y estructuras relictas y/o discontinuidades en la masa de suelo. Sin embargo, existen también características propias para los suelos finos tales como la consistencia y la plasticidad, así como características que identifican en particular a los suelos gruesos: forma (redondez y esfericidad) y tamaño, gradación, selección, estructura y empaquetamiento, compacidad y densidad relativa.

Para la descripción y caracterización de los suelos se utilizó el Formato 2, el cual permite de manera sistemática recopilar la información y llevar un registro que puede ser introducido en una base de datos. La caracterización de los suelos debe partir de la identificación y descripción ascendente (base a techo) de los diferentes niveles o secuencia de materiales que conforman el suelo, con la descripción de las características de cada horizonte o capa encontrada en el perfil, ya sea a partir de afloramientos, apiques, trincheras o sondeos.

El símbolo utilizado para la representación de cada carácter está definido por las letras iniciales de cada nombre correspondiente: roca=R; suelo=S; arenisca=ar; arcillolita=arc; limonita=Lim; suelo residual=Sr; roca blanda= Rb; bloque=bl; gravas=gr; limo=lm; arcilla=a; suelo transportado=st; etc.

ROCAS MUY BLANDAS (Resistencia Baja): Corresponden a las rocas sedimentarias generalmente del Terciario, de baja consolidación diagenética o pobremente litificadas, con estratificación laminar o de capas delgadas, o rocas cristalinas intensamente fracturadas, de moderada a altamente descompuestas. Comprende entre otras las arcillolitas y lodolitas; areniscas y conglomerados friables o rocas en general descompuestas. (Padilla, J., Jiménez, D., Romero, F., Montero, J. y Calderon, Y., 2004b)

MODERADAMENTE BLANDAS (Resistencia baja a Intermedia): Esta categoría comprende rocas como las anteriormente mencionadas, pero un poco más litificadas y con estratificación gruesa, en el caso de las sedimentarias o moderadamente descompuestas en el caso de las cristalinas. Comprenden en general, arcillositas, limonitas, lodositas, shales y areniscas friables en estratificación muy delgada en general moderadamente fracturadas.

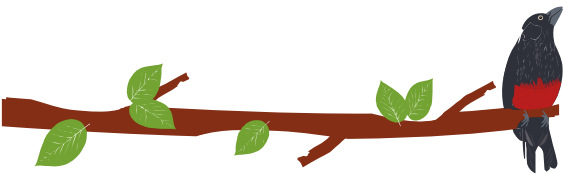
En el caso de las rocas clasificadas como muy blandas y blandas, la falla de estas rocas en excavaciones no está estructuralmente controlada, es decir que la falla se propaga predominantemente a través del material rocoso.

ROCAS MODERADAMENTE DURAS o INTERMEDIAS (Resistencia Intermedia a alta): Esta categoría comprende rocas sedimentarias del Cretáceo o más antiguas, bien litificadas o de alta consolidación diagenética, con estratificación delgada a gruesa, o rocas cristalinas en general, débil a moderadamente descompuestas y poco fracturadas.

Comprende rocas como calizas, areniscas y conglomerados bien cementados, limolitas silíceas; lutitas; esquistos y otras rocas foliadas y las rocas ígneas en general. Igualmente comprenden las secuencias sedimentarias donde alternan rocas duras y blandas en capas delgadas.

ROCAS DURAS A MUY DURAS (Resistencia alta a muy alta): Comprende rocas cristalinas de consistencia muy dura y alta resistencia, o las rocas sedimentarias de la más alta consolidación o litificación; en general masivas, sanas y frescas o solo débilmente descompuestas.

En el caso de las rocas clasificadas como duras y muy duras la falla de estas rocas en excavaciones están controladas predominantemente por las discontinuidades



estructurales. Se trata en general de rocas con edades del precambriano, paleozoico y del cretáceo.

La descripción de las unidades de suelo (residuales, transportados, volcánicos o antrópicos) se realizó incluyendo tanto las características generales para cualquier tipo de suelo (ya mencionadas), como aquellas que son específicas para los suelos gruesos y para los finos (según sea el caso).

A continuación, se describen las características mencionadas que deben incluirse en la descripción de una unidad de suelo.

1.13.8.3.1 Unidades de roca

Para las unidades de roca, la clasificación se realizó teniendo en cuenta la clasificación geomecánica en función del GSI, por lo cual se tienen tres clases principales de unidades de roca; Roca Dura (macizos de calidad buena y muy buena o tipo I, II y III), Roca Intermedia (macizos de calidad regular o tipo IV y V) y Roca Blanda (macizos de calidad mala y muy mala o tipos VI, VII, VIII y IX).

Los sistemas predominantes de terreno en el área de estudio, se desarrollan sobre potentes secuencias de rocas sedimentarias e ígneas intrusivas y extrusivas, y depósitos cuaternarios que en su conjunto conforman la geología del área de la cuenca del Río Sucio Alto, en donde el sistema geomorfológico dominante es el montañoso:

Región 1: montañosa moderada, caracterizado por sierras estructurales, lomos y sierras de presión y sierras denudadas, con alturas que van entre los 12000 y los 2300 msnm, separadas por ríos encañonados que hacen parte de la cuenca del Río Sucio.

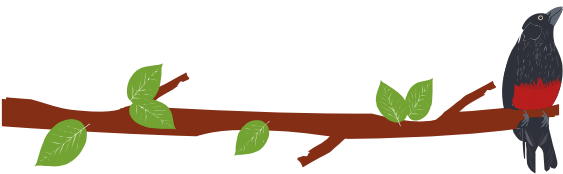
Región 2: localizada al E de la falla de la Herradura, la cual marca el cambio morfológico entre el relieve montañoso medio denudado de las diabasas y basaltos del Barroso y de Chert y calizas del Nutibara a litoarenitas al W y el relieve montañoso alto de la Formación de Urrao al E, de relieve montañoso alto, con alturas que pueden alcanzar los 3800 msnm.

En la cuenca se identificaron cuatro ambientes morfogenéticos: estructural, denudacional; fluvial y antrópico. Sobre las regiones oriental predomina geoformas de origen estructural mientras que, en la región occidental, predominan geoformas de origen denudacional.

1.13.8.3.2 Rocas moderadamente blandas (Rmb)

En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales, las unidades de roca moderadamente blanda se identifican con las letras Rmb, que comprenden macizos rocosos equivalentes a los grados IV y V del perfil de meteorización de Dearman (1974) y Deere y Patton (1971), es decir, roca moderada a altamente meteorizada. En general, estas rocas son de naturaleza blanda a muy blanda, con una resistencia de la roca intacta entre 25 y 50 MPa, poco cementadas, frágiles, con alto a grado de fracturamiento ($J_v > 30 \text{ fr/m}^3$), índice geológico de resistencia pobre a muy pobre (GSI: 10 – 30 %). Estos valores varían de acuerdo a la afectación de estas rocas por deformación y plegamiento.

En la cuenca están representadas por las roclas clasificadas de resistencia baja a intermedia, en esta categoría encontramos rocas algo litificadas con estratificación



gruesa. Comprenden en general, arcillositas, limonitas, lodositas, shales y areniscas friables en estratificación muy delgada en general moderadamente fracturadas.

Incluye las arcillolitas y areniscas de la Formación Guineales, areniscas, lodolitas, lignito y shales calcáreos con nódulos de caliza de la Formación Beibaviejo. La expresión morfológica de estos materiales son zonas de morfología colinada a ondulada, con laderas de pendientes inclinadas a abruptas. De baja resistencia, poco cementadas, con fracturamiento alto a muy alto (JV: 30 - >60 fr/m³), con índice geológico de resistencia pobre (GSI = 20-35) y en general altamente meteorizada y con perfiles de meteorización que pueden alcanzar hasta los ocho metros de espesor.

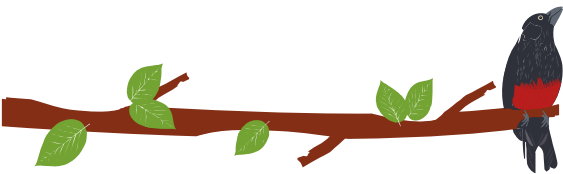
Roca moderadamente blanda (Rmbs3) de la Formación Guineales (N1N2g)

Esta unidad presenta una morfología de laderas que van desde suavemente inclinadas a moderadamente inclinadas, está constituida por conglomerados con cantos de cuarzo y rocas intrusivas y en menor grado areniscas, de color blanco amarillento, grano medio a grueso, moderadamente a poco cementadas, con matriz areno arcillosa, deleznable, de resistencia media a baja, con presencia de fracturas asociadas a los procesos de desecación del frente del talud, lo que genera una estructura blocosa (Fotografía 1), que favorece los procesos erosivos y caídas de bloques en el talud y con algunas intercalaciones de conglomerados con cantos de cuarzo y rocas intrusivas, redondeados, y con media a lata esfericidad, dispuestas en capas delgadas a gruesas, con presencia de conglomerados, cementados. Esta unidad se genera cortes con alturas que pueden alcanzar los 15 metros, relativamente estables (Figura 113).

Compuesta por una sucesión de arcillolitas, conglomerados y areniscas que aflora sobre la vía al mar entre la quebrada Guineales al occidente y la quebrada Choromandó al oriente, antes de entrar al túnel de la Llorona regresando de Urabá (Figura 113), constituyendo taludes entre 6 y 12 metros de altura.



Figura 113. Estación JAM-17, ubicada sobre la vía a Mutatá (Antioquía), Corte vertical y detalle del afloramiento conglomerados, arcillolitas y areniscas de la Formación Guineales con más de 10 metros de



espesor, de resistencia baja a intermedia, que favorecen los procesos de caídas.

El término de “roca blanda” comprende todas las rocas que en su proceso de formación diagenética no alcanzan niveles altos de cementación para comportarse como rocas; en una roca blanda el proceso de rotura puede ocurrir indistintamente por las discontinuidades de las estructuras y/o por la matriz rocosa.

Estabilidad de taludes

Las condiciones de estabilidad pueden cambiar al realizar cortes o ser afectada por procesos de erosión pluvial o si aumentan las condiciones de humedad por lluvias, sus características de estabilidad dependen generalmente, del tamaño de los granos, los planos de estratificación, las fracturas normales a la estratificación y el grado de cementación. Este tipo de unidad es predominantemente arenosa poco cementada y tiende a perder resistencia al contacto con el agua debido principalmente a su baja consolidación y cementación, un aspecto que merece especial atención en la estabilidad de la zona, es la influencia que puedan tener futuros cortes en el proceso de ampliación de la vía, ya que pueden favorecer la ocurrencia de procesos de inestabilidad. Este tipo de material en general ofrece una baja susceptibilidad a los procesos erosivos y movimientos en masa.

1.13.8.3.3 Rocas moderadamente duras o intermedias (Ri)

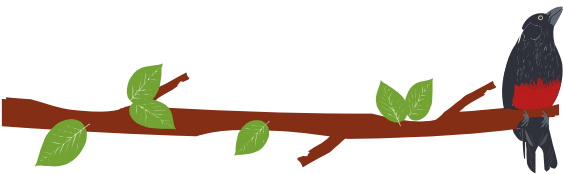
En la nomenclatura del mapa de unidades geológicas superficiales, las unidades de roca intermedia se identifican con las letras Ri, que comprenden macizos rocosos equivalentes a los grados I y II del perfil de meteorización de Dearman (1974) y Deere y Patton (1971), es decir, roca fresca. En general, estas rocas son de naturaleza dura a intermedia, con una resistencia de la roca intacta entre 100 y 250 MPa, masivas y duras, con alto a grado de fracturamiento ($J_v > 30 \text{ fr/m}^3$), índice geológico de resistencia bueno a muy bueno (GSI: 30 – 60 %). Estos valores varían de acuerdo a la afectación de estas rocas por deformación y plegamiento.

Comprende rocas sedimentarias del cretácico, bien litificadas o de alta consolidación diagenética, con estratificación delgada a gruesa, o rocas cristalinas en general, débil a moderadamente descompuestas y poco fracturadas. En este grupo están rocas como calizas, areniscas y conglomerados bien cementados, limolitas silíceas; lutitas; rocas ígneas en general.

Por lo general estos materiales desarrollan una morfología variada, que va desde escarpada a moderada, con laderas de pendiente escarpada.

Roca intermedia de origen ígneo extrusivo (Riiedsj1) Diabasas de San José de Urama (JK1du)

Constituida por diabasas y pillow lavas con texturas ofíticas, subofíticas, intergranulares e intersectales, macroscópicamente son de color gris oscuro y gris verdoso, masivas, afaníticas a faneríticas muy finas, compuestas por plagioclasa cálcica en cristales menores de 1 mm de color verde claro y piroxeno; como accesorios se observa esfena y localmente sulfuros diseminados como pirita y pirrotina en contenidos menores al 1%. Los afloramientos más representativos son los diversos bloques tectónicos que se



encuentran en la vía a Urabá, desde la entrada a Frontino, hasta antes de la vereda El Botón (Departamento de Antioquia).



Figura 114. Muestra de mano de las diabasas de San José de Urama con un metamorfismo de bajo grado, recolectada Estación JAM-06.

Esta unidad está representada por pequeños afloramientos relacionados a las geoformas de origen estructural asociadas fallamientos, que la exhibe (Figura 115), en particular los lomos (filos) denudado bajo de longitud larga, características de los grandes lineamientos que atraviesan la cuenca tanto en dirección, NS y es muy común observarlos como pequeños cuerpos en toda la cuenca caracterizando muchos de los trazos de fallas, de morfología regular, de longitud moderadamente larga a larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas.

Roca intermedia de origen sedimentario (Rischcn1) Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn)

En esta unidad se agrupan una serie de bloques tectónicos, conformados por chert, calizas y diabasas que afloran al occidente y oriente del municipio de Dabeiba, que distribuye en sentido Norte-Sur a partir de Frontino.

Los suelos residuales no se desarrollan bien en zonas con altos gradientes donde la denudación es muy fuerte, ni en zonas de topografía muy suave o plana donde el drenaje es muy pobre. En relieves fuertes las laderas se relajan con más facilidad favoreciendo el alivio de esfuerzos y el fracturamiento inicial de las rocas.

Esta unidad está representada por pequeños afloramientos relacionados a las geoformas de origen estructural asociadas fallamientos, que la exhibe (Figura 115), en particular las facetas triangulares y los planos de fallas, características de los grandes lineamientos que atraviesan la cuenca tanto en dirección, NS, SW-NE y NE-NW y es muy común observarlos como pequeños cuerpos en toda la cuenca caracterizando muchos de los trazos de fallas.

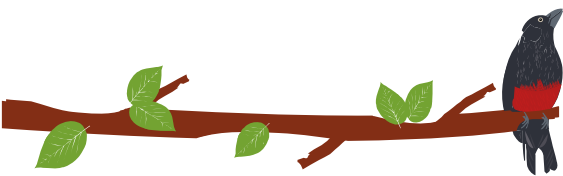
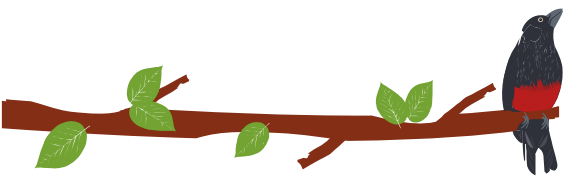


Figura 115. Afloramientos de la Roca intermedia de origen sedimentario (Rischn1) Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn).

Roca intermedia de origen sedimentario (Risalu2) Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu)

Conformada por litoarenitas, limolitas y lodolitas y se agrupa en una serie de bloques tectónicos que afloran en el área, desde Cañasgordas hasta el occidente del municipio de Dabeiba con más de 3.000 m de espesor.



Esta unidad es predominantemente areno-arcillosa, compuesta por arenitas líticas, grawacas, limolitas y lodolitas silíceas y conglomerados ocasionales, con bancos delgados de chert y caliza hacia el techo (Figura 116), localmente con silos y derrames diabásicos y basálticos. Las arcillolitas se encuentran en capas paralelas de 5 a 20 cm de espesor perturbadas por pliegues de orden centimétrico; interestratificadas con grauvaca y limolitas, en bancos gruesos a muy gruesos. Son rocas fósiles, con laminación fina, de color gris verdoso a pardo oscuro por hidróxidos de hierro en los planos de estratificación.

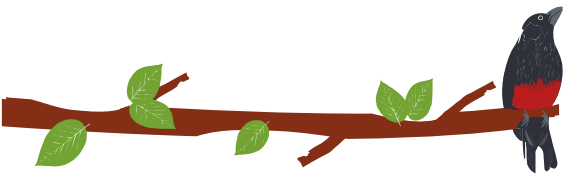
Esta unidad, se presenta como el horizonte I y II (definido por Deere y Patton), de color gris oscuro constituidas por arcillas. Se encuentran fuertemente fracturadas (Figura 116) y con espejos de falla debido al cizallamiento, al contacto con el agua, los fragmentos más finos se convierten en arcillas blandas.



Figura 116. Afloramientos de Roca intermedia de origen sedimentario (Risalu2) basaltos, limolitas, litoarenitas y lodolitas de Urrao (K2alu) falladas.

Las Arenitas y grawacas, son de color gris verdoso a gris oscuro. Se presentan en capas de variado espesor de delgadas a muy gruesas muy fracturadas, con estratificación plana, paralela continua; a veces presentan estratificación cruzada a pequeña escala.

La selección de los fragmentos es de regular a mala, el tamaño varía de arena gruesa a muy fina, predominando arena media; los granos individuales son subredondeados a subangulares. Los clastos son de cuarzo (5-55%), feldespato (3-45%), micas (1-8%) y líticas (5-40%), con matriz arcillosa (5-25%). Los líticas son de rocas volcánicas basálticas, lodolitas silíceas y calcáreas, limolitas y chert.



Esta unidad está representada por pequeños afloramientos relacionados a las geoformas de origen estructural asociadas fallamientos, que la exhibe (Figura 115), en particular las laderas de contrapendiente y los planos de fallas, características de los grandes lineamientos que atraviesan la cuenca tanto en dirección, NS, SW-NE y NE-NW y es muy común observarlos como pequeños cuerpos en toda la cuenca caracterizando muchos de los trazos de fallas, de morfología regular a irregular, definida por planos (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a muy escarpadas.

1.13.8.3.4 Unidad geológica superficial materiales residuales

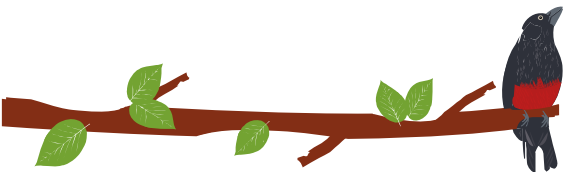
Para la descripción de los suelos residuales se consideró los niveles IV, V y VI (saprolito y suelo residual) del perfil de meteorización de Dearman (1974), ya que los otros niveles (I a III) corresponden a la roca en diferentes grados de alteración (moderada a débilmente meteorizada) y la roca fresca. En la zona de saprolito, aunque se conserva la estructura original de la roca parental, el material tiene las características de un suelo y por sus propiedades no se comporta como una roca.

Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie1) de la Diabasas de San José de Urama (JK1du)

Suelos residuales de roca parental de origen volcánico y granulometría fina a gruesa, esta unidad superficial es generada del perfil de meteorización de las rocas de la Diabasas y basaltos de San José de Urama, los suelos corresponden a limos con algo de arena de color rojo a naranja rojizo (Figura 117), textura original presente, plasticidad media a baja, consistencia media a alta y de baja compresibilidad, generalmente son: - moderadamente plásticos, de consistencia media, humedad natural moderada - permeabilidad media a baja.



Figura 117. Afloramiento del Suelo residual parental de las diabasas y basaltos de San José de Urama, (Srie1JK1du), estación JAM26, vereda La Honda, municipio de Frontino, coordenadas 1108562E, 1241778.8N.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

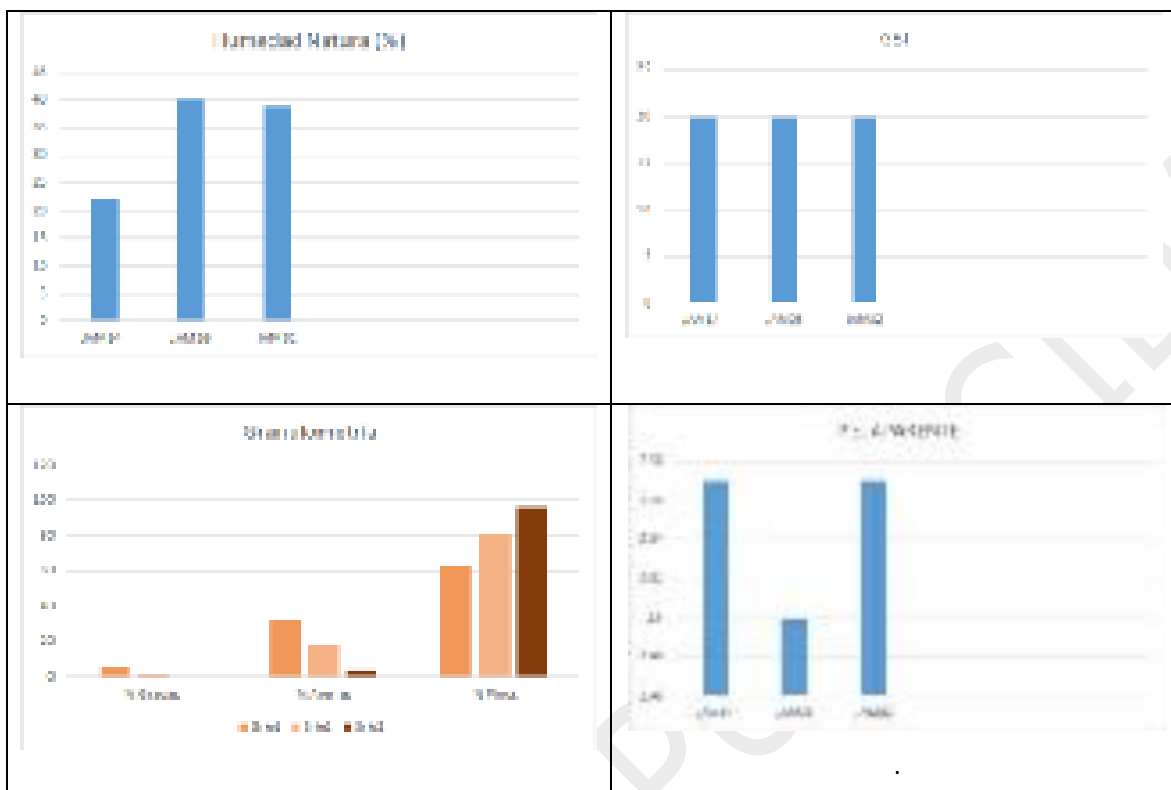


Gráfico 10.. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental de las diabasas y basaltos de San José de Urama, (Srie1JK1du): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico

Las lecturas de los límites de Atterberg se relacionan en la Gráfico 11.

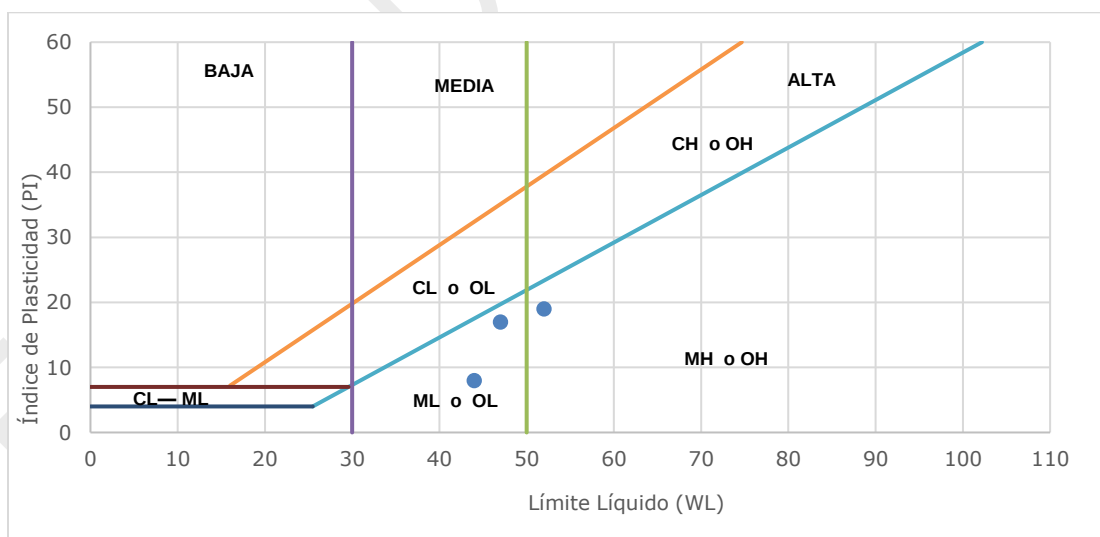
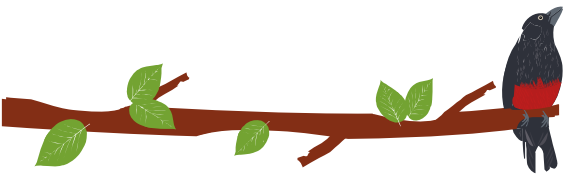


Gráfico 11. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual parental de las diabasas y basaltos de San José de Urama, (Srie1JK1du).

Los ensayos de límites de Atterberg, arrojaron los siguientes valores: límite líquido (LL= 47%), límite plástico (LP= 33%) y un índice de plasticidad (IP= 14) y una clasificación SUCS:



MH: Limo de alta compresibilidad
ML: Limo de baja compresibilidad

Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los basaltos de la Formación Barroso (K2vb)

Suelos residuales de roca parental de origen volcánico y granulometría fina a gruesa, esta unidad superficial es generada del perfil de meteorización de las rocas de los derrames lávicos basálticos y andesíticos, intercalados con tobas, aglomerados y tufas que afloran esporádicamente en la margen oriental de la cuenca de Río Sudio Alto.

Los basaltos y andesitas de la Formación Barroso presentan textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y clinopiroxeno, en una matriz microcristalina a hialocristalina microlítica localmente con amígdalas. Las andesitas son porfídicas y están compuestas principalmente de plagioclasa, y en menor proporción, anfíbol y piroxeno. Las tobas y aglomerados tienen fragmentos de vulcanitas máficas de diferente tamaño y textura, se han clasificado como tobas líticas y subordinadas litocristalinas y vitreocristalinas.

Los suelos corresponden a limos con algo de arena de color rojo a naranja rojizo, textura original presente, plasticidad media a baja, consistencia media a alta y de baja compresibilidad, generalmente son: - moderadamente plásticos, de consistencia media, humedad natural moderada – permeabilidad media a baja.

Suelo residual de material parental sedimentario (Srs1) de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn)

En esta unidad se agrupan una serie de bloques tectónicos, conformados por chert, calizas y diabasas que afloran al occidente y oriente del municipio de Dabeiba, que distribuye en sentido Norte-Sur a partir de Frontino (Figura 118).



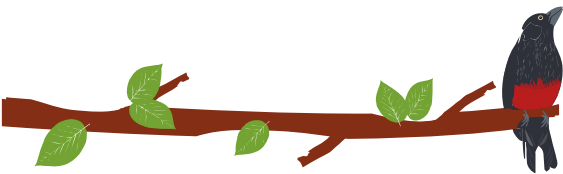


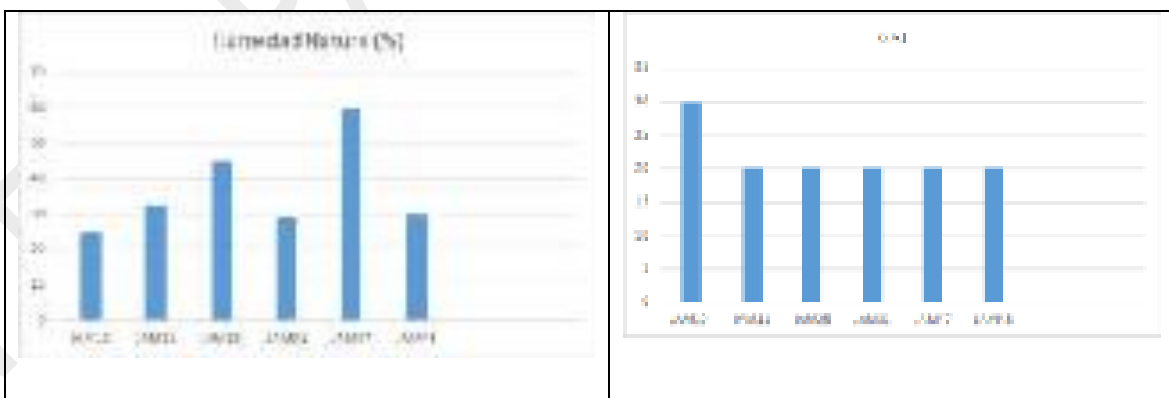
Figura 118. Suelo residual de material parental sedimentario (Srs1) de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn).

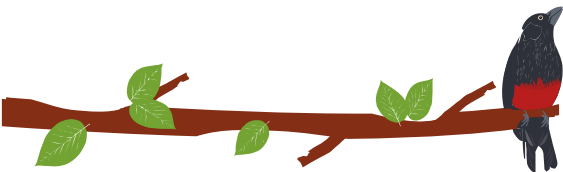
Los suelos residuales son formados a partir de la meteorización química de las calizas y los cherts, suelos generados *in situ* o depositados de manera muy próxima a estos cuerpos y se encuentran enriquecidos en óxidos e hidróxidos de hierro.

Son suelos de textura areno arcillosa cuyo material parental corresponde a los niveles arenosos de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn), que en general son: - Moderadamente plásticos, de consistencia media, humedad natural moderada - Permeabilidad media a baja (Gráfico 12).

- Coloración pardo, ocasionalmente suelos grises producto de la alteración de las capas de arcillolitas que intercalan la sucesión de calizas. - El espesor varía entre 0.5 y 1,2 m en el sector Limón Chupadero del municipio de Uramita, Antioquía y de más de 10 m en la parte media-alta de la vereda La Honda, municipio de Frontino, Antioquía.

Presenta perfiles relativamente profundos de meteorización, la meteorización está controlada por los procesos de disolución en agua, dando como resultado una mezcla heterogénea de materiales blandos y duros con cambios bruscos pero irregulares, más duro en la superficie y se hace más blando al profundizarse.





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

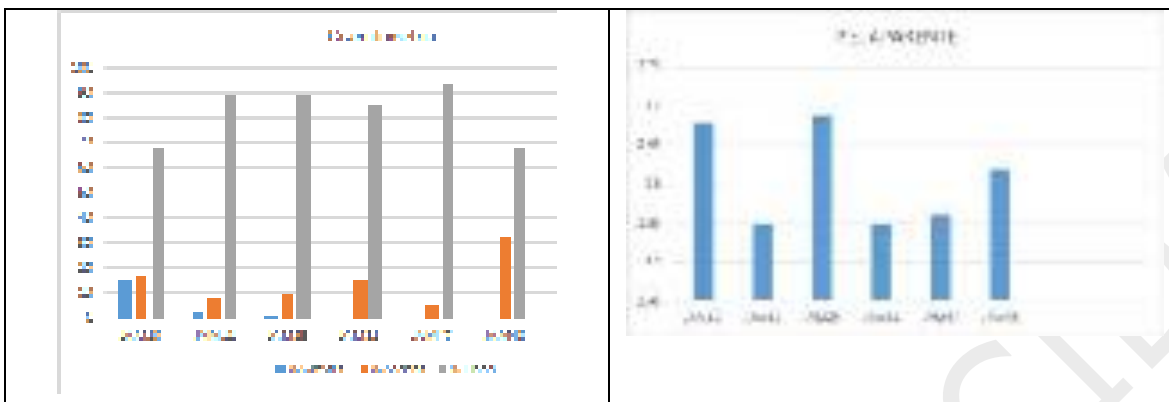


Gráfico 12. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental sedimentario (Srs1) de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico.

En el Gráfico 13, se muestra la carta de plasticidad de acuerdo con los ensayos de laboratorios realizados. Como se observa los materiales se clasifican como ML y MH presentan plasticidad baja a media. Así mismo, se observa un alineamiento paralelo a la línea A, lo cual indica que estos materiales tienen el mismo origen geológico.

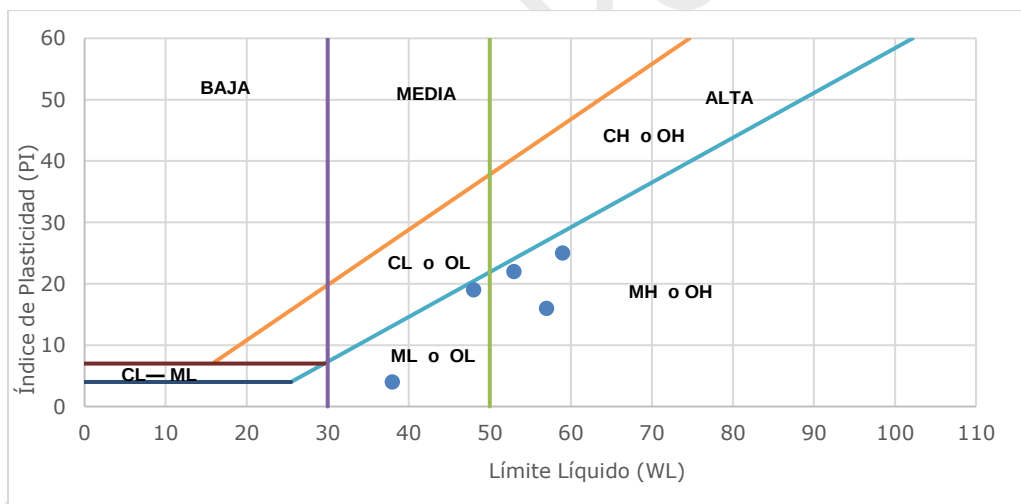
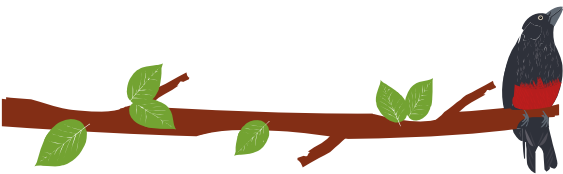


Gráfico 13. Carta de plasticidad de la unidad Suelo residual de material parental sedimentario (Srs1) de la Formación Chert y calizas de Nutibara (K2cn).

Los ensayos de límites de Atterberg, arrojaron los siguientes valores de limite liquido (LL= 60%), limite plástico (LP= 41%) y un Índice de plasticidad (IP= 25) y una una clasificación SUCS:

CL :	Arcilla de baja plasticidad
MH:	Limo de alta compresibilidad
ML:	Limo de baja compresibilidad



PENETROMETRO DE BOLSILLO

Tabla 36. pruebas con penetrómetro de bolsillo – Srs1

ESTACIÓN	Penetrómetro Kg/cm2	CONSISTENCIA
JAM10	0.73	1
JAM11	0.5	1
JAM25	0.8	2
JAM31	0.5	1
JAM47	0.83	2
JAM48	0.46	1

Máximo valor 0.83 Kg/cm2

Mínimo valor 0.46 Kg/cm2

Estabilidad de taludes

En general el comportamiento de este tipo de materiales en la estabilidad de los taludes es bueno, teniendo en cuenta que en general estos suelos presentan una resistencia media al corte, y son susceptibles a la erosión concentrada tipo surcos y cárcavas.

Los suelos se han desarrollado en un ambiente geomorfológico estructural-denudativo, que forman un relieve montañoso con laderas de pendientes empinadas, muy empinadas a escarpadas, cuyas geoformas características son las crestas y valles, lomo denudado, sierra denudada, escarpe faceteado y cañones, formando salientes de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, limitadas por drenajes paralelos a subparalelos, con laderas de longitudes variables, con pendientes que se ven reducidas de abruptas a inclinadas por intensos procesos denudativos.

Suelo residual de material parental sedimentario (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu)

Los suelos residuales son formados a partir de la meteorización química de las litoarenitas, limolitas y lodolitas, suelos generados *in situ* o depositados de manera muy próxima a estos cuerpos y se encuentran enriquecidos en óxidos e hidróxidos de hierro (Figura 119 y Figura 120).

Las fallas geológicas en un talud ayudan al proceso de meteorización en su radio de influencia.

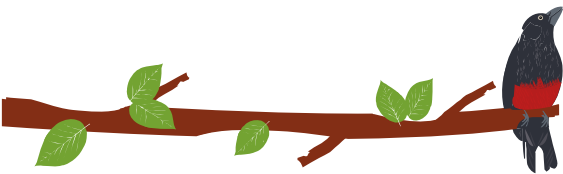


Figura 119. Afloramiento fallado de suelo residual de material parental sedimentario (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu), en donde se observa los perfiles de meteorización de Deere & Patton (1971) y Dearman (1974, 1991), en los cuales considera como suelo a los horizontes VI (suelo residual), V (roca completamente meteorizada o descompuesta, saprolito fino) y IV (roca altamente meteorizada o descompuesta, saprolito grueso).

El suelo residual de areniscas y lodolitas (horizonte VI) se presenta de color naranja con textura limo - arenosa. En él no es posible observar la textura de la roca parental ni estructuras heredadas. Presenta fragmentos de roca subredondeados con tamaños de hasta 2.0 cm, en un porcentaje respecto a la matriz del 5%, por lo que la relación matriz bloques es 95/5. De esta manera, el soporte del material se encuentra definido por la matriz. Los espesores estimados para esta unidad van desde los 12 a 40 m.



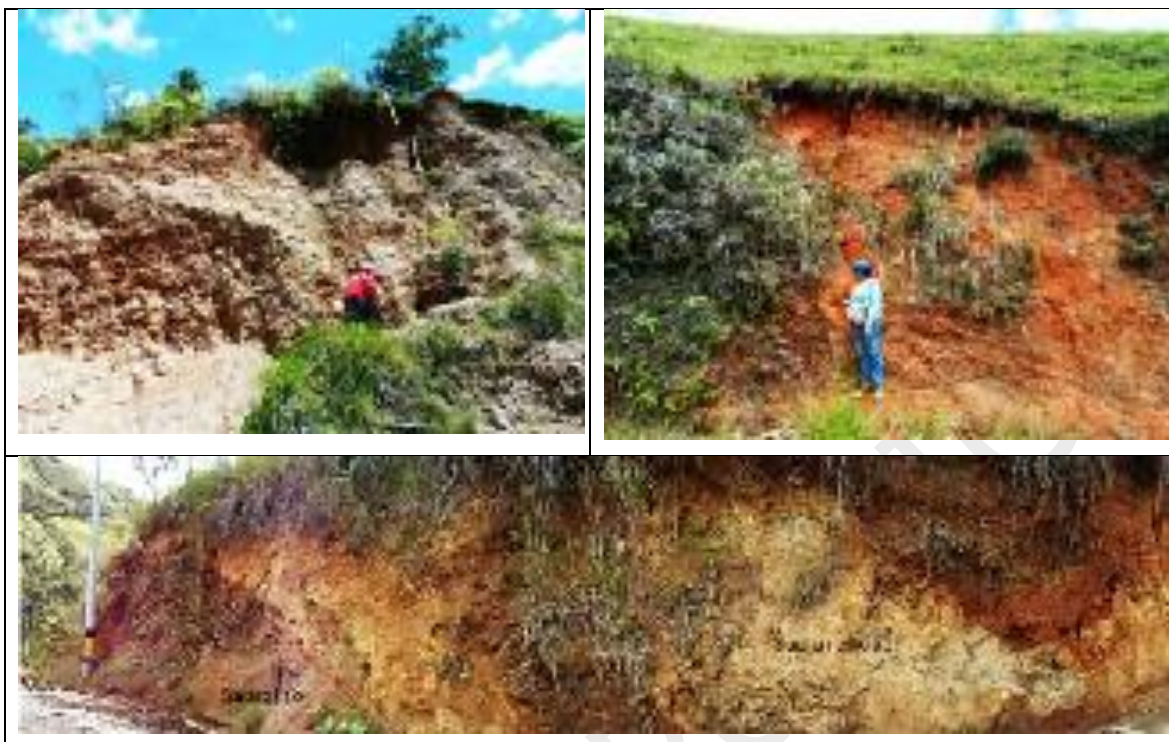
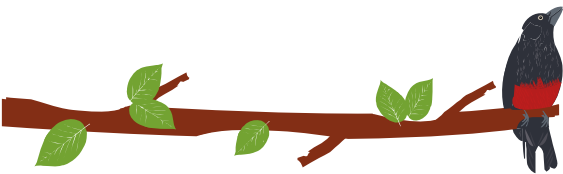
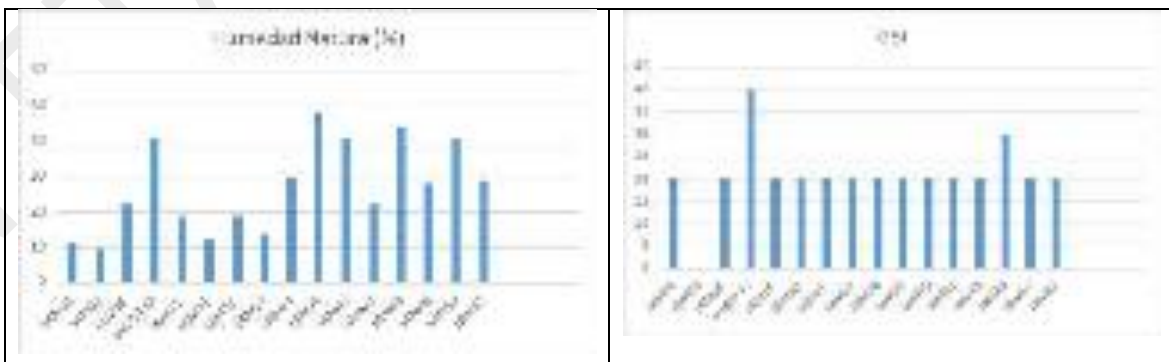
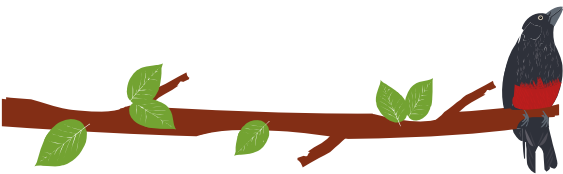


Figura 120. Afloramientos de suelo residual de material parental sedimentario (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu) de más de cinco metros de espesor, en donde se observa los perfiles de meteorización de Deere & Patton (1971) y Dearman (1974, 1991), en los cuales considera como suelo a los horizontes VI (suelo residual), V (roca completamente meteorizada o descompuesta, saprolito fino) y IV (roca altamente meteorizada o descompuesta, saprolito grueso).

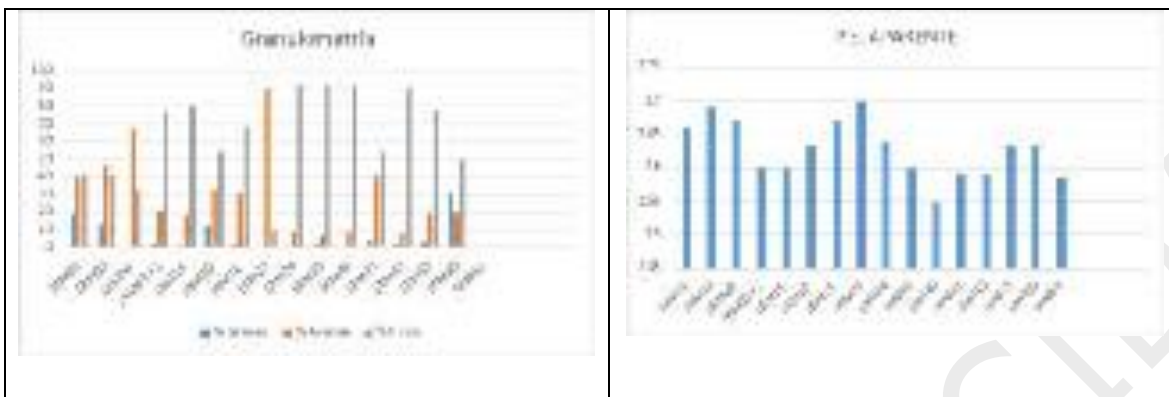
Son suelos de textura areno arcillosa cuyo material parental corresponde a los niveles arenosos de las litoarenitas, limolitas y lodolitas, que en general son: - Moderadamente plásticos, de consistencia baja a media, humedad natural moderada - permeabilidad media a baja (Gráfico 14).

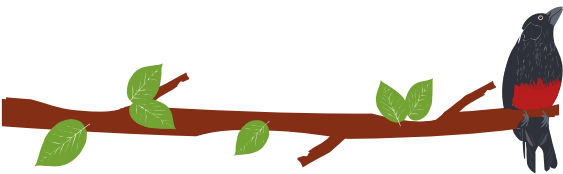
- Coloración rojiza, pardo, ocasionalmente suelos de color gris oscuro a negro, con alto contenido de materia orgánica producto de la alteración de las capas de lodolitas que intercalan la sucesión litoarenitas y limolitas. - El espesor varía entre 10 y 50 m en el sector este de la cuenca y de entre 8 y 30 en el costado occidental de la cuenca.





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu).

Los ensayos de límites de Atterberg, arrojaron los siguientes resultados: límite líquido (LL= 60%), límite plástico (LP= 41%) y un índice de plasticidad (IP= 25) y una clasificación SUCS:

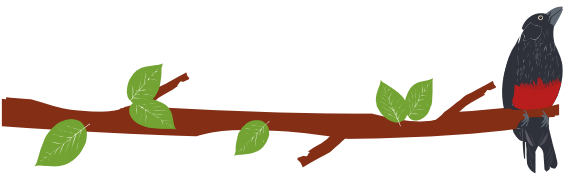
SC:	Arena arcillosa
SM:	Arena limosa
CL :	Arcilla de baja plasticidad
MH:	Limo de alta compresibilidad
GM:	Gravas, arenas limosas y arcillosas
ML:	Limo de baja compresibilidad
SP-SM o SP-SC:	Arena mal graduada, limo arcillosa, no plástica

PENETROMETRO DE BOLSILLO

En la Tabla 36, se presenta el resumen de resultados de pruebas de campo realizadas con el penetrómetro de bolsillo, realizados a muestras inalteradas en la etapa de exploración geotécnica en el área de la cuenca sobre la unidad (Srs2) de la Formación Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao (K2alu). Se realizaron pruebas en 5 sitios de suelos residuales de esta unidad obteniendo consistencia muy blanda a muy firme.

Tabla 37. Resumen pruebas con penetrómetro de bolsillo para la unidad Srs2

ESTACIÓN	RESISTENCIA PENETROMETRO Kg/cm ²	CONSISTENCIA
JAM01	0.63	1
JAM03	1.16	1
JAM04	0.9	1
JAM07 F2	0.43	1
JAM15	0.3	1
JAM20	1.46	1
JAM21	0.66	1
JAM23	2.23	2
JAM24	2.66	2
JAM39	0.46	1
JAM40	0.56	1
JAM41	1.06	1
JAM43	0.4	1
JAM45	2.5	2
JAM50	0.6	1
JAM52	0.1	1



Máximo valor 2.66 Kg/cm²

Mínimo valor 0.10 Kg/cm²

Sobre esta Unidad Geológica Superficial, es donde se presentan la mayoría de los procesos de movimientos en masa de tipo rotacional, se observan más sobre los taludes de corte de la vía nacional, vías secundarias y terciarias, donde se han generado deslizamiento de grandes dimensiones asociados al sistema de la Falla de Cañasgordas. También se observan huellas y coronas de deslizamientos antiguos que se estiman están en equilibrio y presentan buena recuperación de cobertura vegetal.

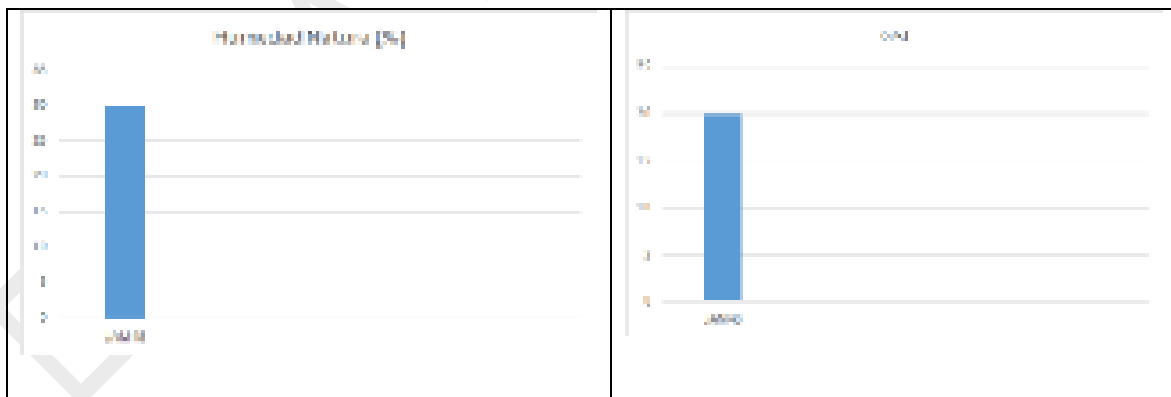
En la medida que el suelo residual es de poco espesor, los deslizamientos presentados son pocos profundos y rápidos, como el espesor perfil de meteorización identificado en la cuenca está por encima de los 30 metros de espesor, los deslizamientos inventariados son muy profundos y del tipo rotacional.

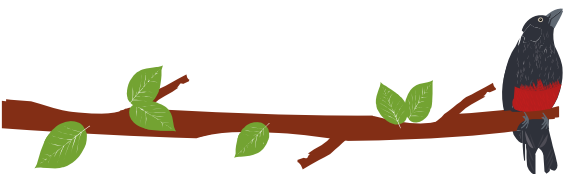
Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie3) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc)

Unidad de rocas volcánicas localizada en el sector suroccidental de la cuenca en la vereda musinguita del municipio de Frontino, Antioquía.

Suelos residuales de color pardo, producto de la alteración de los basaltos, textura original presente, con cristales de plagioclasas y clinopiroxenos con desarrollo de clorita, baja plasticidad, consistencia baja y de baja compresibilidad, generalmente son: poco plásticos, humedad natural moderada – permeabilidad media (Gráfico 16).

El afloramiento observado se encuentra sobre la vía Frontino-Carauta, vereda Musinguita, municipio de Frontino, en contacto con los suelos de la Formación Chert y Calizas de Nutibara.





PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

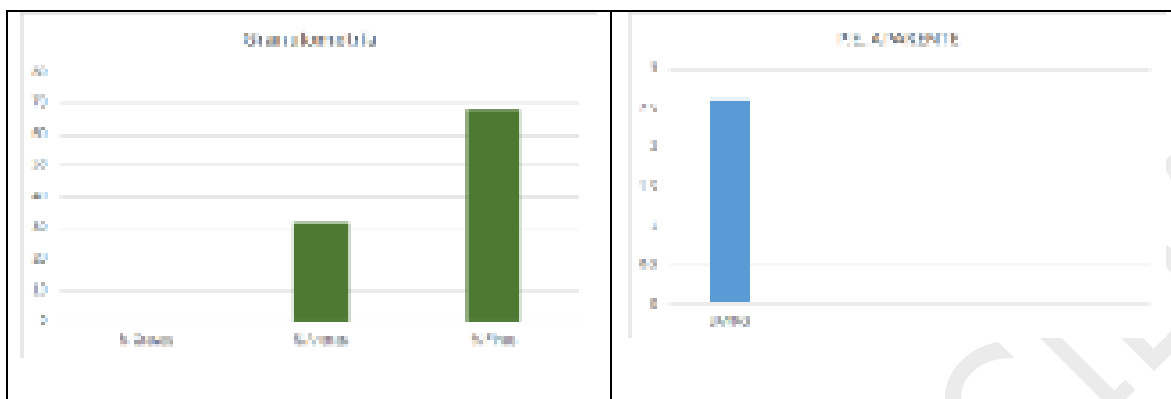
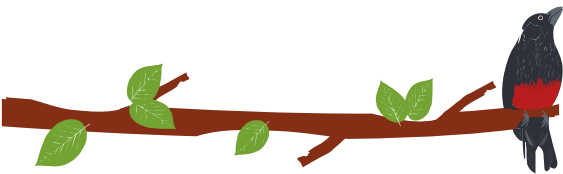


Gráfico 16. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico.



Figura 121. Pequeño afloramiento del suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc) sobre la vía Frontino-Carauta, estación JAM-48, vereda Musinguita, municipio de Frontino, coordenadas 1097187.3E, 1234443.13N.

Presenta un índice de plasticidad bajo, indicando una estabilidad aceptable. Las lecturas de los límites de Atterberg se relacionan en la Gráfico 17



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

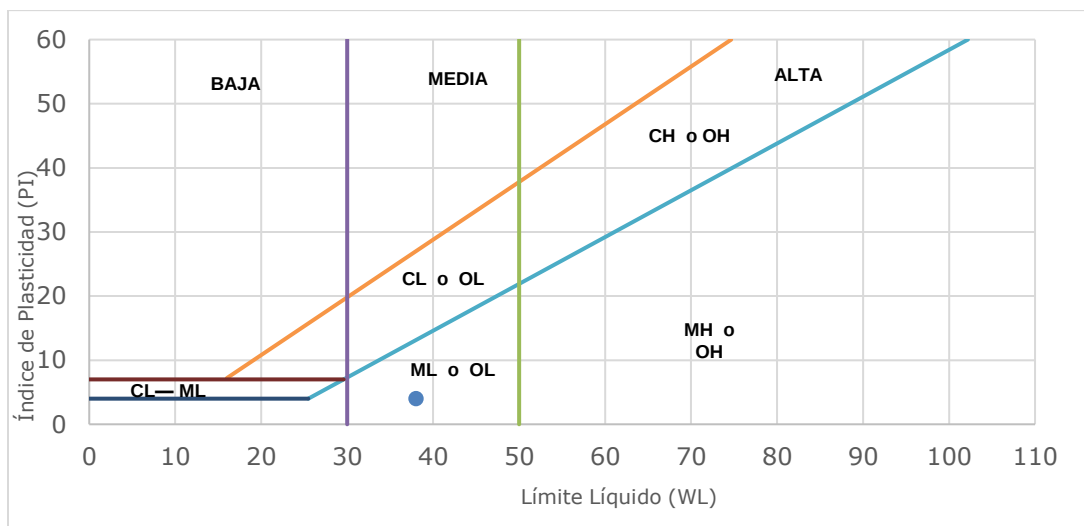


Gráfico 17. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie2) de los Basaltos de La Clara – Río Calle (K2bcc).

Los ensayos de límites de Atterberg (Gráfico 17), arrojan los siguientes valores: límite líquido (LL= 38%), límite plástico (LP= 34%) y un índice de plasticidad (IP= 4) y una clasificación SUCS:

ML: Limo de baja compresibilidad

Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb)

Los mejores afloramientos de esta unidad se encuentran cerca a la vereda El Botón, localizada sobre la vía Uramita – Dabeiba, litoestratigráficamente está constituida por basaltos porfídicos, andesitas porfídicas y rocas piroclásticas.



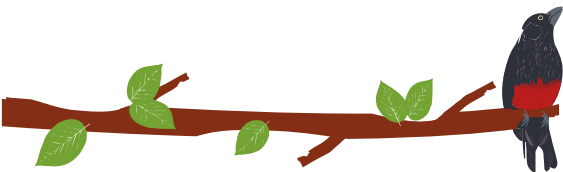


Figura 122. Afloramientos de suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb) en la cuenca Río Sudio Alto.

Suelos de color rojizo, matriz soportados, producto de la alteración de los basaltos, textura original presente, húmedos, de permeabilidad baja, poco plásticos, con abundante óxido de hierro, con más de 15 metros de espesor, de resistencia moderada, baja plasticidad, consistencia alta y de alta compresibilidad, generalmente son: poco plásticos, humedad natural moderada – permeabilidad media (Gráfico 18).

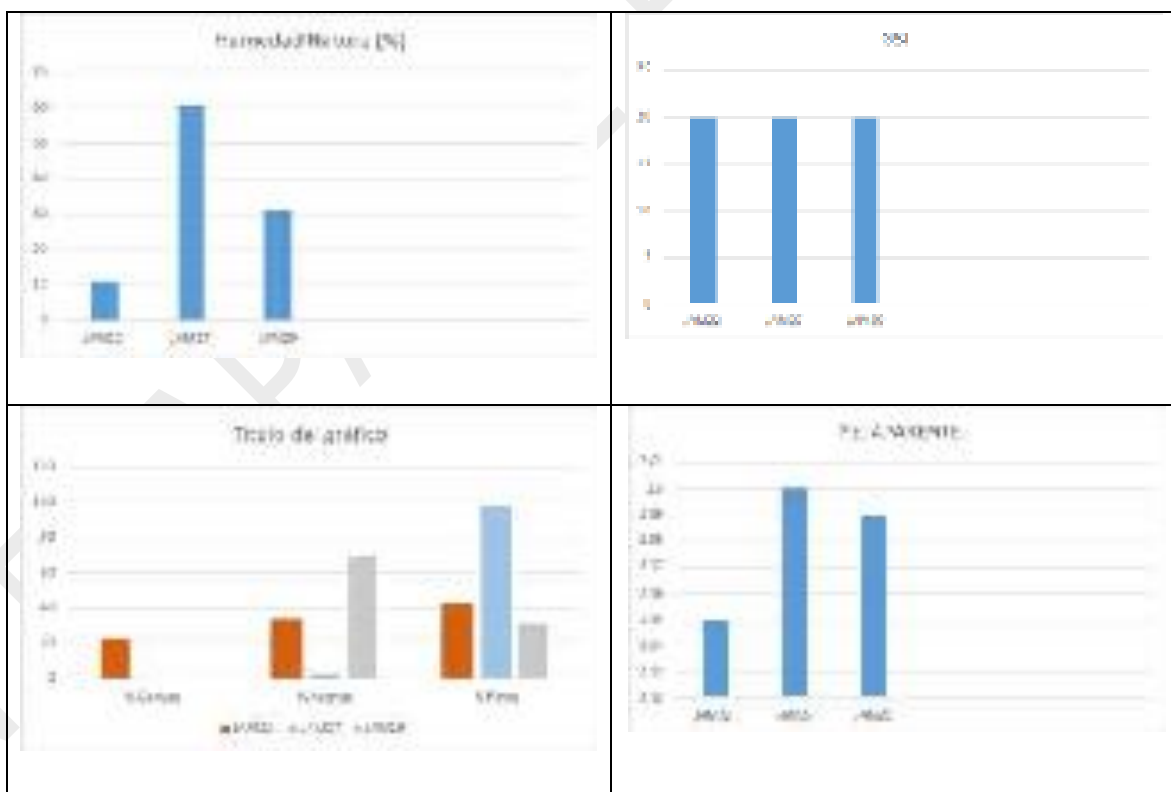
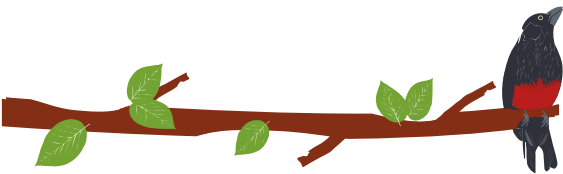


Gráfico 18. Resultados de las propiedades índices de la unidad suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico.



Los ensayos de límites de Atterberg (Gráfico 19), arrojaron los siguientes resultados: límite líquido (LL= 46%), límite plástico (LP= 29%) y un índice de plasticidad (IP= 17) y una clasificación SUCS:

SC:	Arena arcillosa
SM:	Arena limosa
MH:	Limo de alta compresibilidad

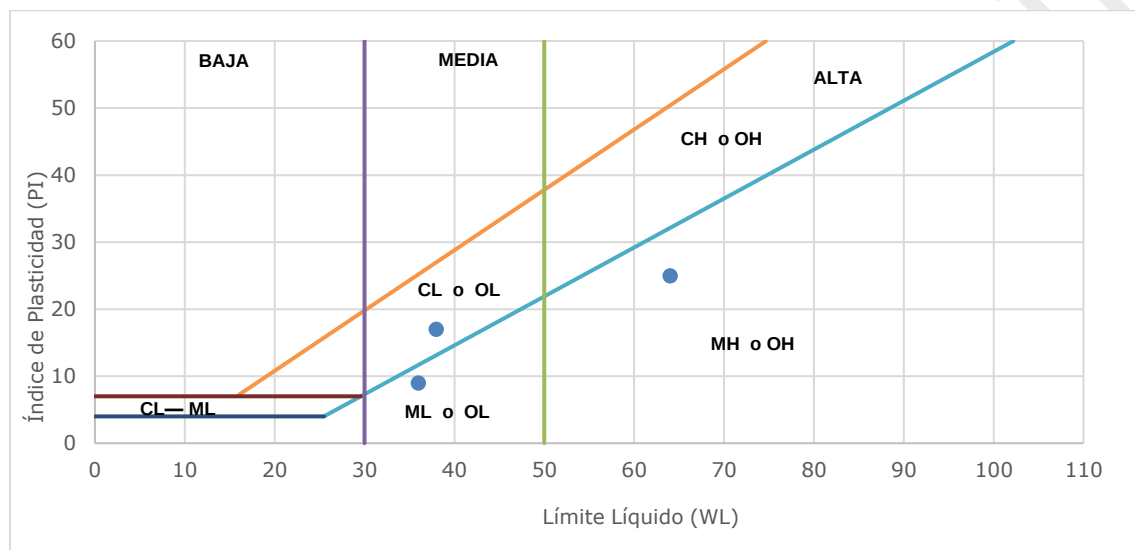


Gráfico 19. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie4) de los Basalto de El Botón (N1n4n5bb).

Suelo residual de material parental ígneo extrusivo (Srie5) del Complejo Santa Cecilia-La Equis (E1csce)

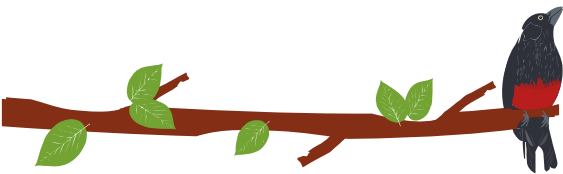
Se denomina Complejo Santa Cecilia-La Equis a las rocas volcánicas efusivas y piroclásticas localizadas al oeste de las sedimentitas de la Formación Guineales y al este del Batolito de Mandé (Muñoz & Zapata, 1987).

Suelos residuales producto de la alteración de los basaltos, que se han desarrollado a través de procesos de alteración física y química, conserban su textura original, con cristales de plagioclasas y clinopiroxenos con desarrollo de clorita, baja plasticidad, consistencia baja y de baja compresibilidad.

Como el material parental está conformada por flujos de lava, aglomerados, brechas y tobas de composición básica, localmente lavas almohadilladas e intercalaciones de chert y calizas fosilíferas, los suelos derivados pueden presentar relaciones de vacíos muy elevadas y porosidades muy altas.

Suelo residual de material parental de roca sedimentaria (Srs3) de la Formación Guineales (N1N2g)

Los suelos residuales de esta unidad son arcillosos, desarrollados en un ambiente geomorfológico definido por la acción combinada de procesos moderados a intensos de



meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que han remodelado y dejado remanentes de las geoformas preexistentes y además crean nuevas por acumulación de sedimentos.

Se presentan sobre un conjunto de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; con índice de relieve relativo menor de 250 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante (areniscas, conglomerados y margas de la Formación Guineales, al NW y SW) y de los procesos erosivos que lo han modelado (Servicio Geológico Colombiano, 2015).

Suelo residual de material parental de roca sedimentaria (Rmbs4) de la Formación Sedimentitas de Beivaviejo (N1sb)

Los suelos se han desarrollado en un ambiente geomorfológico estructural-denudativo, que forman formando pedimentos de acumulación de sedimentos y superficies vertical relacionada al flanco de una sierra sinclinal, Sinclinal de Rio Verde, que transcurre con dirección NS, en las inmediaciones de Dabeiba (SGC, 2015).

Esta unidad está conformada por los suelos residuales formados *in situ* por los procesos de meteorización física y química de una secuencia de areniscas y tufitas de color gris claro a ocre, lodolitas grises, lignito y shales calcáreos con nódulos de caliza, desarrollados en condiciones tropicales húmedas, de meteorización química intensa. En la meteorización química, las sales o silicatos se descomponen en arcillas expansivas, lo cual hace que se reduzca la densidad y la resistencia del material. Los suelos son detríticos, grano soportadas de color gris oscuro a gris verdoso, con predominio del tamaño arena media, pero con aporte de limo y conglomerado. Los granos son angulares a subangulares, alargados a subesféricos con mala a moderada selección.

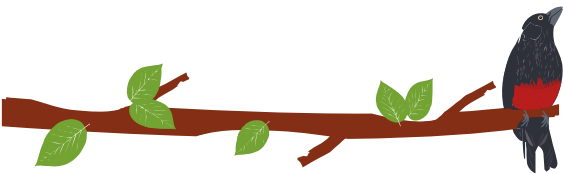
Las areniscas se meteorizan a arenas, limos y arcillas, el proceso incluye meteorización química y física, como resultados se forman capas intercaladas de varios colores, la formación de caolinita es el proceso más relevante en la meteorización. También se forman capas de color rosado de partículas finas, arenas y limos oxidados,

El suelo residual es más duro en la superficie y se hace más blando al profundizarse.

Suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii3) de la Monzonita de Nudillales (N1n4n5mn)

Esta unidad aflora al noroeste de Dabeiba, en una extensión de 20 km² para el cuerpo principal y unos 8 km² para la apófisis relacionada en el área, litológicamente varía de monzonita a diorita constituido por minerales félsicos (66-70%) y máficos (22-30%) con opacos <3%. La roca es fanerítica equigranular de grano fino a medio, color gris claro a medio, moteado de negro y rosado; compuesta por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, clinopiroxeno, anfíbol y biotita.

Suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf)



Esta unidad corresponde al horizonte de alteración de la Monzonita del Cerro Frontino, la cual genera suelos residuales de granulometría limosa con algunos fragmentos de cuarzo tamaño arena, de grano medio a grueso, color moteado (Figura 123), de estructura homogénea, húmeda, consistencia dura de plasticidad baja; en zonas de topografía abrupta, incluyendo las vertientes empinadas, genera horizontes superiores a 8m de espesor.



Figura 123. Suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf) observada en la vereda El Cerro, sector la mina.

Son suelos de granulometría heterogénea y las formas de los granos son angulosas, son permeables y porosos. Los suelos residuales pueden encontrarse agrietados y fisurados en superficie, con canales de flujo abiertos que aumentan la permeabilidad.

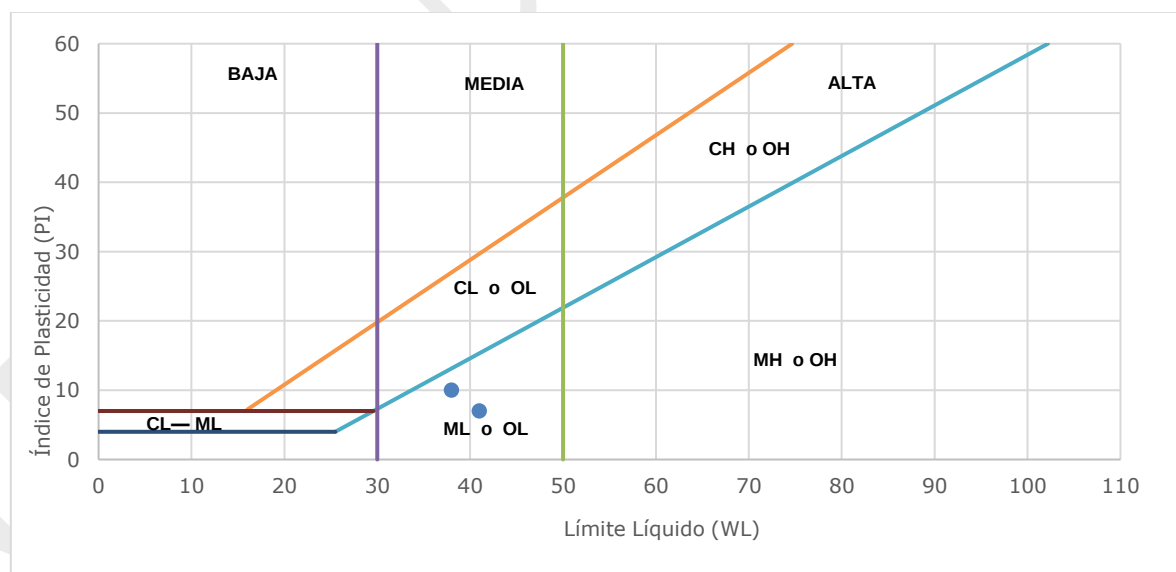
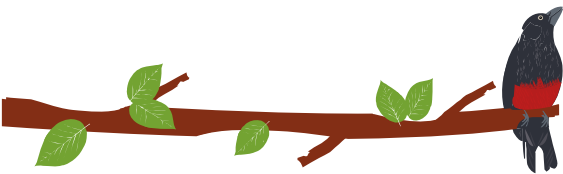


Gráfico 20. Carta de plasticidad de la unidad suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf).



En el Gráfico 21, se presentan resultados complementarios de las propiedades índices de los suelos de esta unidad.

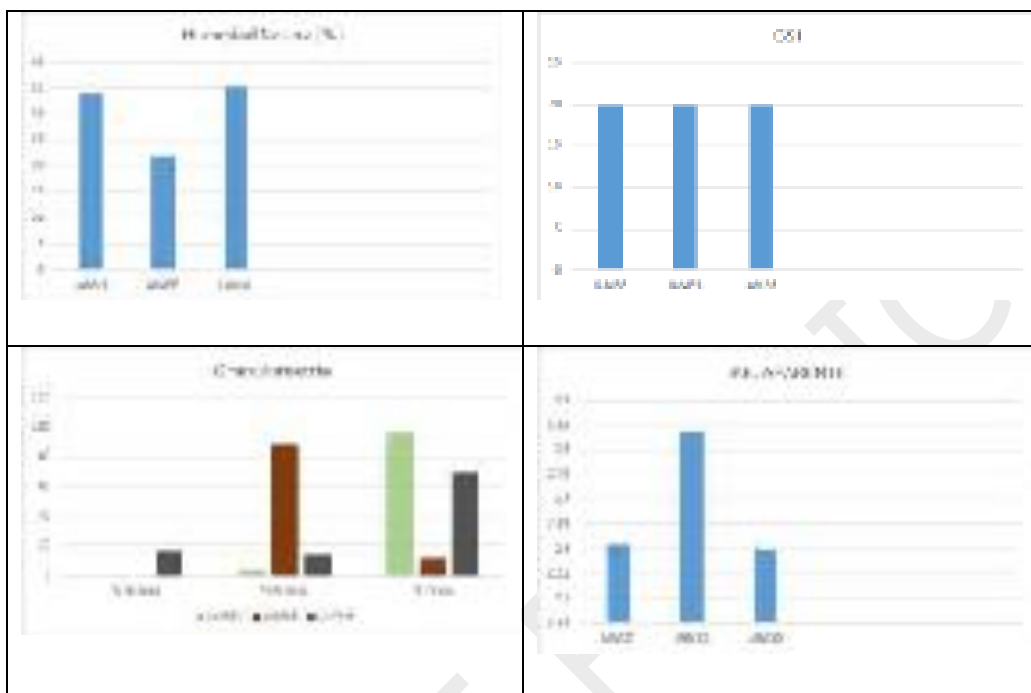


Gráfico 21. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii1) de la Monzonita Cerro Frontino (Nmcf): humedad natural, GSI, granulometría y peso específico.

Los ensayos de límites de Atterberg, realizados a muestras de suelos, arrojan los siguientes resultados: límite líquido (LL= 47.3%), límite plástico (LP= 33%) y un índice de plasticidad (IP= 14) y una clasificación SUCS:

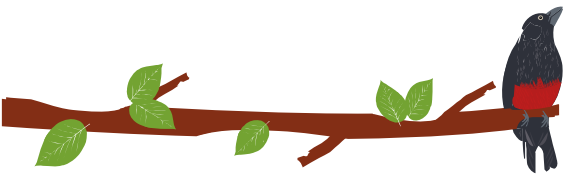
SP-SM ó SP-SC (NP): Arena mal graduada, limo arcillosa, no plástica
ML: Limo de baja compresibilidad

Esta unidad presenta índices de plasticidad bajos de 14%, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido, es decir resulta muy sensible a los cambios de humedad. Las lecturas de los límites de Atterberg se relaciona en la Gráfico 20.

Suelo residual de material parental ígneo intrusivo (Srii2) de la Diorita de Morrogacho (Ndmg)

Los suelos residuales de la Diorita de Morrogacho afloran en el cerro Morrogacho, localizado a 8 km al SW de Cañasgordas, son producto de la alteración de feldespatos potásicos, de textura pertítica y es intersticial entre plagioclasa, son equigranulares, de grano medio, de color moteado gris claro a blanco y negro.

Este tipo de suelos presentan predominantemente textura arcilloarenosa a arenoarcillosa, de color pardo amarillento, de plasticidad alta, en general todas las



propiedades getécnicas de estos materiales estan directamente relacionados con el grado de meterización. Generalmente son suelos de granulometría geterogénea y las formas de los granos son angulosas, son permeables y porosos.

1.13.8.3.5 Unidad geológica superficial materiales transportados

Son los materiales resultantes de la acción dinámica de los procesos geomorfológicos y de los agentes naturales, tales como, los sismos, el agua, el hielo, el viento y con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva.

Estos suelos, bajo la acción de los factores mencionados, son transportados y depositados a los sitios que ocupan actualmente. En general son materiales de carácter granular heterogéneo o finos de carácter cohesivo, inconsolidados y con eventual presencia de materia orgánica.

En este grupo tenemos los suelos de origen aluvial (Stfal1), cuyo principal agente de transporte es el agua, depositados en los cauces y llanuras de inundación de las quebradas menores, como lo son los suelos transportados por avenidas torrenciales (Stfft6) y Suelo transportado de cono de abanico (Stfdt5Ftas y Stftz3Fta).

Depósitos sedimentarios no consolidados se encuentran a en toda el área de estudio y se separan en: depósitos aluviales, depósitos de terrazas y depósitos coluviales. Son depósitos matrizsoportados conformados por grandes bloques de basaltos, diabasas y sedimentitas del Complejo Cañasgordas, envueltos en una matriz arcillosa abundante.

En esta unidad se agrupan las formaciones aluviales, aluviotorrenciales y depósitos de flujos de escombros y lodos, esta unidad se caracteriza por generar un horizonte IC (Deeere-Patton 1971) de limo arcillo arenoso, de color anaranjado. Estructura homogénea, húmedo.

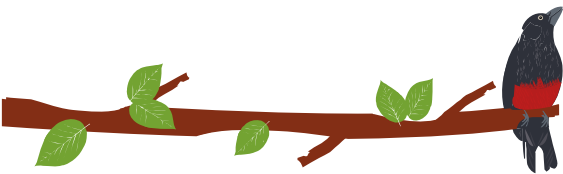
Son de origen aluvial, están asociados a terrazas y abanicos aluviales del Río Sucio y sus quebradas afluentes. Genera suelos limo arcilloso de color café rojizo con tonalidades naranjas.

Suelos de material parental Depósitos aluviales (Stfal1Fca)

Los depósitos aluviales ocupan las llanuras de inundación de los cauces actuales; están conformados por material no consolidado como bloques y gravas de rocas volcánicas básicas, plutónicas y sedimentarias en diferentes proporciones en una matriz de tamaño arena. Se destacan los aluviones que se encuentran a lo largo de los ríos y forman depósitos que ocupan la zona de inundación y sectores aledaños a ésta, rellenando los valles estrechos. Generalmente estos valles están cubiertos por cultivos de caña de azúcar o potreros, forman planicies estrechas entre las montañas aledañas (Rodriguez, Zapata, & Gomez, 2013).

Depósitos de terrazas (Stfdt5Ftas y Stftz3Fta) y Depósitos Coluviales (Strc1, Strc3Dlfd, Strc4Dlfi, Strftz3)

Son depósitos de origen aluvial, en el cual se incluyen depósitos de terrazas, aluviones, de superficie más o menos plana y horizontal, asociados a extensas zonas ribereñas del río Sucio, con depósitos más antiguos que han sido erosionados y presentan formas aterrazadas.



La estructura es clasto soportado, con fragmentos heterométricos y caótico con tamaños de bloques, guijos, cantos y bloques con diámetros hasta 1 m, de geometría redondeados a subredondeados y baja esfericidad, están constituidos principalmente por basaltos, diabasas y sedimentitas del Complejo Cañasgordas. Generalmente son depósitos de gravas y arenas, con intercalaciones limosas y arcillosas, con poca o ninguna consolidación, y selección regular a buena. La matriz es areno limosa, permeable, de consistencia moderadamente firme, con humedad baja a media, es fácilmente disgregable en sus bordes. La litología de los fragmentos constituyentes es muy variable, dependiendo del área fuente y el sitio de acumulación, corresponden a los niveles de crecientes máximas extraordinarias del río Sucio o flujos torrenciales en épocas de intensas lluvias.

La Fracción Gruesa de estos depósitos (arenas y gravas) corresponde a suelos no cohesivos, la consistencia de su matriz varía en la medida que cambia su estado de humedad y el comportamiento de estos suelos depende de la fracción gruesa en la forma como está empaquetadas las partículas.

Depósitos de origen fluvio torrencial originados por avenidas torrenciales, los cuales presentan características como: la estructura interna es matriz soportada, contienen clastos tanto angulares como redondeados, arrastrados de los lechos de las corrientes, tienen una mala selección que revela la sedimentación caótica y simultánea de bloques y finos, diferenciándose como flujos de escombros o flujos de lodo por el porcentaje de bloques. Adicionalmente, pueden tener acumulación superficial de bloques dispuestos paralelamente a la dirección de la corriente o mostrar pendientes mayores a 3 o 4%, que no son normales en los depósitos aluviales propiamente dichos.

Los depósitos coluviales corresponde a un depósito de vertiente en una zona altamente tectonizada. Este tipo de depósitos yacen inconformes sobre las unidades ígneas y sedimentarias más antiguas.

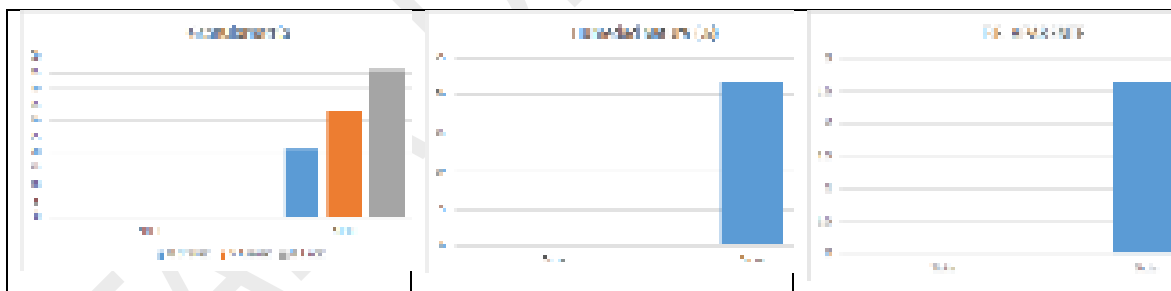


Gráfico 22. Resultados de las propiedades índices del suelo residual de material parental depósitos de terrazas (Stf5Ftas y Stf3Fta): humedad natural, granulometría y peso específico.

De acuerdo a los ensayos de límites de Atterberg, que arrojaron los valores de límite líquido (LL= 39%), límite plástico (LP= 23%) y un índice de plasticidad (IP= 16) y una clasificación SUCS: SC, arena arcillosa, en esta unidad la posibilidad de que se presenten fenómenos de expansividad de suelos es moderada a baja.

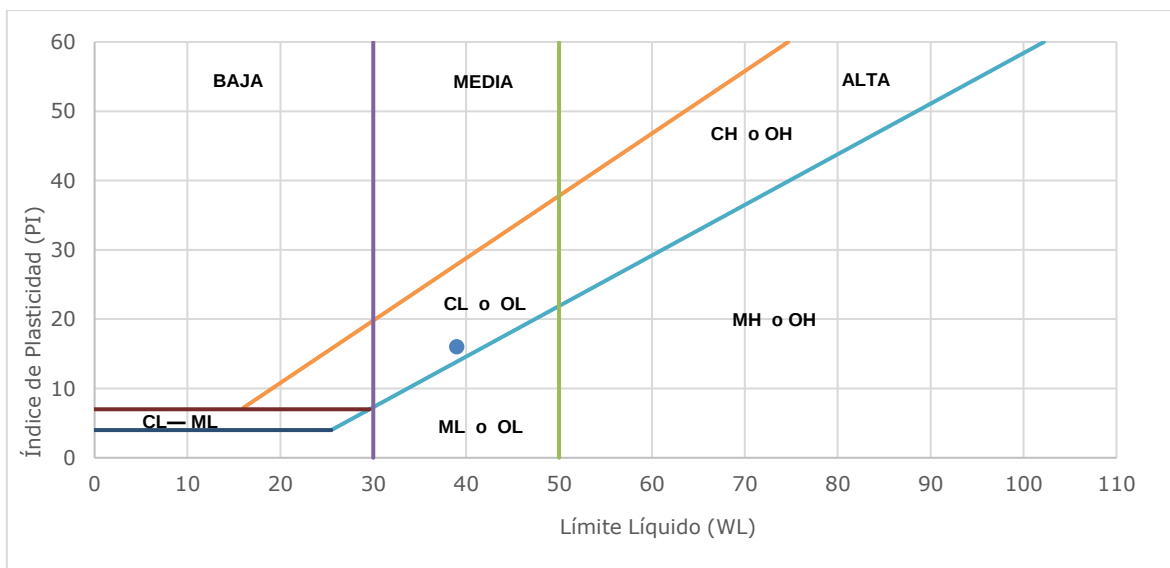
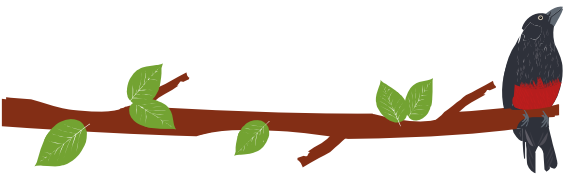


Gráfico 23. Carta de plasticidad de la unidad Depósitos de terrazas (Stf5Ftas y Stf3Fta)

Suelos de material parental Depósitos fluvio- torrenciales Stft6Ftan

Se caracterizan por ser depósitos originados por avenidas torrenciales, los cuales presentan características como: la estructura interna es matriz soportada, contienen clastos tanto angulares como redondeados, arrastrados de los lechos de las corrientes, tienen una mala selección que revela la sedimentación caótica y simultánea de bloques y finos, diferenciándose como flujos de escombros o flujos de lodo por el porcentaje de bloques. Generan suelos de poco espesor que no supera los 50cm, los suelos son de granulometría arenosa de grano fino de color pardo (Fotografía 56).

Este depósito está formado por grandes bloques de basaltos, diabasas y sedimentitas del Complejo Cañasgordas, envueltos en una matriz arcillosa abundante, tiene forma alargada en dirección N-S y una extensión aproximada de 1 km, se ensancha dentro de la plancha 6 km, está atravesado por el río Frontino y algunas quebradas, este flujo está disectado y ha generado varias terrazas donde se ha expandido la población de Frontino (Rodríguez, Zapata, & Gomez, 2013).

Estabilidad de taludes. Los depósitos aluviales expuestas por el corte de la vía al Urabá en taludes verticales, son depósitos clasto soportados que pueden variar lateralmente a matriz soportados, bien cementados, cuya matriz areno limosa compuesta principalmente por cuarzo y micas, los clastos son subredondeados a subangulares, cuya forma varía ampliamente, desde esferas hasta discos o tubos, con orientación preferencial generando una "anisotropía" que gobierna en gran parte las propiedades geomecánicas, con contactos cóncavos y convexos, que generan una mayor resistencia en el depósito. En general el comportamiento de este tipo de materiales en la estabilidad de los taludes es bueno, estos depósitos son poco deformables, los materiales gruesos tienen un efecto de refuerzo sobre la masa de roca y por ende se pueden generar cortes con fuerte inclinación o verticales y sus taludes se mantienen estables.

La permeabilidad depende de la granulometría y generalmente presentan un nivel freático alto, el cual le otorga una aparente estabilidad, en la Figura 124, se muestra una panorámica de un corte sobre materiales aluviales, donde se aprecia la estabilidad de estos taludes.

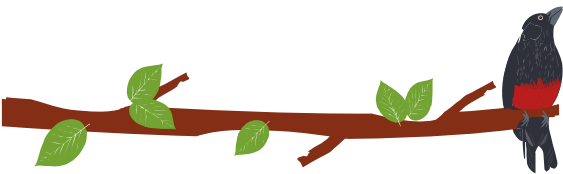
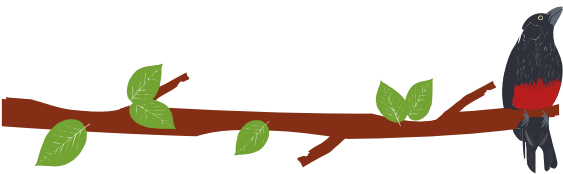


Figura 124. Panorámica Estación JAM-02 sobre la vía Dabeiba-Mutatá (Antioquía), donde se aprecia el corte sobre materiales de origen aluviales de hasta 8 m de altura con buena estabilidad.

Como producto final se tiene el mapa de Unidades Geológicas Superficiales de la cuenca del Río Sucio Alto. En bloque y por planchas sobre la totalidad del área de la cuenca a escala 1:25.000 junto con la respectiva leyenda.



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO FASE DE DIAGNÓSTICO

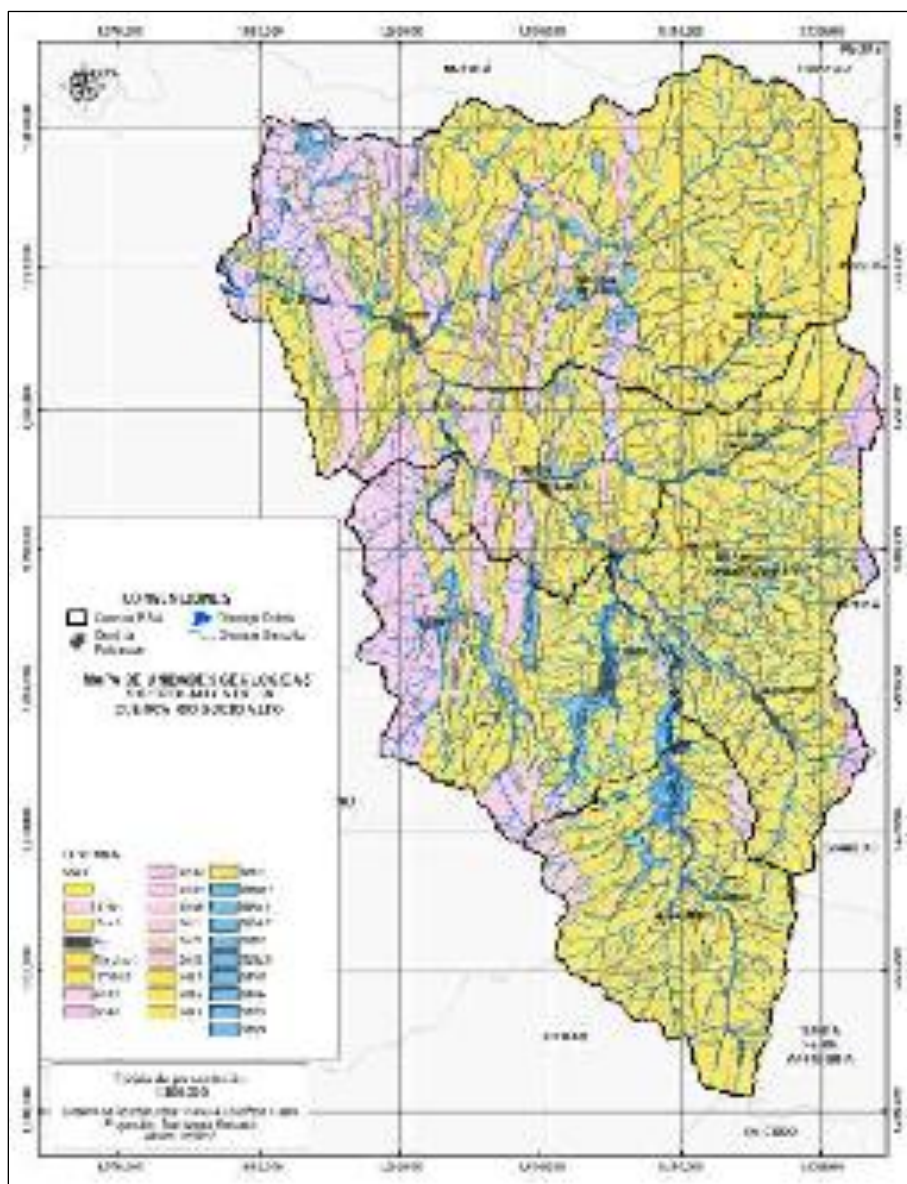
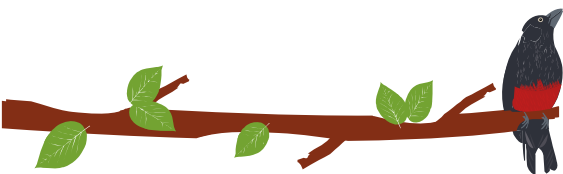


Figura 125. Unidades Geológicas Superficiales de la cuenca del Río Suction Alto a escala 1:25.000.

1.13.8.3.6 MODELO GEOLOGICO-GEOTÉCNICO

El estudio del comportamiento de los suelos y rocas en términos de su resistencia mecánica, deformación y permeabilidad a los fluidos, en condiciones naturales o por modificación antrópica, conduce a conocer estas características, que a la vez se expresan por medio de parámetros, los cuales se obtiene a partir de ensayos *in situ* y de laboratorios.

La zonificación geotécnica, es la subdivisión de un territorio en área que poseen la misma distribución de materiales, cuyas propiedades geomecánicas son similares, por lo tanto, tendrán un comportamiento mecánico semejante ante un mismo tipo de suceso, como por ejemplo un movimiento en masa o un sismo. El comportamiento de los materiales



frente a los agentes naturales y antrópicos es un parámetro esencial en el análisis de la estabilidad de taludes.

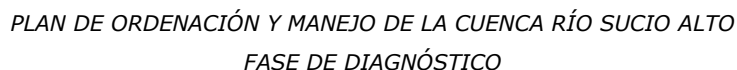
En la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas (Fondo Adaptación, 2014), en particular en la evaluación de la amenaza por movimientos en masa se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. El espesor (h) promedio del suelo y/o depósito (metros) de cada UGS para los casos de suelos, depósitos y materiales intermedios.
2. Las características geológico-geotécnicas de los materiales potencialmente inestables, unidades geológicas superficiales (UGS).
3. Parámetros de cohesión (C),
4. Peso unitario del suelo (γ),
5. Ángulo de fricción (ϕ).
6. Capacidad de carga y descarga de las rocas (Porosidad y Permeabilidad).

En la Tabla 38, se presentan los parámetros geotécnicos obtenidos para la cuenca Río Sucio Alto.

Tabla 38. Parámetros geotécnicos obtenidos para las UGS de la cuenca Río Sucio Alto.

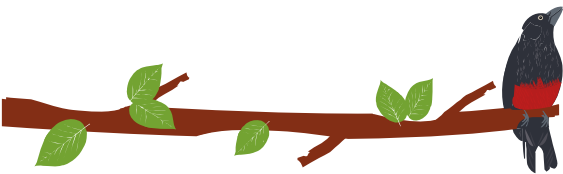
NOM_UNIDAD	UGS	$\Phi(^{\circ})$	C (kPa)	P_U (N/m ³)	COEFICIENTE (m/día)	ESPESOR (m)
Suelo residual ígneo extrusivo limoso de alta y baja comprensibilidad, de las Diabasas y basaltos de San José de Urama.	Srie1	25.00	7.00	2.50	0.4500	12
Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja comprensibilidad de la Formación Barroso.	Srie2	26.00	11.00	2.52	0.2000	15
Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja comprensibilidad de los Basaltos de La Clara - Río Calle.	Srie3	33.00	17.00	2.62	0.2000	23
Suelo residual ígneo extrusivo arenocarcilloso del Basalto de El Botón.	Srie4	50.77	42.06	2.55	0.5000	15
Suelo residual ígneo extrusivo arenocarcilloso del Complejo Santa Cecilia la Equis.	Srie5	50.77	42.06	2.62	0.0010	11
Suelo residual ígneo intrusivo limoso de baja comprensibilidad de la Diorita de Morrogacho.	Srii1	33.00	17.00	2.68	0.2000	12
Suelo residual ígneo intrusivo arenoso no plástico de la Monzonita del Cerro Frontino.	Srii2	0.00	0.00	0.00	0.0000	13
Suelo residual ígneo intrusivo arenoso no plástico de la Monzonita de Nudillales.	Srii3	32.00	40.90	2.84	7.0000	12
Suelo residual sedimentario limoso de alta y baja comprensibilidad de los Chert y calizas de Nutibara.	Srs1	39.95	11.10	2.69	0.2000	30
Suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja comprensibilidad de las Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao.	Srs2	33.20	17.02	2.60	0.5000	
Suelo residual gravoarenoso limoso y arcilloso de la Formación Guineales.	Srs3	30.00	10.00	2.80	10.0000	



The figure consists of two maps of the Kosi River basin in Nepal. The left map is titled 'Kosi River Basin' and shows the basin's extent with a legend indicating 'Kosi River Basin' and 'Kosi River Basin'. The right map is also titled 'Kosi River Basin' and shows the basin's extent with a legend indicating 'Kosi River Basin' and 'Kosi River Basin'.

Las UGS, se agruparon teniendo en cuenta la clasificación de suelos de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS): Fino de alta plasticidad (H), Fino de baja Plasticidad (L) y Arena (S) (Figura 126).

195



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

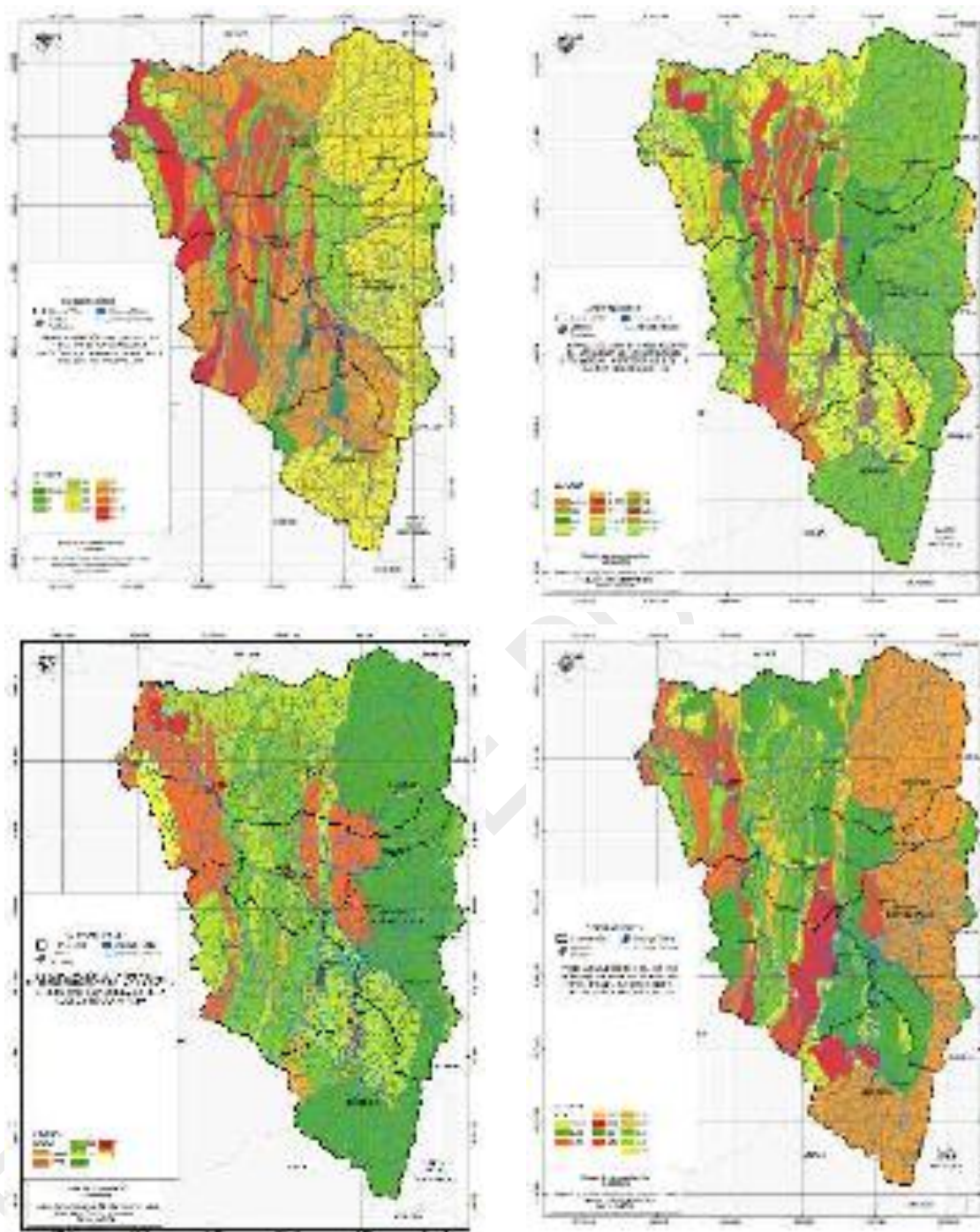
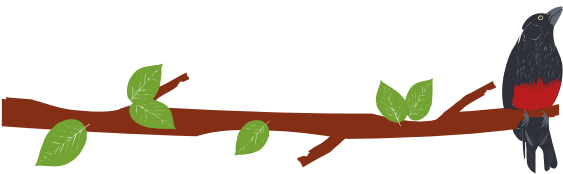


Figura 127. Cohesión, ángulo de fricción, peso unitario y capacidad de almacenamiento para los suelos de la cuenca Río Sucio Alto.

Las características de resistencia de la UGS, esta expresada en términos de cohesión y ángulo de fricción, peso unitario tanto para rocas como para suelos, esto dato se obtuvo a partir de los resultados de la caracterización de las UGS (Figura 127).



Los suelos clasificados son de baja y alta compresibilidad. La consistencia relativa de los suelos presenta variación importante desde consistencia muy blanda (correspondiente al 70% de las muestras ensayadas) a consistencia rígida. Los suelos residuales de menor consistencia son provenientes de las unidades geológicas, Cherts y calizas de Nutibara, Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao, depósitos aluviales, arcillolitas, conglomerados y areniscas de la Formación Guineales, en su respectivo orden.

Los suelos son susceptibles a presentar procesos de remoción de masas especialmente en temporadas de lluvias, debido a que la humedad natural es menor que la humedad de equilibrio, por lo tanto, el suelo se expandirá para buscar la cantidad de agua y alcanzar la humedad de equilibrio.

La expansividad de los suelos es desde Baja a muy Alta, correspondiendo los mayores valores a las unidades: Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao, Chert y calizas de Nutibara, y Diabasas y basaltos de San José de Urama, respectivamente. La expansividad alta a muy alta se presenta en el centro de la cuenca, parte menos abrupta.

Las litoarenitas de la Formación Urrao presenta los mayores valores de resistencia de la roca a carga puntual.

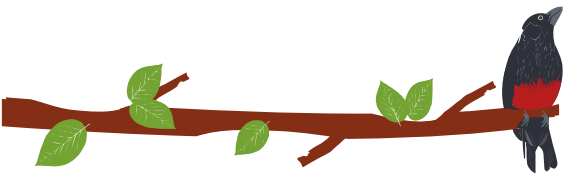
1.13.8.3.7 COMPLEJIDAD ESTRUCTURAL DE LAS ugs DEFINIDAS

Las Unidades Geológicas Superficiales de la cuenca Río Sucio Alto están afectadas por estructuras de falla formadas bajo condiciones frágiles y en niveles de deformación intermedios, estas últimas caracterizadas por el desarrollo de zonas amplias deformadas donde afloran principalmente milonitas. Dos direcciones de fallamiento predominan en esta área: N-S y N45°W y buzamientos variables entre 70° y 45° de inclinación principalmente hacia el NE. Relacionadas a éstas se presentan fallas inversas, fallas de rumbo y fallas normales. Los tensores regionales del SW-NE producen los planos de falla con direcciones N-S a N55°E, siendo la mayoría de las fallas encontradas en el corte Dabeiba-Uramita de tipo inverso con componente sinextral, las cuales son generadas en ambientes compresivos.

Las fallas de dirección N-S conforman la tendencia estructural regional dominante en la zona norte de la Cordillera Occidental y en la cuenca, es el límite o borde del Complejo Cañasgordas con el Complejo Santa Cecilia-La Equis está representado por numerosas fallas trenzadas dando origen a un mosaico de bloques deformados de diferente litología, el cual se denomina Sistema de Fallas de Dabeiba, compuesto por fallas dispuestas de manera anastomosada que limitan fajas y lentes de diabasas y basaltos con bloques de chert y calizas y bloques de litoarenitas, limolitas y lodolitas, así como también limitan bloques de tobas-aglomerados-basaltos del Complejo Santa Cecilia-La Equis, los Basaltos de El Botón y la Formación Guineales.

El Sistema de fallas de Dabeiba afecta las rocas del Complejo Cañasgordas, y limita bloques de diferente litología dentro del complejo como diabasas, chert, calizas, litoarenitas y lodolitas. El sistema está representado aproximadamente por 13 a 15 fallas; el límite occidental del Sistema de fallas de Dabeiba es la Falla Dabeiba-Pueblo Rico, que corresponde al contacto fallado del Complejo Cañasgordas con el Basalto de El Botón; el límite oriental del sistema es la Falla de La Herradura que pone en contacto la zona de mayor deformación con rocas menos deformadas del Complejo Cañasgordas.

La Falla la Herradura controla el río Herradura entre la vereda Pontón Llano Grande y la desembocadura de éste al río Sucio, para continuar hacia el norte en dirección N-S hasta



la vereda Llano Grande cerca de la Inspección de Urama Grande, donde es truncada parcialmente por una falla del sistema N45°W (SGC, 2013).

La Falla Dabeiba–Pueblo Rico se considera como el límite tectónico entre el Complejo Cañasgordas y el Complejo Santa Cecilia–La Equis (SGC, 2013), el cual en la cuenca no está representado por una falla única y continua, sino por varias fallas que limitan bloques de ambos complejos espacialmente truncados por fallas NW y NE que desplazan los bloques en sentido E-W y que involucra no solo al bloque Cañasgordas y al arco de Chocó-Panamá sino también al Arco de El Botón.

El Sistema de fallas Amparradó – Murindó, es un grupo de fallas de dirección Norte-Sur que afloran al occidente de la Falla Dabeiba-Pueblo Rico y al oriente de la Falla Murindó y que afectan el Complejo Santa Cecilia–La Equis, el Basalto de El Botón, la Formación Guineales y Sedimentitas de Cruces. El Sistema de Fallas Amparradó – Murindó comprende las fallas Cerrazón, Amparradó, Chimurro, Togoridó, Amparradó Occidental, Sabaletas, Compañía y Pantanos.

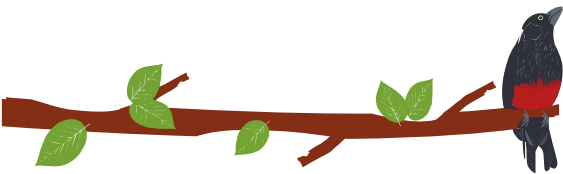
La Falla de La Cerrazón en la cuenca se toma como una falla de cabalgamiento con vergencia al oriente, que corresponde al contacto oriental de la Formación Guineales con el Basalto de El Botón, poniendo a cabalgar rocas volcánicas y piroclásticas sobre conglomerados de la Formación Guineales, con un plano de falla sinuoso con buzamiento menor a 55 grados.

También se presentan fallas y lineamientos de dirección N-W SGC (2013) como un conjunto de estructuras que afecta las fallas y lineamientos de dirección Norte-Sur, pero que aparentemente es truncado por el sistema de fallas Noreste. En la cuenca se presentan fallas de dirección NW en la vereda El Águila, entre la Aguada y la quebrada La Esperanza y en un segmento del río Sucio afectando el contacto de la Formación Guineales. Se caracteriza porque trunca las fallas y bloques litológicos de dirección N-S, indicando que corresponde a fallas más recientes que las del rumbo regional N-S.

Fallas y lineamientos de dirección NE. Este sistema de fallas está representado por fallas de poca longitud que truncan los bloques litológicos y las fallas del sistema N-S y desplazan al sistema de fallas NW, considerando por tal razón que corresponden a las fallas más jóvenes que afectan la zona de estudio. Este sistema presenta una estructura importante en el sector entre la vereda El Botón y el río Togoridó, limita un bloque de rocas sedimentarias de la Formación Guineales, el cual está en contacto fallado con rocas volcánicas y desplaza el límite tectónico entre los complejos Cañasgordas y el Basalto de El Botón, que se ha denominado regionalmente como Falla Dabeiba – Pueblo Rico. Al sur de esta falla se presentan fallas cortas de este sistema que limitan la Formación Guineales y fraccionan el Basalto de El Botón en bloques.

Los pliegues presentes están relacionados a fallas dentro de bloques de rocas sedimentarias, donde el eje axial en los pliegues mayores, es paralelo a la tendencia regional N-S. Los bloques litológicos constituidos por paquetes de chert y caliza (Chert y calizas del Nutibara) presentan como respuesta a la deformación el desarrollo de pliegues complejos y localmente en chevrón en los bordes de las fallas y al interior de los bloques.

Las Unidades Geológicas Superficiales de la cuenca Río Sucio Alto presentan espesores muy altos de suelos residuales, llegando a sobrepasar los 40 metros, estos espesores están relacionados tanto con la composición de la roca, como por los agentes químicos ayudados por el tectonismo presente que desarrolla zonas amplias deformadas.



1.13.8.3.8 CONCLUSIONES

La cuenca Río Sucio Alto está conformada principalmente por secuencias sedimentarias de origen detrítico correspondientes a las Formaciones Urrao y Nutibara, las cuales se diferencian por su origen y granulometría. En el oriente, se encuentran rocas volcánicas con gabros y diabasas y areniscas, algo conglomeráticas, limolitas y arcillolitas. Hacia el occidente, afloran intercalaciones de chert y calizas con diabasas. La Formación Urrao (K2alu) y la Formación Nutibara (K2cn) son las más representativas en la cuenca, la Formación Urrao aflora en más del 70% del área y es la que más problema de inestabilidad presenta, especialmente al oriente de la cuenca.

En la Cuenca del Río Sucio Alto se identificaron veinte y dos (25) unidades superficiales, basados en las características de los perfiles de meteorización de las rocas existentes, donde se evaluaron las condiciones físicas y geomecánicas determinando: cuatro (4) unidades geológicas superficiales de roca, doce (12) unidades de suelos residual y nueve (9) unidades de suelos transportados

De acuerdo con la geología, la geomorfología, la topografía, las pruebas de campo, los ensayos de laboratorio y los respectivos análisis en la cuenca se

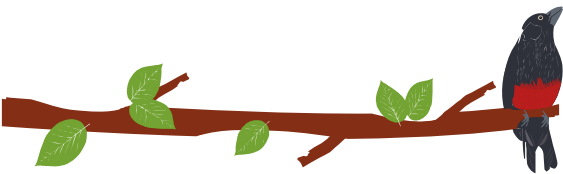
La UGS de roca moderadamente blanda está compuesta por intercalaciones de conglomerados, areniscas de la Formación Guineales.

Las UGS de rocas intermedias está compuesta por: Chert y calizas de Nutibara, Diabasas y basaltos de San José de Urama, Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao.

Las unidades de suelos residuales están conformadas por: Suelo residual sedimentario limoso de alta y baja comprensibilidad de los Chert y calizas de Nutibara, Suelo residual ígneo sedimentario limoso de alta y baja comprensibilidad, Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja comprensibilidad de la Formación Barroso, Suelo residual ígneo extrusivo limoso de baja comprensibilidad de los Basaltos de La Clara - Río Calle, Suelo residual ígneo extrusivo arenoarcilloso del Basalto de El Botón, Suelo residual ígneo extrusivo arenoarcilloso del Complejo Santa Cecilia la Equis, Suelo residual ígneo intrusivo limoso de baja comprensibilidad de la Diorita de Morrogacho, Suelo residual ígneo intrusivo arenoso no plástico de la Monzonita del Cerro Frontino, Monzonita de Nudillales, Suelo residual arenolimoso arcilloso de alta y baja comprensibilidad de las Litoarenitas, limolitas y lodolitas de Urrao, suelo residual gravoarenoso limoso y arcilloso de la Formación Guineales y Suelo residual sedimentario arenoso y arcilloso de las Sedimentitas de Beibaviejo.

Las unidades de suelos transportados están conformas por aluvial con gravas y arenas, fluvial de abanico, fluvial de terraza, llanura aluvial de inundación, y suelos trasladados coluvial.

La caracterización de los macizos rocos y el alto grado de fracturamiento, se hace evidenciando su relación con las fallas geológicas presentes en la cuenca, e a mayor profundidad de perfiles de meteorización y características de resistencia desfavorables, mayores son los problemas de inestabilidad, como lo evidencian los datos tomados en campo. La presencia de materiales geológicos (roca y suelo) de baja resistencia (inherente) o la presencia de discontinuidades, son factores relacionados con la ocurrencia de movimientos en masa. Discontinuidades como las fallas, planos de estratificación, de foliación, diaclasas, contraste de materiales que generan cambios de permeabilidad en los horizontes de meteorización, son el origen de características de debilidad en los materiales (Servicio Geológico Colombiano, 2017).



PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA RÍO SUCIO ALTO
FASE DE DIAGNÓSTICO

En épocas de alta pluviosidad se pueden llegar a presentar deslizamientos de falla circular en perfiles de meteorización de alto espesor, en la zona la problemática está basada en los deslizamientos presentes por cambios de plasticidad y granulometría, La unidad Srs2 (K2alu) está conformada por materiales (arcillas) muy susceptibles a los procesos de remoción en masa, (superficies de falla circular profunda, por su condición blanda las arcillas y su característica plástica, presentan una buena capacidad de retener agua.

La estabilidad de los taludes y las laderas está gobernada por un conjunto de variables topográficas, geológicas, ambientales y antrópicas que determinan la posibilidad de los movimientos en masa, la mayoría de los procesos de inestabilidad se presentan una vez las fuerzas desestabilizantes superan la resistencia de los materiales a desplazarse.