



SYSCOL CONSULTORES S.A.S
Servicios Locales, Soluciones Globales.

SUB CAPITULO 1.1.
EVALUACIÓN GEOLÓGICA

CONTENIDO

1.	OBJETIVOS.....	13
1.1.	OBJETIVO GENERAL	13
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	14
3.	METODOLOGÍA	15
3.1.	FASE DE REVISIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR.	15
3.2.	FASE DE CAMPO.....	16
3.2.1.	Recorridos de la fase de campo.	21
3.3.	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.	23
4.	ESTRATIGRAFÍA	24
4.1.	UNIDADES DEL CRETÁCICO.....	25
4.1.1.	Formación Chipaque (K2cp)	25
4.1.2.	Grupo Guadalupe (K2g)	30
4.1.3.	Formación Guaduas (K2E1g)	44
4.2.	UNIDADES DEL PALEÓGENO	53
4.2.1.	Formación Cacho (E1c).....	53
4.2.2.	Formación Bogotá (E1b).....	62
4.2.3.	Formación La Regadera (E2r) Eoceno	67
4.3.	UNIDADES DEL NEÓGENO	72
4.3.1.	Formación Tilatá (N2t)	72
4.4.	UNIDADES DEL CUATERNARIO	82
4.4.1.	Depósitos Aluviales	82
4.4.2.	Depósitos Fluvioglaciares (Q1f).....	86
4.4.3.	Depósitos de Terrazas Altas (Q2t).....	88
4.4.4.	Depósitos Coluviales (Q2c) - Holoceno	91
4.4.5.	Potencial hidrogeológico de las unidades del Cuaternario.	92
5.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	93
5.1.	MARCO TECTÓNICO REGIONAL	93
5.1.1.	Marco Estructural Local.	94
5.2.	FOTOINTERPRETACIÓN.....	97
5.3.	FALLAS	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Categorías de importancia hidrogeológica y correlación con las unidades geológicas en el municipio de Guasca.....	16
Tabla 2. Descripción del espaciado en las discontinuidades.....	107
Tabla 3. Descripción de la continuidad en las discontinuidades.....	108
Tabla 4. Descripción de la abertura en las discontinuidades.....	108
Tabla 5. Descripción de la Rugosidad en las discontinuidades.....	109
Tabla 6. Descripción del relleno en las discontinuidades.....	109
Tabla 7. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Arenisca Dura.....	121
Tabla 8. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Plaeners.....	129
Tabla 9. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Arenisca de Labor y Tierna.....	139
Tabla 10. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Cacho.....	152
Tabla 11. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación la Regadera.....	164

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Afloramiento de la Formación Chipaque en la vía vereda El Salitre – vereda La Trinidad donde se muestran lutitas de color gris intercalado con arcillolitas, en el detalle (abajo) se aprecia una concreción ferruginosa (N:1022022, E: 1018685).....	27
Fotografía 2. Panorámica de la Formación Chipaque en la vía vereda Pastor Ospina - Gachetá. (N: 1.026.960, E: 1.031.259).....	28
Fotografía 3. Afloramiento de la Formación Chipaque en la vía Guasca - Gachetá. (N: 1.028.150, E: 1.032.002).....	28
Fotografía 4. Afloramiento de la Formación Arenisca Dura en la vía Guasca - Gachetá, donde se puede observar arenisca cuarzosa en bancos gruesos intercaladas con lutitas (N: 1.027.208 y E: 1.029.342).....	31
Fotografía 5. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía vereda Santa Lucía - vereda El Salitre. Capas de lutitas, arcillolitas intercaladas con limolitas y cuarzoarenisca (N: 1.025.499, E: 1.016.177).....	34

Fotografía 6. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía vereda Santa Lucía - vereda El Salitre. Capas medias a muy delgadas de Liditas (N: 1.025.499, E: 1.016.177)..... 35

Fotografía 7. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía Guasca - Sopó, donde se observa una intercalación de areniscas con limolitas (N: 1.030.999, E: 1.016.938)..... 35

Fotografía 8. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía Guasca - Gachetá. Capas medias a gruesas de arcillolitas intercaladas con capas de liditas, chert y fosforita (N: 1.027.508, E: 1.027954). 37

Fotografía 9. Afloramiento de La Formación Arenisca de Labor y Tierna en la vía vereda Pastor Ospina - Gachetá, donde se observa arenisca de grano fino separadas por bandas muy pequeñas de arcilla del mismo color, las areniscas se caracterizan por ser compactas y estratificación plano paralela (N: 1.027.532, E: 1.027.943)..... 40

Fotografía 10. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna, por la vía que conduce de la vereda Pastor Ospina - Gachetá, donde se puede observar arenisca con intercalaciones de limolitas (N: 1.027.637, E: 1.028.249)..... 40

Fotografía 11. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la parte norte de la vereda El Santuario, donde se presenta en capas muy gruesas areniscas cuarzosas de grano fino a medio, color beige a naranja, muy competente, con intercalaciones de arcillolita y limolitas (N: 1.032.131, E: 1.017.971). 41

Fotografía 12. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la vereda Mariano Ospina, donde se observa capas muy gruesas de arenisca de grano fino con intercalaciones de láminas de limolitas color gris y arcillolitas (N: 1.032.131, E: 1.017.971)..... 41

Fotografía 13. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se puede ver en el detalle, capas muy gruesas de cuarzoarenisca de grano fino, macizas (N: 1.032.131, E: 1.017.971)..... 42

Fotografía 14. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la vereda la Trinidad. Intercalación de cuarenisca y limolita, con estratificación plana-paralela y ondulada-paralela (N: 1.018.427, E: 1.022.863). 42

Fotografía 15. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vía Guasca - Guatavita. Intercalación de limolitas con areniscas (N: 1.033.307, E: 1.022.530)..... 45

Fotografía 16. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó. Capas muy gruesas de arenisca arcillosa de grano fino, se encuentra muy meteorizada (N: 1.030.743, E: 1.017.544). 46

Fotografía 17. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vereda Mariano Ospina. Arenisca de grano fino con intercalaciones de arcillolita de color gris y tonalidades amarillentas y rojizas (N: 1.027.338, E: 1.101.796). 46

Fotografía 18. Afloramiento de la Formación Guaduas en la parte norte de la vereda El Santuario. Arenisca cuarzosa de grano fino a medio, presenta estratificación plana - paralela continua con intercalaciones de arcillolita (N: 1.034.932, E: 1.019.134)..... 47

Fotografía 19. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vereda la Trinidad, donde se muestran cuarzoarenisca de grano medio a grueso y esporádicas intercalaciones de arcillolitas, en el detalle (abajo), se aprecia la estratificación cruzada (N: 1.020.581, E: 1.020.371). 48

Fotografía 20. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vereda la Trinidad, donde se muestran cuarzoarenisca de grano medio a grueso con capas de arcillolita (N: 1.021.929, E: 1.023.151). 49

Fotografía 21. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda la Floresta, donde se puede observar suelo residual, arenisca de grano muy fino a fino color gris claro - oscuro, muy deleznable (N: 1.025.666, E: 1.026.314). 49

Fotografía 22. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda la Floresta, donde se puede observar arenisca de grano muy fino a fino color gris claro-naranja y algunos clastos de 30 cm (N: 1.025.515, E: 1.026.069). 50

Fotografía 23. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda la Floresta, donde se puede observar arcillolita de color naranja en contacto neto con una arenisca de color gris claro de grano fino a muy fino, moderadamente dura (N: 1.025.392, E: 1.025.901). 50

Fotografía 24. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda La Floresta, donde se puede observar intercalación de arenisca que presenta estratificación plana paralela y ondulada, con arcillolita y limolita en láminas delgadas (N: 1.025.434, E: 1.025.737). 51

Fotografía 25. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda La Floresta, donde se puede arenisca de grano fino a muy fino que presenta estratificación ondulada y plano - paralela con intercalación de arcillolita (N: 1.025.505, E: 1.025.491). 51

Fotografía 26. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino, muy deleznable (N: 1.031.115, E: 1.023.675). 55

Fotografía 27. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara – sector termales, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino, en el detalle (derecha), se observa que hacia la base el tamaño de grano aumenta de grueso a muy grueso (N: 1.031.115, E: 1.023.675). 56

Fotografía 28. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino a medio, presenta estratificación cruzada, deleznable. (N: 1.031.638, E: 1.023.445). 56

Fotografía 29. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio color beige - violeta, se presenta nódulos, deleznable. (N: 1.031.376, E: 1.023.713). .. 57

Fotografía 30. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se observa arenisca cuarzosa de medio a muy grueso. (N: 1.027.627, E: 1.017.494). 57

Fotografía 31. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se observa cuarzoarenisca de grano muy fino a medio,

presenta estratos de arcillolita intercalada con arenisca, muy deleznable (N: 1.031.085, E: 1.018.944)..... 58

Fotografía 32. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se observa cuarzoarenisca de grano muy fino a medio, presencia de óxidos de hierro, muy deleznable y presencia de arcillolitas (N: 1.030.570, E: 1.018.801)..... 58

Fotografía 33. Foto de detalle Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa una cuarzoarenisca de grano medio a grueso, se puede observar los cambios de coloración naranja a rojizo debido a la meteorización de fragmentos líticos y moscovita (N: 1.030.449, E: 1.018.713)... 59

Fotografía 34. Afloramiento de La Formación Cacho en la vereda Santa Lucía, en la vía principal que conduce del casco urbano a la vereda El Salitre, donde se observa arenisca de grano medio a muy grueso, deleznable (N: 1.025.903, E: 1.016.937)..... 60

Fotografía 35. Afloramiento de La Formación Cacho en la vereda La Trinidad, donde se observa arenisca cuarzosa de color beige, de grano medio a grueso, compacta, pero en algunos sectores presenta una meteorización alta (se desborona con la presión de los dedos) (N: 1.022.017, E: 1.023.171). 60

Fotografía 36. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Mariano Ospina, donde se observa capas medias de arcillolita de color naranja claro - oscuro, hacia el techo se observan fragmentos de arenisca hasta 11 cm angulosos con presencia de óxidos de hierro..... 64

Fotografía 37. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda la Trinidad, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio a muy grueso con intercalación de capas delgadas y medias de arcillolita (N: 1.018.464, E: 1.020.337)..... 64

Fotografía 38. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Las Flores, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio a grueso con estratificación (N: 1.030.545, E: 1.022.238)..... 65

Fotografía 39. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda El Salitre, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino a medio, muy friable con intercalaciones de limolitas gris claro (N: 1.024.143, E: 1.018.159). 65

Fotografía 40. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Santa Lucía, donde se observa arcillolita con intercalaciones de arenisca de grano fino (N: 1.023.725, E: 1.018.187)..... 66

Fotografía 41. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Santa, donde se observa cuarzoarenisca de grano medio a grueso, compacta (N: 1.025.204, E: 1.020.537)..... 69

Fotografía 42. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Santa, donde se observa cuarzoarenisca de grano medio (N: 1.025.703, E: 1.021.427). 69

Fotografía 43. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda San José, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio y estratificación curvada - no paralela (N: 1.025.837, E: 1.020.557). 70

Fotografía 44. Afloramiento de la Formación La Regadera en la vereda la Floresta, donde se observa arenisca cuarzosa en bancos gruesos intercalada con capas medias de arcillolitas (N: 1.031.848, E: 1.027.565). 70

Fotografía 45. Afloramiento de la Formación La Regadera en la vereda Santa Lucia, donde se observa arenisca de grano fino, deleznable y arcillolita color gris claro (N: 1.024.828, E: 1.018.791). 71

Fotografía 46. Afloramiento de la Formación Tilatá en la parte norte de la vereda El Santuario, donde se observa un depósito de aproximadamente 6,5 m compuesto por arenas y gravas envueltas en una matriz arenosa, se evidencia erosión en surcos (N: 1.032.271, E: 1.020.351). 75

Fotografía 47. Afloramiento de la Formación Tilatá en la parte central de la vereda El Santuario, donde se puede observar un depósito compuesto por grandes bloques de arenisca de grano fino a medio, con fuertes tonalidades naranjas embebidos en una matriz areno - arcillosa (N: 1.033.131, E: 1.019.736). 75

Fotografía 48. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda El Santuario, donde se puede observar un depósito de aproximadamente 6 m compuesto por arenas de grano fino hasta guijarros de 20 cm embebidos en una matriz areno - arcillosa, se presenta erosión en surcos (N: 1.034.063, E: 1.021.441). 76

Fotografía 49. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda El Santuario donde se observa un depósito de aproximadamente de 4 m compuesto por partículas tamaño arena hasta guijarros de 20 cm, subangulares, mal seleccionados embebidos en una matriz areno - arcillosa, en algunos sectores se presenta secuencias granocrecientes y arcillolitas de color ocre, presencia de óxidos de hierro. 77

Fotografía 50. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vía que conduce de la vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se puede observar un depósito compuesto de granos de arena fina a gruesa y ocasionales guijos y guijarros embebidos en una matriz arenosa-arcillosa (N: 1.031.333, E: 1.019.641). 78

Fotografía 51. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vía que conduce de la vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se puede observar un depósito compuesto de granos de arena fina a gruesa, granos de cuarzo gruesos embebidos en una matriz arenosa - arcillosa, muy deleznable, se presenta erosión en surcos (N: 1.031.399, E: 1.019.101). 78

Fotografía 52. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda Pastor Ospina donde se presenta un depósito areno - arcilloso con cantos y bloques redondeados a subredondeados de arenisca cuarzosa (N: 1.029.923, E: 1.024.429). 79

Fotografía 53. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda Santa Bárbara donde se presenta un depósito areno - arcilloso con granos de tamaño arena media a muy gruesa (N: 1.031.244, E: 1.025.843). 79

Fotografía 54. Depósito Aluvial por la vía principal vereda El Salitre - Guasca, donde se puede observar un afloramiento de aproximadamente 8 m compuesto de matriz areno - arcillosa con guijarros de arenisca, moderadamente seleccionado, se presenta óxidos de hierro y moscovita. 83

Fotografía 55. Depósito Aluvial hacia la parte norte de la vereda Santa Bárbara, donde se puede observar un afloramiento compuesto de matriz arcillosa con clastos redondeados de arenisca, se presentan óxidos de hierro. 83

Fotografía 56. Depósito Aluvial en la vereda Las Flores, donde se puede observar un afloramiento de 4 m de matriz areno - arcillosa de color gris y tonalidades naranjas - rojizas con granos redondeados de arenisca de grano fino a medio con tonalidades rojizas, grises y naranjas, deleznable (N:1.031.523, E:1.023.741). ... 84

Fotografía 57. Depósito Aluvial en la vereda Santa Bárbara, donde se puede observar un afloramiento de matriz areno - arcillosa de tonalidades naranjas - rojizas con granos redondeados de arenisca de grano fino a medio seguido de una capa gruesa de cuarzoarenisca (N: 1.023.035, E: 1.024.101). 84

Fotografía 58. Depósito Aluvial en la vereda La Trinidad, donde se puede observar un afloramiento de matriz areno - arcillosa con guijarros de arenisca de 20 cm, alto contenido de óxidos de hierro y capas delgadas de arenisca cuarzosa (N: 1.022.188, E: 1.023.192). 85

Fotografía 59. Depósito Aluvial en la vereda Santa Bárbara, donde se puede observar un afloramiento de matriz areno - arcillosa de grano fino a medio de color naranja y rojizo con con guijarros de arenisca de 30 cm, alto contenido de óxidos de hierro y capas gruesas de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso, deleznable (N: 1.031.279.188, E: 1.024.586). 85

Fotografía 60. Depósito Aluvial en la vereda Santa Bárbara, donde se observa suelo residual de color café oscuro con materia orgánica (raíces y hojas), arcillolita color gris y beige claro con esporádicos bloques subangulares de arenisca cuarzosa de grano fino color gris claro (N: 1.022.324, E: 1.016.650). 86

Fotografía 61. Afloramiento de los Depósitos Fluvioglaciares al norte de la vereda San Bárbara (N: 1.031.355, E: 1028334). 87

Fotografía 62. Afloramiento de Depósitos Fluvioglaciares en la vereda El Salitre por la vía que conduce a la vereda La Trinidad donde se presenta como un depósito de color gris oscuro (N: 1.023.069, E: 1.017.229). 87

Fotografía 63. Afloramiento de Terrazas Altas en las veredas Las Flores donde se presenta como un depósito compuesto por arenisca de grano medio de color gris con fragmentos de aproximadamente 2 a 10 cm. (N: 1.030.545, E: 1022238). 89

Fotografía 64. Afloramiento de los Depósitos de Terrazas Altas en la vereda El Salitre de color naranja compuesto por arenisca de grano fino (N: 1.024.726, E: 1.016.086). 90

Fotografía 65. Afloramiento de Depósitos de Terrazas Altas en la vía principal hacia el municipio de Guasca donde se presenta compuesto por clastos mal seleccionados junto a material areno - arcilloso de tonalidades naranjas. 90

Fotografía 66. Afloramiento de Depósitos Coluviales de color gris oscuro (N: 1.021.015, E: 1.015.988). 92

LISTA DE IMÁGENES

Imagen 1. Localización geográfica del área de estudio.	14
Imagen 2. Mapa geológico	18
Imagen 3. Unidades hidrográficas de la Sabana de Bogotá en jurisdicción del municipio de Guasca.....	19
Imagen 4. Delimitación preliminar del área de estudio para el PMAA del Municipio de Guasca	19
Imagen 5. Mapa de puntos de campo primera y segunda campaña de geología en el área de estudio.	20
Imagen 6. Mapa estaciones de Diaclasas.	21
Imagen 7. Recorridos fase de campo geología.....	22
Imagen 8. Columna cronoestratigráfica generalizada del área de estudio.	24
Imagen 9. Mapa estructural de la Sabana de Bogotá.	95
Imagen 10. Mapa geológico del área de estudio en donde se muestran las principales estructuras y las unidades litoestratigráficas. Las líneas negras representan las líneas de corte.	96
Imagen 11. Interpretación de drenajes a partir de fotointerpretación para el área de estudio.	98
Imagen 12. Corte geológico A.	103
Imagen 13. Corte geológico B.	104
Imagen 14. Corte geológico C	105
Imagen 15. Metodología frecuentemente utilizada para la medición de los diferentes atributos de los patrones de fracturamiento, transversal de muestreo y ventana de muestra (área circular de muestreo).	110
Imagen 16. Intensidad de fracturamiento, intersecciones de la circunferencia con las trazas de fractura (óvalos). (B) Densidad de fracturamiento, número de puntos terminales que caen dentro de la ventana de muestra (rombos).	111
Imagen 17. Diagramas de rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.	113
Imagen 18. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Arenisca Dura.	121
Imagen 19. Diagramas de rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Plaeners.	122
Imagen 20. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Plaeners.....	129
Imagen 21. Diagramas de rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.	130
Imagen 22. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Arenisca de Labor y Tierna.	138

Imagen 23. Intensidad de fracturamiento para la Formación Arenisca de Labor y Tierna en el área de estudio.....	141
Imagen 24. Densidad de fracturamiento para la Formación Arenisca de Labor y Tierna en el área de estudio.....	142
Imagen 25. Diagramas Rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Cacho.	143
Imagen 26. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Cacho.	151
Imagen 27. Intensidad de fracturamiento para la Formación Cacho en el área de estudio.	154
Imagen 28. Densidad de fracturamiento para la Formación Cacho en el área de estudio.	155
Imagen 29. Diagramas Rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación la Regadera.	156
Imagen 30. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación la Regadera.	164
Imagen 31. Intensidad de fracturamiento para la Formación La Regadera en el área de estudio.	166
Imagen 32. Densidad de fracturamiento para La Regadera en el área de estudio.	167

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. % Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierna.....	114
Gráfica 2. Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierna	114
Gráfica 3. % Continuidad en la formación Arenisca Dura	115
Gráfica 4. Continuidad en la formación Arenisca Dura	115
Gráfica 5. % Abertura en la Formación Arenisca Dura	116
Gráfica 6. Abertura en la Formación Arenisca Dura	116
Gráfica 7. % Rugosidad en la Formación Arenisca Dura.....	117
Gráfica 8. Rugosidad en la Formación Arenisca Dura	117
Gráfica 9. % Meteorización del relleno en la Formación Arenisca Dura.	118
Gráfica 10. Meteorización del relleno en la Formación Arenisca Dura.....	118
Gráfica 11. % Filtraciones en el relleno para la Formación Arenisca Dura.	119
Gráfica 12. Filtraciones en el relleno para la Formación Arenisca Dura.	119
Gráfica 13. % Composición del relleno en la Fm. Arenisca Dura.....	120
Gráfica 14. Composición del relleno en la Fm. Arenisca Dura.....	120
Gráfica 15. % Espaciado en la Formación Plaeners.....	123
Gráfica 16. Espaciado en la Formación Plaeners.....	123
Gráfica 17. % Continuidad en la Formación Plaeners.	124

Gráfica 18.	Continuidad en la Formación Plaeners.	124
Gráfica 19.	% Abertura en la Formación Plaeners.....	125
Gráfica 20.	Abertura en la Formación Plaeners.....	125
Gráfica 21.	% Rugosidad en la Formación Plaeners.	126
Gráfica 22.	Rugosidad en la Formación Plaeners.	126
Gráfica 23.	% Meteorización en el relleno para la Formación Plaeners.....	127
Gráfica 24.	Meteorización en el relleno para la Formación Plaeners.	127
Gráfica 25.	% Composición del relleno para la Formación Plaeners.	128
Gráfica 26.	Composición del relleno para la Formación Plaeners.....	128
Gráfica 27.	% Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierna.....	131
Gráfica 28.	Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierna.....	131
Gráfica 29.	% Continuidad en la formación Arenisca de labor y tierna.	132
Gráfica 30.	Continuidad en la formación Arenisca de labor y tierna.....	132
Gráfica 31.	% Abertura en la Formación Arenisca Labor y Tierna.	133
Gráfica 32.	Abertura en la Formación Arenisca Labor y Tierna.	133
Gráfica 33.	% Rugosidad en la Formación Arenisca de Labor y Tierna.....	134
Gráfica 34.	Rugosidad en la Formación Arenisca de Labor y Tierna.....	134
Gráfica 35.	% Meteorización en el relleno de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.....	135
Gráfica 36.	Meteorización en el relleno de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.....	135
Gráfica 37.	% Filtración en el relleno del Fm. Arenisca de Labor y Tierna.....	136
Gráfica 38.	Filtración en el relleno de la Fm. Arenisca de Labor y Tierna.....	136
Gráfica 39.	% Composición del relleno en la Fm. Arenisca de Labor y Tierna... ..	137
Gráfica 40.	Composición del relleno en la Fm. Arenisca de Labor y Tierna.....	137
Gráfica 41.	% Espaciado en la Formación Cacho.	144
Gráfica 42.	Espaciado en la Formación Cacho.....	144
Gráfica 43.	% Continuidad en la Formación Cacho.....	145
Gráfica 44.	Continuidad en la Formación Cacho.....	145
Gráfica 45.	% Abertura en la Formación Cacho.	146
Gráfica 46.	Abertura en la Formación Cacho.....	146
Gráfica 47.	% Rugosidad en la Formación Cacho.	147
Gráfica 48.	Rugosidad en la Formación Cacho.	147
Gráfica 49.	%Meteorización en el relleno de la Formación Cacho.....	148
Gráfica 50.	Meteorización en el relleno de la Formación Cacho.....	148
Gráfica 51.	%Filtración (relleno) Formación Cacho.	149
Gráfica 52.	Filtración (relleno) Formación Cacho.	149
Gráfica 53.	%Composición del relleno Formación Cacho.....	150
Gráfica 54.	Composición del relleno Formación Cacho.....	150
Gráfica 55.	Espaciado en la Formación la Regadera.....	157
Gráfica 56.	Espaciado en la Formación la Regadera.....	157
Gráfica 57.	%Continuidad en la Formación la Regadera.....	158
Gráfica 58.	Continuidad en la Formación la Regadera.....	158

Gráfica 59. % Abertura en la Formación la Regadera.	159
Gráfica 60. Abertura en la Formación la Regadera.	159
Gráfica 61. Rugosidad en la Formación la Regadera.	160
Gráfica 62. Rugosidad en la Formación la Regadera.	160
Gráfica 63. % Meteorización del relleno en la Formación la Regadera.	161
Gráfica 64. Meteorización del relleno en la Formación la Regadera.	161
Gráfica 65. Filtraciones en el relleno para la Formación la Regadera.	162
Gráfica 66. Filtraciones en el relleno para la Formación la Regadera.	162
Gráfica 67. %Composición del relleno en la Formación la Regadera.	163
Gráfica 68. Composición del relleno en la Formación la Regadera.	163

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 1.** Mapa estaciones, y recorridos de campo (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 2.** Mapa estaciones, análisis estructural del macizo (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 3.** Mapa Geológico del área de estudio a escala 1:25.000 (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 4.** Cortes Geológicos (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 5.** Formatos de campo (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 6.** Diaclasas (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 7.** Resultados de laboratorio (Físico y digital Ver CD)
- Anexo 8.** Registro fotográfico (Digital Ver CD)
- Anexo 9.** Base de datos formato Excel (Digital Ver CD)

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización geológica de las unidades litoestratigráficas existentes en el área de estudio definida para el desarrollo de las fases de aprestamiento y primera fase de diagnóstico del sistema de acuíferos en el municipio de Guasca, jurisdicción de Corpoguavio.

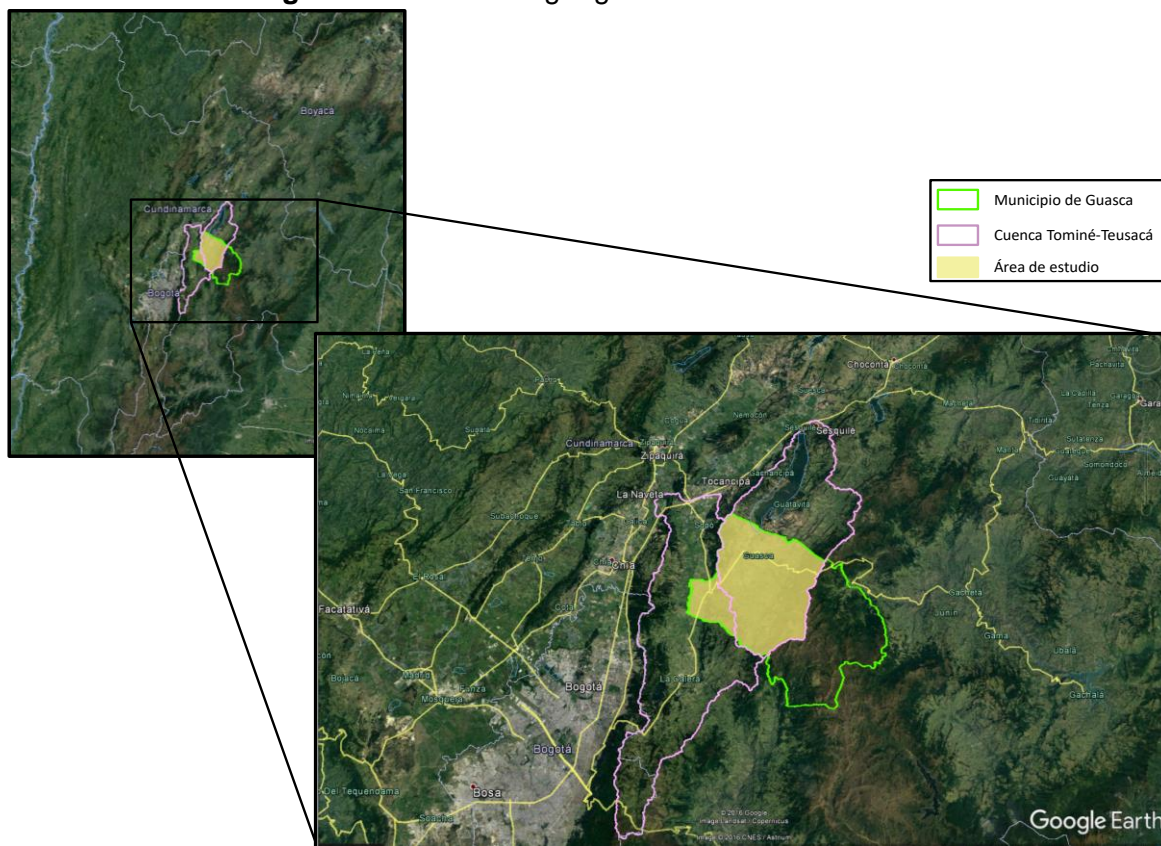
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar estudio del análisis de información geológica existente a escala regional del área de estudio.
- Realizar análisis de información indirecta del área de estudio entre las cuales se encuentran fotografías aéreas, imágenes satelitales y cartografía.
- Recopilar información geológica primaria del área de estudio, las cuales se centrarán en la caracterización litológica, mineralógica, estratigráfica y de geología estructural.
- Identificar y describir las unidades geológicas, con el fin de establecer las formaciones de importancia hidrogeológicas en el área de estudio.
- Realizar análisis espacial y mapa geológico a escala 1:25.000 del área de estudio con la información existente y la información primaria recolectada en campo, incorporada a un GDB estructurada en el SIG Arc Gis.

2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio comprende la superficie interceptada por los límites del municipio de Guasca y la cuenca del Embalse Tominé y el río Teusacá, como se observa en la imagen 1. El municipio de Guasca está ubicado en las estribaciones de la Cordillera Oriental de los Andes Colombianos al oriente del departamento de Cundinamarca y hace parte de la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Guavio (Corpoguavio). Localizado a una distancia de 51 Km, al nororiente de Bogotá D.C, el municipio de Guasca tiene una población de 12.208 habitantes y una extensión de 327 Km². El área municipal se divide en 14 veredas y un centro urbano¹. El municipio de Guasca limita al norte con el municipio de Guatavita, al oriente con el municipio de Junín, al sur con los municipios de La Calera y Fómeque y por el occidente con el municipio de Sopó.

Imagen 1. Localización geográfica del área de estudio.



Fuente: Google Earth Inc. (Adaptado por SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017)

¹ Díaz, E., y Zamora, L. (2011). Estrategia de gestión ambiental para el manejo del recurso hídrico en el ámbito local Caso municipio de Guasca – Cundinamarca (Maestría en Gestión ambiental). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia

3. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para la evaluación geológica para el desarrollo de las fases de aprestamiento y primera fase de diagnóstico del sistema de acuíferos en el municipio de Guasca, jurisdicción de Corpoguavio se realizó de acuerdo a los requerimientos de la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos del año 2014, la cual está enfocada principalmente en la caracterización litológica (definición de la porosidad), mineralógica, estratigráfica y estructural.

3.1. FASE DE REVISIÓN DE INFORMACIÓN PRELIMINAR.

Esta fase consiste en organizar, verificar y validar la información de los estudios geológicos realizados anteriormente en el área de estudio por parte de entidades públicas y privadas, entre los cuales se destacan:

- Estratigrafía y *Facies* del Grupo Guadalupe. Pérez y Salazar, 1978.
- Estudio hidrogeológico cuantitativo de la Sabana de Bogotá - Informe hidrogeológico del sector Sisga-Tibitó y Embalse de Tominé. INGEOMINAS., 1993.
- Estudio de zonificación para racionalizar el aprovechamiento de aguas subterráneas y actualización de expedientes de pozos profundos en el municipio de Guasca (Cundinamarca). CORPOGUAVIO, 2000.
- Geología de la plancha 209 – Zipaquirá. MONTOYA, D., y REYES, G, 2003.
- Geología de la sabana de Bogotá. MONTOYA, D., y REYES, G, 2005.
- Mapa geológico y geología de la plancha 228 - Bogotá Noreste. CORREDOR, V., y TERRAZA, R, 2015.

Finalmente, se utilizó información complementaria como imágenes satelitales y fotografías aéreas para reconocer con mayor detalle las características geológicas predominantes del área de estudio, estas imágenes fueron suministradas por Corpoguavio, siendo producto de un convenio realizado con el Instituto Agustín Codazzi en el año 2010, la imagen tiene una escala de 1:100.000 con resolución 0.5 m x 0.5 m y coordenadas MAGNA_Colombia_Bogota.

3.2. FASE DE CAMPO

Previo al inicio la fase de campo, el grupo técnico interdisciplinario delimitó el área del estudio específica para el proyecto, teniendo en cuenta los límites de las cuencas Teusaca-Tomine y el límite del municipio de Guasca.

Los criterios que se tomaron para la delimitación preliminar del área de estudio fueron:

- Las unidades litológicas de interés hidrogeológico.
- El área del sistema de acuíferos de la sabana de Bogotá, en jurisdicción del municipio de Guasca.

Unidades litológicas de interés hidrogeológico. En el estudio de *zonificación para racionalizar el aprovechamiento de aguas subterráneas y actualización de expedientes de pozos profundos en el municipio de Guasca (Cundinamarca) del 2000*, se categorizó en alta, media y baja la importancia hidrogeológica de las unidades geológicas del área de estudio; el presente estudio se enfoca en las formaciones de alta importancia hidrogeológica y de importancia media teniendo en cuenta los objetivos del proyecto.

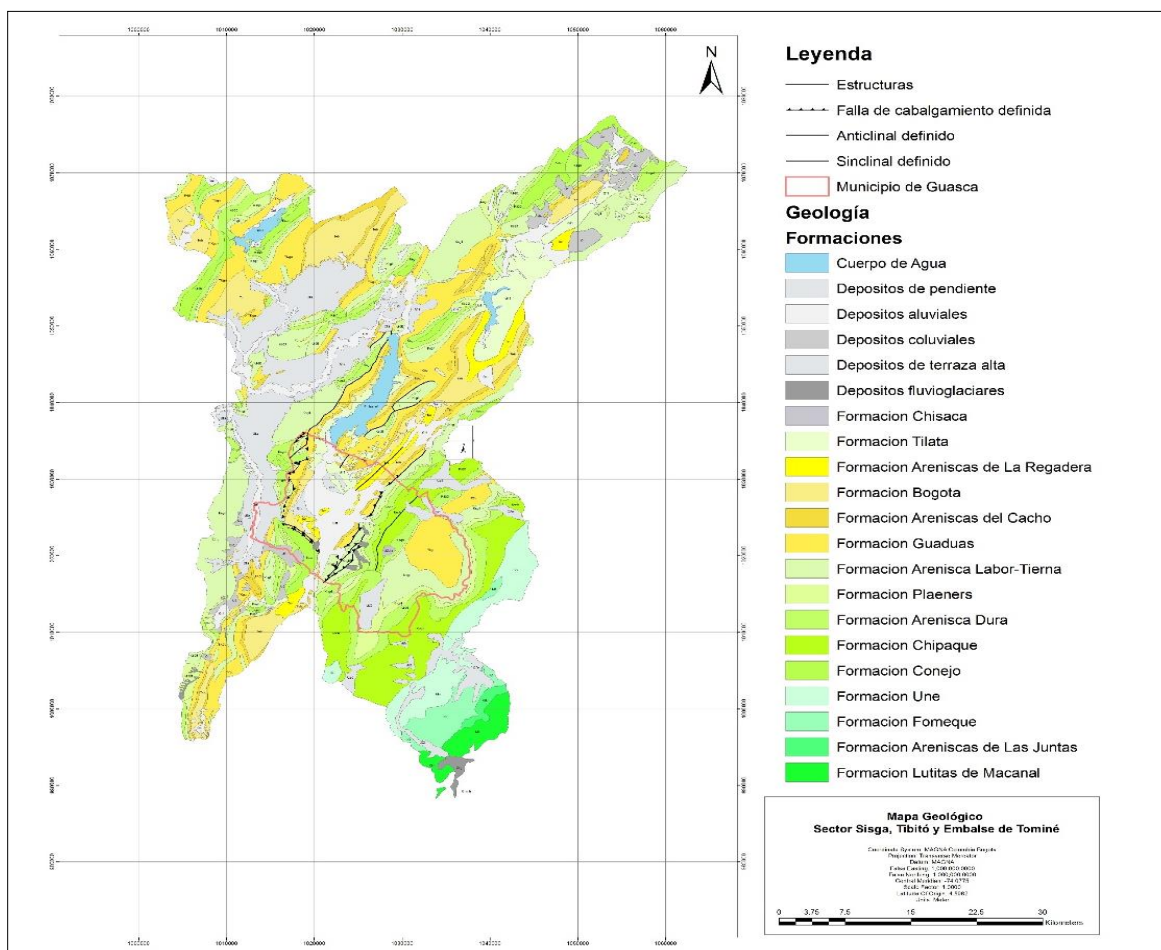
Tabla 1. Categorías de importancia hidrogeológica y correlación con las unidades geológicas en el municipio de guasca.

Importancia Hidrogeológica	Porosidad	Tipo de material	Tipo de unidad	Equivalente geológico
Alta	Primaria	Sedimentos permeables	Acuíferos discontinuos de extensión subregional, confinado, eventualmente libre	Terrazas aluviales (Qta)
	Primaria	Rocas permeables	Acuífero discontinuo de extensión local, confinado o libre	Formación Arenisca del Cacho (Tpc)
	Primaria y secundaria	Rocas permeables	Acuíferos discontinuos de extensión regional, confinados o semiconfinado,	Formación Arenisca de labor y tierna (Kgl)
Media	Primaria	Sedimentos permeables	Acuíferos discontinuos de extensión subregional, libres o confinados	Deposito Aluvial (Qal)
	Secundaria	Rocas poco permeables	Acuíferos discontinuos de extensión subregional, confinados	Formación Arenisca dura (Kgd)

Importancia Hidrogeológica	Porosidad	Tipo de material	Tipo de unidad	Equivalente geológico
Baja	Primaria	Rocas poco permeables	Acuíferos discontinuos de extensión local, confinados a libres	Formación Arenisca de la regadera (Ter)
		Rocas poco permeables	Acuíferos discontinuos de extensión local, confinados	Formación guaduas (Tkgu)
		Rocas poco permeables	Acuíferos discontinuos de extensión local, confinados o semiconfinados	Formación plaeners (Kgpl)
		Sedimentos poco permeables	Acuíferos aislados, efímeros, no consolidado, con muy delgados espesores saturados	Depósitos fluvioglaciares (Qftg)
		Rocas poco permeables	Acuíferos discontinuos de extensión local, confinados o semiconfinados	Formación Bogotá (Teb)
		Rocas poco permeables	Acuíferos discontinuos de extensión local, confinados, consolidados	Formación Chipaque (Ksc)

Fuente: Estudio de Zonificación para racionalizar el aprovechamiento de las aguas subterráneas y actualización de pozos profundos en el municipio de Guasca. CORPOGUAVIO, 2000.

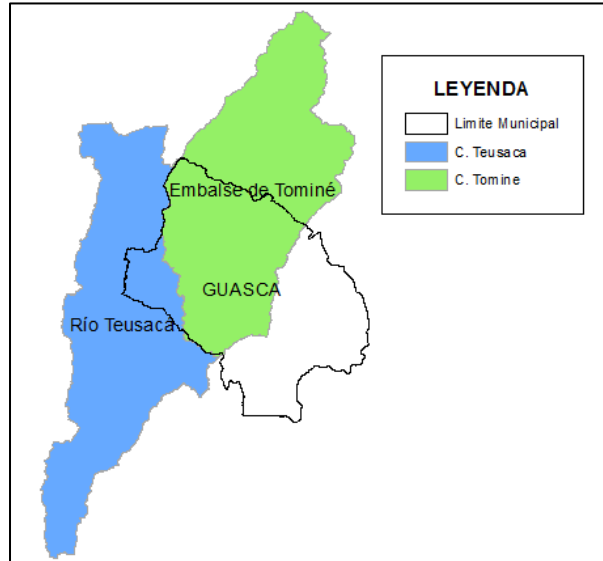
Imagen 2. Mapa geológico



Fuente: CORPOGUAVIO

Área del sistema de acuíferos de la sabana de Bogotá, en jurisdicción del municipio de Guasca. Mediante la información del estudio de *formulación del plan de ordenamiento del recurso hídrico de la unidad hidrográfica del embalse de Tominé del cual hacen parte los ríos Siecha – Aves y principales tributarios, y de la unidad hidrográfica del río Teusacá y principales tributarios en las jurisdicciones de la CAR y CORPOGUAVIO las cuales pertenecen a la cuenca del río Bogotá, se tomaron las unidades hidrográficas (Río Teusacá y embalse de Tominé), que están dentro del municipio de Guasca.*

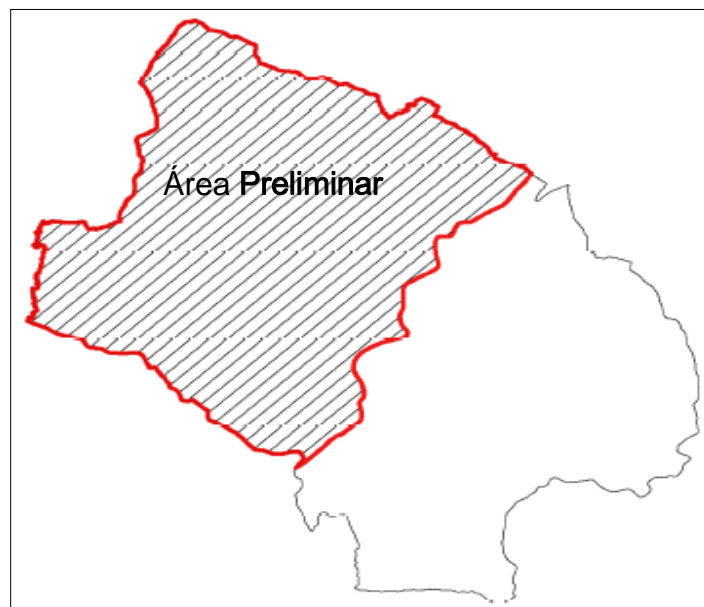
Imagen 3. Unidades hidrográficas de la Sabana de Bogotá en jurisdicción del municipio de Guasca.



Fuente: Unión temporal Corpoguayao, 2015

Teniendo en cuenta la información que se obtuvo de las unidades hidrográficas y de las unidades geológicas de interés hidrogeológico se realizó la delimitación preliminar del área de estudio, como resultado se obtuvo la siguiente área.

Imagen 4. Delimitación preliminar del área de estudio para el PMAA del Municipio de Guasca

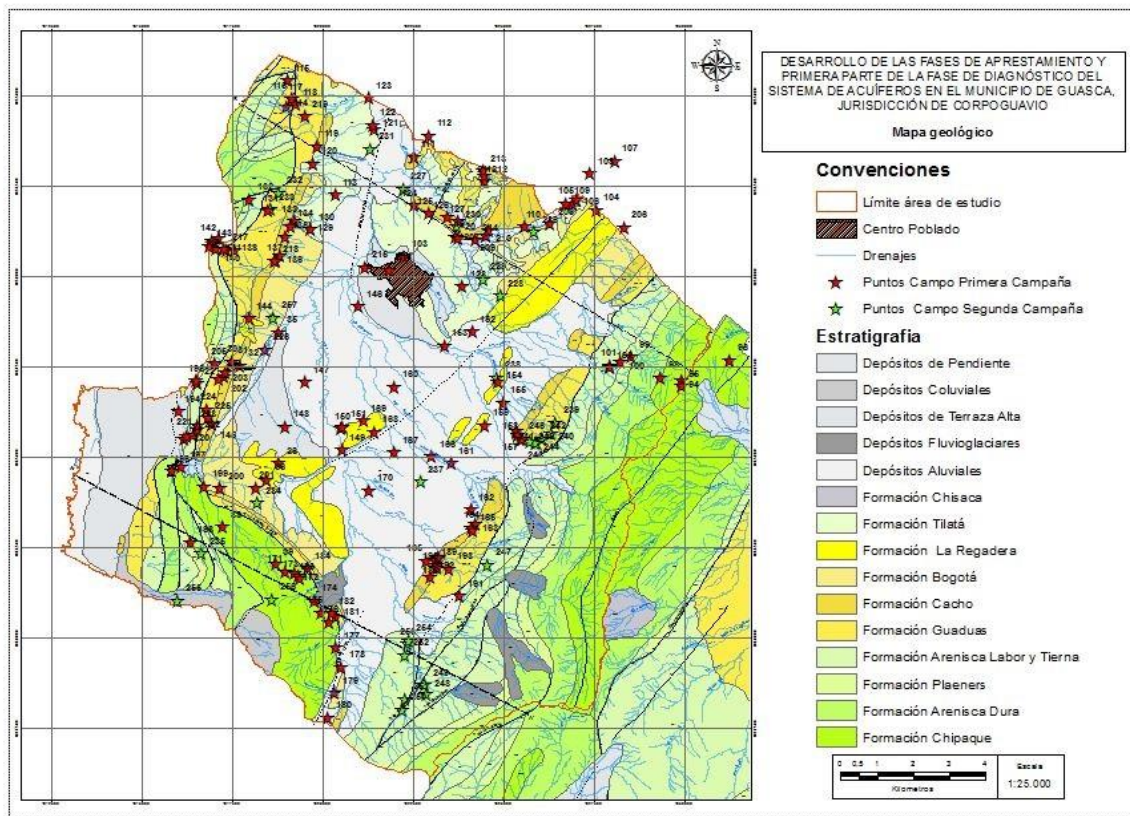


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S

Posterior a la delimitación del área de estudio con información secundaria, se inició la fase de campo que tuvo por objeto caracterizar las unidades litoestratigráficas presentes en el área de estudio, los contactos entre cada una de ellas, así como las características litológicas, mineralógicas y estratigráficas.

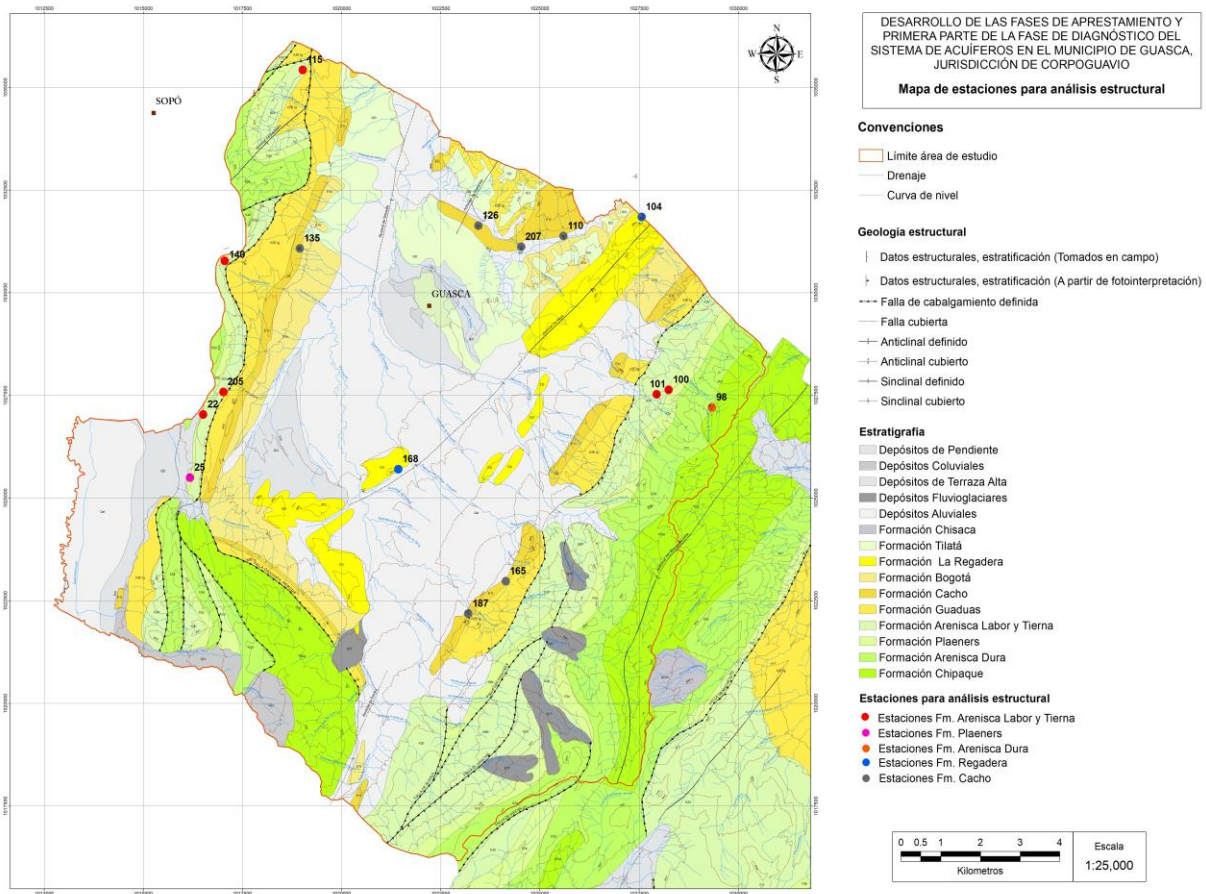
Para el análisis estructural se definieron las estructuras presentes en el área de estudio y se tomaron datos correspondientes a 37 datos de estratificaciones y 148 datos de diaclasas; los cuales se encuentran en 19 estaciones **ver imagen 6**, distribuidas entre las formaciones de la siguiente manera: 9 datos de diaclasas para la Formación Arenisca Dura, 7 datos de diaclasas para la Formación Plaeners, 65 datos de diaclasas para la Formación Labor y Tierna, 48 datos de diaclasas para la Formación Cacho y 19 datos de diaclasas para la Formación la Regadera. La Figura 3-1 muestra la localización de las estaciones realizadas durante la fase de campo.

Imagen 5. Mapa de puntos de campo primera y segunda campaña de geología en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 6. Mapa estaciones de Diaclasas.

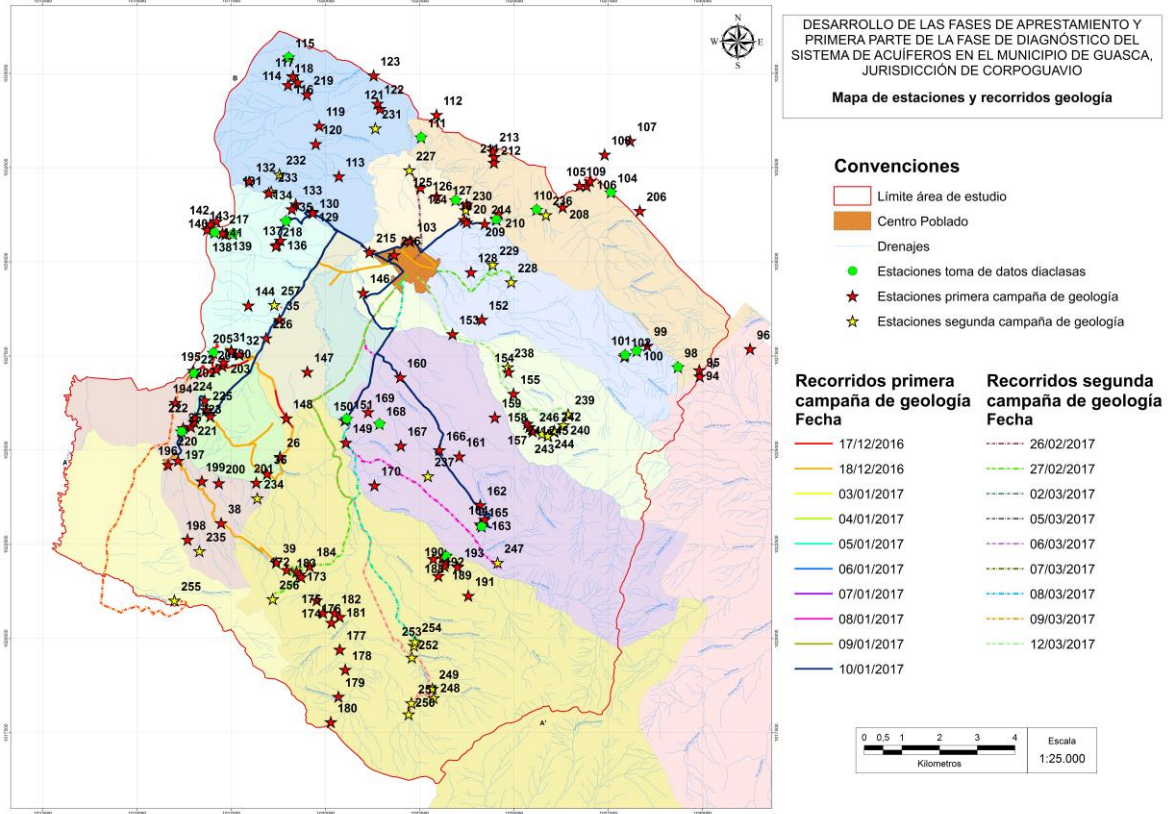


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.2.1. Recorridos de la fase de campo.

En la imagen 7, se puede apreciar el mapa de recorridos de fase de campo (figuras de color rojo y amarillo) y recorridos (líneas de diferentes colores) de la primera y segunda campaña de campo para la toma de datos geológicos realizados en las fechas del 17-23 de diciembre del 2016, del 03 de enero al 20 de enero del 2017 y del 26 de febrero al 21 de marzo del 2017, esta última se realizó conjuntamente con la campaña de Geofísica, donde se identificó el comportamiento de las estructuras geológicas, por medio de la toma de datos estructurales (Rumbo y Buzamiento), contacto de las formaciones aflorantes y descripción litológica de las diferentes formaciones presentes en el área de estudio, donde se incluyen fotografías del afloramiento. Del 11 al 14 de enero del 2017 se realizó la caracterización del macizo rocoso donde se tomaron datos de diaclasas (figuras de color verde), su orientación y las características representativas de cada una de ellas: espaciado, continuidad, abertura, rugosidad, relleno, resistencia, grado de meteorización entre otros.

Imagen 7. Recorridos fase de campo geología.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

3.3. ANALISIS DE INFORMACIÓN Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

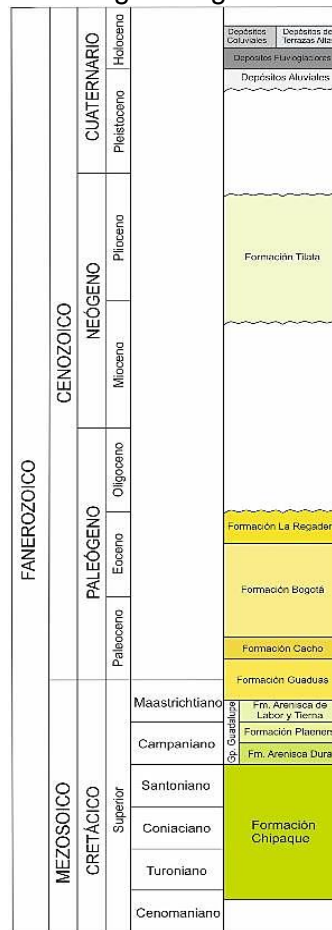
A partir de la información obtenida en las fases 1 y 2, se realiza un análisis de la información y se presenta la evaluación geológica para el área de estudio de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en la Guía Metodológica para la Formulación de Planes de Manejo Ambiental de Acuíferos. La evaluación geológica del área de estudio incluye:

- Descripción estratigráfica de las diferentes formaciones presentes en el área de estudio, donde se incluyen descripción de fotografías de afloramiento.
- Mapa geológico a escala 1:25.000, donde se exponen los principales rasgos estructurales del área de estudio.
- Cortes geológicos generados a partir del mapa geológico.

4. ESTRATIGRAFÍA

La geología del área de estudio está conformada por rocas sedimentarias de diferentes edades que van desde el Mesozoico hasta el Cuaternario. Las rocas más antiguas corresponden a una secuencia monótona en la que predominan las arcillolitas y lodolitas de la Formación Chipaque² y las rocas más recientes corresponden a depósitos Cuaternarios con predominio lacustre, fluvio-glaciar y fluvial³. La imagen 8 nos muestra la columna cronoestratigráfica generalizada para el área de estudio.

Imagen 8. Columna cronoestratigráfica generalizada del área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S.

² CORREDOR, V., y TERRAZA, R. Geología de la plancha 228 Bogotá Noreste. Bogotá: SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO., 2015.

³ BERMOUDES, O., y VELANDIA, F. Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS., 2002a.

4.1. UNIDADES DEL CRETÁCICO

En el área de estudio las unidades del Cretácico están representadas por las formaciones Chipaque (Cenomaniano-Santoniano), Arenisca Dura (Campaniano inferior), Plaeners (Campaniano superior), Arenisca de Labor y Tierna (Maastrichtiano inferior) y Guaduas (Maastrichtiano superior - Paleoceno).

4.1.1. Formación Chipaque (K2cp)

La Formación Chipaque se distribuye a lo largo de las planchas 228-IV-A, 228-III-B, 228-I-D, 228-II-C del IGAC, en forma de franjas alargadas en sentido noreste - suroeste formando el núcleo del Anticlinal de río Blanco - Macheta y hacia el sur en los límites con el municipio de La Calera. Se encuentran importantes afloramientos hacia el noroeste del Parque Natural del Chingaza, así como en la vía que conduce de la vereda Pastor Ospina al municipio de Gachetá, en la vereda La Trinidad, la vereda Concepción y Páramo Grande. Adicionalmente, la Formación Chipaque aflora en forma de franjas alargadas en sentido noroeste - sureste (planchas 228-III-B y 228-I-D del IGAC), donde se pueden observar afloramientos importantes sobre la parte central de la Cordillera Oriental, al occidente de la Falla Chocontá - Pericos en las veredas La Trinidad y El Salitre.

La morfología de la Formación Chipaque es suave y ondulada con colinas poco pronunciadas, resaltadas en ocasiones por algunas estructuras como el Anticlinal del Río Blanco - Machetá y la Falla Chocontá - Pericos que cortan a la Formación Chipaque en el área de estudio⁴.

4.1.1.1. Nombre y sección tipo

Hubach (1931)⁵ denomina el conjunto superior del Villeta como el conjunto de Chipaque que “se asemeja bastante en su desarrollo al conjunto inferior, pero contiene una fauna bastante distinta. El sedimento predominante es el esquisto piritoso, entre el cual se intercalan bancos de cal, arenisca calosa y arenisca lajosa (dividida en bancos planos paralelos) que se halla en la parte baja”. Posteriormente, Renzoni (1962)⁶ define la Formación Chipaque como el conjunto que descansa

⁴ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 51

⁵ HUBACH, E. Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander. Servicio Geológico Nacional, Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, volumen XXII: 1-337. Bogotá: INGEOMINAS., 1931, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 51.

⁶ RENZONI, G. Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá. En: Servicio Geológico Nacional, Boletín Geológico. 1962. vol. 10, no.1-3, P. 59-79. Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 52.

entre las arenitas de la Formación Une y la Arenisca Dura, incluyendo lo que Hubach (1931a, 1957a) y Ujueta (1961) llamaron Guadalupe Inferior, pues no encuentra diferencias litológicas que justifiquen la división. La localidad tipo se encuentra sobre la carretera Bogotá - Villavicencio, en los alrededores de la población de Chipaque, de donde obtiene su nombre.

4.1.1.2. Descripción litológica

La Formación Chipaque en el área de estudio se presenta como una secuencia en la que predominan las lodolitas y arcillolitas de color gris oscuro y gris medio, físilas, en capas gruesas a muy gruesas intercaladas con areniscas de grano muy fino color naranja en capas muy gruesas con estratificación plana paralela donde es común observar óxidos de hierro y micas.

Se encuentran algunos afloramientos importantes en la vereda El Salitre, donde esta formación se presenta en capas muy gruesas de areniscas de grano fino con intercalaciones de capas muy gruesas de limolitas de color naranja oscuro y lutitas de color gris medio a gris oscuro. Adicionalmente, en la vía que conduce de la vereda El Salitre a la vereda La Trinidad se observan capas muy gruesas de lutitas de color gris medio a gris oscuro, presentando laminación plano - paralela intercaladas con arcillolitas de color naranja oscuro dispuestas en capas delgadas y se presentan concreciones ferruginosas, como se puede observar en la Fotografía 1.

Por la vía principal que conduce de la vereda Pastor Ospina al municipio de Gachetá se presenta en capas muy gruesas de areniscas cuarzosas de grano muy fino a fino, compactas, con estratificación plano - paralela y es común observar óxidos de hierro y micas, con intercalaciones esporádicas de capas delgadas de limolita de color gris oscuro y capas delgadas a muy gruesas de arcillolitas color gris oscuro-gris claro, como se puede observar en la Fotografía 2.

Por otra parte, en la vía que comunica al municipio de Guasca con el municipio de Gachetá se presentan intercalaciones de capas gruesas de arcillolitas con capas delgadas y medias de areniscas cuarzosas de grano medio con color gris claro a naranja y estratificación plano-paralela, como se puede ver en Fotografía 3.

Adicionalmente, de acuerdo a Corredor y Terraza (2015), por la vía que conduce desde la escuela de La Polonia (El Guamo) a El Manzano, bajando hacia el río Blanco se estableció la litología de la base de la formación; consiste en capas tabulares muy gruesas a delgadas de limolitas y lodolitas muscovíticas de color negro a gris oscuro o marrón oscuro, físilas, con laminación plano-paralela, ondulosa o lenticular, con abundantes restos vegetales, localmente muy alteradas y bioturbadas con láminas arenosas interpuestas muy bioturbadas. Estas capas de

limolitas y lodolitas se intercalan con capas muy gruesas hasta delgadas de arenitas cuarzosas (localmente lodosas) bioturbadas, de color gris claro y tamaño de grano muy fino, fino y medio, pobremente seleccionadas y subredondeadas, inmaduras, bien cementadas, esporádicamente con un aspecto moteado por óxidos de hierro (a lo mejor ocasionado por la alteración de la glauconita) y deleznable. En la parte intermedia se observa un ligero predominio de las cuarzoarenitas de grano muy fino, limolitas y limolitas arenosas en capas gruesas y medias, bioturbadas, intercaladas con capas delgadas y medias de lodolitas con laminación lenticular⁷.

Fotografía 1. Afloramiento de la Formación Chipaque en la vía vereda El Salitre – vereda La Trinidad donde se muestran lutitas de color gris intercalado con arcillolitas, en el detalle (abajo) se aprecia una concreción ferruginosa (N:1022022, E: 1018685).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S, 2017.

Finalmente, cerca de la cabecera del río Blanco, en la vía que se desprende de la carretera La Calera-Chingaza en dirección sur y que conduce a El Manzano, se describió el tope de la Formación Chipaque, este segmento coincide con el expuesto en la carretera Guasca-Gachetá (paralela al río Sueva) y en la carretera Guatavita-Gachetá (paralela al río Moquentivá). La parte superior de la Formación Chipaque está representada en este sector por una intercalación de limolitas con lodolitas y

⁷ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 52

esporádicas arenitas. Las limolitas ocurren en capas muy gruesas a gruesas, son de color negro, con laminación plana y algunas capas muy delgadas de liditas interpuestas; se intercalan con arcillolitas de color gris o lodolitas color negro en capas muy gruesas a medias, con laminación plano - paralela y esporádicas capas medias de lidita, con escamas de pez, además de bivalvos, amonoideos, hojas y tallos localmente. En menor proporción se observan algunas capas delgadas tabulares o lenticulares de arenitas de cuarzo de tamaño de grano muy fino, color gris oscuro o claro, frecuentemente bioturbadas o con laminación *flaser* u ondulosa, muy bien calibradas y redondeadas, localmente con glauconita; estas cuarzoarenitas por lo general se intercalan con lodolitas⁸.

Fotografía 2. Panorámica de la Formación Chipaque en la vía vereda Pastor Ospina - Gachetá. (N: 1.026.960, E: 1.031.259).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 3. Afloramiento de la Formación Chipaque en la vía Guasca - Gachetá. (N: 1.028.150, E: 1.032.002).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

4.1.1.3. Posición estratigráfica y edad

La Formación Chipaque se encuentra entre la Formación Arenisca Dura y la Formación Une. El límite superior con la Formación Arenisca Dura por lo general se

⁸ *Ibíd.* p. 53.

encuentra cubierto, sin embargo, en algunos afloramientos se observa gradual y concordante; idéntica situación ocurre en el límite inferior con la Formación Unejeta (1961)¹⁰ establecería el rango desde el Cenomaniano hasta el Coniaciano. McLaughlin y Arce (1972)¹¹ consideran el límite inferior como Turoniano temprano y el superior Campaniano. Por su parte, Montoya y Reyes (2003)¹² concretan una edad Cenomaniano tardío-Santoniano en la plancha 209-Zipacquirá por comparación con la Formación Conejo.

4.1.1.4. Espesor

De acuerdo con la plancha 228 Bogotá Noreste el espesor de la Formación Chipaque en el sector oriental es de al menos 1.000 metros estimados a partir del perfil geológico. Adicionalmente, McLaughlin y Arce (1972)¹³ estiman un espesor de 550 metros en la serranía de Pericos, en un área de intensa complejidad estructural. Finalmente, Montoya y Reyes (2003)¹⁴ midieron en el municipio de Manta un espesor de 1.027 metros y la sección aflorante que conduce de Tabio a Chía, en el sector la Capilla de Lourdes reportan un espesor de 320 metros¹⁵.

4.1.1.5. Potencial hidrogeológico

La Formación Chipaque carece de importancia hidrogeológica debido a su carácter poco permeable, según su descripción litológica¹⁶. Esta formación se clasifica como

⁹ *Ibíd.* p. 55.

¹⁰ UJUETA, G.L. Geología del noreste de Bogotá. En: Boletín Geológico - Servicio Geológico Nacional. 1961, vol. 9 no. 1-3. p. 23-46. Bogotá Citado por CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 55.

¹¹ MCLAUGHLIN, D. H., y ARCE, M. Geology of the Zipacquirá area (zone IV), Cordillera Oriental, Colombia. Informe preliminar No.109, 336 pág. Sogamoso: INGEOMINAS., 1972, Citado por CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 55.

¹² MONTOYA, D. y REYES, G., Geología de la Plancha 209-Zipacquirá. Memoria explicativa, 156 pág. Bogotá: INGEOMINAS., 2003, Citado por CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 55.

¹³ MCLAUGHLIN, D. H., y ARCE, M. Geology of the Zipacquirá area (zone IV), Cordillera Oriental, Colombia. Informe preliminar No.109, 336 pág. Sogamoso: INGEOMINAS., 1972, Citado por CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 55

¹⁴ MONTOYA, D. y REYES, G., *Op. Cit.*, p. 55.

¹⁵ ANH - UNAL. Inventario, interpretación y evaluación integral de la información geológica, geofísica y geoquímica del Bloque Soapaga. Bogotá: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA., 2008.

¹⁶ BERMOUDES, O y VELANDIA, F. Modelo hidrogeológico conceptual de la Sabana de Bogotá. Bogotá: Grupo de aguas subterráneas. 80 pág. INGEOMINAS., 2002.



una unidad confinante, registrando un caudal cercano a los 2 L/seg, transmisividad aproximada a los 5 m²/día y una capacidad específica de menor a 0,05 L/seg/m¹⁷.

4.1.2. Grupo Guadalupe (K2g)

Pérez y Salazar (1978) describen formalmente el Grupo Guadalupe y establecen secciones tipo para cada una de las formaciones que lo conforman, de base a tope: Formación Arenisca Dura, Formación Plaeners, Formación Arenisca de Labor y Tierna. Las secciones tipo se ubican en el Cerro de Guadalupe y el Páramo de Rajadero¹⁸.

4.1.2.1. Formación Arenisca Dura (K2d)

La Formación Arenisca Dura se distribuye en las planchas 228-III-B y 228-I-D del IGAC en forma de delgadas franjas en dirección preferencial noreste-suroeste bordeando el Anticlinal de río Blanco - Machetá, el Sinclinal El Santuario y en el Parque Nacional Chingaza y en dirección noroeste-sureste en las veredas Santa Isabel de Potosí y El Salitre.

La Formación Arenisca Dura se ve afectada por las fallas de Siecha, Machetá y Chocontá-Pericos. Esta unidad presenta buenas exposiciones en el Parque Natural Chingaza, al sureste en los flancos del Anticlinal del río Blanco - Machetá y sobre la vía que de Guasca conduce a la mina de Palacio.

Los sectores en donde aflora la Formación Arenisca Dura se caracterizan topográficamente por formar filos pronunciados con pendientes fuertes. En el cerro La Vieja se observa un escarpe de entre 250 y 300 metros de la Formación Arenisca Dura, la cual yace concordantemente sobre la Formación Chipaque¹⁹.

Nombre y sección tipo

Hubach (1931)²⁰ describe el piso de Guadalupe en el oriente de Cundinamarca y la Sabana de Bogotá, diferenciando un “conjunto inferior esquistoso” y un “conjunto superior areniscoso”, este último dividido en tres horizontes: el horizonte inferior

¹⁷ BERMOUDES, O y VELANDIA, F. Hidrogeología regional de la Sabana de Bogotá. Bogotá. UNAL. 2002.

¹⁸ Ibid. p. 56.

¹⁹ Ibid. p. 57.

²⁰ HUBACH, E. Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander. Servicio Geológico Nacional, Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, volumen XXII: 1-337. Bogotá: INGEOMINAS., 1931, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 51.

recibe la denominación de “areniscas duras” que se ha empleado hasta ahora. Pérez y Salazar (1978)²¹ formalizan la unidad, y proponen la sección tipo por el carretable del cerro del Cable, donde se encuentra la secuencia casi completamente invertida. La Formación Arenisca Dura en la sección tipo está constituida por “una sucesión de areniscas en bancos muy gruesos con intercalaciones de limolitas, lodolitas, liditas y arcillolitas de colores claros y en capas finas, reposa concordante y transicionalmente sobre una sucesión monótona de lutitas fósiles, grises predominantes, y areniscas arcillosas de la Formación Chipaque”²².

Descripción litológica

La Formación Arenisca Dura en el área de estudio se presenta como una secuencia de cuarzoarenitas de grano muy fino a fino de color gris claro, compactas, dispuestas en capas medias a gruesas intercaladas con arcillolitas de color gris claro, en láminas delgadas y lutitas de color gris oscuro, en láminas delgadas, identificada en la vía principal que conduce del municipio de Guasca al municipio de Gachetá, como se observa en la Fotografía 4.

Fotografía 4. Afloramiento de la Formación Arenisca Dura en la vía Guasca - Gachetá, donde se puede observar arenisca cuarzosa en bancos gruesos intercaladas con lutitas (N: 1.027.208 y E: 1.029.342).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

²¹ PEREZ, G. y SALAZAR A. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe. En: Geología Colombiana. 1978. no.10, p. 6-85.

²² Ibíd. p. 31.

De acuerdo con Corredor y Terraza (2015), la base de la formación consiste en capas tabulares muy gruesas y gruesas (esporádicamente delgadas) de cuarzoarenitas de tamaño de grano muy fino y fino, moderadamente a muy bien calibradas, con granos subangulares a redondeados, masivas o con laminación ondulosa o *flaser*, frecuentemente bioturbadas, submaduras, muy cementadas, con cemento silíceo. Intercaladas se encuentran capas por lo general delgadas y hasta gruesas de lodolitas físlas de color negro o gris oscuro, homogéneas o con laminación lenticular. Las arenitas ocurren además intercaladas con limolitas o arcillolitas arenosas con laminación plana-paralela, o capas delgadas de liditas, con algunas escamas de pez²³.

Un segmento de algunas decenas de metros de espesor predominantemente lodolítico, se encuentra hacia la parte media - baja de la Formación Arenisca Dura. Consiste en capas de espesor variable entre delgado y muy grueso de lodolitas homogéneas y compactas, ocasionalmente físlas, de color gris y negro, localmente con laminación plana o láminas delgadas onduladas interpuestas de arenita de tamaño de grano muy fino, intercaladas con las lodolitas, se observan capas tabulares delgadas a muy gruesas de limolitas negras frecuentemente bioturbadas, con laminación ondulosa (o relictos), ondulosa paralela, discontinua o lenticular; se reconocen además, capas medias de liditas²⁴.

Esporádicamente se presentan capas medias y delgadas de arenitas cuarzosas submaduras con laminación *flaser* y ondulitas, algunas presentan bioturbación; son de grano muy fino, subredondeado a redondeado, muy bien a moderadamente calibrado, contienen fosfatos, vértebras de pez disueltas y cemento calcáreo²⁵.

La parte superior de la unidad se compone principalmente de cuarzoarenitas de grano muy fino, intercaladas en menor proporción con limolitas y lodolitas. Las arenitas se encuentran en capas tabulares muy gruesas a delgadas de color blanco o gris, de tamaño de grano fino y muy fino, muy bien calibrado y redondeado, con laminación *flaser*, frecuentemente con alta bioturbación, bien cementadas, con cemento silíceo o calcáreo. Localmente las arenitas tienen porosidad móldica resultado de la disolución de foraminíferos y se observan capas interpuestas de arenita fosfática. Ascendiendo estratigráficamente, las arenitas conforman secuencias granocrecientes, que inician con grano muy fino y pasan gradualmente a grano fino y medio, con un intenso moteado de óxidos de hierro, posiblemente producto de alteración de glauconita²⁶.

²³ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 58.

²⁴ Ibid. p. 59.

²⁵ Ibid. p. 60.

²⁶ Ibid. p. 60.

Posición estratigráfica y edad

La Formación Arenisca Dura se encuentra entre la Formación Chipaque y la Formación Plaeners. El límite inferior con la Formación Chipaque es gradual, rápido y concordante, mientras que el contacto superior con la Formación Plaeners es neto y concordante. La Formación Arenisca Dura no presenta fauna diagnóstica para precisar edad; por posición estratigráfica Montoya y Reyes (2003, 2005)²⁷ la asignan al Campaniano temprano.

Espesor

Pérez y Salazar (1978)²⁸ determinan un espesor de la Formación Arenisca Dura de 450 metros en el cerro del Cable. Adicionalmente, se estima que el espesor de la Formación Arenisca Dura varía entre 300 metros en la parte occidental de la Sabana y 460 metros en la parte oriental de la misma²⁹.

4.1.2.2. Formación Plaeners (K2p)

La Formación Plaeners se distribuye a lo largo de las planchas 228-I-B, 228-III-B y 228-I-D del IGAC, en forma de franjas delgadas en sentido noreste-suroeste, bordeando los flancos del Anticlinal del río Blanco - Machetá y el Sinclinal. El Santuario, el oeste de la Falla Los Picachos, el Parque Nacional Chingaza (Anticlinal de Chingaza) y el oeste de la Falla Machetá y en sentido noroeste-sureste en la vereda El Salitre y en el límite entre el Páramo Grande y el Parque Nacional Chingaza (Alto El Aire).

La expresión geomorfológica de la Formación Plaeners es suave y se diferencia bien entre los escarpes pronunciados de la infrayacente Formación Arenisca Dura y la suprayacente Formación Arenisca de Labor y Tierna³⁰.

²⁷ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 79 y MONTOYA, D., y REYES, G. Geología de la Sabana de Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS., 2005.

²⁸ PEREZ, G. y SALAZAR A. Estratigrafía y facies del Grupo Guadalupe. En: Geología Colombiana. 1978. no.10, p. 6-85.

²⁹ LOBO - GUERRERO, A. Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. En: VII Jornada Geotécnica de la Ingeniería Colombiana.1992. no. 22

³⁰ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 61.

Nombre y sección tipo

En la descripción inicial que hace Hubach (1931)³¹ del piso de Guadalupe, el horizonte intermedio recibe el nombre de “Horizonte de Plaeners” conformado por “liditas puras o margosas o arcillosas con intercalación de arenisca”. Pérez y Salazar (1978)³² redefinen la unidad con el nombre de Formación Plaeners y establecen la sección tipo en el cerro localizado entre las quebradas Rosales y La Vieja, en donde se aprecia el cambio litológico de las *facies* arenosas de la Formación Arenisca Dura en contraste con las arcillolitas silíceas y liditas de la Formación Plaeners.

Descripción litológica

La Formación Plaeners en el área de estudio está constituida principalmente por liditas o porcelanitas dispuestas en capas medias a muy delgadas, arcillolitas desde láminas delgadas a gruesas de color gris claro intercalado con limolitas dispuestas en capas muy gruesas de color gris medio y cuarzoarenisca en capas muy gruesas, identificada en la vía que conduce de la vereda Santa Lucia a la vereda El Salitre, como se observa en la Fotografía 5. y la Fotografía 6.

Adicionalmente, se observó en la vía que comunica al municipio de Guasca con el municipio de Sopó, como una secuencia de arenisca cuarzosa de grano muy fino a medio de color gris claro a tonalidades violetas dispuesta en capas gruesas intercaladas con limolitas de color beige dispuesta en capas muy gruesas, como se observa en la Fotografía 7.

Fotografía 5. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía vereda Santa Lucia - vereda El Salitre. Capas de liditas, arcillolitas intercaladas con limolitas y cuarzoarenisca (N: 1.025.499, E: 1.016.177).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

³¹ HUBACH, E. Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander. Servicio Geológico Nacional, Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, volumen XXII: 1-337. Bogotá: INGEOMINAS., 1931a, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 61.

³² PEREZ y SALAZAR Op. Cit., p. 32-33.

Fotografía 6. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía vereda Santa Lucía - vereda El Salitre. Capas medias a muy delgadas de Liditas (N: 1.025.499, E: 1.016.177).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 7. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía Guasca - Sopó, donde se observa una intercalación de areniscas con limolitas (N: 1.030.999, E: 1.016.938).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

De acuerdo con Corredor y Terraza (2015), en la vía Guasca-Gacheta afloran limolitas de color gris amarillento, en capas medias a muy delgadas hasta gruesas y muy gruesas, con laminación plano - paralela y foraminíferos bentónicos, se intercalan con capas de espesor variable entre delgadas y muy gruesas de lodolitas, arcillolitas o limolitas de color negro o gris, con laminación plano-paralela y capas de fosforita disuelta de hasta 12 cm de espesor, como se puede ver en la Fotografía 8.

A lo largo de toda la formación y en especial hacia la base y hacia el tope, se encuentran interpuestas capas tabulares y algunas cuneiformes, delgadas hasta muy gruesas de arenitas deleznable de color blanco, con laminación *flaser*, grano muy fino, fino y medio, moderadamente calibradas, con granos redondeados y subredondeados; las arenitas están muy bien cementadas y localmente presentan glauconita (verde) y vértebras de pez con evidencias de disolución³³.

Posición estratigráfica y edad

La Formación Plaeners se encuentra entre la Formación Arenisca Dura y la Formación Arenisca de Labor y Tierna. El contacto inferior entre la Formación Arenisca Dura y la Formación Plaeners es neto y concordante, mientras que el superior con la Formación Arenisca de Labor y Tierna es gradual, rápido y concordante³⁴. Pérez y Salazar (1978)³⁵ consideran la Formación Plaeners de edad Maastrichtiano inferior, mientras que Föllmi et al. (1992)³⁶ determinan que abarca el Campaniano tardío hasta el Maastrichtiano temprano. Terraza et al. (2010)³⁷ recolectan fauna de amonitas y bivalvos (*Abruptolopha Abrupta*) que indican edad Campaniano tardío a Maastrichtiano, lo que corrobora la edad determinada por Föllmi et al. (1992).

³³ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 62.

³⁴ *Ibíd.* p. 62.

³⁵ PEREZ y SALAZAR Op. Cit., p. 36.

³⁶ FÖLLMI, K.B., GARRISON, R.E., RAMIREZ, P. C., ZAMBRANO-ORTIZ, F., KENNEDY, W.J. y LEHNER, B.L. 1992. Cyclic phosphate-rich successions in the upper Cretaceous of Colombia. En: Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 1992. vol 93, no. 3-4, p. 151-182, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 62

³⁷ TERRAZA, R., MORENO, G., BUITRAGO, J., PÉREZ, A. y MONTOYA, D. Geología de la plancha 210-Guateque. Memoria explicativa. Bogotá: INGEOMINAS, 146 pág., 2010, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 63.

Fotografía 8. Afloramiento de la Formación Plaeners en la vía Guasca - Gachetá. Capas medias a gruesas de arcillolitas intercaladas con capas de liditas, chert y fosforita (N: 1.027.508, E: 1.027954).



Fuente: CORREDOR y TERRAZA, 2015

Espesor

Corredor y Terraza (2015)³⁸ reportan un espesor para la Formación Plaeners determinado por corte geológico en la plancha 228 Bogotá Noreste de 100 metros. Adicionalmente, Pérez y Salazar (1978)³⁹ reportan espesores de 73 metros en la sección tipo localizada en un cerro entre las quebradas Rosales y La Vieja.

4.1.2.3. Formación Arenisca Labor y Tierna (K2lt)

La Formación Arenisca de Labor y Tierna se distribuye a lo largo de las planchas 228-IV-A, 228-I-B, 228-III-B, 228-II-C, 228-I-D del IGAC, en forma de franjas en sentido noreste-suroeste, bordeando los flancos del Anticlinal de río Blanco - Machetá, el Sinclinal El Santuario (vereda El Santuario) y el Anticlinal de Chingaza. La Formación Labor y Tierna se ve afectada por las fallas de Chocontá - Pericos, Suralá, Los Picachos, Siecha, El Chachal y Machetá.

³⁸ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 63.

³⁹ PEREZ y SALAZAR Op. Cit., p. 32.

La Formación Arenisca de Labor y Tierna se destaca geomorfológicamente como un escarpe fuerte, aunque no tan pronunciado como el de la Formación Arenisca Dura⁴⁰. Las formaciones Plaeners a la base y Guaduas al tope configuran valles que enmarcan el escarpe⁴¹.

Nombre y sección tipo

Hubach (1931)⁴² subdivide el conjunto superior del piso del Grupo Guadalupe y asigna al segmento superior el nombre de “Horizonte de areniscas tiernas” que “se distingue en general por areniscas granulosas, tiernas, que llevan un banco poroso constituido de materia orgánica silícea, cuyo origen se relaciona posiblemente con algas o esponjas silíceas”. Pérez y Salazar (1978)⁴³ dividen el horizonte superior de Hubach (1931a) en Formación Arenisca de Labor y Formación Arenisca Tierna, dentro de la formalización del Grupo Guadalupe.

La sección tipo de la Formación Arenisca de Labor se establece por Pérez y Salazar (1978)⁴⁴ entre las quebradas La Vieja y El Higuerón y “comienza con bancos gruesos de arenisca, separados por capas muy delgadas de arcillas, que más tarde se intercalan con paquetes de lodolitas y arcillolitas estratificadas”. Por otra parte, la Formación Arenisca Tierna tiene la mejor exposición determinada como sección tipo el descenso del Páramo del Rajadero, donde “consta predominantemente de areniscas de grano grueso a muy grueso en potentes bancos separados por finos paquetes oscuros de lodolitas, limolitas y arcillolitas interestratificadas, y reposa concordantemente sobre el último paquete de interestratificación de lodolitas y arcillolitas de la Formación Arenisca de Labor”⁴⁵.

Renzoni (1962)⁴⁶ consolidó la Formación Arenisca Labor con la Arenisca Tierna en una sola unidad litoestratigráfica arenosa denominada Arenisca de Labor y Tierna.

⁴⁰ *Ibíd.* p. 38.

⁴¹ CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 63.

⁴² HUBACH, E. Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander. Servicio Geológico Nacional, *Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia*, volumen XXII: 1-337. Bogotá: INGEOMINAS., 1931, Citado por CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 63.

⁴³ PEREZ y SALAZAR *Op. Cit.*, p. 38 y 48.

⁴⁴ *Ibíd.* p. 38 y 48.

⁴⁵ CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 63 - 64.

⁴⁶ RENZONI, G. Apuntes acerca de la litología y tectónica de la zona al este y sureste de Bogotá. En: Servicio Geológico Nacional, *Boletín Geológico*. 1962. vol. 10, no.1-3, P. 59-79. Citado por CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 64.

Descripción litológica

La Formación Arenisca Labor y Tierna en el área de estudio se presenta como una secuencia compuesta por arenisca cuarzosa de grano fino a muy fino, color gris y beige claro, dispuesta en capas delgadas a muy gruesas, con intercalaciones de limolita de color grisáceo a amarillo en capas gruesas y arcillolita color gris muy claro en capas delgadas.

Se encuentran afloramientos importantes en la vía principal que conduce de la vereda Pastor Ospina al municipio de Gachetá donde esta formación se presenta como una secuencia de arenisca de grano fino a muy fino de color gris claro, compactas, frecuentemente con estratificación plano - paralela, dispuestas en capas gruesas a muy gruesas intercaladas con limolitas de color gris claro a naranja, en capas medias y arcillolitas de color gris claro, en capas muy gruesas incluso capas delgadas y láminas, con presencia de óxidos de hierro, como se puede observar en la Fotografía 9. y la Fotografía 10. La Fotografía 11. muestra un afloramiento en la parte norte de la vereda El Santuario donde también aflora la Formación Arenisca de Labor y Tierna.

Adicionalmente, en la vía que de la vereda Mariano Ospina conduce al municipio de Sopó, esta formación está representada por arenisca cuarzosa de grano fino a medio, de color beige claro, dispuesta en capas muy gruesas intercalada con láminas de limolitas de color gris claro a rojizo-morado y láminas delgadas de arcillolitas, color beige claro a naranja, como se observa en la Fotografía 12. y la Fotografía 13.

Finalmente, en la vereda la Trinidad esta formación se caracteriza por presentar un material arenoso-arcilloso de color naranja oscuro y óxidos de hierro seguido de capas delgadas a muy delgadas de cuarzoarenisca de grano fino color gris claro, maciza con intercalaciones de láminas delgadas de limolitas color beige claro-naranja, estratificación plano-paralela, como se puede observar en la Fotografía 14.

Fotografía 9. Afloramiento de La Formación Arenisca de Labor y Tierna en la vía vereda Pastor Ospina - Gachetá, donde se observa arenisca de grano fino separadas por bandas muy pequeñas de arcilla del mismo color, las areniscas se caracterizan por ser compactas y estratificación plano-paralela (N: 1.027.532, E: 1.027.943).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 10. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna, por la vía que conduce de la vereda Pastor Ospina - Gachetá, donde se puede observar arenisca con intercalaciones de limolitas (N: 1.027.637, E: 1.028.249).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 11. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la parte norte de la vereda El Santuario, donde se presenta en capas muy gruesas areniscas cuarzosas de grano fino a medio, color beige a naranja, muy competente, con intercalaciones de arcillolita y limolitas (N: 1.032.131, E: 1.017.971).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 12. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la vereda Mariano Ospina, donde se observa capas muy gruesas de arenisca de grano fino con intercalaciones de láminas de limolitas color gris y arcillolitas (N: 1.032.131, E: 1.017.971).



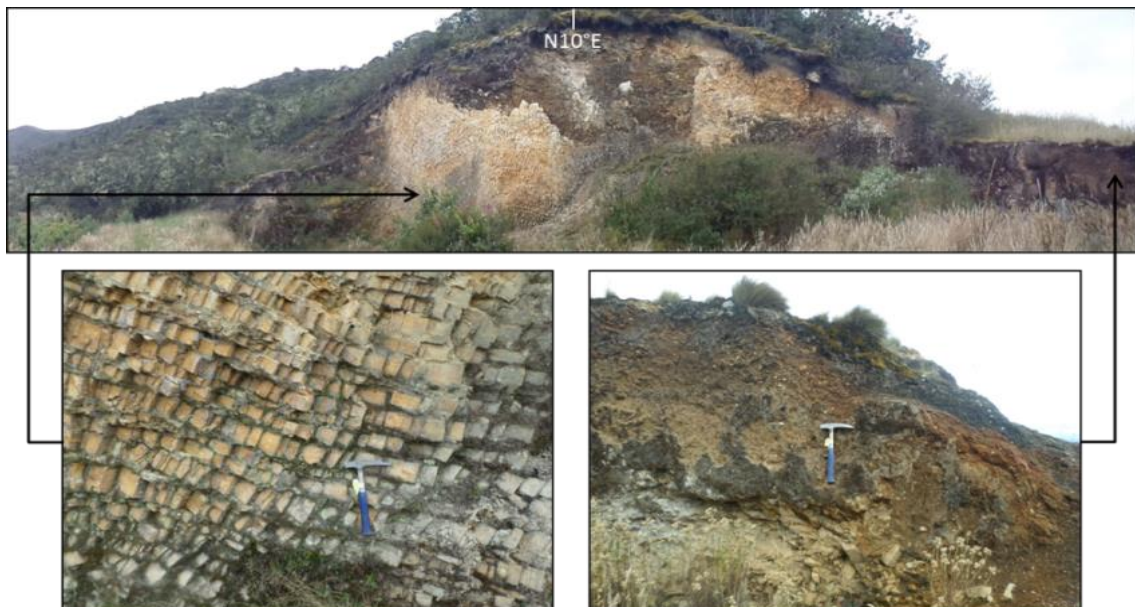
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 13. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se puede ver en el detalle, capas muy gruesas de cuarzoarenisca de grano fino, macizas (N: 1.032.131, E: 1.017.971).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 14. Afloramiento de la Formación Labor y Tierna en la vereda la Trinidad. Intercalación de cuarenisca y limolita, con estratificación plana-paralela y ondulada-paralela (N: 1.018.427, E: 1.022.863).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

De acuerdo con Corredor y Terraza (2015), en la Formación Arenisca de Labor y Tierna predominan las cuarzoarenitas; estas ocurren en capas tabulares o lenticulares delgadas hasta muy gruesas, frecuentemente con laminación inclinada, son de tamaño de grano arena muy fina, fina, media y se van haciendo gruesas hacia el tope de la unidad; los granos son redondeados a subangulares con buena selección. Las arenitas son deleznable, con esporádicos fragmentos líticos, localmente con nódulos ferruginosos al tope de algunas capas y evidencia de disolución de fosfatos y foraminíferos⁴⁷.

Intercaladas con las capas de arenitas se encuentran capas delgadas y medias de lilitas color amarillo grisáceo o gris oscuro, con foraminíferos silicificados; se observan además limolitas de color amarillo grisáceo en capas medias y gruesas, con laminación ondulosa, ocasionalmente arenosas, con impresiones de foraminíferos que ya fueron disueltos. Finalmente, a lo largo de la unidad ocurren algunas intercalaciones de arcillolitas de color gris claro (localmente violeta, ocre y marrón) en láminas o capas muy delgadas con laminación plano-paralela⁴⁸.

Posición estratigráfica y edad

La Formación Arenisca de Labor y Tierna se encuentra entre la Formación Plaeners y la Formación Guaduas. El contacto inferior de la Formación Arenisca de Labor y Tierna con la infrayacente Formación Plaeners es concordante y gradual rápido mientras el contacto superior, con la suprayacente Formación Guaduas es concordante y neto. De acuerdo con Pérez y Salazar (1978), la edad de la Formación Arenisca de Labor y Tierna es Maastrichtiano inferior⁴⁹.

Espesor

De acuerdo con Pérez y Salazar (1978)⁵⁰, se reportan espesores de 177 metros para la Formación Arenisca de Labor y 49 metros para la Formación Arenisca Tierna. Sin embargo, de acuerdo con Corredor y Terraza (2015), el espesor estimado por corte geológico es de al menos 300 metros para la Formación Arenisca de Labor y Tierna basado en la memoria de la plancha 228⁵¹.

⁴⁷ Ibíd. p. 64.

⁴⁸ Ibíd. p. 64.

⁴⁹ PEREZ y SALAZAR Op. Cit., p. 38.

⁵⁰ Ibíd. p. 38.

⁵¹ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 65.

Potencial hidrogeológico para el Grupo Guadalupe

El complejo acuífero Guadalupe está representado por rocas sedimentarias del Cretácico Superior compuesto principalmente por areniscas cuarzosas que alternan con liditas, limolitas y arcillolitas. Se reportan niveles productores de agua u horizontes acuíferos en las areniscas que se encuentran en la parte inferior y superior de este complejo. Todos los estratos se encuentran afectados en un alto grado por fracturas de diferente orden que aumentan la posibilidad de almacenamiento de agua (porosidad secundaria), su permeabilidad y facilitan la relación hidráulica entre las areniscas de la parte superior e inferior conformando así un complejo acuífero regional de gran interés hidrogeológico⁵².

4.1.3. Formación Guaduas (K2E1g)

La Formación Guaduas se distribuye a lo largo de las planchas 228-IV-A, 228-I-B, 228-II-C, 228-I-D del IGAC, en forma de franjas preferencialmente en sentido noreste - suroeste, formando el núcleo de los Sinclinales El Santuario, Sueva y el Anticlinal de Guatavita y en sentido noroeste - sureste en la vereda El Salitre y la vereda La Trinidad. La Formación Guaduas se ve afectada por las fallas Machetá, Chocontá - Pericos y Suralá.

Morfológicamente, la Formación Guaduas conforma un valle con colinas de pendientes muy suaves entre la infrayacente Formación Arenisca de Labor y Tierna y la suprayacente Formación Cacho⁵³.

4.1.3.1. Nombre y sección tipo

De Porta (1974)⁵⁴ indica que “el nombre de esta unidad procede de la población de Guaduas situada en el borde occidental de la Cordillera Oriental sobre la carretera Bogotá - Honda” y enuncia como sección tipo “la de Guatavita donde se encuentra mejor representado”.

4.1.3.2. Descripción litológica

La Formación Guaduas en el área de estudio está compuesta litológicamente por capas medias de arcillolitas de color gris claro a naranja-rojizas con laminación

⁵² BERMOUDES O. y VELANDIA F. Op. Cit., p 36-37.

⁵³ Ibid. p. 67.

⁵⁴ DE PORTA, J. 1974. Lexique Internationale Stratigraphique. Amerique Latina. En: Centre National de la Recherche Scientifique, 1974 vol V, 620 p, Citado por., CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 67.

plano-paralela. Se presentan intercalaciones esporádicas de cuarzoarenitas de grano fino a medio de color gris claro a ocre y dispuestas en capas delgadas a medias, locamente se presentan óxidos de hierro. Se encuentran afloramientos importantes en la vía principal que comunica los municipios de Guasca y Guatavita donde esta formación se presenta en capas medias de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso de color ocre a naranja, compacta y capas medias de limolita de color beige a moradas - rojizas con intercalaciones de capas gruesas de arenisca de grano fino, como se puede observar en la Fotografía 15.

Adicionalmente, en la vía que comunica la vereda Mariano Ospina al municipio de Sopó, se presentan capas muy gruesas de arenisca arcillosa de grano fino a medio de color gris claro y naranja, deleznable, con presencia de óxidos de hierro. Arenisca cuarzosa dispuesta en capas muy gruesas de color gris claro - amarillo de grano fino a grueso, se encuentran en algunos sectores con intercalaciones de capas gruesas a muy gruesas de arcillolitas de color gris-amarilla - rojiza y localmente óxidos de hierro, como se observa en la Fotografía 16 y la Fotografía 17.

También se observó, hacia la parte norte de la vereda El Santuario, donde esta se formación se presenta en capas medias a muy gruesas de arcillolitas de color gris claro, beige y naranja claro con intercalaciones de arenisca cuarzosa de color ocre y tamaño de grano de fino a medio con estratificación plano - paralela, como se observa en la Fotografía 18.

Fotografía 15. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vía Guasca - Guatavita. Intercalación de limolitas con areniscas (N: 1.033.307, E: 1.022.530).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 16. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó. Capas muy gruesas de arenisca arcillosa de grano fino, se encuentra muy meteorizada (N: 1.030.743, E: 1.017.544).



Fuente: SYSVOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 17. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vereda Mariano Ospina. Arenisca de grano fino con intercalaciones de arcillolita de color gris y tonalidades amarillentas y rojizas (N: 1.027.338, E: 1.101.796).



Fuente: SYSVOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 18. Afloramiento de la Formación Guaduas en la parte norte de la vereda El Santuario. Arenisca cuarzosa de grano fino a medio, presenta estratificación plana - paralela continua con intercalaciones de arcillolita (N: 1.034.932, E: 1.019.134).



Fuente: SYSVOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Adicionalmente, en la vereda La Trinidad se presenta en capas medias a gruesas de cuarzoarenisca de color gris claro a naranja - rojizo y tamaño de grano fino a muy grueso, en algunos sectores presenta estratificación cruzada con intercalaciones de capas medias a muy gruesas de arcillolitas de color gris claro a morado, como se observa en la Fotografía 19 y la Fotografía 20.

Fotografía 19. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vereda la Trinidad, donde se muestran cuarzoarenisca de grano medio a grueso y esporádicas intercalaciones de arcillolitas, en el detalle (abajo), se aprecia la estratificación cruzada (N: 1.020.581, E: 1.020.371).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Finalmente, en la vereda La Floresta esta formación se presenta en capas muy gruesas de arenisca de grano muy fino a fino de color gris claro a tonalidades oscuras, muy deleznable, seguido de una secuencia grano creciente de arenisca cuarzosa de grano grueso con clastos de hasta 5 cm, es común encontrar suelo residual de color negro. Capas gruesas de arcillolitas de color naranja y tonalidades grisáceas, capas medias de areniscas de color gris claro con estratificación plana-paralela y ondulada, limolitas en capas medias a gruesas de color gris medio hasta tonalidades naranjas, se encuentran localmente óxidos de hierro, como se puede ver desde la Fotografía 20 a la Fotografía 25.

Fotografía 20. Afloramiento de la Formación Guaduas en la vereda la Trinidad, donde se muestran cuarzoarenisca de grano medio a grueso con capas de arcillolita (N: 1.021.929, E: 1.023.151).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 21. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda la Floresta, donde se puede observar suelo residual, arenisca de grano muy fino a fino color gris claro - oscuro, muy deleznable (N: 1.025.666, E: 1.026.314).



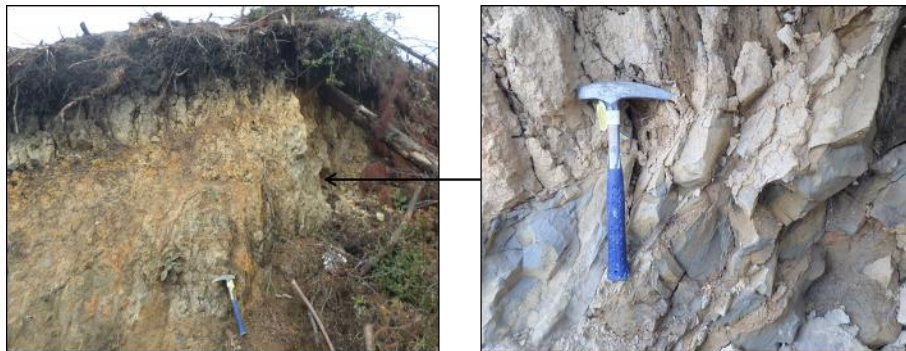
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 22. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda la Floresta, donde se puede observar arenisca de grano muy fino a fino color gris claro-naranja y algunos clastos de 30 cm (N: 1.025.515, E: 1.026.069).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 23. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda la Floresta, donde se puede observar arcillolita de color naranja en contacto neto con una arenisca de color gris claro de grano fino a muy fino, moderadamente dura (N: 1.025.392, E: 1.025.901).



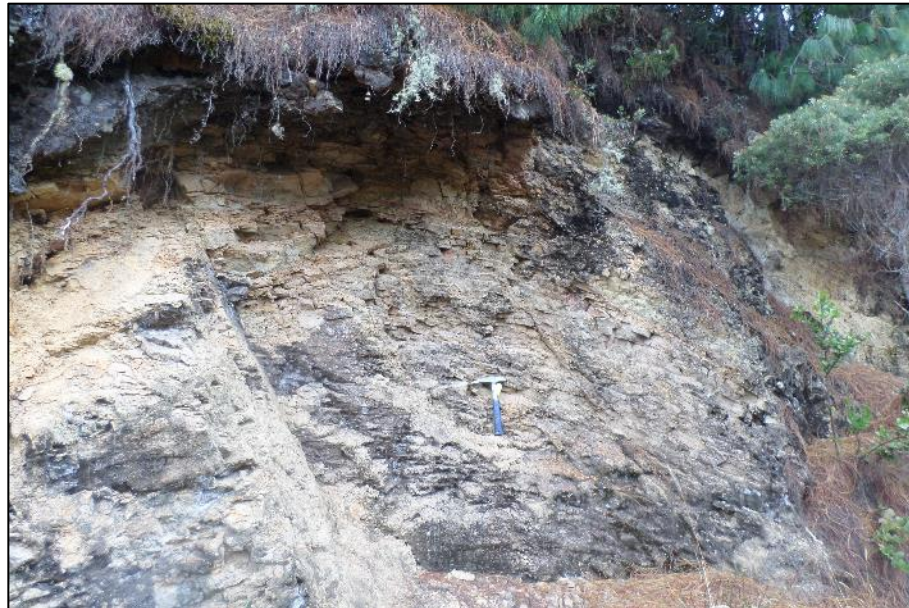
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 24. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda La Floresta, donde se puede observar intercalación de arenisca que presenta estratificación plana paralela y ondulada, con arcillolita y limolita en láminas delgadas (N: 1.025.434, E: 1.025.737).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 25. Afloramiento de La Formación Guaduas en la vereda La Floresta, donde se puede arenisca de grano fino a muy fino que presenta estratificación ondulada y plano - paralela con intercalación de arcillolita (N: 1.025.505, E: 1.025.491).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

De acuerdo con plancha 228-Bogotá Noreste, la base de la Formación Guaduas consiste en capas medias a muy gruesas de arcillolitas grises con laminación plano - paralela, algunas trazas de carbón y restos vegetales carbonizados, interestratificadas con lodolitas carbonosas de color negro y capas muy delgadas o láminas de carbón. Se intercalan escasas capas medias o gruesas de cuarzoarenita masiva de color blanco, con granos de arena tamaño fino y medio, muy bien calibrada y redondeada, deleznable, esporádicamente con ondulitas al tope⁵⁵.

Hacia la parte media de la unidad, se encuentran arcillolitas en capas medias o gruesas con laminación plano - paralela y a veces lenticulares de color principalmente gris y en menor medida violeta, amarillo o marrón, con calcos de carga y estructuras de escape de fluidos, que se intercalan con capas medias y muy delgadas de carbón. Arenitas deleznales de grano muy fino en capas gruesas a muy delgadas, muy bien calibradas y redondeadas se interponen con las arcillolitas⁵⁶.

El tope de la Formación Guaduas lo conforman capas muy gruesas y gruesas de arcillolitas localmente carbonosas, color marrón, gris, amarillo y violeta, con laminación plano - paralela; presentan láminas y capas muy delgadas de carbón y láminas de lodolitas y limolitas carbonosas. Como intercalaciones ocurren cuarzoarenitas de tamaño de grano muy fino y fino (esporádicamente grueso) en capas medias a delgadas, con fragmentos líticos oscuros, moderadamente calibradas y con granos subredondeados a redondeados⁵⁷.

4.1.3.3. Posición estratigráfica y edad

La Formación Guaduas se encuentra entre la Formación Areniscas de Labor y Tierna y la Formación Cacho. El límite inferior con la Formación Arenisca de Labor y Tierna es neto y concordante, de la misma manera que el límite superior con la Formación Cacho. La edad ha sido establecida desde Hubach (1957)⁵⁸ como Maastrichtiano - Paleoceno. Sin embargo, Sarmiento (1991)⁵⁹ restringe la edad por medio de palinología del Maastrichtiano tardío-Paleoceno.

⁵⁵ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 68.

⁵⁶ *Ibíd.* p. 68.

⁵⁷ *Ibíd.* p. 68.

⁵⁸ HUBACH, E., Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. En: Boletín Geológico INGEOMINAS. 1957. vol 5, no. 2, p. 93-112, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 69.

⁵⁹ SARMIENTO, G. Palinología de la Formación Guaduas - Estratigrafía y Sistemática. En: INGEOMINAS. Boletín Geológico. 1991. vol. 32 no.1-3, p. 45-126, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 69.

4.1.3.4. Espesor

De acuerdo con plancha 228 Bogotá Noreste, el espesor de la Formación Guaduas en el área de estudio se estima en 700 metros a partir del perfil geológico⁶⁰. Adicionalmente, Sarmiento (1991)⁶¹ reporta 1.034 metros en el flanco occidental del Sinclinal de Lenguazaque, en el Boquerón de Sutatausa. Por otra parte, en la carretera de Chivatá - Toca y por la quebrada Carbonera se levantó una sección compuesta que reporta un espesor de 250 metros de arcillas grises, 270 metros de arenisca friable y carbón y al techo 50 metros de arcillas verduscas y areniscas⁶².

4.1.3.5. Potencial hidrogeológico

La Formación Guaduas presenta una secuencia en la que predominan las arcillolitas y limolitas, estas se encuentran intercaladas con estratos de areniscas y mantos de carbón; las areniscas tienen un papel secundario debido a su limitado espesor y discontinuidad lateral, considerando esta unidad como un acuitardo⁶³.

4.2. UNIDADES DEL PALEÓGENO

Las rocas que representan el Paleógeno en la zona de estudio corresponden a las formaciones Cacho (Paleoceno), Bogotá (Paleoceno) y La Regadera (Eoceno).

4.2.1. Formación Cacho (E1c)

La Formación Cacho se distribuye a lo largo las planchas 228-I-B, 228-III-B, 228-I-C, 228-I-D del IGAC, en forma de franjas alargadas preferencialmente en sentido noreste -suroeste, en los flancos de los Sinclinales Sesquilé y Sisga y en sentido noroeste - sureste en las veredas El Salitre, La Trinidad, Las Flores y Santa Bárbara.

Geomorfológicamente, la Formación Cacho se expresa como un filo de hasta 200 metros de altitud y constituye una unidad cartográfica de guía regional para la Sabana de Bogotá. Este eskarpe resalta sobre la infrayacente Formación Guaduas

⁶⁰ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 69.

⁶¹ SARMIENTO, G. Palinología de la Formación Guaduas - Estratigrafía y Sistemática. En: INGEOMINAS. Boletín Geológico. 1991. vol. 32 no.1-3, p. 45-126, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 69.

⁶² ANH - UNAL Op. Cit., p. 570.

⁶³ BERMOUDES O. y VELANDIA F. Op. Cit., p. 42



y la suprayacente Formación Bogotá, en las que predominan las litologías lodolíticas de expresión geomorfológica suave⁶⁴.

4.2.1.1. Nombre y sección tipo

Hubach (1957)⁶⁵ redefine la Formación Guaduas y asigna el conjunto del Cacho a la base de la Formación Bogotá; se caracteriza este conjunto del Cacho por dos horizontes de arenisca, el primero de grano fino y el segundo de grano grueso y ferruginoso, separados entre sí por un intervalo de entre 50 y 100 metros de arcillolitas varicoloreadas. Hubach (1957)⁶⁶ propone en la zona de Bogotá la sección tipo de las Areniscas del Cacho en la puerta de la Fábrica de Municiones, en el afloramiento sobre el río San Cristóbal.

Posteriormente, Pratt et al. (1979)⁶⁷ proponen elevar el conjunto de areniscas del Cacho de Hubach (1957) al rango de formación. Sin embargo, Guerrero y Sarmiento (1996)⁶⁸ consideran que la arenisca que fue descrita en la ciudad de Bogotá no corresponde con la que aflora en el pico del Cacho al sur de Zipaquirá, que pertenece a la Formación Guaduas en el sentido de Scheibe (1933)⁶⁹, razón por la cual el nombre estaría errado; pero debido al arraigo del término no recomiendan el abandono sino más bien la precisión de una localidad tipo adecuada, que proponen en la misma localidad tipo de la Formación Bogotá mencionada por Hubach (1957)⁷⁰, en el río San Cristóbal al sur de Bogotá.

⁶⁴ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71.

⁶⁵ HUBACH, E., Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. En: Boletín Geológico INGEOMINAS. 1957. vol 5, no. 2, p. 93-112, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71.

⁶⁶Ibid. p. 71.

⁶⁷ PRATT, S., ROWLINSON, N., AITKEN, B., ANDERSON, W., BABCOCK, C., CAMPBELL, C. y MAHER, P. The Muzo Emerald Mine. En: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists. 1979, p. 33-63., Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71.

⁶⁸ GUERRERO, J. y SARMIENTO, G., Estratigrafía física, palinología, sedimentología y secuencial del Cretácico Superior y Paleoceno del Piedemonte Llanero. Implicaciones en Exploración Petrolera. En: Geología Colombiana no.20, p. 80-85, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71. Exploración Petrolera. En: Geología Colombiana. 1996. no.20, p. 80-85, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71.

⁶⁹ SCHEIBE, R. Informe sobre los yacimientos de carbón en las Haciendas de 'San Jorge' y 'Llano de Ánimas', en el Municipio de Zipaquirá. Departamento de Minas y Petróleo. En: Compilación de los Estudios Geológicos Oficiales en Colombia. 1933. vol. I, p.15-38. Bogotá (Publicado también en 1918 en el Diario Oficial No. 16429).

⁷⁰ HUBACH, E., Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. En: Boletín Geológico INGEOMINAS. 1957. vol 5, no. 2, p. 93-112, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71.

4.2.1.2. Descripción litológica

La Formación Cacho, en el área de estudio se presenta en capas muy gruesas a medias de cuarzoareniscas de color beige a rojizas - moradas y tamaño de grano muy fino a conglomerático, la forma de los granos es redondeados a subredondeados, moderadamente seleccionados, localmente se presentan óxidos de hierro.

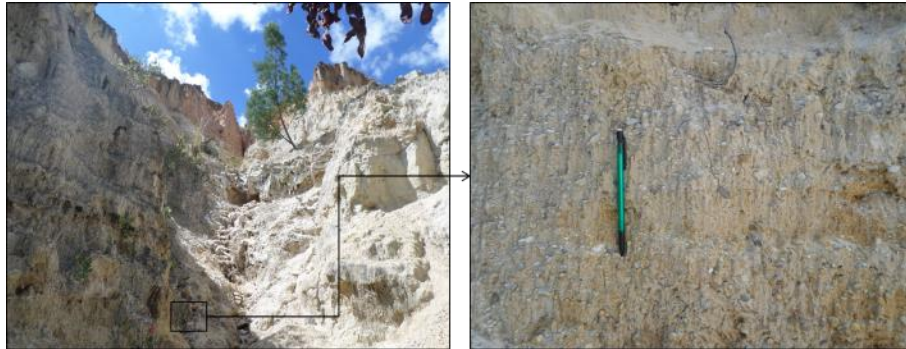
Se encuentran algunos afloramientos importantes en la vía que comunica la vereda Las Flores con la vereda Santa Bárbara, en el sector llamado Las Termas, donde esta formación se presenta en capas muy gruesas de areniscas cuarzosas de grano media a fina, colores beige, muy friables o deleznales, con estratificación cruzada y frecuentemente conforman secuencias granodecrescientes, localmente se encuentran óxidos de hierro, como se observa desde la fotografía 26 hasta la fotografía 29.

Fotografía 26. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino, muy deleznable (N: 1.031.115, E: 1.023.675).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 27. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara – sector termales, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino, en el detalle (derecha), se observa que hacia la base el tamaño de grano aumenta de grueso a muy grueso (N: 1.031.115, E: 1.023.675).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 28. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino a medio, presenta estratificación cruzada, deleznable. (N: 1.031.638, E: 1.023.445).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 29. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio color beige - violeta, se presenta nódulos, deleznable. (N: 1.031.376, E: 1.023.713).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Adicionalmente, en la vía que de la vereda Mariano Ospina conduce al municipio de Sopó, se presenta en capas muy gruesas de arcillolitas de color gris claro a tonalidades moradas intercalado con capas gruesas a medias de cuarzoarenitas de grano medio a muy grueso de color gris claro a rojizas y moradas, deleznales, es común encontrar óxidos de hierro, como se observa desde la fotografía 30 a la 33.

Fotografía 30. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se observa arenisca cuarzosa de medio a muy grueso. (N: 1.027.627, E: 1.017.494).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 31. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se observa cuarzoarenisca de grano muy fino a medio, presenta estratos de arcillolita intercalada con arenisca, muy deleznable (N: 1.031.085, E: 1.018.944).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 32. Afloramiento de La Formación Cacho en la vía vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se observa cuarzoarenisca de grano muy fino a medio, presencia de óxidos de hierro, muy deleznable y presencia de arcillolitas (N: 1.030.570, E: 1.018.801).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 33. Foto de detalle Formación Cacho en la vía vereda Las Flores - vereda Santa Bárbara, donde se observa una cuarzoarenisca de grano medio a grueso, se puede observar los cambios de coloración naranja a rojizo debido a la meteorización de fragmentos líticos y moscovita (N: 1.030.449, E: 1.018.713).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Finalmente, en la vereda Santa Lucía, en la vía que del municipio de Guasca conduce a las veredas El Salitre y La Trinidad, se presenta en capas muy gruesas de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, de color gris claro a naranja y rojizas, deleznales con intercalaciones de capas gruesas de arcillolitas de color gris claro, se presentan óxidos de hierro y moscovita, como se observa en la fotografía 34 y la fotografía 35.

De acuerdo a la plancha 228-Bogotá Noreste, la Formación Cacho consiste principalmente de capas muy gruesas, gruesas y medias de cuarzoarenitas de tamaño de grano muy fino a medio, que varían hasta tamaño grueso y muy grueso (hacia la base), e incluso conglomerático, bien a moderadamente calibradas, con granos redondeados; presentan laminación inclinada en juegos de orden decimétrico, son de color blanco y rojo o marrón a causa de la meteorización, con fragmentos líticos y muscovita; con frecuencia conforman secuencias granodecipientes y llegan a ser deleznales. Las arenitas se intercalan con capas medias a delgadas de arcillolitas de color gris y violeta con laminación plano - paralela que separan los espesos bancos de arenitas⁷¹.

⁷¹ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., 71- 72.

Fotografía 34. Afloramiento de La Formación Cacho en la vereda Santa Lucía, en la vía principal que conduce del casco urbano a la vereda El Salitre, donde se observa arenisca de grano medio a muy grueso, deleznable (N: 1.025.903, E: 1.016.937).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 35. Afloramiento de La Formación Cacho en la vereda La Trinidad, donde se observa arenisca cuarzosa de color beige, de grano medio a grueso, compacta, pero en algunos sectores presenta una meteorización alta (se desborona con la presión de los dedos) (N: 1.022.017, E: 1.023.171).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

4.2.1.3. Posición estratigráfica y edad

La Formación Cacho se encuentra entre la Formación Guaduas y la Formación Bogotá. El límite inferior de la Formación Cacho con la Formación Guaduas es neto y concordante, al igual que el contacto con la suprayacente Formación Bogotá. Mediante datos palinológicos, Van der Hammen (1957)⁷² encuentra que las areniscas de la Formación Cacho corresponden al Paleoceno, mientras que Hubach (1957)⁷³ sugiere que puede tratarse del Paleoceno tardío.

4.2.1.4. Espesor

En la plancha 210 Guateque – 229 Gachalá se estimó que el espesor de la Formación Cacho varía entre 80 y 120 metros⁷⁴. Sin embargo, de acuerdo con Lobo y Guerrero (1992)⁷⁵, su espesor total en la Sabana de Bogotá oscila entre 50 y 400 metros. Finalmente, de acuerdo con plancha 228 Bogotá Noreste se reporta que la Formación Cacho presenta un espesor aproximado de 100 metros⁷⁶.

4.2.1.5. Potencial hidrogeológico

La Formación Cacho está constituida por una secuencia de areniscas cuarzosas friables, esta unidad tiene un interés hidrogeológico alto, la cual pertenece al complejo acuitardo del Paleógeno⁷⁷. Esta formación presenta un caudal de 0,2 a 6 L/seg, una transmisividad de 9 a 500 m²/día, una conductividad hidráulica de 0,3 a 2 m/día y una capacidad específica de 0,1 a 0,6 L/seg/m⁷⁸.

⁷² VAN DER HAMMEN, T. Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá. En: Servicio Geológico Nacional, Boletín Geológico. 1957. vol. 5, no. 2, p. 189-203, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71.

⁷³ HUBACH, E., Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. En: Boletín Geológico INGEOMINAS. 1957. vol 5, no. 2, p. 93-112, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 73.

⁷⁴ ULLOA, C., CAMACHO, G., y ESCOVAR, R. Cuadrángulo K-12 Guateque Planchas 210 Guateque -229 Gachalá. Bogotá: INGEOMINAS., 1975.

⁷⁵ LOBO - GUERRERO, A. Op. Cit., p. 5.

⁷⁶ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 74.

⁷⁷ BERMOUDES O. y VELANDIA F. Op. Cit., p. 35.

⁷⁸ Ibid. p. 8.

4.2.2. Formación Bogotá (E1b)

La Formación Bogotá se distribuye a lo largo las planchas 228-I-B, 228-III-B, 228-IV-D del IGAC, en forma de franjas alargadas preferencialmente en sentido noreste - suroeste en los flancos de los Sinclinales Sisga y Sueva y en sentido noroeste-sureste en las veredas Santa Lucía y La Trinidad, localizada principalmente al noroeste y suroeste del municipio de Guasca.

La Formación Bogotá consiste principalmente de lodolitas que generan una expresión geomorfológica suave de colinas con bajas pendientes. Se encuentra enmarcada entre las unidades competentes Formación Cacho y Formación Regadera⁷⁹.

4.2.2.1. Nombre y sección tipo

Hubach (1931)⁸⁰ denominó piso de Bogotá a la secuencia del “Terciario medio” que consistía en un conjunto inferior “esencialmente arenoso, secundariamente arcilloso; con el horizonte del Cacho a la base”, un conjunto medio “arcilloso, algo arenoso, con yeso y raras trazas de carbón” y por último un conjunto superior “arenoso arcilloso”. El piso de Bogotá es elevado a categoría de Formación Bogotá por Hubach (1945), donde es descrito como una formación sin fósiles que comienza en el conjunto del Cacho, y sobre éste sigue un conjunto arcilloso, yesífero. Hubach (1957)⁸¹ define los límites de la Formación Bogotá: “el límite entre el Guaduas y el Bogotá se distingue fácilmente por el conjunto de areniscas de grano grueso del Cacho” y “el límite superior está señalado por la arenisca de La Regadera del Usme.”

Pratt et al. (1979)⁸², al separar la Formación Cacho de la Formación Bogotá, definen nuevamente el límite inferior de la unidad y Julivert (1963)⁸³ le asigna como sección tipo el flanco oeste del Sinclinal de Usme (Valle del Tunjuelo) a lo largo de la quebrada Zo Grande y del filo al norte de esta quebrada. El Bogotá, de acuerdo con

⁷⁹ Ibid. p. 74.

⁸⁰ HUBACH, E. Geología petrolífera del departamento de Norte de Santander. Servicio Geológico Nacional, Compilación de Estudios Geológicos Oficiales en Colombia, volumen XXII: 1-337. Bogotá: INGEOMINAS., 1931, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 74.

⁸¹ HUBACH, E., Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. En: Boletín Geológico – INGEOMINAS. 1957. vol 5, no. 2. p. 93-112, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 74.

⁸² PRATT, S., ROWLINSON, N., AITKEN, B., ANDERSON, W., BABCOCK, C., CAMPBELL, C. y MAHER, P. The Muzo Emerald Mine. En: Colombian Society of Petroleum Geologists and Geophysicists. 1979, p. 33-63., Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 74.

⁸³ JULIVERT, M. Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de las estructuras. En: Boletín de Geología. 1963. vol.13, no. 1.

Julivert (1963) es muy semejante a la Formación Guaduas y está constituida por un conjunto de arcillas abigarradas, predominantemente rojas.

4.2.2.2. Descripción litológica

La Formación Bogotá de forma general en el área de estudio está compuesta por capas muy gruesas de arcillolitas de color gris claro y tonalidades violetas con intercalaciones esporádicas de intervalos de arenisca cuarzosa de color gris claro y tamaño de grano fino a muy grueso con estratificación plano-paralela que en ocasiones se caracterizan por no presentarse de manera continua.

Se encuentran algunos afloramientos importantes en la vereda Mariano Ospina donde esta formación se presenta en capas muy gruesas de arcillolitas de color naranja claro - oscuro intercalado con capas de arenisca de grano grueso y presencia de óxidos de hierro, como se observa en fotografía 36. En la vereda la Trinidad esta formación se presenta en capas medias de arenisca cuarzosa de grano medio a muy grueso y estratificación plana paralela continua con esporádicos guijos de 1 cm de cuarzo de color gris claro, como se observa en la fotografía 37.

Adicionalmente, en la vereda Las Flores, cerca del municipio de Guasca, se presenta en capas muy gruesas de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso de color naranja claro con estratificación cruzada, deleznable con intercalación de capas medias de arcillolitas de color gris, como se observa en la fotografía 38.

Por otra parte, en las veredas El Salitre y Santa Lucía esta formación se presenta en capas muy gruesas de arenisca cuarzosa de grano fino a medio de color gris claro – naranja, friable con intercalaciones esporádicas de limolitas de color gris claro, capas gruesas de arcillolitas color beige con capas muy gruesas de arenisca de grano fino color ocre, muy friable, como se observa en la fotografía 39 y la fotografía 40.

Fotografía 36. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Mariano Ospina, donde se observa capas medias de arcillolita de color naranja claro - oscuro, hacia el techo se observan fragmentos de arenisca hasta 11 cm angulosos con presencia de óxidos de hierro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 37. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda la Trinidad, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio a muy grueso con intercalación de capas delgadas y medias de arcillolita (N: 1.018.464, E: 1.020.337).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 38. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Las Flores, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio a grueso con estratificación (N: 1.030.545, E: 1.022.238).



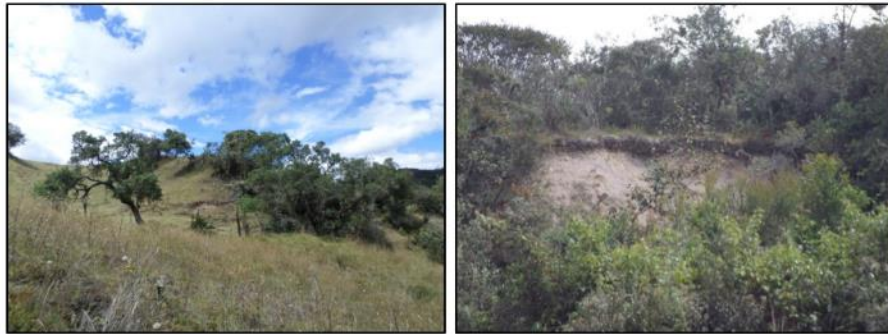
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 39. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda El Salitre, donde se observa arenisca cuarzosa de grano fino a medio, muy friable con intercalaciones de limolitas gris claro (N: 1.024.143, E: 1.018.159).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Fotografía 40. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Santa Lucia, donde se observa arcillolita con intercalaciones de arenisca de grano fino (N: 1.023.725, E: 1.018.187).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

De acuerdo con la plancha 228 - Bogotá Noreste, la Formación Bogotá se observa en el río Teusacá constituida por capas muy gruesas de arcillolitas color gris y violeta, frecuentemente moteadas; localmente se encuentran capas gruesas de arenita lodosa, moderadamente calibrada y redondeada, deleznable⁸⁴.

4.2.2.3. Posición estratigráfica y edad

La Formación Bogotá se encuentra entre la Formación Cacho y la Formación La Regadera. El contacto inferior de la Formación Bogotá con la Formación Cacho es neto y concordante, al igual que el contacto superior con la Formación La Regadera⁸⁵. Van der Hammen (1957)⁸⁶ le asigna con base en palinología a la Formación Bogotá una edad de Paleoceno - Eoceno temprano, y posteriormente Hoorn (1988)⁸⁷ determina una edad Paleoceno Superior - Eoceno temprano.

⁸⁴ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 74.

⁸⁵ JULIVERT, M. Op. Cit., p. 17.

⁸⁶ VAN DER HAMMEN, T. Estratigrafía palinológica de la Sabana de Bogotá. En: Servicio Geológico Nacional, Boletín Geológico. 1957. vol. 5, no. 2, p. 189-203, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 71.

⁸⁷ HOORN, K. 1988. Quebrada del Mochuelo, type locality of the Bogotá formation: a sedimentological, petrographical and palynological study. Hugo de Vries Laboratory, University of Amsterdam, 1988. 21 pág, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

4.2.2.4. Espesor

De acuerdo con la plancha 228 Bogotá Noreste se reporta que la Formación Bogotá, se estima al menos un espesor de 900 metros⁸⁸. Adicionalmente, Hoorn (1988)⁸⁹ en la sección de la quebrada El Mochuelo (Zo Grande) establece un espesor de 1.015 metros. Finalmente, Julivert (1963)⁹⁰ reporta para la Formación Bogotá en los Sinclinales de Tunjuelo, Bogotá - Cajicá - Chequa, Teusacá, Sesquilé y Siecha - Sisga un espesor variable entre 800 y 2.000 metros.

4.2.2.5. Potencial hidrogeológico

Esta formación se considera un acuífero a nivel regional, con un espesor que puede variar en el área desde 400 hasta 750 metros; algunos niveles de areniscas contenidas en esta unidad son productoras de agua⁹¹. Es caracterizada litológicamente como arcillolitas con intercalaciones de areniscas en la parte inferior, presenta un caudal de 0,3 a 1,5 L/seg, una transmisividad menor a 3 m²/día y una capacidad específica menor a 0,03 L/seg/m⁹².

4.2.3. Formación La Regadera (E2r) Eoceno

La Formación La Regadera se distribuye a lo largo de las planchas 228-I-B, 228-III-B, 228-I-D del IGAC, en sentido noreste-suroeste, en el núcleo de los Sinclinal Sisga y en las veredas La Trinidad y Santa Lucia.

Geomorfológicamente, la Formación Regadera conforma una serie de colinas en el valle de Guasca y está compuesta principalmente por secuencias arenosas y resalta topográficamente sobre la Formación Bogotá (carácter arcilloso), que la infrayace⁹³.

⁸⁸ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

⁸⁹HOORN, K. 1988. Quebrada del Mochuelo, type locality of the Bogotá formation: a sedimentological, petrographical and palynological study. Hugo de Vries Laboratory, University of Amsterdam, 1988. 21 pág, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

⁹⁰ JULIVERT, M. Op. Cit., p. 17.

⁹¹ BERMOUDES O. y VELANDIA F. Op. Cit., p. 35.

⁹² *Ibíd.* p. 8.

⁹³ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

4.2.3.1. Nombre y sección tipo

El nombre de Arenisca de La Regadera se debe a Hubach (1957)⁹⁴, quien denominó de esta manera la porción más inferior de la Formación de Usme, que describe como “un conjunto de areniscas de grano medio y grueso, entreveradas con cascajos bien redondeados. Entre las areniscas se intercalan arcillas grises”. Julivert (1963)⁹⁵ eleva a la categoría formacional la Arenisca de La Regadera, suprayacida por la Formación Usme. La Formación La Regadera está constituida por areniscas pobremente consolidadas de grano grueso y capas de conglomerados que alternan con arcillas rosadas y rojizas; aflora en la zona oriental de la Sabana de Bogotá, y según Hubach (1957)⁹⁶ también en “el Sinclinal del Tunjuelo, desde el cerro al sur del hospital de San Carlos hasta las cabeceras de los riachuelos del Curubital y el Hato”. La localidad tipo es el embalse de la Regadera, situado al sur de Usme⁹⁷.

4.2.3.2. Descripción litológica

La Formación La Regadera de forma general en el área de estudio está compuesta por capas tabulares muy gruesas de cuarzoareniscas color gris y beige, de tamaño de grano medio a grueso, moderadamente calibradas, con estratificación curvada - no paralela con óxidos de hierro intercaladas con capas delgadas de arcillolitas de color gris claro.

Se encuentran algunos afloramientos importantes en las veredas Santa Ana y San José donde esta formación se presenta en capas muy gruesas de cuarzoarenisca color beige claro, con tamaño de grano medio a grueso, compactas, con estratificación curvada - no paralela; capas medias de arcillolitas de color gris medio con intercalaciones de arenisca de grano fino y color gris claro - naranja, como se observa desde la fotografía 41 hasta la fotografía 43. Adicionalmente, en la vereda La Floresta, se presenta en capas muy gruesas de areniscas color gris claro - naranja de grano medio a grueso, como se observa en la fotografía 44.

⁹⁴ HUBACH, E., Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. En: Boletín Geológico – INGEOMINAS. 1957. vol 5, no. 2., p. 93-112, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

⁹⁵ JULIVERT, M. Op. Cit., p. 17-18.

⁹⁶ HUBACH, E., Estratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. En: Boletín Geológico – INGEOMINAS. 1957. vol 5, no. 2., p. 93-112, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

⁹⁷ DE PORTA, J. 1974. Lexique Internationale Stratigraphique. Amerique Latina. En: Centre National de la Recherche Scientifique, 1974 vol V, 620 p, Citado por., CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

Fotografía 41. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Santa, donde se observa cuarzoarenisca de grano medio a grueso, compacta (N: 1.025.204, E: 1.020.537).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 42. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda Santa, donde se observa cuarzoarenisca de grano medio (N: 1.025.703, E: 1.021.427).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 43. Afloramiento de la Formación Bogotá en la vereda San José, donde se observa arenisca cuarzosa de grano medio y estratificación curvada - no paralela (N: 1.025.837, E: 1.020.557).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 44. Afloramiento de la Formación La Regadera en la vereda la Floresta, donde se observa arenisca cuarzosa en bancos gruesos intercalada con capas medias de arcillolitas (N: 1.031.848, E: 1.027.565).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Por otra parte, en la vereda Santa Ana, esta formación se presenta como capas muy gruesas de arenisca de grano fino de color beige con intercalaciones ocasionales de capas delgadas de arcillolita de color gris claro, como se observa en la fotografía 45.

De acuerdo con la plancha 228 - Bogotá Noreste, la Formación La Regadera en el área de estudio está constituida por capas tabulares y lenticulares muy gruesas de cuarzoarenitas color marrón y rosado claro, de tamaño de grano arena fina, muy bien calibradas y redondeadas con laminación inclinada plana, son deleznable, se apilan en bancos muy gruesos y están intercaladas con capas medias a delgadas de arcillolitas blancas y violetas⁹⁸.

Fotografía 45. Afloramiento de la Formación La Regadera en la vereda Santa Lucia, donde se observa arenisca de grano fino, deleznable y arcillolita color gris claro (N: 1.024.828, E: 1.018.791).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.2.3.3. Posición estratigráfica y edad

La Formación La Regadera se encuentra entre la Formación Bogotá y la Formación Tilatá. El contacto inferior de la Formación La Regadera con la infrayacente Formación Bogotá parece ser concordante en las áreas de los Sinclinales de Sisga y Siecha y en el valle de Guasca. Sin embargo, el contacto superior no fue observado en el área de estudio, pero en la parte norte del Sinclinal del Sisga se

⁹⁸ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 75.

reporta discordante con la Formación Tiltatá⁹⁹. Hoorn et al. (1987)¹⁰⁰ con base en análisis palinológico asignan una edad de Eoceno Medio.

4.2.3.4. Espesor

De acuerdo con Acosta y Ulloa (1998)¹⁰¹, en una sección levantada en el Sinclinal de Usme, en la quebrada el Chuscal, para la plancha 246 Fusagasugá, se reportan un espesor de 756,3 metros y en una sección compuesta levantada en el Sinclinal de Sisga en la vereda Suralá y sobre la carretera Sisga - Machetá se reporta un espesor de 660 metros¹⁰².

4.2.3.5. Potencial hidrogeológico

Esta formación se caracteriza por areniscas cuarzosas de diferente tamaño, con matriz arcillosa intercaladas con arcillolitas y limolitas, presenta un caudal menor a 1 L/seg y una transmisividad menor a 3 m²/día¹⁰³; esta formación no presenta ningún interés hidrogeológico, a pesar de su composición predominante arenosa, esta formación puede contribuir a la relación hidráulica entre diferentes horizontes acuíferos debido a su fracturamiento¹⁰⁴.

4.3. UNIDADES DEL NEÓGENO

Las rocas que representan el Neógeno en el área de estudio corresponden a la Formación Tiltatá correspondiente al intervalo Mioceno - Plioceno.

4.3.1. Formación Tiltatá (N2t)

La Formación Tiltatá se distribuye a lo largo de las planchas 228-I-B, 228-I-D del IGAC, en forma de franjas en sentido noroeste-sureste, en el núcleo del Anticlinal de Guatavita y en dirección noreste - suroeste al este de la Falla Sopó - Sesquilé y

⁹⁹ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 64.

¹⁰⁰ HOORN, K. 1988. Quebrada del Mochuelo, type locality of the Bogotá formation: a sedimentological, petrographical and palynological study. Hugo de Vries Laboratory, University of Amsterdam, 1988. 21 pág, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 76.

¹⁰¹ ACOSTA, J. y ULLOA, C. Memoria explicativa de la geología de la plancha 246 Fusagasugá. Bogotá: INGEOMINAS. Informe interno 2374b. 93 p., 1998.

¹⁰² MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 103.

¹⁰³ BERMOUDES O. y VELANDIA F. Op. Cit., p 35.

¹⁰⁴ *Ibíd.* p. 15.

al oeste de la Falla Chocontá - Pericos también aflora en las veredas Las Flores y Pastor Ospina.

Morfológicamente la Formación Tilatá muestra terrazas alomadas de varios kilómetros de extensión, en forma de abanicos explayados con pendientes suaves e inclinadas que corresponden a arenas de grano fino o colinas redondeadas a veces alargadas, conformadas por gravas y arenas¹⁰⁵.

4.3.1.1. Nombre y sección tipo

Scheibe (1938)¹⁰⁶ la eleva a Formación de Tilatá y la describe como “areniscas blandas ferruginosas de grano grueso con horizontes de guijarros de cuarzo y plaeners”, descansando en el área de Sisga en discordancia pronunciada, lo que sugiere una edad menor, posiblemente Mioceno.

Van der Hammen et al. (1973)¹⁰⁷ menciona por primera vez el Miembro Tequendama para la Formación Tilatá, pero es Helmens (1990)¹⁰⁸ quien subdivide formalmente la Formación Tilatá en una parte Inferior, dividida a su vez en los miembros Tequendama (arenas y gravas con intercalaciones locales de arcillas orgánicas) y Tibagota (gravas y arenas, localmente arenas y arcillas con intercalaciones de turba), y Superior, constituida por el Miembro Guasca (arcillas color blanco y naranja y arcillas orgánicas, con intercalaciones de turbas y arenas) y un miembro indenumerado al techo. Posteriormente, Van der Hammen y Hooghiemstra (1995)¹⁰⁹ le asignan a este miembro indenumerado el nombre de Miembro Gualí, el cual consiste de arcillas compactas de color gris y verde, limos arcillosos, algunas capas de lignito y arenas.

La sección tipo de cada miembro se determinó en diferentes sectores: para el Miembro Tequendama, es en el Salto de Tequendama (de donde toma el nombre), en el lado noroeste del río Bogotá; para el Miembro Tibagota es el lado noroeste de

¹⁰⁵ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 108.

¹⁰⁶ SCHEIBE, E.A. 1938. Estudios geológicos sobre la Cordillera Oriental de Colombia (Cordillera de Bogotá). En: Estudios geológicos y paleontológicos sobre la Cordillera Oriental de Colombia. 1938. 58 p, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 78.

¹⁰⁷ VAN DER HAMMEN, T., WERNER, J.H. y VAN DOMMELEN, H. 1973. Palynological record of the upheaval of the Northern Andes: a study of the Pliocene and Lower Quaternary of the Colombian Eastern Cordillera and the early evolution of its High-Andean biota. En: Review of Palaeobotany and Palynology. 1973. no. 16, p. 1-122, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 78.

¹⁰⁸ HELMENS, K. Neogene-Quaternary geology of the High Plain of Bogotá, Eastern Cordillera, Colombia. Berlín: Editorial Gebrüder Borntraeger, 1990. 202 pág, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 78.

¹⁰⁹ VAN DER HAMMEN, T. y HOOGHIEMSTRA, H. Cronoestratigrafía y correlación del Plioceno y Cuaternario en Colombia. Bogotá: IGAC, Análisis Geográficos, 1995. no.24: 51-67 p, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 78.

la parte media del valle de Subachoque, y toma el nombre de la Laguna de Tibagota; y por último, la sección tipo del Miembro Guasca, se encuentra en la porción central del valle de Guasca, de donde obtiene su nombre¹¹⁰. Para el Miembro Gualí se postula el intervalo 468 - 585 m del pozo Funza II, y el nombre se deriva del Pantano de Gualí, al lado del cual se realizó la perforación¹¹¹.

4.3.1.2. Descripción litológica

La Formación Tiltatá de forma general en el área de estudio está compuesta por gravas y arenas, se observan variaciones en el tamaño de los clastos, los cuales van desde limo, arena de grano grueso (0,1cm), guijo (5 cm) y guijarro (20 cm), con formas subredondeadas envueltos en un matriz areno - arcillosa de color gris claro, esporádicas concreciones rojizas y óxidos de hierro. Se presenta erosión en forma surcos.

Se encuentran algunos afloramientos importantes en la vereda El Santuario donde esta formación se presenta como un depósito compuesto por arenas de grano fino a grueso y gravas, guijos y guijarros, mal seleccionados envueltos en una matriz areno - arcillosa de grano medio, color beige y gris claro, se presenta erosión en forma de surcos, como se puede observar desde la fotografía 46 hasta la fotografía 49.

¹¹⁰ HELMENS, K. Neogene-Quaternary geology of the High Plain of Bogotá, Eastern Cordillera, Colombia. Berlín: Editorial Gebrüder Borntraeger, 1990. 202 pág, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 78.

¹¹¹ VAN DER HAMMEN, T. y HOOGHIEMSTRA, H. Cronoestratigrafía y correlación del Plioceno y Cuaternario en Colombia. Bogotá: IGAC, Análisis Geográficos, 1995. no.24: 51-67 p, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 78.

Fotografía 46. Afloramiento de la Formación Tilatá en la parte norte de la vereda El Santuario, donde se observa un depósito de aproximadamente 6,5 m compuesto por arenas y gravas envueltas en una matriz arenosa, se evidencia erosión en surcos (N: 1.032.271, E: 1.020.351).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 47. Afloramiento de la Formación Tilatá en la parte central de la vereda El Santuario, donde se puede observar un depósito compuesto por grandes bloques de arenisca de grano fino a medio, con fuertes tonalidades naranjas embebidos en una matriz areno - arcillosa (N: 1.033.131, E: 1.019.736).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 48. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda El Santuario, donde se puede observar un depósito de aproximadamente 6 m compuesto por arenas de grano fino hasta guijarros de 20 cm embebidos en una matriz areno - arcillosa, se presenta erosión en surcos (N: 1.034.063, E: 1.021.441).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 49. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda El Santuario donde se observa un depósito de aproximadamente de 4 m compuesto por partículas tamaño arena hasta guijarros de 20 cm, subangulares, mal seleccionados embebidos en una matriz areno - arcillosa, en algunos sectores se presenta secuencias granocrecientes y arcillolitas de color ocre, presencia de óxidos de hierro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Por otra parte, en la vía que de la vereda Mariano Ospina conduce a Sopó se presentan arenas de grano fino a grueso de color naranja, gravas, arenas y granos de cuarzo gruesos envueltas en una matriz areno arcillosa de color gris claro - naranja, se presenta erosión en forma de surcos, como se puede ver en la fotografía 50 y la fotografía 51.

Fotografía 50. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vía que conduce de la vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se puede observar un depósito compuesto de granos de arena fina a gruesa y ocasionales guijos y guijarros embebidos en una matriz arenosa-arcillosa (N: 1.031.333, E: 1.019.641).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 51. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vía que conduce de la vereda Mariano Ospina - Sopó, donde se puede observar un depósito compuesto de granos de arena fina a gruesa, granos de cuarzo gruesos embebidos en una matriz arenosa - arcillosa, muy deleznable, se presenta erosión en surcos (N: 1.031.399, E: 1.019.101).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Adicionalmente en la vereda Pastor Ospina se presenta un depósito areno - arcilloso con clastos de arena muy gruesa, guijos (3 cm) y gujarros de (15 cm), con formas subredondeadas, como se observa en la fotografía 52.

Fotografía 52. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda Pastor Ospina donde se presenta un depósito areno - arcilloso con cantos y bloques redondeados a subredondeados de arenisca cuarzosa (N: 1.029.923, E: 1.024.429).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Finalmente, en la vereda Santa Bárbara, esta formación se presenta como una matriz areno-arcillosa de color gris medio con granos de tamaño arena media a muy gruesa, cuando se golpean desprenden un olor a fosforo, se presenta óxidos de hierro, como se puede ver en fotografía 53.

Fotografía 53. Afloramiento de la Formación Tilatá en la vereda Santa Bárbara donde se presenta un depósito areno - arcilloso con granos de tamaño arena media a muy gruesa (N: 1.031.244, E: 1.025.843).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Al oriente y sureste de Guasca aflora la Formación Tilatá con sedimentos mal seleccionados que van desde fragmentos de roca subangulares hasta grandes

bloques de arenisca intercalados con arcillas, arenas, gravas y paleosuelos húmicos negros¹¹².

En el valle de Guasca, debajo de la Formación Subachoque, la Tilatá muestra sedimentos arenosos con clastos angulares y grandes bloques de arenisca. Intercalados con estos sedimentos de grano grueso hay capas más delgadas de grana fino, arcillas, gravas y paleosuelos húmicos negros. En Subachoque y Guasca los sistemas de abanicos aluviales están controlados por la tectónica, como se deduce del afloramiento del substrato rocoso deformado y con brechas de falla¹¹³.

En la plancha contigua 209-Zipacquirá, Montoya y Reyes (2003)¹¹⁴ en la vía Chocontá - Cucunubá (sector occidental del Sinclinal de Sisga) realizan una sección de la Formación Tilatá, con punto de inicio N: 1061454 y E: 1041683 y reportan un espesor de 83 m. La descripción de la sección, en donde se diferenciaron dos segmentos, se reproduce a continuación:

- **Segmento 1:** segmento arenoso, lo constituyen 37 metros de arenas y gravas; en la parte inferior se presentan capas muy gruesas de arenas de grano medio y grueso y en menor porcentaje fino, intercaladas con capas gruesas de gravas grano-soportadas y matriz - soportadas. En la parte superior se presentan intercalaciones de arenas de grano fino y arenas de grano muy fino, dispuestas en capas medias. Las capas de arenas en general son granocrecientes hasta llegar a ser gravas de guijarros (20 mm), tienen estratificación inclinada, laminación ondulosa o lentes de gravas y en ocasiones granodecrecimiento de arena gruesa a fina¹¹⁵.
- **Segmento 2:** lo conforman 46 metros de capas muy gruesas de gravas grano-soportadas, con clastos de tamaño guijo (5 cm) y guijarro (20 cm), con formas elongadas, subredondeados y con imbricación; los clastos son de areniscas y liditas. Sobre las anteriores se presenta un intervalo de capas muy gruesas de gravas matriz-soportadas, con clastos de 2 y 4 cm; es común observar lentes de arcillas y capas delgadas cuneiformes de arenas. La parte más superior empieza con una capa de 4 m de arena muy fina y sobre esta, capas de gravas grano y matriz - soportadas con clastos de 2 cm, algunas capas grano decrecen hasta granos de tamaño arena¹¹⁶.

¹¹² ÁLVAREZ, A. Acuíferos de la Formación Tilatá (Mioceno-Plioceno) en dos pozos del suroeste de la Sabana de Bogotá. En: *Geología Colombiana*. 1998. no. 23, p. 75-95.

¹¹³ *Ibid.* p. 80.

¹¹⁴ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 109-110.

¹¹⁵ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 79.

¹¹⁶ *Ibid.* p.79.

4.3.1.3. Posición estratigráfica y edad

En el área de estudio, la Formación Tilatá se encuentra discordante sobre las formaciones paleógenas Cacho y Guaduas. Dueñas y Wijninga (2003)¹¹⁷ le asignan al Miembro Tequendama, con base en palinología, una edad de Mioceno tardío. La edad con base en huellas de fisión¹¹⁸ se establece en Plioceno temprano para el Miembro Tibagota (5,3-3,7 Ma), Plioceno tardío para el Miembro Guasca (3,6 - 2,9 Ma) y el Miembro Gualí (2,9-2,4 Ma). En tal virtud, la Formación Tilatá abarca desde el Mioceno tardío hasta el Plioceno tardío.

4.3.1.4. Espesor

El espesor de la Formación Tilatá se reporta en cada una de sus divisiones: el Miembro Tequendama tendría un espesor máximo de 65 m, el Tibagota y el Guasca, de 20 m cada uno y el equivalente al Miembro Gualí, 110 m (Helmens, 1990)¹¹⁹. Fue descrita en la región.

de la Hacienda Tilatá, en el Cañón del Río Bogotá, 4 km al suroeste de Chocontá. También se encuentra en el valle de Sisga-Chocontá - Villapinzón, en el valle de Guasca, el valle alto del Neusa, en el Páramo de Guandoque, en el valle de Subachoque, en Mancilla - Tudela - Corito (Facatativá), en la altiplanicie Bojacá-La Herrera, y por debajo de la Formación Sabana alcanzando un espesor variable entre 10 cm - 300 m¹²⁰.

4.3.1.5. Potencial hidrogeológico

Esta formación comprende una litología en la que predominan las gravas con matriz arenosa, arenas cuarzosas, limos, arcillas y turba, presenta un caudal entre 10 y 50 L/seg, una transmisividad entre 5 y 940 m²/día, conductividad hidráulica con valores menores a 9 m/día y una capacidad específica entre 0,5 y 7 L/seg/m¹²¹. A causa de

¹¹⁷ DUEÑAS, H. y WIJNINGA, V. M. 2003. Edad del Miembro Tequendama de la Formación Tilatá (Altiplano de Bogotá, Colombia). Bogotá: IGAC, Análisis Geográficos, 2003. no.26: 61-68 p, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 79.

¹¹⁸ VAN DER HAMMEN, T. 2003. La estratigrafía e historia del Neógeno y Cuaternario de la Cuenca Alta del río Bogotá: una evaluación después de completar el mapeo. Bogotá: IGAC, Análisis Geográficos, 2003. no. 26: 101-120 p, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 79.

¹¹⁹ HELMENS, K. Neogene-Quaternary geology of the High Plain of Bogotá, Eastern Cordillera, Colombia. Berlín: Editorial Gebrüder Borntraeger. 202 pág., 1990, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 79.

¹²⁰ LOBO – GUERRERO. Op. Cit., p. 6.

¹²¹ BERMOUDES, O. y VELANDIA, F. Op. Cit., p. 15.

su génesis, condiciones y ambiente de deposición, estos sedimentos no forman un estrato continuo y se ve restringido a depósitos de canal¹²².

4.4. UNIDADES DEL CUATERNARIO

Las unidades del periodo Cuaternario que afloran en el área de estudio corresponden a los Depósitos Aluviales, Depósitos Fluvioglaciares, Depósitos de Terrazas Altas y Depósitos Coluviales.

4.4.1. Depósitos Aluviales

Son aquellos depósitos que se localizan a lo largo de los drenajes del área. Se destacan por su dimensión los que forman, los ríos Bogotá y Neusa. Se caracterizan por presentar material no consolidado, arenoso y limoso con escasas barras de gravas; las areniscas son de varias granulometrías¹²³. Estos depósitos constan de sedimentos arenosos y arcillosos de color gris, con presencia de cantos de diferente tamaño. Son materiales de ambiente fluvial y localmente lacustre, asociados a las llanuras de inundación más recientes de los drenajes de la Sabana. Pueden alcanzar hasta 100 m de espesor a lo largo de los ríos en la región de la Sabana de Bogotá y hasta 30 m alrededor del municipio de Guasca, mientras en las quebradas ocasionalmente sobrepasa los 2 m; son de edad Holocénica¹²⁴. En un estudio realizado en la cuenca alta de río Tunjuelo y más exactamente en los sitios de Buenavista y Chisacá los Depósitos Aluviales presentan espesores que no superan los 2 m¹²⁵.

Los Depósitos Aluviales en el área de estudio de caracterizan por presentar material no consolidado arcillo - arenoso con clastos (guijos - guijarros) y bloques de hasta 1 m que presentan formas redondeadas a subredondeadas y subangulares, moderadamente seleccionadas a mal seleccionados, se presenta erosión en surcos, como se puede observar desde la fotografía 54 hasta fotografía 60.

¹²² Ibit. p. 33.

¹²³ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 116.

¹²⁴ BERMOUDES, O., y VELANDIA, F. Op. Cit., p.18.

¹²⁵ EAAB. Op. Cit., p. 35.

Fotografía 54. Depósito Aluvial por la vía principal vereda El Salitre - Guasca, donde se puede observar un afloramiento de aproximadamente 8 m compuesto de matriz areno - arcillosa con guijarros de arenisca, moderadamente seleccionado, se presenta óxidos de hierro y moscovita.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 55. Depósito Aluvial hacia la parte norte de la vereda Santa Bárbara, donde se puede observar un afloramiento compuesto de matriz arcillosa con clastos redondeados de arenisca, se presentan óxidos de hierro.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 56. Depósito Aluvial en la vereda Las Flores, donde se puede observar un afloramiento de 4 m de matriz areno - arcillosa de color gris y tonalidades naranjas - rojizas con granos redondeados de arenisca de grano fino a medio con tonalidades rojizas, grises y naranjas, deleznable (N:1.031.523, E:1.023.741).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 57. Depósito Aluvial en la vereda Santa Bárbara, donde se puede observar un afloramiento de matriz areno - arcillosa de tonalidades naranjas - rojizas con granos redondeados de arenisca de grano fino a medio seguido de una capa gruesa de cuarzoarenisca (N: 1.023.035, E: 1.024.101).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 58. Depósito Aluvial en la vereda La Trinidad, donde se puede observar un afloramiento de matriz areno - arcillosa con guijarros de arenisca de 20 cm, alto contenido de óxidos de hierro y capas delgadas de arenisca cuarzosa (N: 1.022.188, E: 1.023.192).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 59. Depósito Aluvial en la vereda Santa Bárbara, donde se puede observar un afloramiento de matriz areno - arcillosa de grano fino a medio de color naranja y rojizo con guijarros de arenisca de 30 cm, alto contenido de óxidos de hierro y capas gruesas de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso, deleznable (N: 1.031.279.188, E: 1.024.586).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 60. Depósito Aluvial en la vereda Santa Bárbara, donde se observa suelo residual de color café oscuro con materia orgánica (raíces y hojas), arcillolita color gris y beige claro con esporádicos bloques subangulares de arenisca cuarzosa de grano fino color gris claro (N: 1.022.324, E: 1.016.650).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.4.2. Depósitos Fluvioglaciares (Q1f)

Estos depósitos presentan varias geoformas: superficie aplanada, valles en “u” y morrenas laterales como las observadas en el sinclinal de Río Frío, en donde recubren unidades paleógenas. Las litologías observadas en los depósitos con geoformas aplanadas son de gravas y arenas de grano fino, no consolidadas, las gravas son granosoportadas con tamaños guijos de 4 cm y en menor proporción de 6 cm, envueltos en una matriz arenosa, formando bancos hasta de 2 m.¹²⁶ En un estudio realizado en la cuenca alta de río Tunjuelo especialmente al oriente del río Tunjuelo los Depósitos Fluvioglaciares presentan un espesor que varía de 15 - 40 m¹²⁷.

En las zonas altas del municipio se observan grandes bloques rodados de arenisca angulares a subangulares de color gris oscuro a negro, en ocasiones se evidencia presencia de material arcillo - limoso junto a los bloques de arenisca. Los Depósitos Fluvioglaciares para la parte norte de la vereda San Bárbara se muestran como grandes bloques de arenisca de forma subangular de color gris claro a gris oscuro, como se observa en la fotografía 61. Finalmente, en la vereda El Salitre, por la vía que conduce a la vereda La Trinidad se observan los depósitos fluvioglaciares como grandes bloques de arenisca subangulares de color gris oscuro a negro, físilos, como se muestra en la fotografía 62.

¹²⁶ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p.114.

¹²⁷ EAAB. Op. Cit., p. 6.

Fotografía 61. Afloramiento de los Depósitos Fluvioglaciares al norte de la vereda San Bárbara (N: 1.031.355, E: 1028334).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 62. Afloramiento de Depósitos Fluvioglaciares en la vereda El Salitre por la vía que conduce a la vereda La Trinidad donde se presenta como un depósito de color gris oscuro (N: 1.023.069, E: 1.017.229).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.4.3. Depósitos de Terrazas Altas (Q2t)

Afloran como depósitos aplanados formando terrazas altas, con respecto al nivel actual de inundación; se observan bordeando la Laguna del Neusa y en cercanías a las cabeceras de Nemocón y Zipaquirá. Están conformadas por sedimentos conglomeráticos de diferentes rangos, en una matriz areno-arcillosa y con lentes arcillosos y arenosos¹²⁸.

Se encuentra constituido por arcillas plásticas de color gris oscuro, con intercalaciones lenticulares de arena suelta, gravas y cenizas volcánicas de color gris claro, además se registran niveles de turbas. Esta unidad constituye el relleno más importante de la Sabana; su origen es fluviolacustre y se estima la edad de Plioceno - Holoceno¹²⁹.

El contacto de esta unidad con los depósitos de Abanico Aluvial (Qaa) es difícil de trazar y se infiere donde exista un ligero cambio de pendiente. Su contacto con los Depósitos Aluviales (Qal) es neto y se manifiesta por la presencia de pequeños escarpes¹³⁰.

Los afloramientos en la zona de estudio se muestran como areniscas cuarzosas de grano medio a grueso de color gris, también es mostrado como depósitos arcillo-arenosos color beige y en algunos afloramientos se observan clastos de tamaño guija a guijarro.

En la vereda Las Flores en cercanía al casco urbano se observa un afloramiento de arenisca cuarzosa de grano medio a grueso color gris claro con algunas tonalidades color naranja claro cómo se observa en la fotografía 63.

¹²⁸ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p.114.

¹²⁹ BERMOUDES, O., y VELANDIA, F. Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS., 2002a.

¹³⁰ Idib. p. 17.

Fotografía 63. Afloramiento de Terrazas Altas en las veredas Las Flores donde se presenta como un depósito compuesto por arenisca de grano medio de color gris con fragmentos de aproximadamente 2 a 10 cm. (N: 1.030.545, E: 1022238).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Adicionalmente en la vereda El Salitre se muestra un afloramiento de 2,60 metros de espesor compuesto por material areno - arcilloso color beige con tonalidades naranjas y presencia de clastos tamaños guija, guijarro, guijón y bloques de forma subredondeada compuestos por arenisca de grano fino color beige con fuertes impregnaciones de óxido de hierro, como se muestra en la fotografía 64. Finalmente, por la vía principal que conduce al casco urbano del municipio de Guasca se muestra un afloramiento de aproximadamente 6 metros compuestos por clastos tamaño guija y guijarro subredondeados y mal seleccionados junto a un material areno - arcilloso de tonalidades naranjas como se muestra en la fotografía 65.

Fotografía 64. Afloramiento de los Depósitos de Terrazas Altas en la vereda El Salitre de color naranja compuesto por arenisca de grano fino (N: 1.024.726, E: 1.016.086).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Fotografía 65. Afloramiento de Depósitos de Terrazas Altas en la vía principal hacia el municipio de Guasca donde se presenta compuesto por clastos mal seleccionados junto a material areno - arcilloso de tonalidades naranjas.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.4.4. Depósitos Coluviales (Q2c) - Holoceno

Se incluyen en esta denominación a los depósitos de pendientes de origen local, siendo de los más notorios, los observados en el piedemonte del flanco occidental del Anticlinal de Bogotá. Los depósitos forman unidades de conos coluviales, conos de taluds, lóbulos de soliflujión y flujos torrenciales¹³¹.

Los conos coluviales y lóbulos de soliflujión son de longitudes cortas y largas, tienen formas convexas e inclinaciones, suaves o abruptas. Son acumulaciones sobre las laderas por procesos de escorrentía superficial, por flujo lento y viscoso de suelos saturado y no saturado. La litología es de bloques angulares a subangulares de diferentes tamaños embebido en un material arcilloso¹³².

Los conos de taluds se presentan al pie de las zonas escarpadas en forma de cono o lóbulo, son de longitud muy corta a corta, de formas rectas a convexas e inclinadas; se forman esencialmente por acumulación mecánica de bloques angulares desprendidos por meteorización. La litología es de bloques angulares a subangulares, de variado tamaño, clasto soportados y con matriz arenosa o arcillosa¹³³.

Las morrenas son depósitos de fragmentos de roca subangulares a subredondeados, hasta grandes bloques en una matriz arenosa, los bloques presentan estriaciones, surcos y acanaladuras con forma de media luna; también se presenta arcillas orgánicas en la base (Helmes y Van der Hammen, 1995)¹³⁴. En un estudio realizado en la cuenca alta de río Tunjuelo y más exactamente en los sitios de Buenavista y Chisacá los Depósitos Coluviales presentan un espesor variable entre 10 - 70 m dependiendo de su proximidad al río¹³⁵.

En la zona de estudio se evidencia un afloramiento de 1,8 metros de espesor compuesto por bloques subangulares de arenisca de grano medio, color gris con fuertes impregnaciones de óxido de hierro, moderadamente dura junto a material areno-arcilloso de grano fino color gris, beige y tonalidades naranjas como se muestra en la fotografía 66.

¹³¹ *Ibíd.* p. 67.

¹³² CARVAJAL, H et al. Mapa geomorfológico de la Sabana de Bogotá. Versión 1.0. Escala 1:25.000. Bogotá: INGEOMINAS., 2004, Citado por MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 74.

¹³³ *Ibíd.* p. 74.

¹³⁴ HELMENS, K. y VAN DER HAMMEN T. Memoria explicativa de los mapas del Neógeno y Cuaternario de la Sabana de Bogotá-cuenca alta del río Bogotá. IGAC, Análisis Geográficos 24: 91-142. Bogotá., 1995, Citado por: MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 74.

¹³⁵ EAAB. Estudio de factibilidad para el aprovechamiento adicional de la Cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá., 1989.

Fotografía 66. Afloramiento de Depósitos Coluviales de color gris oscuro (N: 1.021.015, E: 1.015.988).



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

4.4.5. Potencial hidrogeológico de las unidades del Cuaternario.

Los Depósitos de Terraza Alta y los depósitos cuaternarios no consolidados de tipo aluviales, fluvioglaciares y coluviales son las unidades con un interés hidrogeológico mayor. Por una parte, los Depósitos de Terraza Alta presenta una litología arcillosa, limos, arenas y gravas, con datos de caudal entre 10 y 50 L/seg, transmisividad entre 5 y 940 m²/día, conductividad hidráulica menor a 9 m/día y una capacidad específica entre 0,5 y 7 L/seg/m¹³⁶. Las características litológicas de esta unidad definen su estructura lenticular conformando un acuífero muy heterogéneo¹³⁷. Por otra parte, los depósitos cuaternarios no consolidados están constituidos por intercalaciones de arcillas, limos, arenas, gravas y fragmentos de roca que conforman acuíferos locales de extensión muy limitada y por consiguiente de poca importancia hidrogeológica dependiendo de su espesor y continuidad¹³⁸.

¹³⁶ BERMOUDES O. y VELANDIA F. Op. Cit., p. 7.

¹³⁷ Ibid. p. 33.

¹³⁸ Ibid. p. 34.

5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

5.1. MARCO TECTÓNICO REGIONAL

De acuerdo con Montoya y Reyes (2005)¹³⁹ dentro del área de la Sabana de Bogotá se pueden establecer dos estilos estructurales: el primero, localizado en el flanco oriental de la Cordillera Oriental, al oriente del Sinclinal de Checua, donde las fallas principales son de cabalgamiento y tienen vergencia al oriente; otras fallas de menor importancia se comportan como retrocabalgamientos con vergencia hacia el occidente. El segundo estilo estructural se presenta al occidente del Sinclinal de Checua; está caracterizado por fallas de cabalgamiento con vergencias al occidente como sistemas imbricados que nacen y son controlados por fallas de dirección noroeste que sirven como rampas laterales. Este sistema imbricado es el responsable de la generación de anticlinales estrechos y sinclinales amplios que han sido erodados y que son rellenados por sedimentos cuaternarios conformando la planicie de la Sabana. La imagen 9 muestra el mapa estructural de la Sabana de Bogotá.

Además de las estructuras regionales, existen zonas con diapirismo de sal generalmente localizadas en el núcleo de los anticlinales. El diapirismo es un generador de estructuras muy complejas, interrumpen las fallas y pliegues regionales como es el caso en Zipaquirá y Nemocón, en donde hay bloques de roca de diferentes unidades conectados por fallas de poca extensión y con un angostamiento considerable de los anticlinales. Situación estructural parecida se observa en la serranía que se prolonga desde el sector de Sesquilé hasta el municipio de La Calera, donde probablemente exista en el subsuelo actividad de diapirismo responsable del angostamiento de la serranía en el sitio denominado como El Salitre (a 10 km al norte de La Calera) y de la escamación de fallas de cabalgamiento que producen una saliente hacia el oriente entre El Salitre y La Calera¹⁴⁰.

- Zona Oriental

Se considera zona oriental, el área localizada al oriente del núcleo del Sinclinal de Checua, el trazo del río Bogotá (centro) y del río Tunjuelito (sur).

- Zona Occidental

¹³⁹ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 75.

¹⁴⁰ Ibid. p. 75.

Esta zona está comprendida al occidente del Sinclinal de Checua, el trazo del río Bogotá y al sur el trazo del río Tunjuelito.

5.1.1. Marco Estructural Local.

El estilo estructural del área de estudio corresponde al estilo de la zona oriental. La geología estructural del área de estudio se realizó a partir de una revisión de las principales estructuras que afectan el área de estudio, definidas a partir de la información levantada en campo y de la geología de la plancha 228 - Bogotá Noreste.

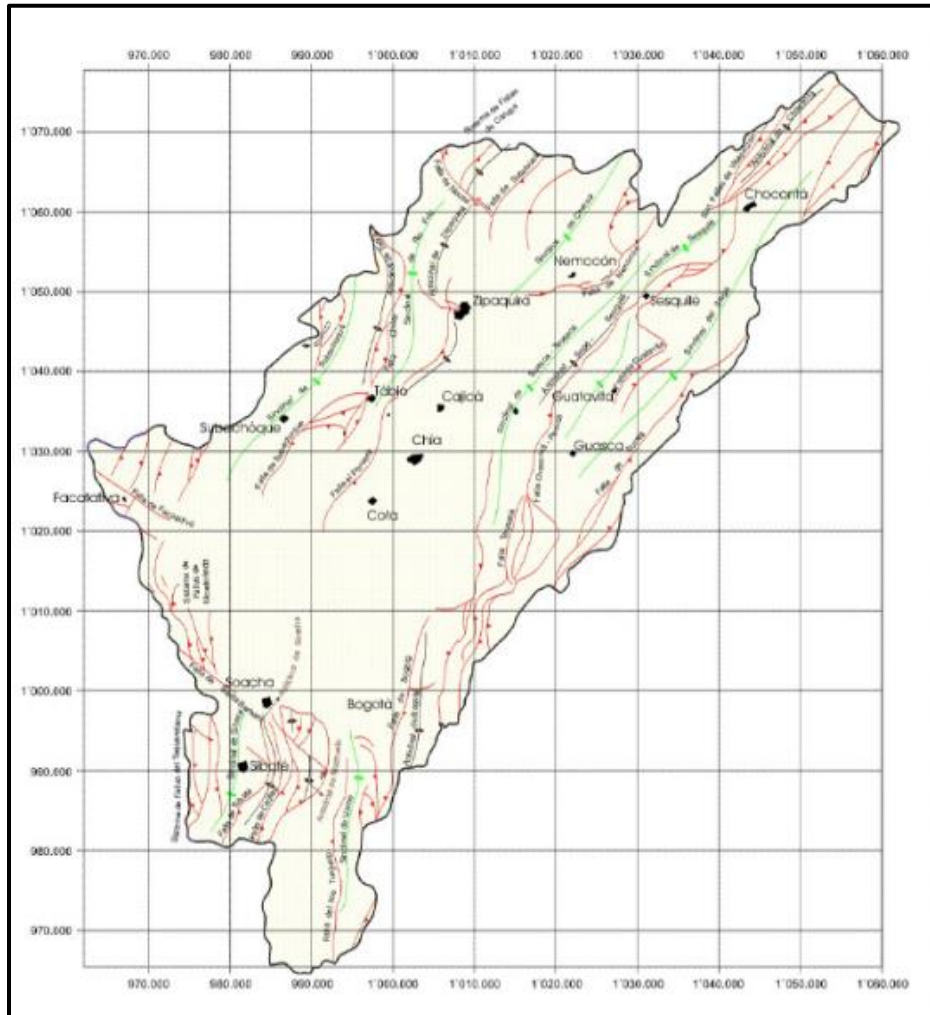
El área de estudio se encuentra al occidente de los Cerros Orientales de Bogotá y la Serranía de Pericos, donde las estructuras se alinean aproximadamente en dirección norte-sur, como el Anticlinal de Bogotá y la Falla de Teusacá. En la parte central y oriental del área de estudio, la dirección preferencial de las estructuras es N45°E, como los Sinclinales de Sisga y Siecha, el Anticlinal de Río Blanco-Machetá y el Sinclinal de Sueva. Los pliegues son por lo general abiertos o suaves y con frecuencia se extienden por toda el área de forma continua¹⁴¹.

El fallamiento tiene principalmente un componente vertical inverso con vergencia noroccidente como la Falla de Salinero o la Falla de Suralá o al oriente como las fallas de Machetá y Chocontá - Pericos¹⁴².

¹⁴¹ Ibíd. p. 88.

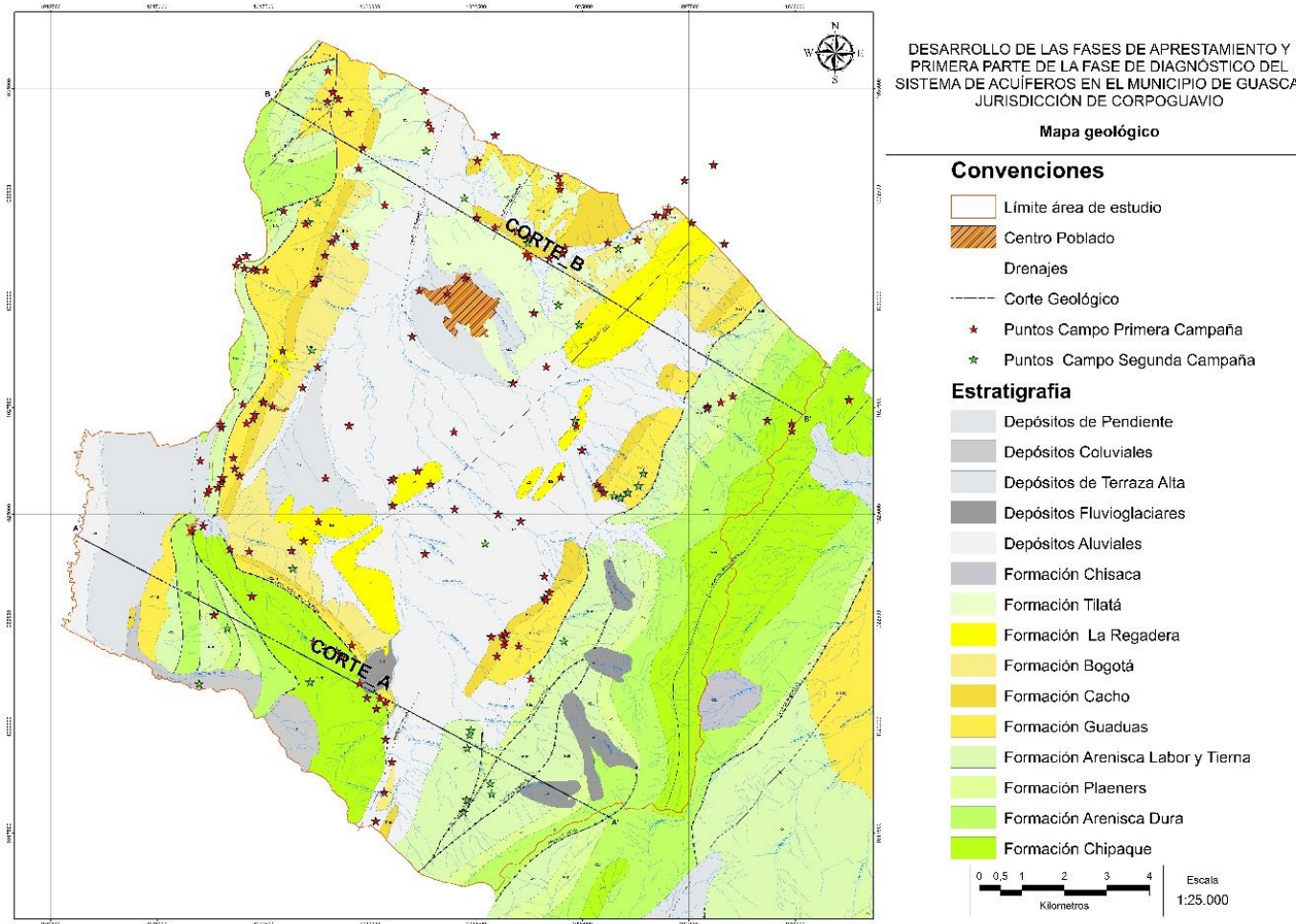
¹⁴² Ibíd. p. 88.

Imagen 9. Mapa estructural de la Sabana de Bogotá.



Fuente: Montoya y Reyes, 2005.

Imagen 10. Mapa geológico del área de estudio en donde se muestran las principales estructuras y las unidades litoestratigráficas. Las líneas negras representan las líneas de corte.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

5.2. FOTOINTERPRETACIÓN

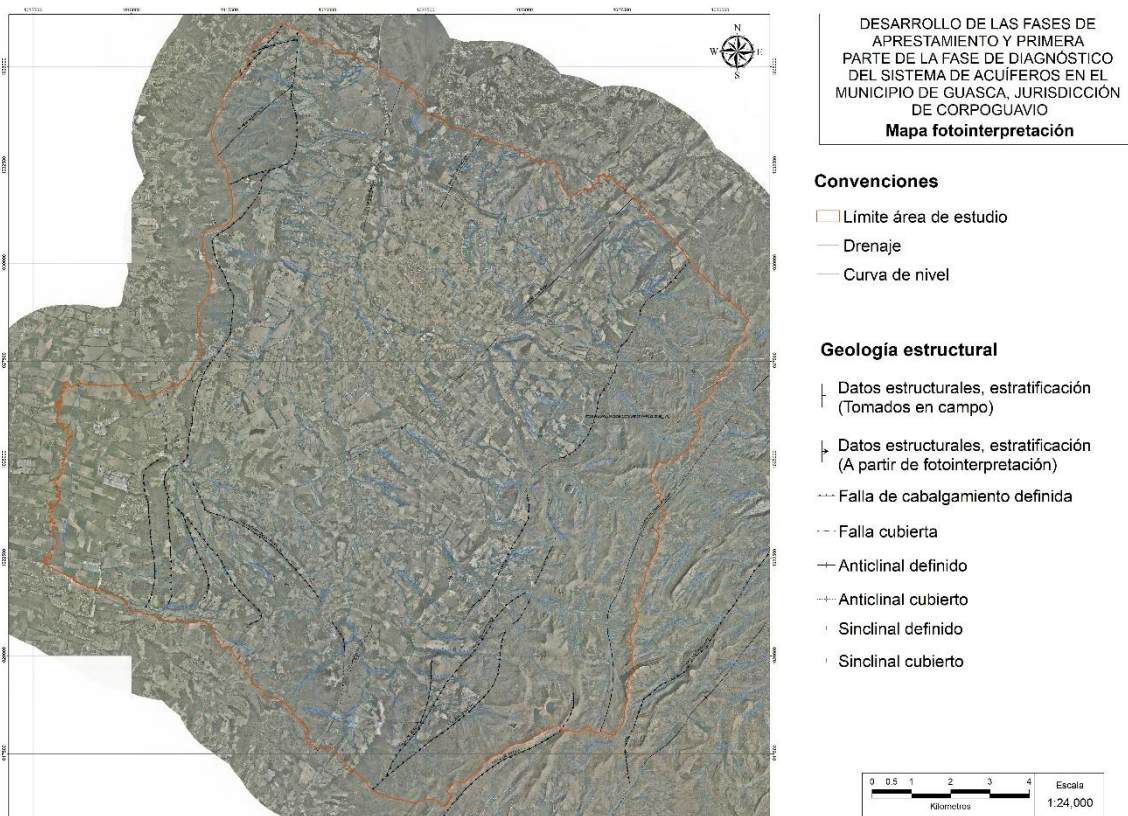
La realización de un análisis de la red de drenajes por medio de fotografías aéreas es muy adecuada debido a la gran extensión del terreno abarcado por las fotografías, al detalle con respecto al relieve y las geoformas que allí se identifican y que, gracias a la disposición del método, se puede hacer un dibujo más exacto de las redes de drenajes sobre toda el área.

En el municipio de Guasca se identifican diferentes patrones de drenaje distribuidos por toda el área de estudio, hacia el sureste y noroeste de Guasca se identifica un patrón de drenaje detrítico el cual está conformado por afluentes primarios como las quebradas las Tomitas, Tembladares, El Molino, El Santuario y Cerro Hueco, adicionalmente, se identifican afluentes secundarios que se unen libremente como las quebradas El Espartal, Ojo de Agua, Del Divino Niño y La Piñuela, las cuales cubren áreas amplias en todas las direcciones, estos drenajes se forman en áreas con la interacción de varios, no necesariamente todos, los factores como litologías con baja permeabilidad, mediana pluviosidad, baja cobertura vegetal, zonas de inicio de laderas, pendientes moderadas y zonas litológicamente muy alteradas . Hacia el centro del área de estudio se identifica un patrón de drenaje rectangular caracterizado por sus afluentes principales como los ríos Siecha, Chipatá, Chiguano – Perico y la quebrada Corcobado, generando ángulos rectos con los afluentes de menor importancia, sin embargo, estos son menos definidos en planicies enteras y ocurren principalmente cuando existe un área con un control estructural definido por fallas, fracturas y discontinuidades, sobre rocas con una buena permeabilidad, moderada cobertura vegetal y mediana pluviosidad .

Por otra parte, ya que en las campañas de campo no se logró acceder a la parte este de la zona de estudio, a partir de fotointerpretación se identificaron datos estructurales de algunas capas que afloran en esta zona. Hacia el oeste, en el flanco occidental del Anticlinal Río Blanco – Machetá cerca de las fallas Suralá, los Picachos y la Falla el Chachal se determinaron rumbos aproximados de algunas capas, al igual que en cada uno de los flancos del Sinclinal de Santuario cerca a la Falla Chocontá – Pericos.

A partir del análisis de las fotografías aéreas del área de estudio se determinaron los patrones de drenaje y algunos datos estructurales a partir de fotointerpretación como se observa en la siguiente imagen

Imagen 11. Interpretación de drenajes a partir de fotointerpretación para el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

5.3. FALLAS

Las fallas más importantes del área de estudio son las Fallas de Machetá, Suralá y Chocontá – Pericos. A continuación, se presentan los principales rasgos de las fallas localizadas en área de estudio.

5.3.1. Falla Machetá

La Falla de Machetá cruza la parte centro oriental de la plancha en dirección noreste-suroeste. El nombre posiblemente fue asignado por McLaughlin y Arce (1972)¹⁴³ con base en la población de Machetá, que está cerca del trazo de la falla

¹⁴³ MCLAUGHLIN, D. y ARCE, M. Recursos minerales de parte de los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Meta. 1971. En: Boletín Geológico, INGEOMINAS. vol. 19, no.1, p. 1-102, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 88

(Terraza *et al.*, 2010)¹⁴⁴. Es una falla inversa de alto ángulo con vergencia al sureste y una componente dextral¹⁴⁵. En la plancha 228 - Bogotá Noreste, a causa de la Falla de Machetá, la Formación Arenisca Dura o Plaeners queda en contacto con la Formación Guaduas, esta última sobre el bloque yacente de la estructura.

5.3.2. Falla de Suralá

De acuerdo con lo descrito por Montoya y Reyes (2003)¹⁴⁶, esta falla tiene una orientación N35°E, buza hacia el oriente y podría tener un componente de rumbo, además de presentar fuentes termales que indicaría que posiblemente es una falla profunda. La Falla de Suralá pone en contacto la Formación Arenisca de Labor y Tierna con la Formación Guaduas, formando brechas de falla en el sector del Alto Careperro¹⁴⁷.

5.3.3. Falla de Chocontá - Pericos

La Falla de Pericos fue cartografiada por McLaughlin y Arce (1972)¹⁴⁸ en la serranía del mismo nombre, de donde probablemente toma el nombre. Por atravesar el valle de Chocontá, Montoya y Reyes (2003)¹⁴⁹, modifican la nomenclatura adicionándole el nombre de Chocontá en la plancha 209 - Zipaquirá. La Falla de Chocontá - Pericos es de tipo inverso con vergencia al oriente y en el área de estudio muestra trazos sinuosos a causa de la variación en la inclinación y orientación del plano de falla; es usual también que presente fallas retroinversas asociadas como en el sector de Pericos y la Falla de Teusacá, así como bloques muy tectonizados, probablemente rotados (sectores del Sisga, Sopó y La Calera), evidenciados en la inversión de estratos¹⁵⁰. Esta falla pone en contacto las formaciones cretácicas con rocas del Paleógeno a lo largo de su extensión¹⁵¹.

¹⁴⁴ TERRAZA, R., MORENO, G., BUITRAGO, J., PÉREZ, A. y MONTOYA, D. Geología de la plancha 210-Guateque. Memoria explicativa. Bogotá: INGEOMINAS, 146 pág., 2010, Citado por *Ibíd.*, p. 88.

¹⁴⁵ MONTOYA y REYES. *Op. Cit.*, p. 129.

¹⁴⁶ *Ibíd.* p. 129.

¹⁴⁷ *Ibíd.* p. 129.

¹⁴⁸ MCLAUGHLIN, D. H., y ARCE, M. Geology of the Zipaquirá area (zone IV), Cordillera Oriental, Colombia. Informe preliminar No.109, 336 pág. Sogamoso: INGEOMINAS., 1972, Citado por CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 94.

¹⁴⁹ MONTOYA y REYES. *Op. Cit.*, p. 125.

¹⁵⁰ *Ibíd.* p. 125.

¹⁵¹ CORREDOR y TERRAZA. *Op. Cit.*, p. 92.

Las características anteriores permiten subdividirla en 2 tramos: el tramo norte se observa desde Villapinzón hasta Sopó, es rectilíneo, presenta una dirección N45°E, cabalgan la Formaciones Lidita superior, Plaeners y Labor Tierna sobre la Formación Guaduas y genera inversión de estratos y en algunos sectores como en la región de Sisga-Chocontá presenta bloques rotados¹⁵².

El tramo sur (desde Sopó hasta La Calera), tiene segmentos rectilíneos de dirección N45°E y segmentos que forman salientes hacia el oriente; en estas salientes el desplazamiento sobre el plano de falla es mayor, tal como se observa al norte de La Calera, donde cabalga la Formación Chipaque sobre la Formación Cacho, mientras que, en el resto de su trazo, cabalgan las Formaciones Plaeners y Labor -Tierna sobre la Formación Guaduas. En las salientes, la dirección de la falla varía de NS a N60°E y generalmente presenta retrocabalgamientos asociados (sector de Pericos y norte del Sisga), dejando bloques levantados con rocas de las Formaciones Lidita Superior, Plaeners y Labor-Tierna, sobrerocas de la Formación Guaduas¹⁵³.

5.4. ANTICLINALES

Las estructuras anticlinales más notables del área de estudio son los Anticlinales de Río Blanco - Machetá y Chingaza. A continuación, se presentan los principales rasgos de los anticlinales localizados en el área de estudio.

5.4.1. Anticlinal de Río Blanco - Machetá

El Anticlinal de Río Blanco - Machetá cruza la parte central de la plancha 228 - Bogotá Noreste a lo largo de 47 km; se extiende hacia el sur (plancha 247 - Cáqueza) y hacia el norte (plancha 209 - Zipaquirá) completando una extensión de 127 km de acuerdo con McLaughlin y Arce (1972)¹⁵⁴. Fue denominado Anticlinal de Machetá por Montoya y Reyes (2003)¹⁵⁵ en el área de la plancha 209 - Zipaquirá.

Muestra dos tendencias dentro de la plancha: al norte, es un anticlinal abierto, horizontal, derecho, con una orientación N30° - 45°E, mientras que hacia el sur la superficie de charnela se inclina hacia el este y la orientación del eje se acerca a la

¹⁵² CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 77.

¹⁵³ Ibid. p. 77.

¹⁵⁴ MCLAUGHLIN, D. H., y ARCE, M. Geology of the Zipaquirá area (zone IV), Cordillera Oriental, Colombia. Informe preliminar No.109, 336 pág. Sogamoso: INGEOMINAS., 1972, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 93.

¹⁵⁵ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 130.

dirección norte - sur. El anticlinal hacia el sur es abierto, poco inclinado y horizontal y en el sector de Siecha presenta un volcamiento asociado posiblemente a las Fallas de Siecha y Machetá. En el núcleo del anticlinal afloran rocas de la Formación Chipaque y la Formación Une al sur, y en los flancos se exponen las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca de Labor y Tierna¹⁵⁶.

5.4.2. Anticlinal de Chingaza

El Anticlinal de Chingaza se encuentra en la parte central sur del área de estudio; su trazo fue indicado por McLaughlin y Arce (1972)¹⁵⁷ sin atribuirle un nombre específico. El eje de la estructura tiene una orientación promedio de N - S y una longitud de al menos 17 Km. Es un anticlinal suave, subvertical, muy inclinado, con inmersión débil en dirección norte; en el núcleo de la estructura se encuentra la Formación Chipaque y los flancos los conforman las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca de Labor y Tierna, y más al norte, la Formación Guaduas¹⁵⁸.

La imagen 10 muestra el mapa geológico a escala 1:25.000 donde se presentan los principales anticlinales localizados en el área de estudio.

5.5. SINCLINALES

Las principales estructuras sinclinales del área de estudio son los Sinclinales de Sisga y Siecha. A continuación, se presentan los principales rasgos de los sinclinales localizados en el área de estudio.

5.5.1. Sinclinal de Sisga

McLaughlin y Arce (1972)¹⁵⁹ definieron el Sinclinal de Siecha - Sisga para el Cuadrángulo K1 - Zipaquirá de forma continua en el área de estudio, mientras que Montoya y Reyes (2005)¹⁶⁰ consideran que podría tratarse de estructuras separadas. El Sinclinal del Sisga ocupa la parte central norte de la plancha 228 -

¹⁵⁶ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 94.

¹⁵⁷ MCLAUGHLIN, D. H., y ARCE, M. Geology of the Zipaquirá area (zone IV), Cordillera Oriental, Colombia. Informe preliminar No.109, 336 pág. Sogamoso: INGEOMINAS., 1972, Citado por Ibíd., p. 94.

¹⁵⁸ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 94.

¹⁵⁹ MCLAUGHLIN, D. H., y ARCE, M. Geology of the Zipaquirá area (zone IV), Cordillera Oriental, Colombia. Informe preliminar No.109, 336 pág. Sogamoso: INGEOMINAS., 1972, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 95.

¹⁶⁰ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 80.

Bogotá Noreste, tiene una extensión de al menos 15 km y presenta una orientación promedio de N45°E¹⁶¹.

Es un sinclinal suave, vertical y derecho, aparentemente sin inmersión de la línea de la charnela. En el núcleo de la estructura se presenta la Formación La Regadera, y las formaciones Bogotá, Cacho y Guaduas afloran en los flancos; su eje desaparece al sur por debajo de las formaciones cuaternarias Río Siecha, Tunjuelito y Subachoque¹⁶².

5.5.2. Sinclinal de Siecha

El nombre proviene de la definición hecha por McLaughlin y Arce (1972)¹⁶³ que consideran la estructura de Siecha - Sisga con una única estructura; Montoya y Reyes (2005)¹⁶⁴ fraccionan la estructura a través de la Falla de Chocontá - Pericos. El Sinclinal de Siecha en la plancha 228 - Bogotá Noreste muestra una longitud de 14 km con una dirección N - S en el extremo sur y N40° - 45°E en su porción más norte. El nombre se toma probablemente de la región de Siecha, municipio de Guasca¹⁶⁵.

El Sinclinal de Siecha es suave, vertical y derecho, con inmersión débil al sur, antes de estrellarse con una ramificación de la Falla de Chocontá - Pericos. En el núcleo aflora la Formación La Regadera hacia el norte y la Formación Bogotá hacia el sur; los flancos están conformados por las formaciones Cacho, Guaduas y Labor - Tierna¹⁶⁶. La imagen 10. muestra el mapa geológico a escala 1:25.000 donde se presentan los principales sinclinales localizados en el área de estudio.

A partir del mapa geológico de área de estudio se realizaron tres cortes geológicos para mostrar la relación de las diferentes estructuras con los cuerpos de roca. El corte A se localiza hacia la parte suroeste del área de estudio en sentido noroeste – sureste y el corte B se localiza hacia la parte noreste del área de estudio en sentido noroeste – sureste y el corte C se localiza hacia la parte central en sentido noroeste – suroeste

¹⁶¹ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 96.

¹⁶² Ibid. p. 96.

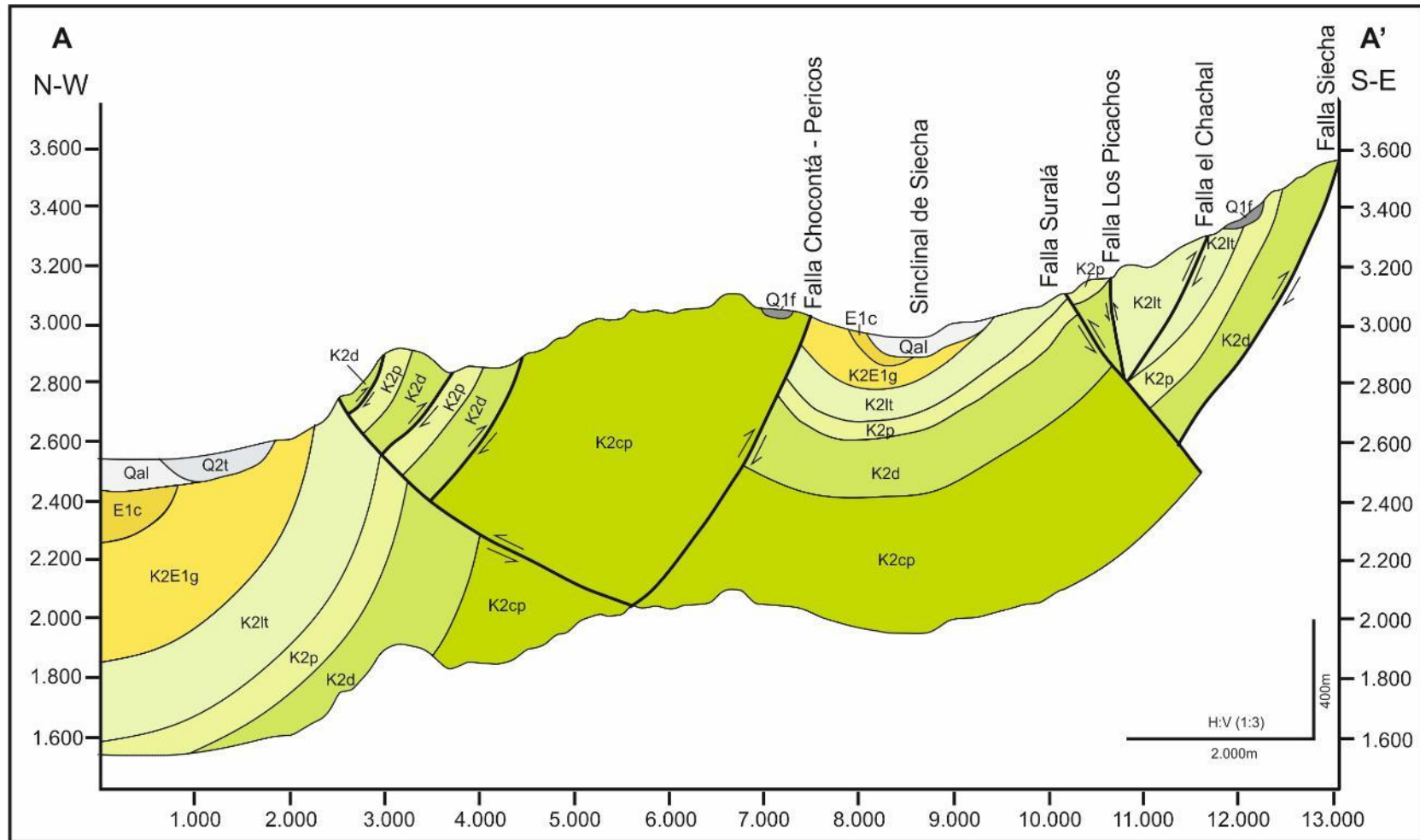
¹⁶³ MCLAUGHLIN, D. H., y ARCE, M. Geology of the Zipaquirá area (zone IV), Cordillera Oriental, Colombia. Informe preliminar No.109, 336 pág. Sogamoso: INGEOMINAS., 1972, Citado por CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 96.

¹⁶⁴ MONTOYA y REYES. Op. Cit., p. 77.

¹⁶⁵ CORREDOR y TERRAZA. Op. Cit., p. 96.

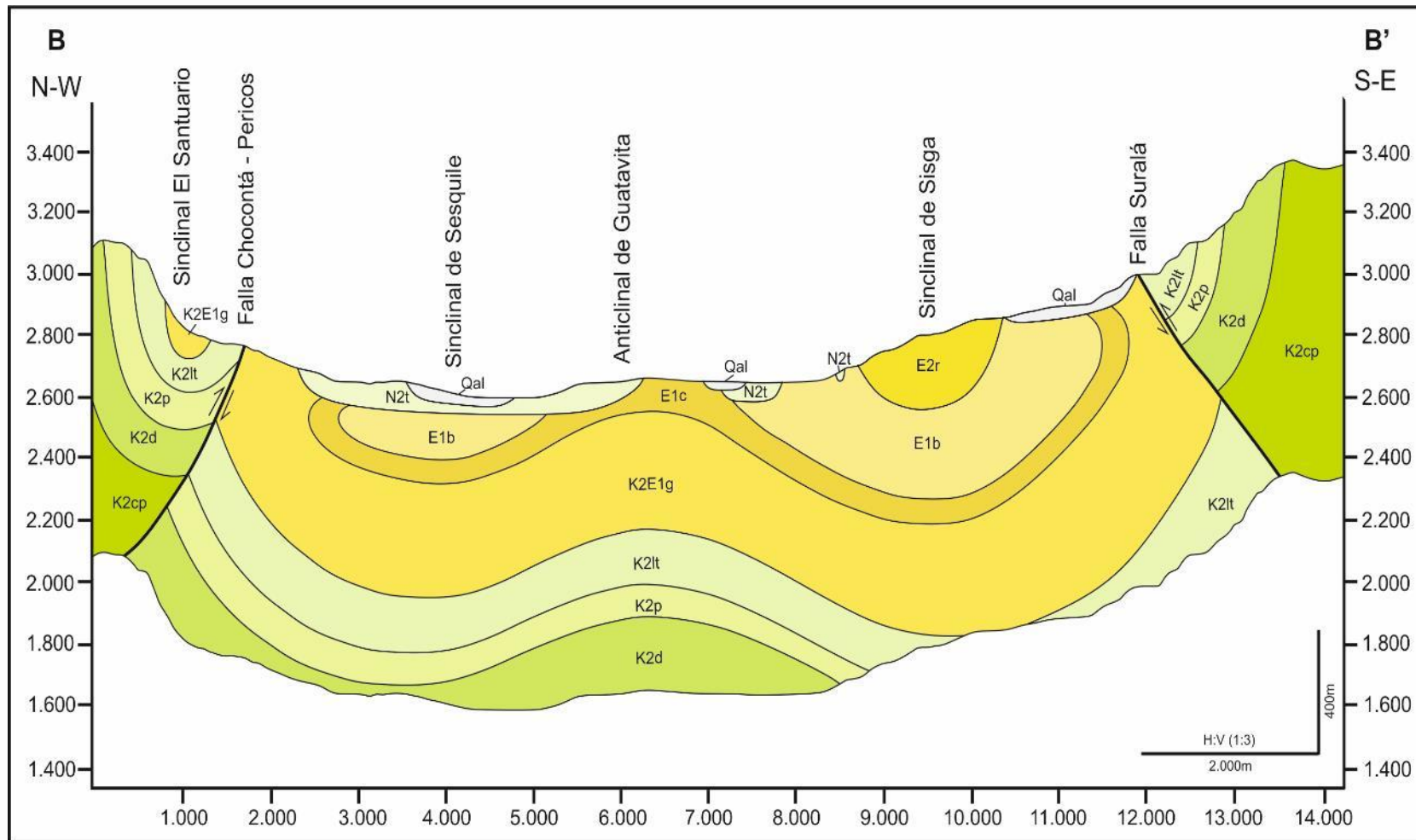
¹⁶⁶ Ibid. p. 96.

Imagen 12. Corte geológico A.



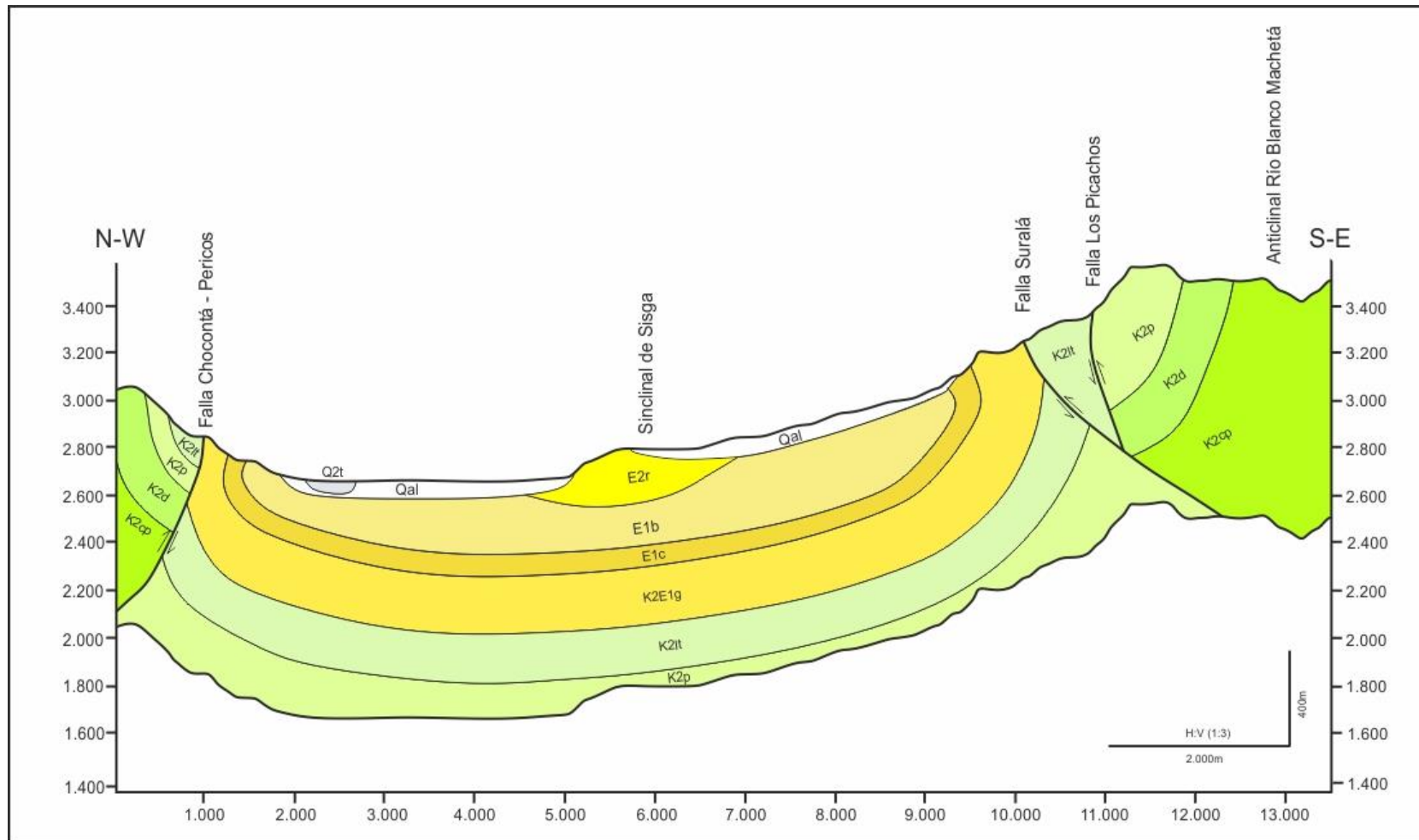
Fuente: SYSVOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 13. Corte geológico B.



Fuente: SYSVOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 14. Corte geológico C



Fuente: SYSVOL CONSULTORES S.A.S. 2017

5.6. ANÁLISIS DE DATOS ESTRUCTURALES

Las diaclasas son de gran importancia práctica debido a que ellas son superficies pre - fracturadas y representan una ruptura en la roca a lo largo de la cual no ha habido cizallamiento, solo extensión; son las estructuras frágiles más comunes y se forman como resultado de un esfuerzo tectónico o un esfuerzo termal¹⁶⁷.

Su importancia reside en que contribuyen de forma significativa a la formación de conductos por los cuales pueden transportarse agua, hidrocarburos, fluidos mineralizados o fundidos magmáticos, permitiendo que en muchos lugares del mundo estos recursos se encuentren asociados exclusivamente a fracturas¹⁶⁸.

Para el presente estudio, se tomaron datos estructurales de estratificación (rumbo e inclinación), diaclasas (rumbo e inclinación de los planos) y una descripción y caracterización de los macizos rocosos en afloramiento. Esta descripción y caracterización se realiza a partir de los datos recogidos en cada estación, donde se establecieron el número de familias de diaclasas o discontinuidades, su orientación y las características representativas de cada una de ellas: espaciado, continuidad, abertura, rugosidad, relleno, resistencia, grado de meteorización entre otras; con el fin de determinar el potencial hidrogeológico.

5.6.1. Análisis de datos de diaclasas

El análisis se realizó con el fin de determinar las direcciones preferenciales del fracturamiento, a partir de la información primaria de datos de diaclasas obtenidas en campo; la cual fue compilada en diagramas de rosas (una herramienta muy útil para representar un gran número de medidas de orientación de forma cuantitativa) y a partir de la revisión de información secundaria, que incluye estructuras principales como fallas regionales y locales. Los datos de diaclasas (rumbo e inclinación de los planos) son procesados en el software TectonicsFP versión 1.7.7. Se midieron en campo un total de 113 datos de planos de diaclasas, agrupados por estación, formación y familias de diaclasas.

¹⁶⁷ McClay, K. The Mapping of Geological Structures. London: John Willey and Sons. 1987.

¹⁶⁸ CASTELLANOS, E., y CETINA, M. Determinación de patrones de fracturamiento y análisis cinemático en inmediaciones del Municipio de Charta, Macizo de Santander. Trabajo de grado Geóloga. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología, 2013. 151 p.

5.6.2. Espaciado en las discontinuidades

El espaciado entre los planos de discontinuidad condiciona el tamaño de los bloques de matriz rocosa, por tanto, define el papel que esta tendrá en el comportamiento del macizo rocoso y su importancia con respecto a la influencia de las discontinuidades o diaclasas¹⁶⁹.

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos¹⁷⁰. En la tabla 2 se pueden ver los parámetros para definir el espaciado de las discontinuidades.

Tabla 2. Descripción del espaciado en las discontinuidades.

Descripción	Espaciado
Extremadamente junto	<20 mm
Muy junto	20 – 60 mm
Junto	60 – 200 mm
Moderadamente junto	200 – 600 mm
Separado	600 – 2,000 mm
Muy separado	2,000 – 6,000 mm
Extremadamente separado	>6,000 mm

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO, L, et al., 2002.

5.6.3. Continuidad en las discontinuidades

La continuidad o persistencia de un plano de discontinuidad es una extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y el buzamiento. Es un parámetro de gran importancia, pero difícil de cuantificar a partir de las observaciones de afloramiento, en los que normalmente se ven trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente¹⁷¹. En la tabla 3 se describen los parámetros para definir la continuidad de las discontinuidades.

¹⁶⁹ GONZALEZ DE VALLEJO, L, et al. Ingeniería Geológica. Madrid: Pearson Prentice Hall, 2002. 744p.

¹⁷⁰ *Ibíd.* p. 248.

¹⁷¹ GONZALEZ DE VALLEJO, L, et al. *Op. Cit.*, p. 250.

Tabla 3. Descripción de la continuidad en las discontinuidades.

Continuidad	Longitud
Muy baja continuidad	<1 m
Baja continuidad	1 – 3 m
Moderada continuidad	3 – 10 m
Alta continuidad	10 – 20 m
Muy alta continuidad	> 20 m

Fuente: ISMR, 1989

5.6.4. Abertura de las discontinuidades

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso¹⁷². En la tabla 4 se describen los parámetros para definir la abertura de las discontinuidades.

Tabla 4. Descripción de la abertura en las discontinuidades.

Descripción	Abertura
Muy cerrada	<0,1 mm
Cerrada	0,1 – 0,25 mm
Parcialmente cerrada	0,25 – 0,5 mm
Abierta	0,5 – 2,5 mm
Moderadamente abierta	2,5 – 10 mm
Ancha	> 10 mm
Muy ancha	1 – 10 cm
Extremadamente ancha	10 - 100 cm
Carvernosa	>1 m

Fuente: ISRM, 1981.

5.6.5. Rugosidad

La rugosidad está influenciada por la textura, tamaño de los granos o minerales y el grado de alteración de los mismos. Puede ser medida en campo con diversos métodos, dependiendo de la exactitud requerida, de la escala de medida o de la accesibilidad al afloramiento, incluyendo desde estimaciones cualitativas hasta

¹⁷² Ibid. p. 253.

mediciones cuantitativas¹⁷³. En la tabla 5 se describen los parámetros para definir la rugosidad en las discontinuidades.

Tabla 5. Descripción de la Rugosidad en las discontinuidades.

RUGOSIDAD		
Escalonada	Ondulosa	Plana
I Rugosa	IV Rugosa	VII Rugosa
II Lisa	V Lisa	VIII Lisa
III Pulida	VI Pulida	IX Pulida

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO, L, et al., 2002.

5.6.6. Relleno de las discontinuidades

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Existe gran variedad de material de relleno con diferentes propiedades físicas y mecánicas. Debe tenerse en cuenta que, si se trata de un material blando o alterado, este puede sufrir variación importante en sus propiedades si cambia su contenido de humedad o si tiene lugar algún movimiento a lo largo de las juntas¹⁷⁴. En la tabla 6 se describen los parámetros para definir el relleno en las discontinuidades.

Tabla 6. Descripción del relleno en las discontinuidades.

RELLENO		
Meteorización	Filtración	Composición
I Sana	Seco	Arena
II Algo Meteorizada	Húmedo	Grava
III Media Meteorizada	Goteos	Arcilla
IV Muy meteorizada	Flujo	Brecha
V Completamente meteorizada		Milonita
VI Suelo residual		Cuarzo
		Calcita
		Oxido
		Feldespatos
		Sin relleno

Fuente: GONZALEZ DE VALLEJO, L, et al., 2002, modificado por HYDROINGENIERIA, 2017.

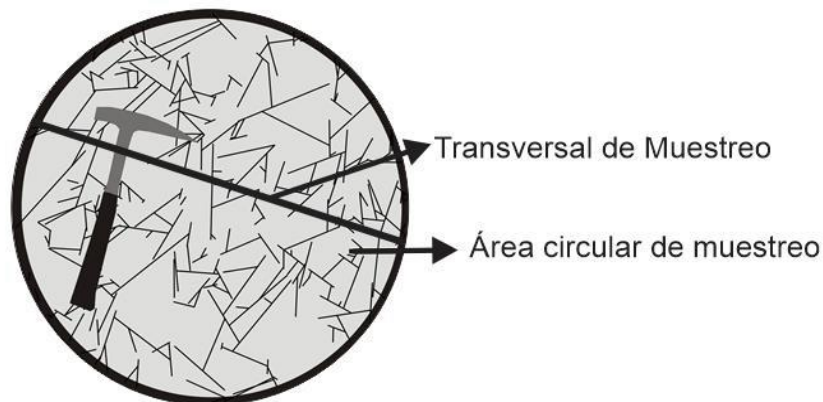
¹⁷³ Ibid. p. 251.

¹⁷⁴ Ibid. p. 253.

5.6.7. Densidad, Intensidad y Longitud de fracturamiento por la Metodología Ventana de Muestra.

La metodología de ventana de muestra consiste en un círculo dibujado sobre la superficie estructural en la cual se desarrollan las trazas de fractura o sobre la imagen en la que se han digitalizado las familias de fracturas desarrolladas¹⁷⁵, como se puede ver en la imagen 15.

Imagen 15. Metodología frecuentemente utilizada para la medición de los diferentes atributos de los patrones de fracturamiento, transversal de muestreo y ventana de muestra (área circular de muestreo).



Fuente: Tomado y modificado de Moreno y García (2006).

La ventana corresponde al área encerrada por la línea de muestreo circular. Cuando se aplican estas herramientas sobre una exposición del sistema de fracturamiento se genera una muestra, de la cual se obtienen estimaciones de los parámetros de intensidad, densidad y longitud de fractura. Las variables anteriores se denominan parámetros de la población de fracturas, en analogía con la notación de la estadística básica¹⁷⁶, y permiten caracterizar de forma completa el sistema de fracturamiento en estudio¹⁷⁷.

La intensidad de fracturamiento es un parámetro que se relaciona con el espaciamiento promedio de la fractura (distancia de fracturas) a través de una línea de muestreo definida en alguna dirección determinada¹⁷⁸. Para calcular la

¹⁷⁵ MORENO, Giovanni y GARCÍA, Oscar. Caracterización Cuantitativa de Patrones de Fracturamiento mediante Ventanas Circulares y Análisis Fractal. En: Geología Colombiana, Diciembre, 2006. No.31, p. 72 – 90

¹⁷⁶ KOTTEGODA, N. y ROZZO, R. Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers. Singapore:McGraw – Hill. 1993. 735p.

¹⁷⁷ MAULDON, M., DUNNE, W., y ROHRBAUGH Jr, M. Circular Scanlines and Circular Windows: new tools for characterizing. En: Journal of Structural Geology, 2001, vol. 23, no 2, p. 247-258.

¹⁷⁸ MORENO, Giovanni y GARCÍA, Oscar. Op. Cit ., p. 75.

intensidad de fractura es necesario determinar el número de intersecciones entre las fracturas y la circunferencia externa, como se puede ver en la imagen 16 (A) y se determina por la siguiente expresión:

$$I = \frac{n}{4r}$$

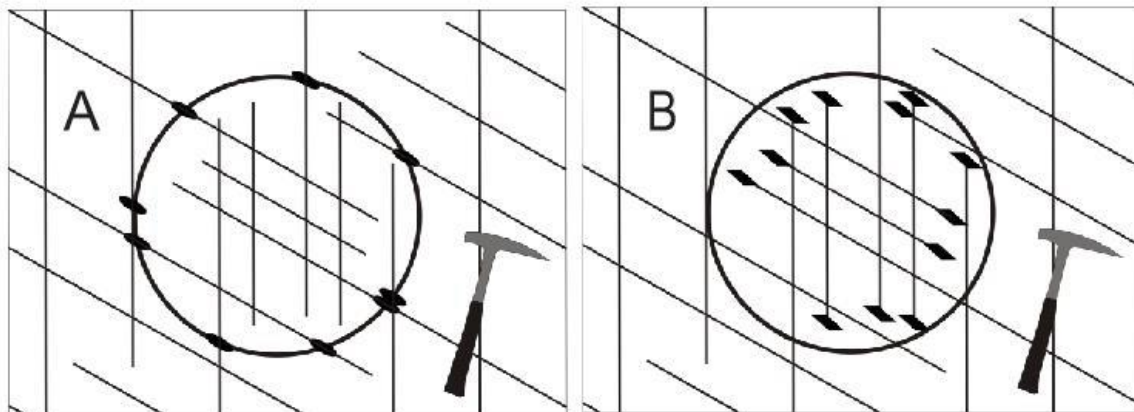
Donde (n) es el número de intersecciones entre la línea de muestreo circular y las trazas de fractura y (r) es el radio de la circunferencia usada¹⁷⁹.

La densidad del fracturamiento se refiere al número de fracturas por unidad de área, en este caso la metodología propuesta la determina por medio de la siguiente expresión:

$$\rho = \frac{m}{2\pi r^2}$$

Donde, (m) es el número de inicios y terminaciones de las fracturas dentro de la ventana de muestra, como se muestra en la imagen 16 (B) y (r) el radio de la circunferencia usada¹⁸⁰.

Imagen 16. Intensidad de fracturamiento, intersecciones de la circunferencia con las trazas de fractura (óvalos). (B) Densidad de fracturamiento, número de puntos terminales que caen dentro de la ventana de muestra (rombos).



Fuente: Tomado y modificado de Moreno y García (2006).

La Longitud promedio de las fracturas tiene la limitación de ser siempre sesgada debido a los inconvenientes de las mediciones de campo y que en la mayoría de los

¹⁷⁹ MAULDON, M., DUNNE, W., y ROHRBAUGH Jr, M. Op. Cit ., p.247.

¹⁸⁰ *Ibíd.* p. 248.

casos no se cuenta con una vista de las tres dimensiones de las rocas, sin embargo, se puede tomar una aproximación de la medida aplicando la metodología propuesta por Mauldon y otros., (2001) con la ventana de muestra y se determina por la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{\pi r}{2} \left(\frac{n}{m} \right)$$

Donde, (n) es el número de intersecciones entre las fracturas y la circunferencia, (m) es el número de terminales que caen dentro de la ventana y (r) es el radio. La ecuación anterior es dimensionalmente correcta y las unidades obtenidas corresponden a la longitud¹⁸¹.

5.6.8. Interpretación de resultados

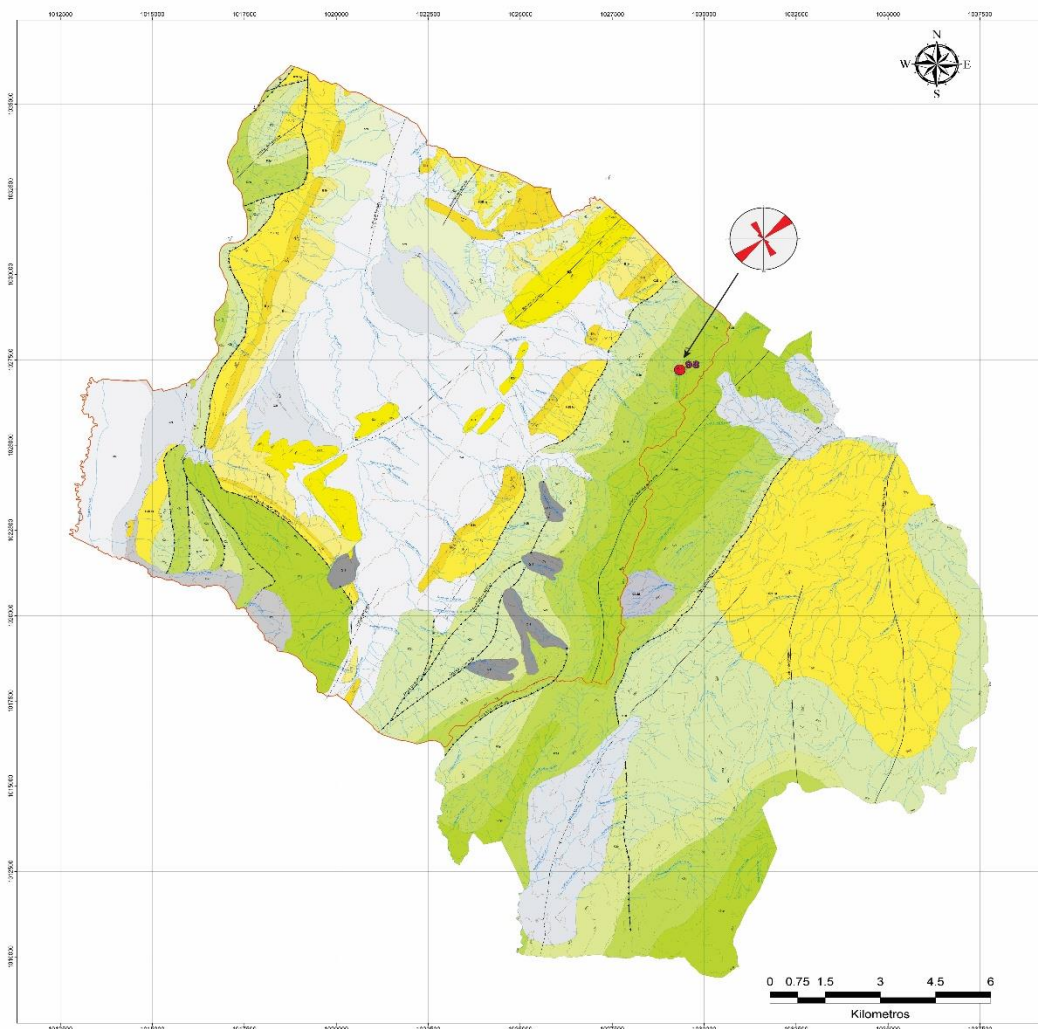
5.6.8.1. Formación Arenisca Dura

Dirección de las diaclasas

La Formación Arenisca Dura se distribuye en forma de delgadas franjas en el área oriental y occidental en sentido noreste – suroeste del área de estudio, limitada por las fallas Machetá y Siecha. Para realizar el análisis estructural de esta formación se tomaron nueve datos de planos de diaclasas en una estación (ID 98). A partir de esta información se generaron los diagramas de rosa que muestra una orientación noreste – suroeste. Los datos de buzamientos varían principalmente en un rango de 40° a 80°. La dirección preferencial de las diaclasas se muestra en la n

¹⁸¹ Ibid. p.250.

Imagen 17. Diagramas de rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.

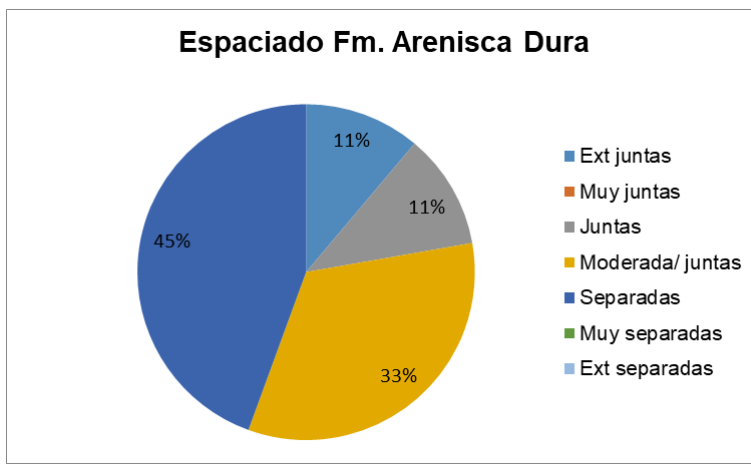


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Caracterización de macizo rocoso

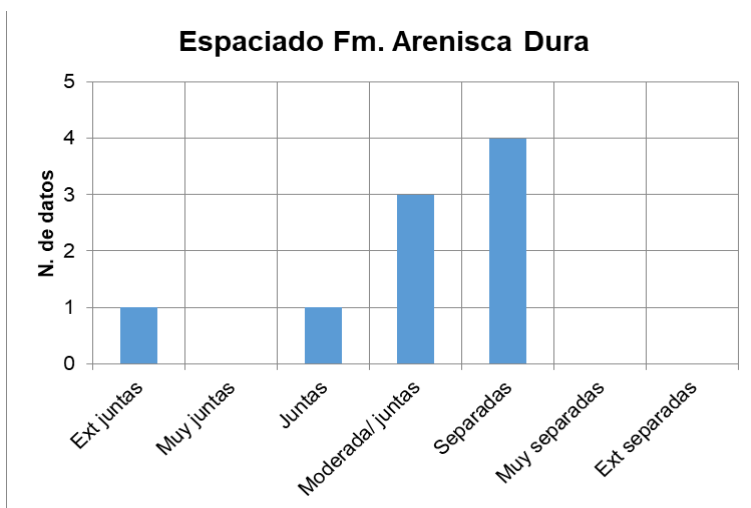
Para la Formación Arenisca Dura en el parámetro de espaciado predomina el rango de separadas (600-2.000 mm) a moderadamente juntas (200-600 mm) con el 78% de los datos, mientras que los espaciados de extremadamente juntas (<20 mm) y juntas (60–200 mm) representan el 22% de los datos, como se observa en las gráficas 1 y 2.

Gráfica 1. % Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierra



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

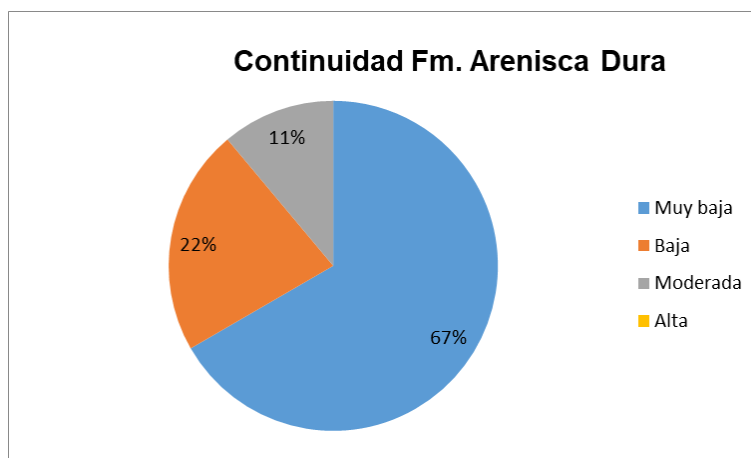
Gráfica 2. Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierra



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

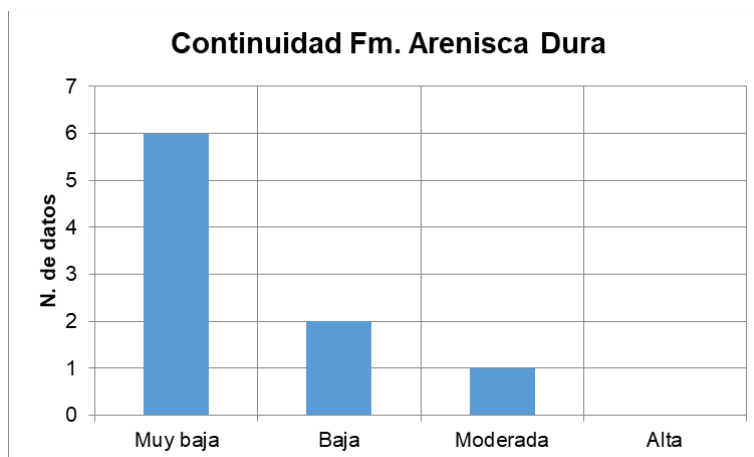
Para la continuidad, se tiene que el 67% de los planos de las discontinuidades se encuentran en un rango de muy baja continuidad (<1 m), el 22% se encuentran en un rango de baja continuidad (1 - 3 m) y el 11% en un rango de moderada continuidad (3 - 10 m), como se puede observar en las gráficas 3 y 4

Gráfica 3. % Continuidad en la formación Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

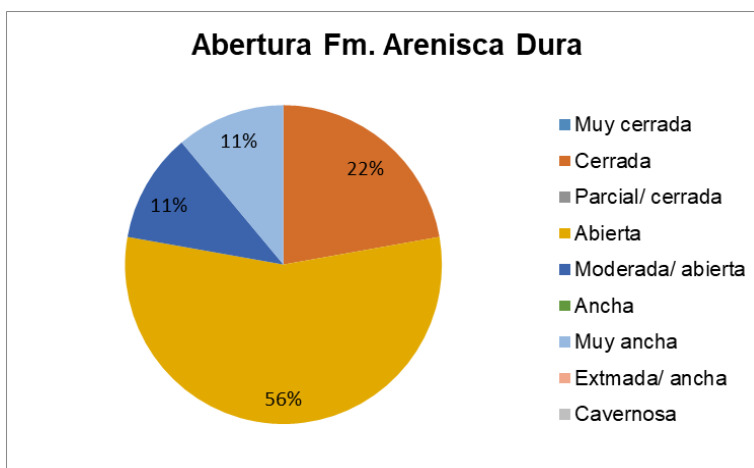
Gráfica 4. Continuidad en la formación Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

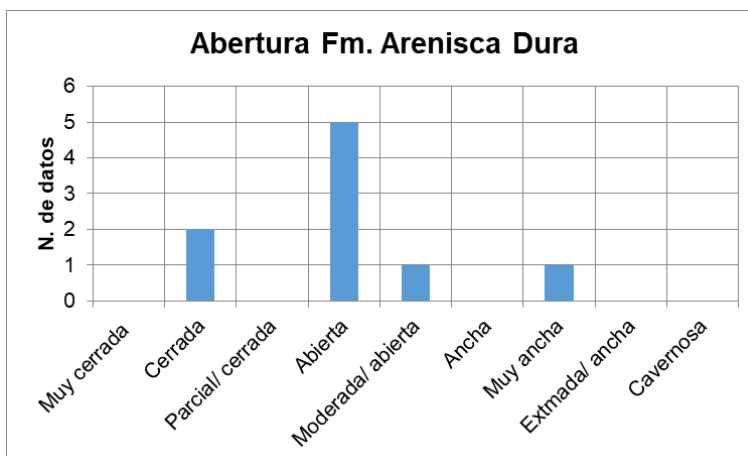
Para la abertura, se determinó que el 56% de las discontinuidades se encuentran en un rango de abiertas (0,5 – 2,5 mm), el 22% en un rango de cerradas (0,25 – 0,5 mm), el 11% se encuentran en un rango de moderadamente abiertas (0,1 – 0,25 mm) y el 11% representa el rango de muy cerradas (<0,1 mm), como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 5. % Abertura en la Formación Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

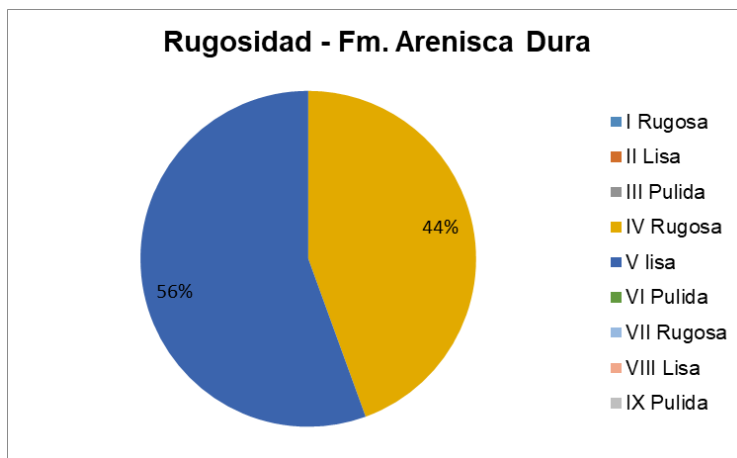
Gráfica 6. Abertura en la Formación Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

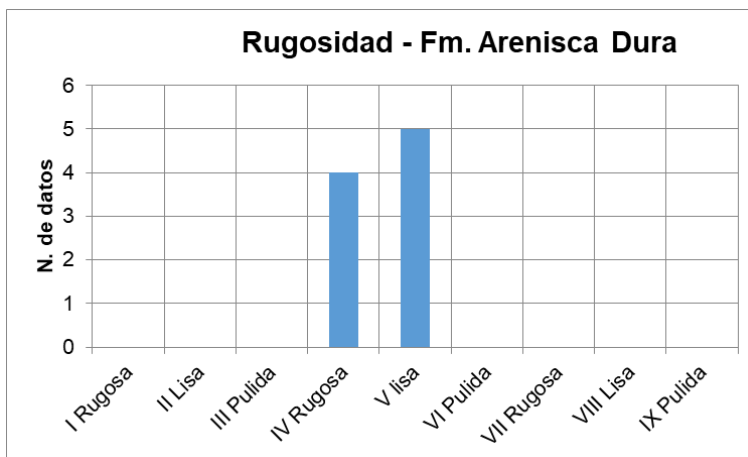
Para el parámetro de rugosidad, se determinó que el 56% de las discontinuidades se encuentran en un rango de ondulada – V lisa y el 44% se encuentra en un rango de ondulada – IV rugosa, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 7. % Rugosidad en la Formación Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

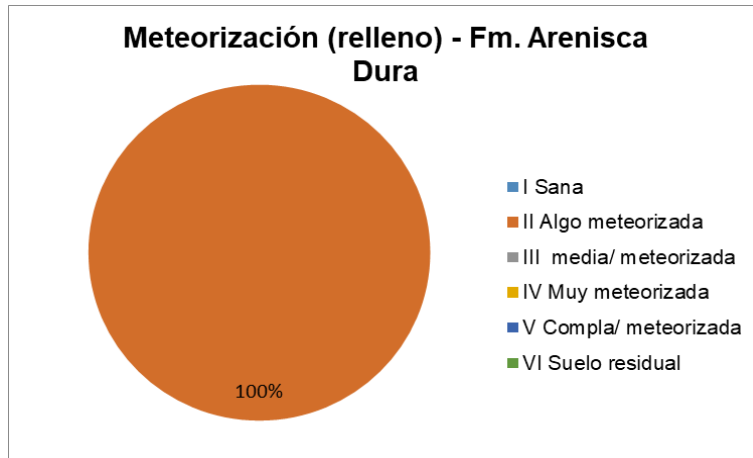
Gráfica 8. Rugosidad en la Formación Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

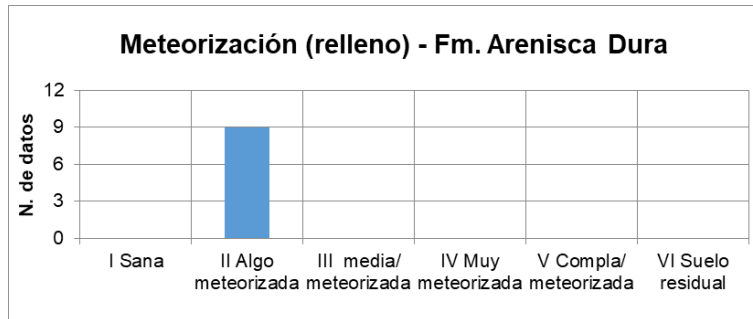
Para el parámetro de meteorización en el relleno, se determinó que el 100% de las discontinuidades presentan un rango de algo meteorizada, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 9. % Meteorización del relleno en la Formación Arenisca Dura.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

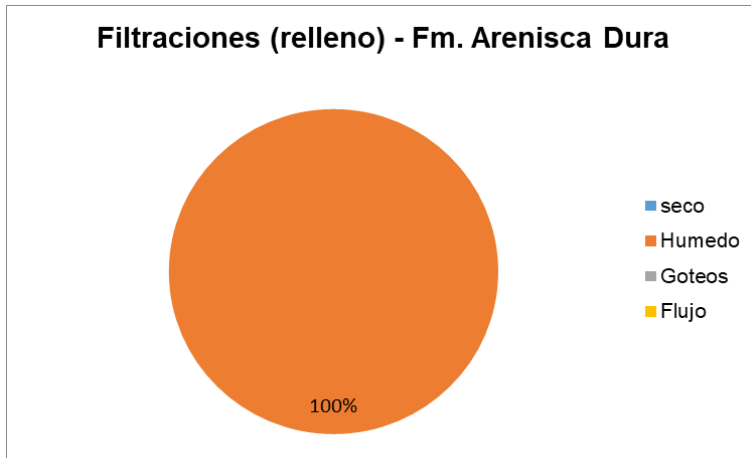
Gráfica 10. Meteorización del relleno en la Formación Arenisca Dura.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

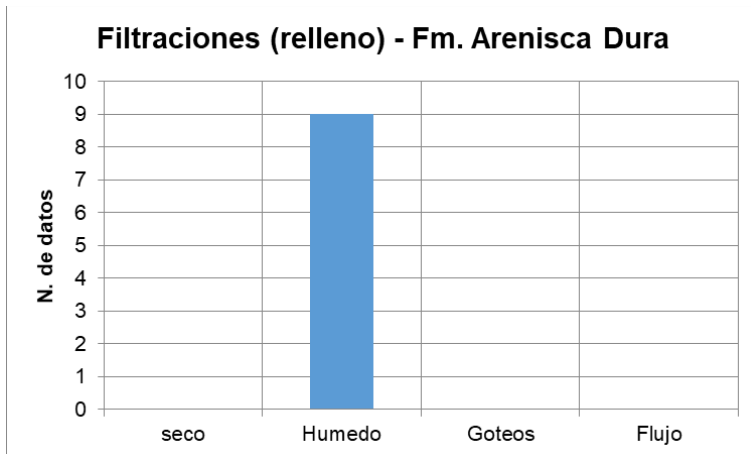
Para el parámetro de filtración en el relleno, se determinó que el 100% de las discontinuidades presentan humedad, como se puede ver en la siguiente gráfica.

Gráfica 11. % Filtraciones en el relleno para la Formación Arenisca Dura.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

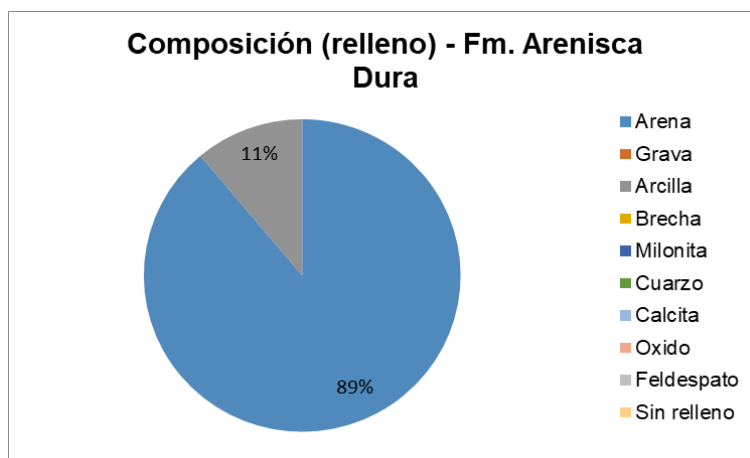
Gráfica 12. Filtraciones en el relleno para la Formación Arenisca Dura.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

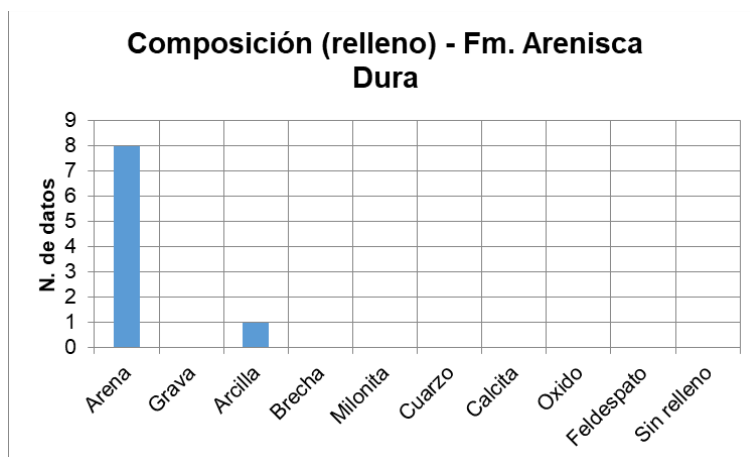
Para el parámetro de composición del relleno, se determinó que el 89% de las discontinuidades presentan relleno de arena y el 11% presentan relleno de arcilla, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 13. % Composición del relleno en la Fm. Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 14. Composición del relleno en la Fm. Arenisca Dura



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

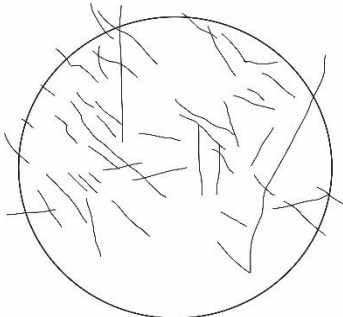
Se caracterizaron los sistemas de fracturamiento para determinar los parámetros de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, utilizando la metodología de ventana de muestra en la estación de la Formación Arenisca Dura. Para utilizar esta metodología se escogió la mejor fotografía tomada en campo, sobre la cual se dibujó la ventana de muestra y se trazaron sobre ella las diferentes fracturas identificadas, como se puede observar en la imagen 18. Los resultados de los parámetros son presentados en la tabla 7, donde se puede ver que la intensidad de fracturamiento tiene un valor de 4,69 1/m, la densidad de fracturamiento tiene un valor de 20,27 1/m² y la longitud promedio de las fracturas tiene un valor de 0,17 m para la Formación Dura.

Imagen 18. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Arenisca Dura.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Tabla 7. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Arenisca Dura.

Muestra	Unidad afectada	r (m)	n	m	I (1/m)	D (1/m ²)	Lp (m)	Representación
196	Arenisca Dura	0,64	12	70	4,69	27,20	0,17	
<p>* r[m]: radio de la ventana de muestra en metros. n= número de terminaciones de las diaclasas dentro de la ventana de muestra. I [1/m]: intensidad del diaclasamiento expresada en metros a la menos uno. D [1/m²]: densidad de diaclasamiento expresada en metros a la menos dos. Lp[m]: longitud promedio de las diaclasas en metros.</p>								

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

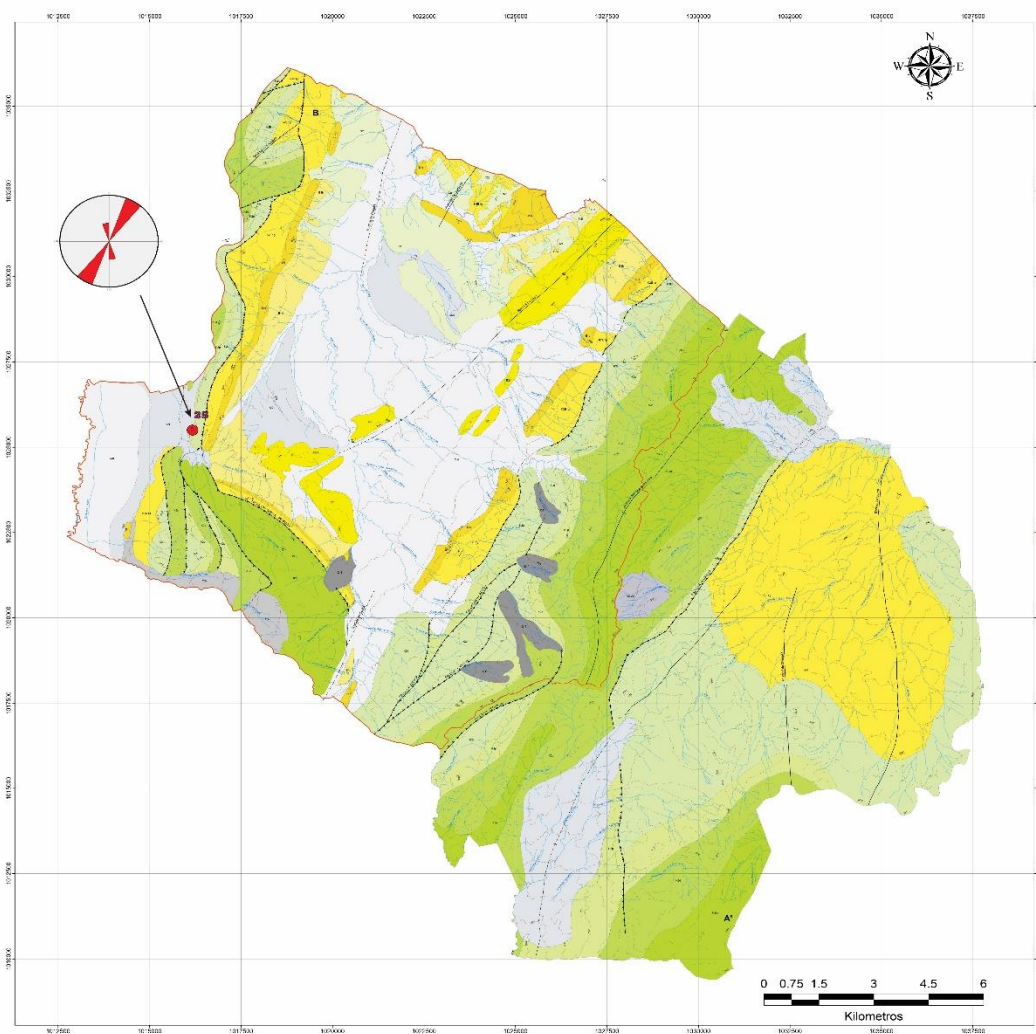
5.6.8.2. Formación Plaeners

Dirección de las diaclasas

La Formación Plaeners se distribuye en forma de franjas que se encuentran en sentido noreste – suroeste, limitada por la falla Los Picachos al oeste del área de

estudio. Para realizar el análisis estructural de esta formación se tomaron siete datos de planos de diaclasas en una estación (ID 25). A partir de esta información se generaron los diagramas de rosa que muestra una orientación noreste – suroeste. Los datos de buzamientos varían principalmente en un rango de 15° a 90°. La dirección preferencial de las diaclasas se muestra en la siguiente imagen

Imagen 19. Diagramas de rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Plaeners.

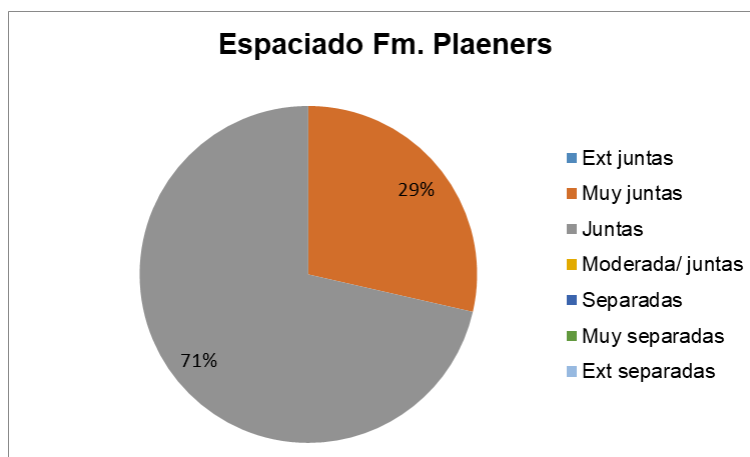


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Caracterización del macizo rocoso

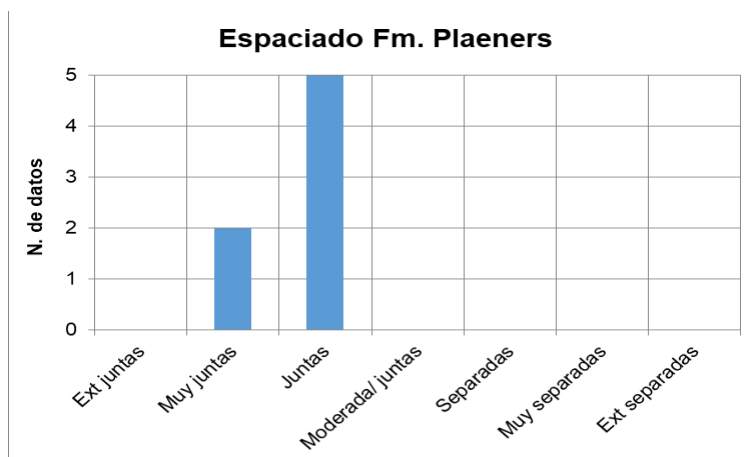
Para la Formación Plaeners en el parámetro de espaciado predomina el rango de juntas (60 - 200 mm) con el 71%, mientras que el espaciado de muy juntas (20 - 60 mm) representa el 29% de los datos, como se observa en las siguientes gráficas.

Gráfica 15. % Espaciado en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

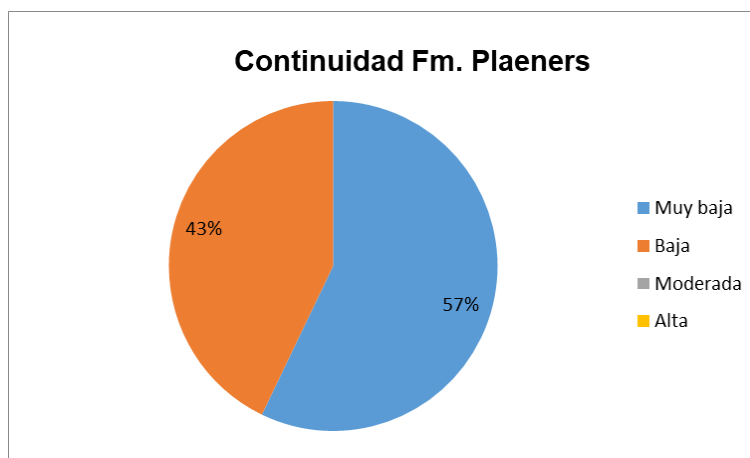
Gráfica 16. Espaciado en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

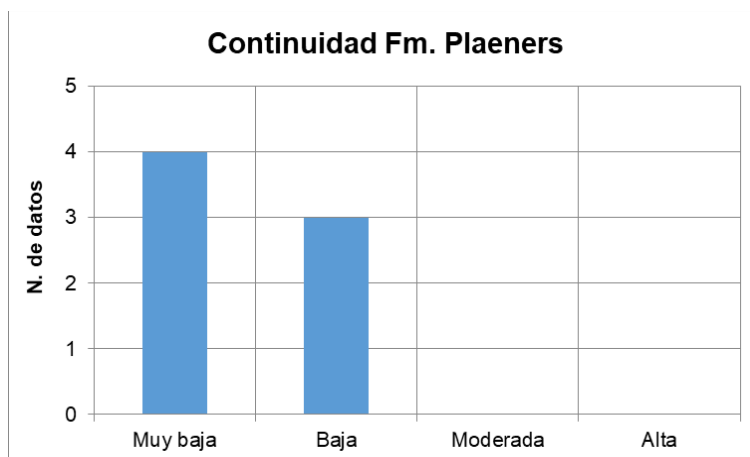
Para la continuidad, se tiene que el 57% de los planos de las discontinuidades se encuentran en un rango de muy baja continuidad (<1 m) y el 43% se encuentran en un rango de baja continuidad (1 - 3 m), como se puede observar en las siguientes gráficas

Gráfica 17. % Continuidad en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

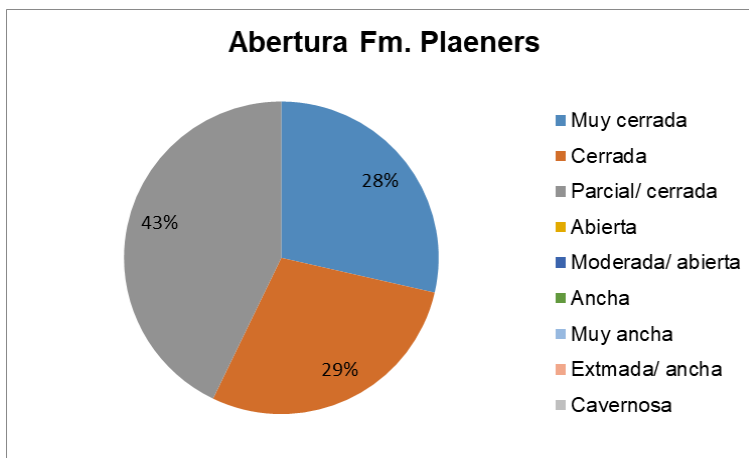
Gráfica 18. Continuidad en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

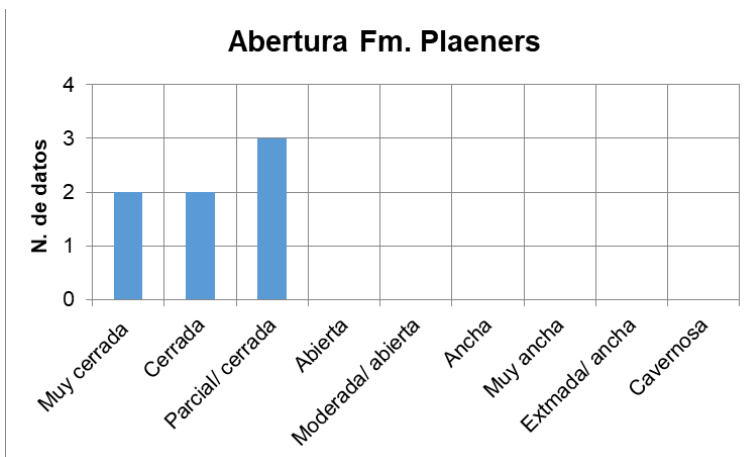
Para la abertura, se determinó que el 43% de las discontinuidades se encuentran en un rango de parcialmente cerrada (0,25 – 0,5 mm), el 29% en un rango de cerradas (0,25 – 0,5 mm) y el 28% se encuentran en un rango de muy cerradas (<0,1 mm), como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 19. % Abertura en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

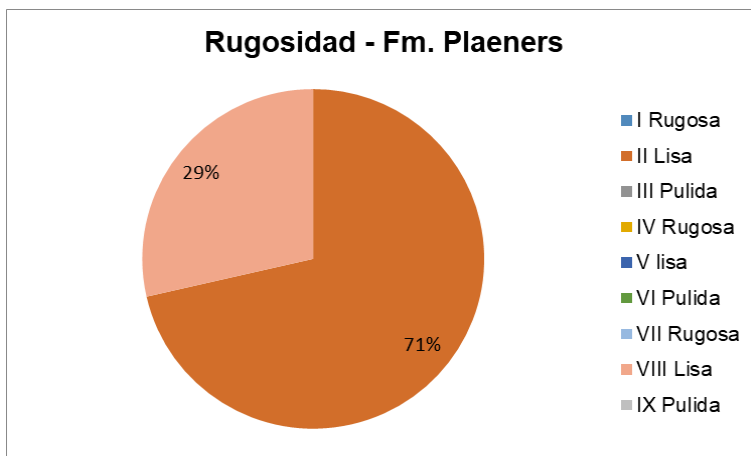
Gráfica 20. Abertura en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

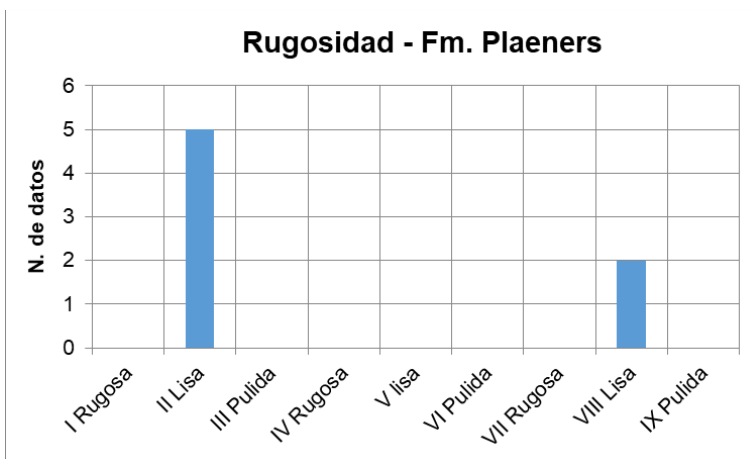
Para el parámetro de rugosidad, se determinó que el 71% de las discontinuidades se encuentran en un rango de escalonada – II lisa y el 29% se encuentra en un rango de plana – VIII lisa, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 21. % Rugosidad en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

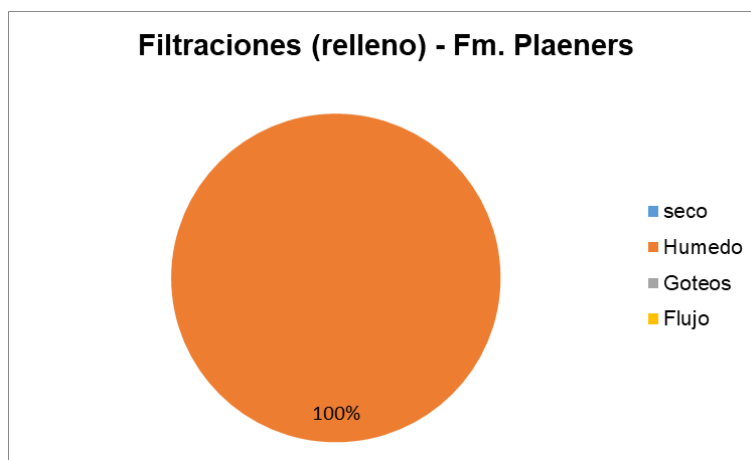
Gráfica 22. Rugosidad en la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

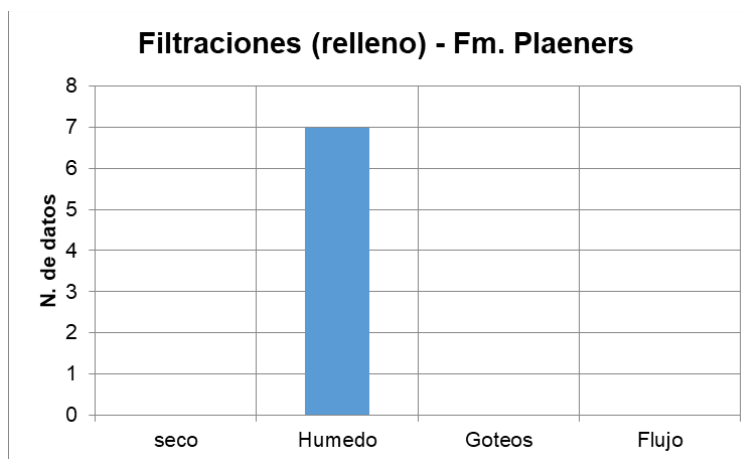
Para el parámetro de meteorización en el relleno, se determinó que el 100% de las discontinuidades presentan un rango de media meteorización, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 23. % Meteorización en el relleno para la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

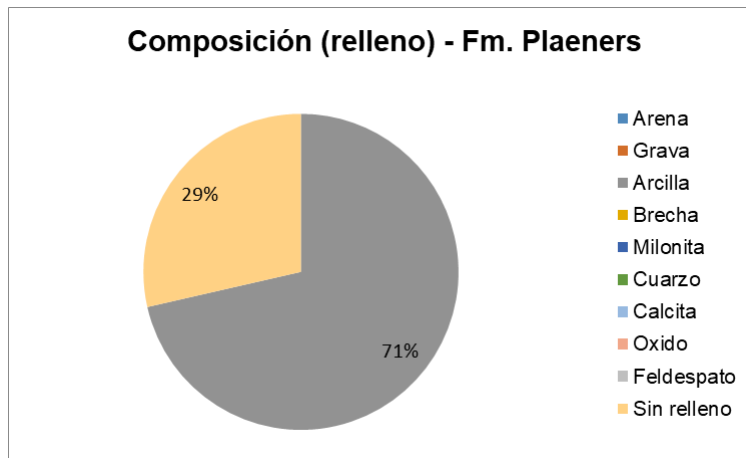
Gráfica 24. Meteorización en el relleno para la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

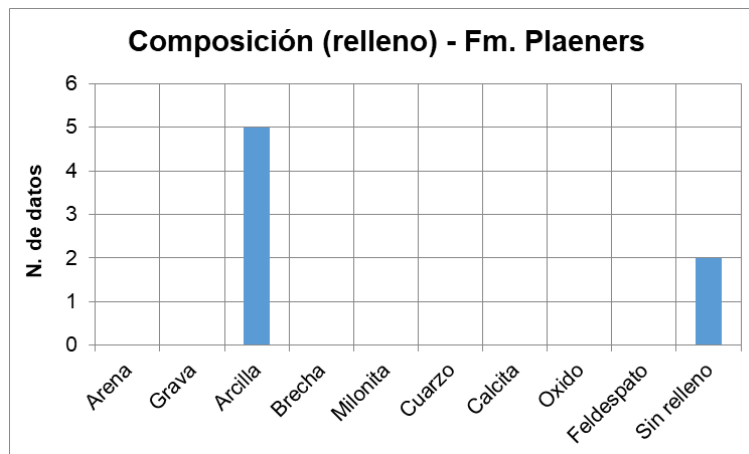
Para el parámetro de composición del relleno, se determinó que el 71% de las discontinuidades presentan relleno de arcilla y el 29% no presentan relleno, como se puede ver en las siguientes gráficas

Gráfica 25. % Composición del relleno para la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 26. Composición del relleno para la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.


Se caracterizaron los sistemas de fracturamiento para determinar los parámetros de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, utilizando la metodología de ventana de muestra en la estación de la Formación Plaeners. Para utilizar esta metodología se escogió la mejor fotografía tomada en campo, sobre la cual se dibujó la ventana de muestra y se trazaron sobre ella las diferentes fracturas identificadas, como se puede observar en la imagen 20. Los resultados de los parámetros son presentados en la tabla 8, donde se puede ver que la intensidad de fracturamiento tiene un valor de 5,06 1/m, la densidad de fracturamiento tiene un valor de 12,18 1/m² y la longitud promedio de las fracturas tiene un valor de 0,41 m para la Formación Plaeners.

Imagen 20. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Plaeners.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Tabla 8. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Plaeners.

Muestra	Unidad afectada	r (m)	n	m	I (1/m)	D (1/m ²)	Lp (m)	Representación
25	Plaeners	0,84	17	54	5,06	12,18	0,41	
<p>* $r[m]$: radio de la ventana de muestra en metros. n= número de terminaciones de las diaclasas dentro de la ventana de muestra. $I [1/m]$: intensidad del diaclasamiento expresada en metros a la menos uno. $D [1/m^2]$: densidad de diaclasamiento expresada en metros a la menos dos. $Lp[m]$: longitud promedio de las diaclasas en metros.</p>								

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

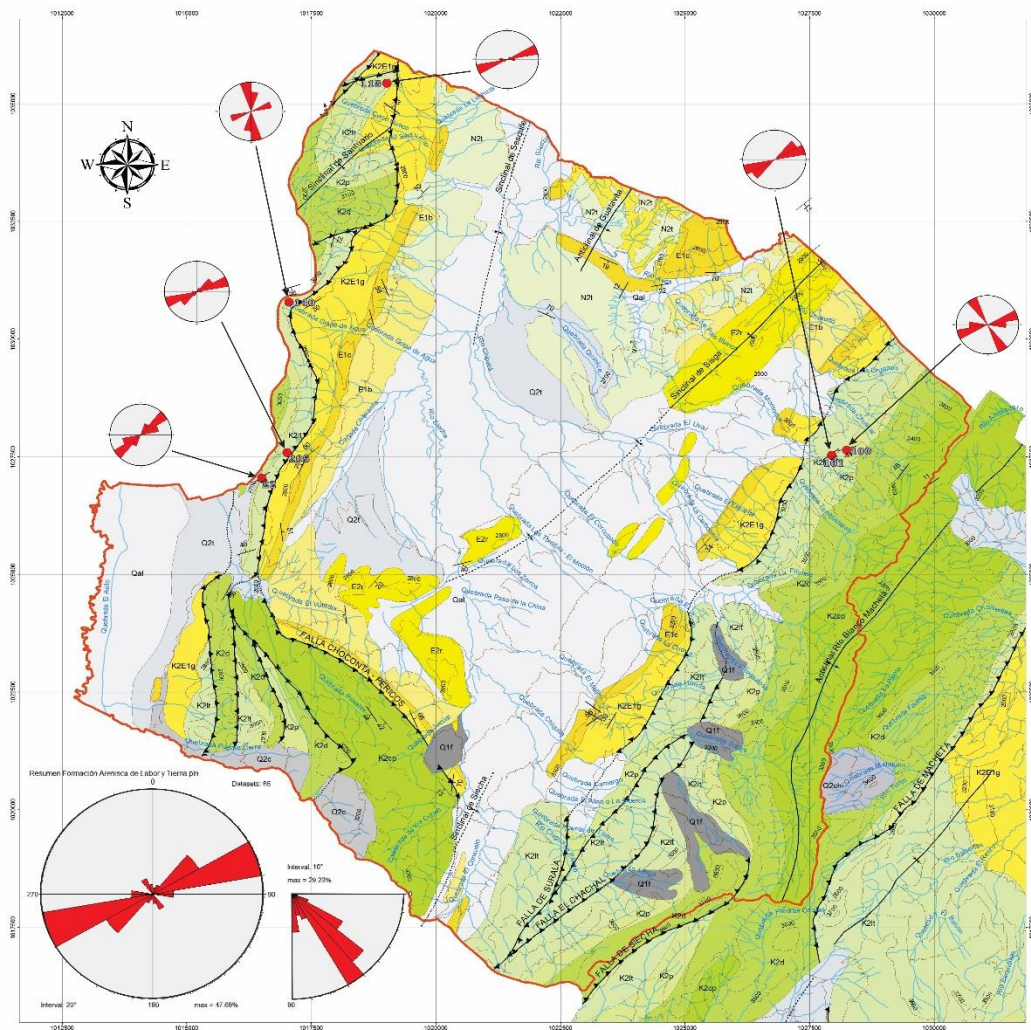
5.6.8.3. Formación Arenisca Labor y Tierna

Dirección preferencial de las diaclasas

La Formación Arenisca de Labor y Tierna se distribuye en forma de franjas en sentido noreste - suroeste, limitada por las fallas Chocontá - Pericos, Suralá, Los

Picachos, El Chachal, Siecha y Machetá. Para realizar el análisis estructural de esta formación se tomaron 65 datos de planos de diaclasas en seis estaciones (ID 22 – 100 – 101 – 115 – 140 – 205). A partir de esta información se generaron los diagramas de rosas que nos muestra una orientación preferencial noreste - suroeste, donde el 70% de los datos se encuentran en un rango de N40°E a N80°E. Los datos de buzamientos varían principalmente en un rango de 40° a 60°, como se puede ver en la imagen 21.

Imagen 21. Diagramas de rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Arenisca de Labor y Tierra.

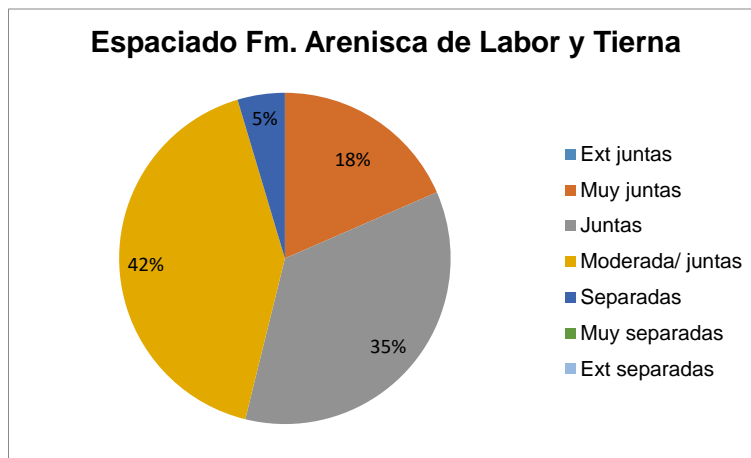


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Caracterización de macizo rocoso

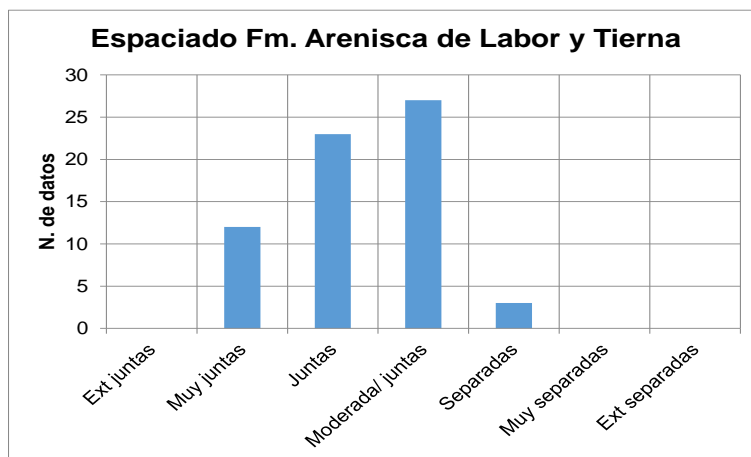
Para la Formación Arenisca de Labor y Tierna en el parámetro de espaciado predomina el rango de moderadamente juntas (200-600 mm) a juntas (60-200 mm) con el 77%, mientras que los espaciados de muy juntas (20-60 mm) y separadas (600-2,000 mm) representan el 18 y 5% de los datos respectivamente, como se observa en las Gráficas 1 y 2.

Gráfica 27. % Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierna



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 28. Espaciado en la formación Arenisca de labor y tierna

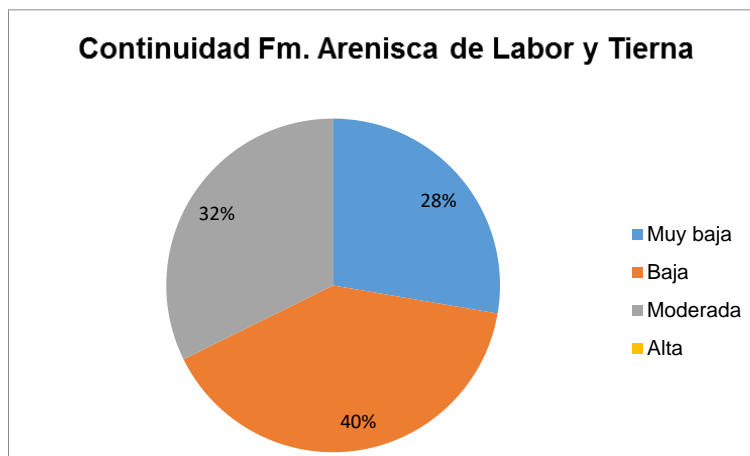


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Para la continuidad, se tiene que el 40% de los planos de las discontinuidades se encuentran en un rango de baja continuidad (1 - 3 m), el 32% se encuentran en un

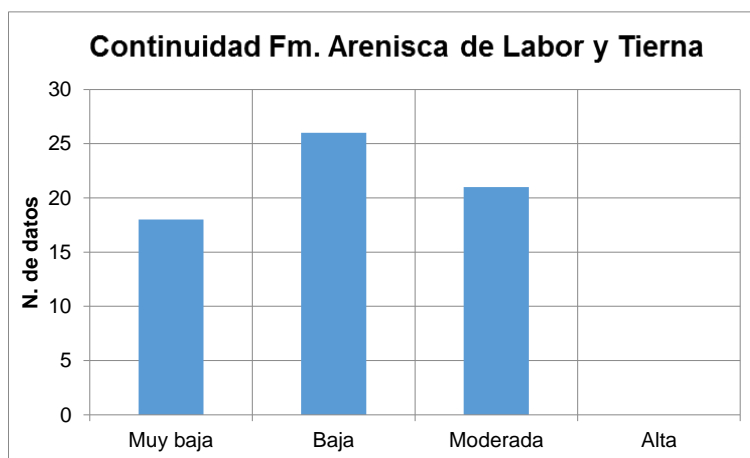
rango de moderada continuidad (3 - 10 m) y el 28% en un rango de muy baja continuidad (< 1 m), como se puede observar en las Gráficas 3 y 4.

Gráfica 29. % Continuidad en la formación Arenisca de labor y tierna.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

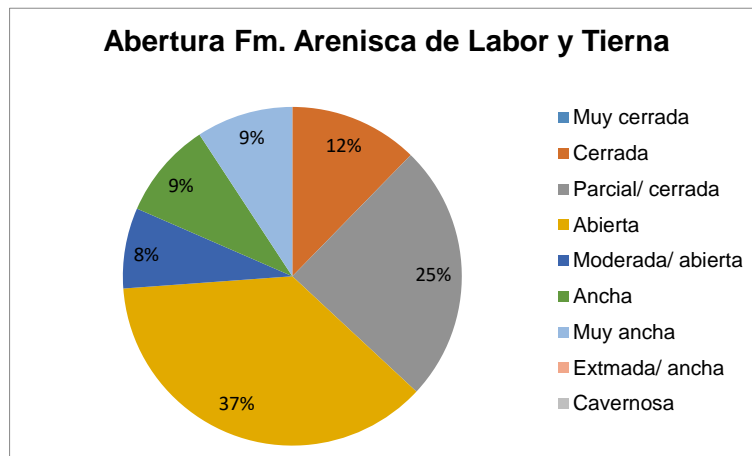
Gráfica 30. Continuidad en la formación Arenisca de labor y tierna



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

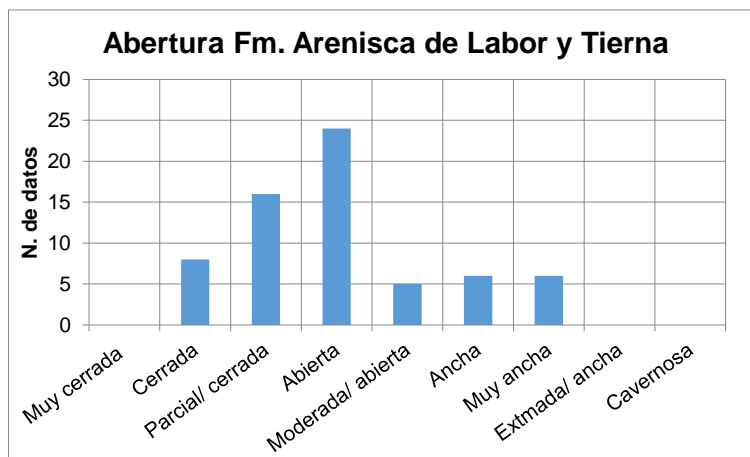
Para la abertura, se determinó que el 62% de las discontinuidades se encuentran en un rango de abiertas (0,5 - 2.5 mm) a parcialmente cerradas (0,25-0,5 mm), el 26% se encuentran en un rango de moderadamente abiertas (2,5 - 10 mm) a muy anchas (1 -10 cm) y el 12% representa el rango de cerradas (0,1 – 0,25 mm), como se puede ver en las gráficas 5 y 6.

Gráfica 31. % Abertura en la Formación Arenisca Labor y Tierra.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

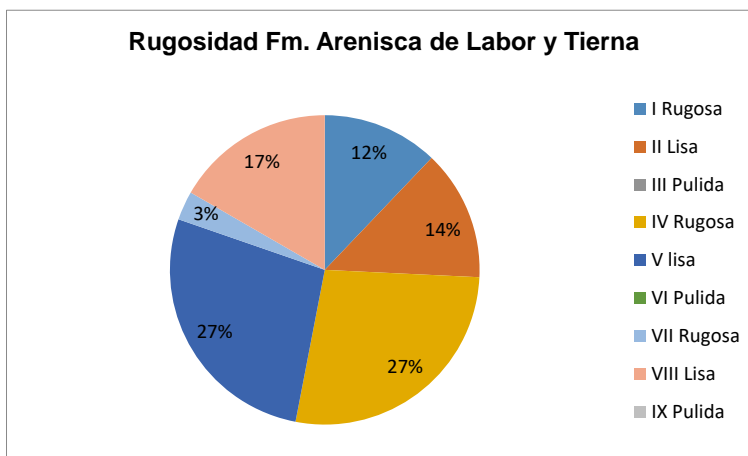
Gráfica 32. Abertura en la Formación Arenisca Labor y Tierra.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

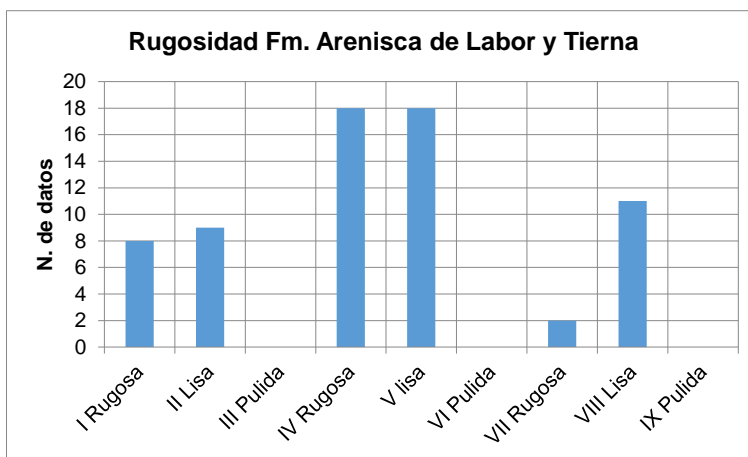
Para el parámetro de rugosidad, se determinó que el 54% de las discontinuidades se encuentran en un rango de ondulada – IV rugosa y ondulada – V lisa y el 46% se encuentra en un rango de plana – VIII lisa, escalonada – II lisa, escalonada – I rugosa y plana – VII rugosa, como se puede ver en las gráficas 7 y 8.

Gráfica 33. % Rugosidad en la Formación Arenisca de Labor y Tierra.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

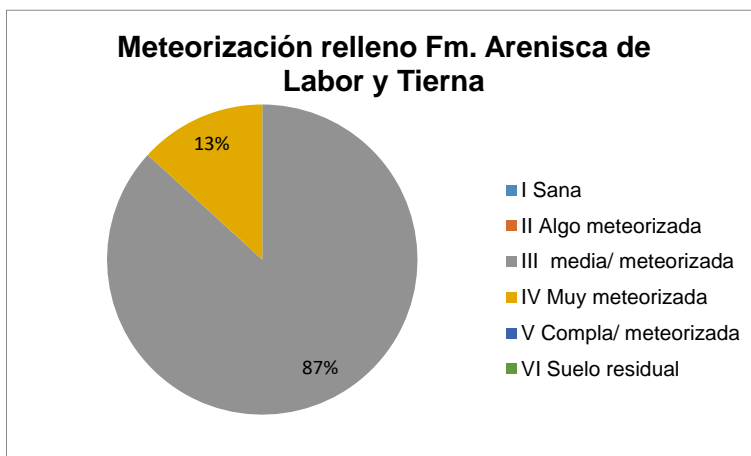
Gráfica 34. Rugosidad en la Formación Arenisca de Labor y Tierra.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

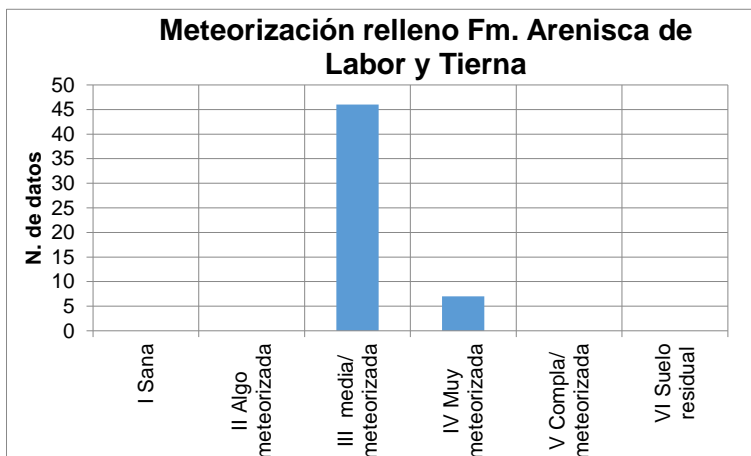
Para el parámetro de meteorización en el relleno, se determinó que el 87% de las discontinuidades presentan un rango de medianamente meteorizada y el 13% se encuentra en un rango de algo meteorizada, como se puede ver en las siguientes gráficas

Gráfica 35. % Meteorización en el relleno de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

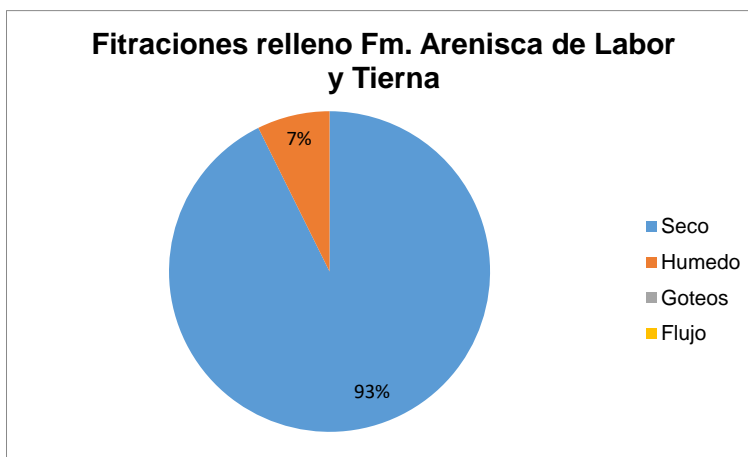
Gráfica 36. Meteorización en el relleno de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

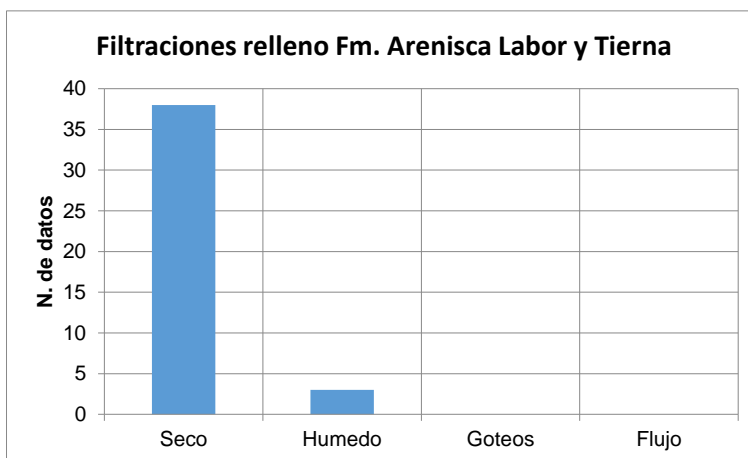
Para el parámetro de filtración en el relleno, se determinó que el 93% de las discontinuidades se encuentran secas y el 7% presentan humedad, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 37. % Filtración en el relleno del Fm. Arenisca de Labor y Tierra.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

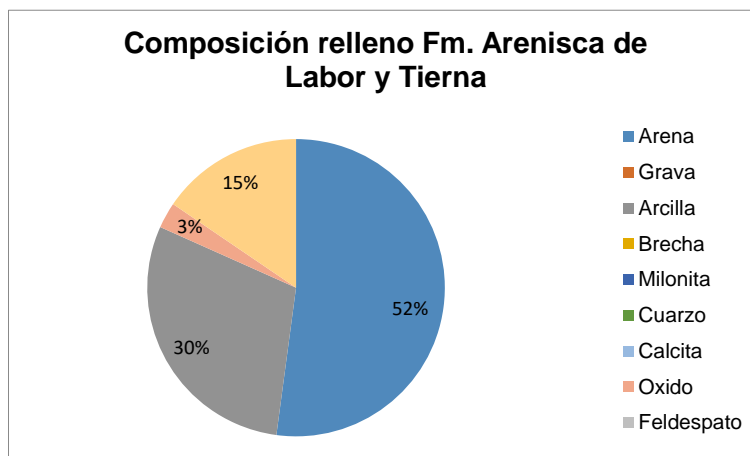
Gráfica 38. Filtración en el relleno de la Fm. Arenisca de Labor y Tierra.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

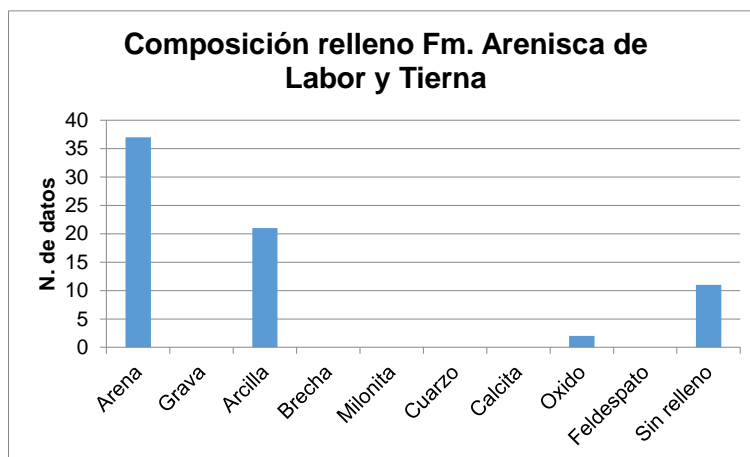
Por último, para el parámetro de composición del relleno, se determinó que el 52% de las discontinuidades presentan relleno de arena, el 30% presentan relleno de arcilla, el 15% no presentan relleno y el 3% presentan relleno de óxidos, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 39. % Composición del relleno en la Fm. Arenisca de Labor y Tierna.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 40. Composición del relleno en la Fm. Arenisca de Labor y Tierna.



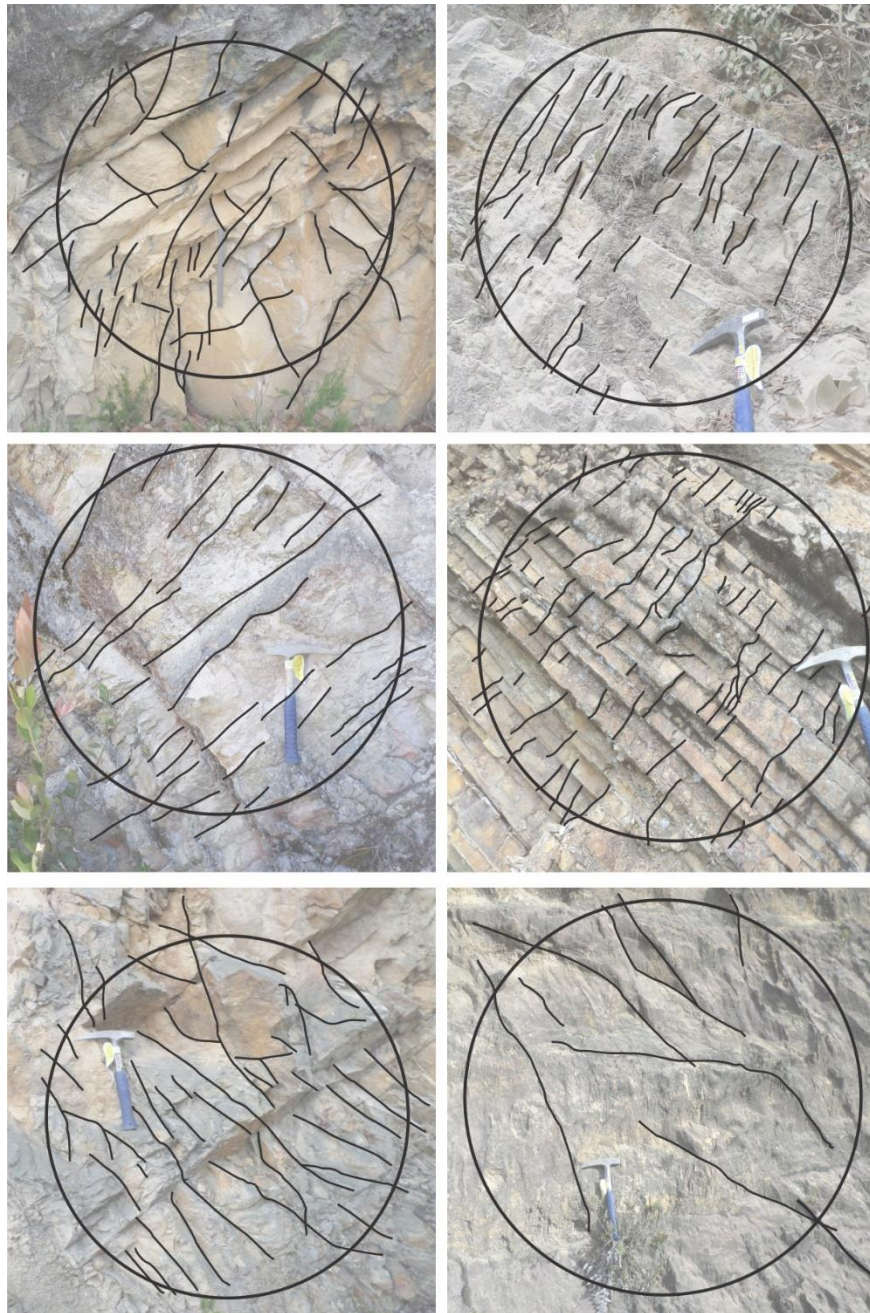
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Se caracterizaron los sistemas de fracturamiento para determinar los parámetros de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, utilizando la metodología de ventana de muestra en las estaciones de la Formación Arenisca de Labor y Tierna.

Para utilizar esta metodología se escogieron las mejores fotografías tomadas en campo, sobre las cuales se dibujó la ventana de muestra y se trazaron sobre ella las diferentes fracturas identificadas, como se puede observar en la imagen 22. Los resultados de los parámetros son presentados en la tabla 9, donde se puede ver que la intensidad de fracturamiento se encuentra en un rango de 2,13 a 9,3 m⁻¹, la densidad de fracturamiento en un rango de 0,95 a 106,73 m⁻² y la longitud promedio

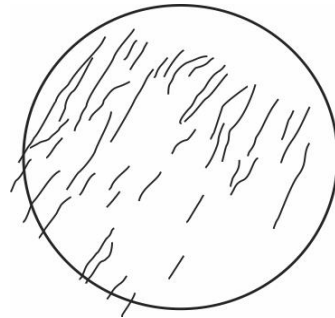
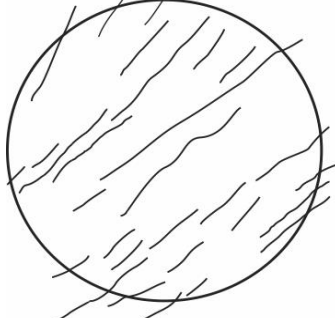
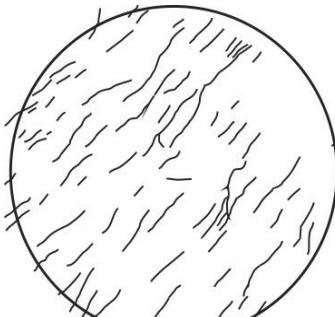
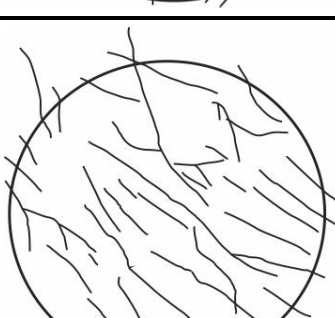
de las fracturas en un rango de 0,07 a 2,25 m para la Formación Arenisca de Labor y Tierna.

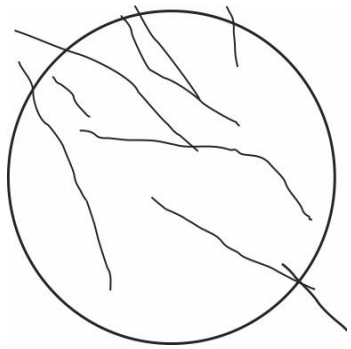

Imagen 22. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Arenisca de Labor y Tierna.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Tabla 9. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Arenisca de Labor y Tierna

Muestra	Unidad afectada	r (m)	n	m	l (1/m)	D (1/m ²)	Lp (m)	Representación
22	Labor y Tierna	0,38	8	70	5,26	77,15	0,07	
100	Labor y Tierna	0,52	13	44	6,25	25,9	0,24	
101	Labor y Tierna	0,43	16	124	9,3	106,73	0,09	
115	Labor y Tierna	0,62	16	63	6,45	26,08	0,25	

Muestra	Unidad afectada	r (m)	n	m	I (1/m)	D (1/m ²)	Lp (m)	Representación
140	Labor y Tierra	0,82	7	4	2,13	0,95	2,25	
205	Labor y Tierra	0,73	21	66	7,19	19,71	0,36	

* $r[m]$: radio de la ventana de muestra en metros.
 n = número de terminaciones de las diaclasas dentro de la ventana de muestra.
 $I [1/m]$: intensidad del diaclasamiento expresada en metros a la menos uno.
 $D [1/m^2]$: densidad de diaclasamiento expresada en metros a la menos dos.
 $Lp[m]$: longitud promedio de las diaclasas en metros.

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

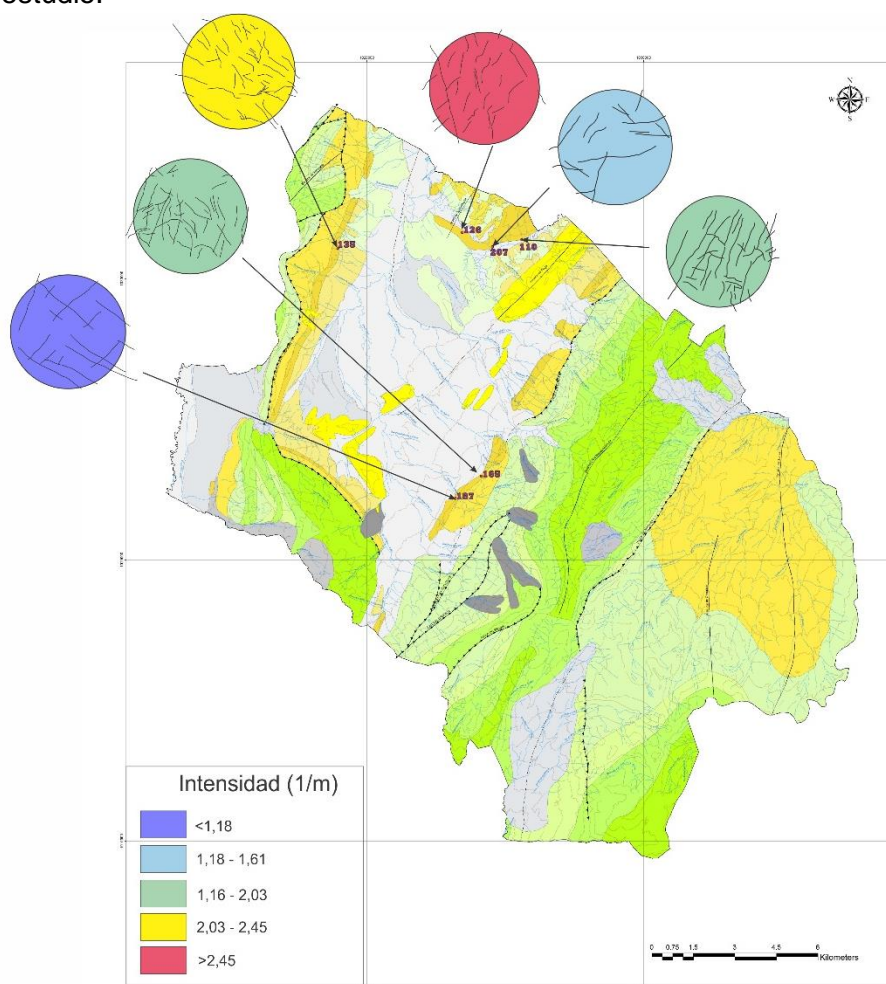
Para los datos de intensidad y densidad se determinaron rangos de valores de muy baja, baja, media, alta, y muy alta intensidad y densidad relativa. Para el cálculo de cada uno de los rangos se tuvo en cuenta la dispersión de los datos, por esta razón se utilizó el método estadístico básico basado en la medida de media \pm la desviación estándar.

La intensidad de fracturamiento general de la zona es calculada a partir de la metodología de la ventana de muestra. Los diámetros de las ventanas presentan un rango entre 0,38 a 0,82 m, los cuales guardan proporción con el empleado para la medición de las fotografías. El color para cada una de las ventanas de muestra representa el promedio cualitativo para cada uno de los valores de intensidad de fracturamiento.

La imagen 23 muestra los rangos de intensidad de fracturamiento para la Formación Arenisca de Labor y Tierna, donde se puede ver que los puntos cercanos a la Falla Chocontá – Pericos presentan rangos que van desde baja a alta intensidad, En la parte noreste del área de estudio, cerca al trazo de la Falla Suralá, la intensidad de fracturamiento presenta rangos que van de medio a muy alto.

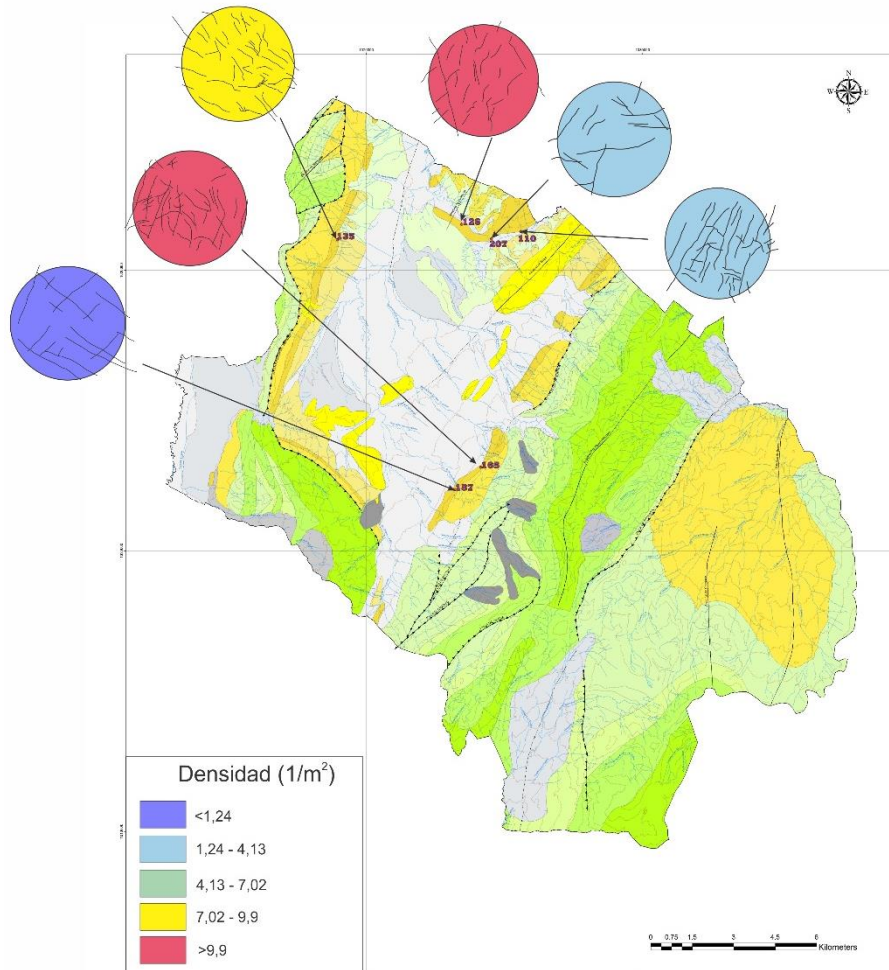
La imagen 24 muestra los rangos de densidad de fracturamiento para la Formación Arenisca de Labor y Tierna, donde presenta rangos de densidad que van de muy bajas a muy altas, las cuales se encuentra dispersas en toda el área de estudio. Hacia la parte noroeste cerca a la Falla Chocontá – Pericos, la densidad de fracturamiento muestra rangos que van de baja a muy alta. En la parte noreste cerca al trazo de la Falla Suralá se muestra el mayor valor de densidad de fracturamiento de esta formación.

Imagen 23. Intensidad de fracturamiento para la Formación Arenisca de Labor y Tierna en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 24. Densidad de fracturamiento para la Formación Arenisca de Labor y Tierna en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

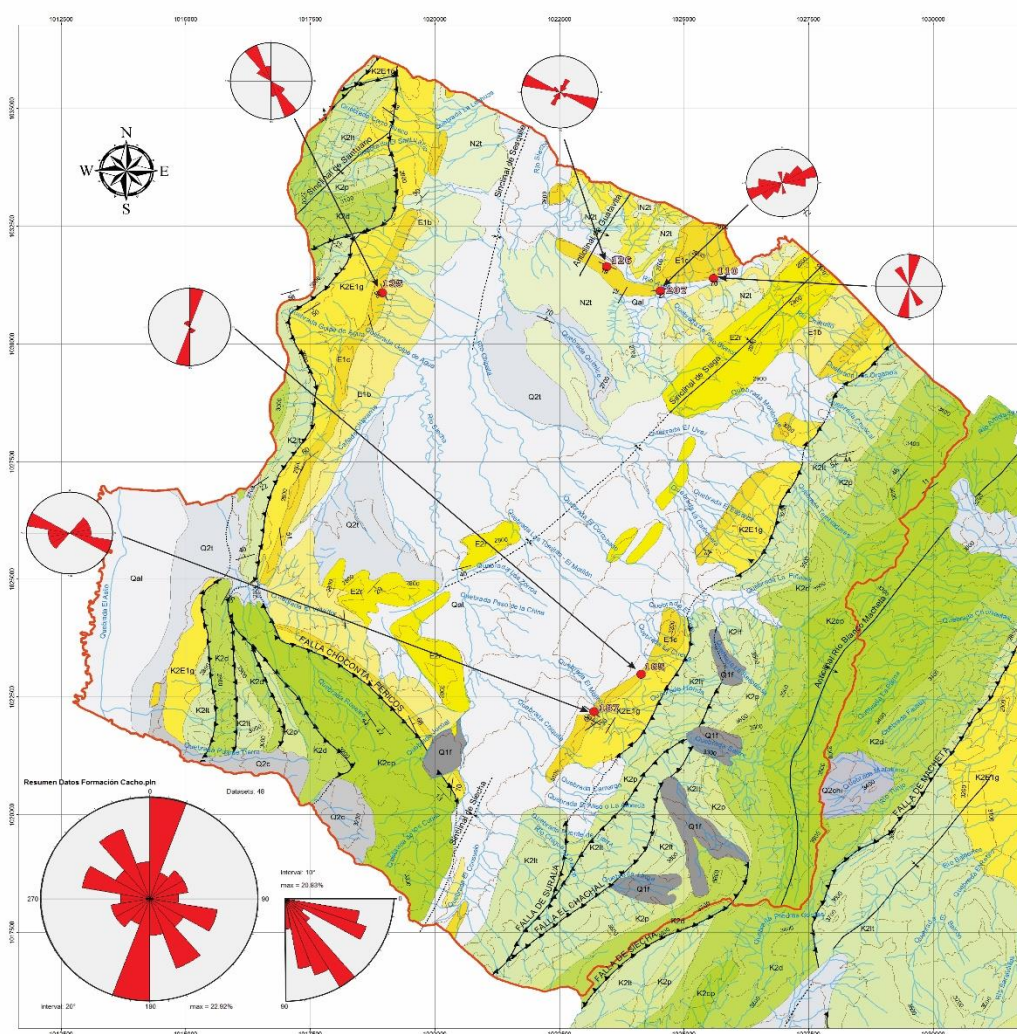
5.6.8.4. Formación Cacho

Dirección preferencial de las diaclasas

La Formación Cacho se distribuye en sentido noreste-suroeste, en los flancos de los Sinclinales Sesquile y Sisga y en sentido noroeste - sureste en las veredas Salitre, La Trinidad, Las Flores y Santa Bárbara. Para realizar el análisis estructural de esta formación, se tomaron 48 datos de planos de diaclasas en 6 estaciones (ID 110 – 126 – 135 – 165 – 187 – 207). A partir de esta información se generaron los Diagrama de Rosas que nos muestran 3 orientaciones, donde el 22,92% de los

datos se encuentran en un rango de N a N20°E, el 16.5% de los datos se encuentran en un rango de N20°W a N40°W y el 14% de los datos se encuentran en un rango de N60°W a N80°W sumando el 53,42% de los datos, mientras el 46.58% restante se encuentra distribuido a lo largo de todo el espectro entre 0 y 360°. Los datos de buzamiento se encuentran principalmente en 2 rangos, el 5,43% se ubica en un rango de 50° a 80° y el 30,53% de los datos se encuentran en un rango de 10° a 30°, como se puede ver en la Imagen 25.

Imagen 25. Diagramas Rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación Cacho.

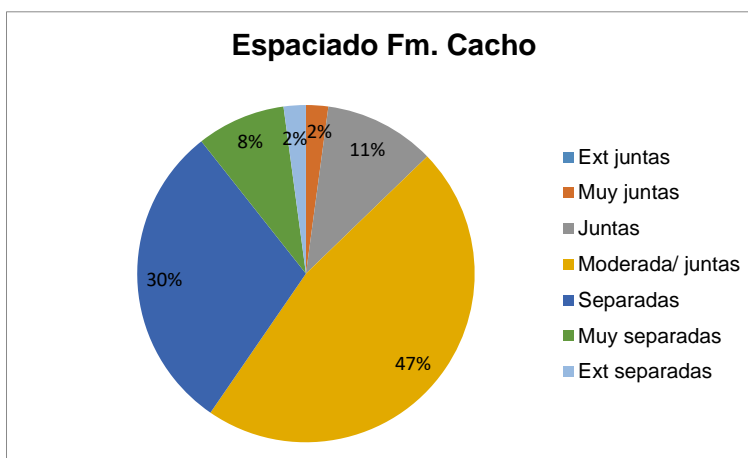


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Caracterización de macizo rocoso

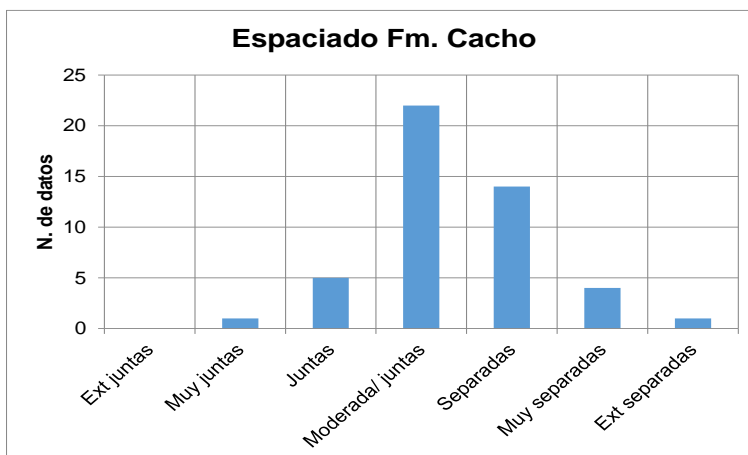
Para la Formación Cacho en el parámetro de espaciado se tiene que el 77% de las discontinuidades o diaclasas se encuentran en un rango de moderadamente juntas (200–600 mm) a separadas (600–2000 mm), mientras que los espaciados de muy separadas (2000–6000 mm) a extremadamente separadas (>6,000 mm) y muy juntas (20-60mm) a juntas (60–200 mm) representan el 10 y 13% de los datos respectivamente, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 41. % Espaciado en la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

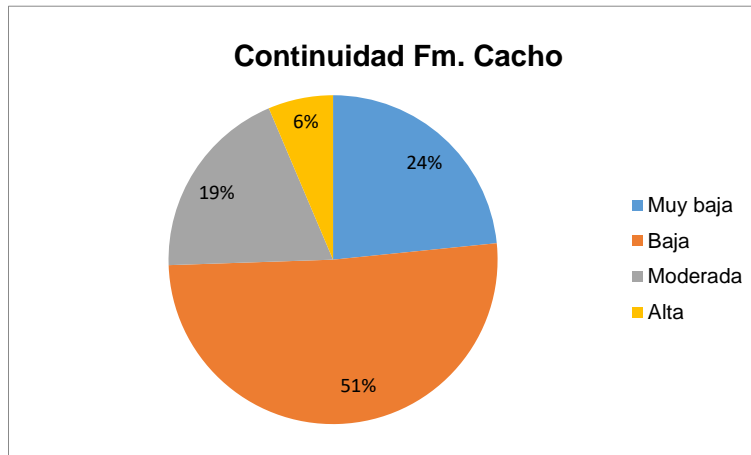
Gráfica 42. Espaciado en la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

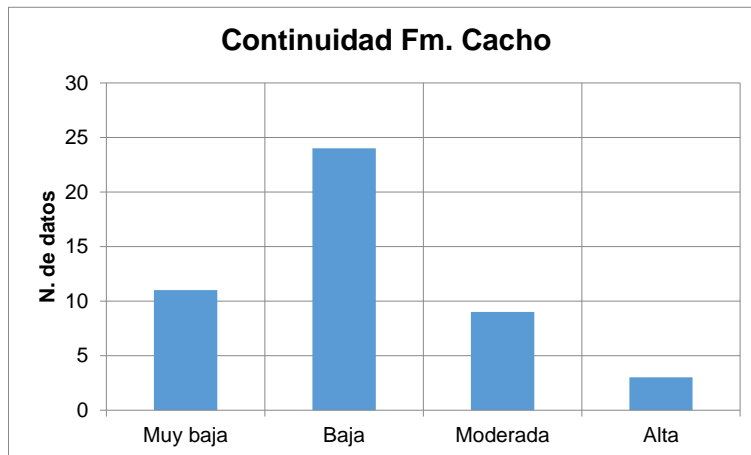
Para el parámetro de continuidad, se tiene que el 51% de los planos de diaclasas o discontinuidades medidas se encuentra en un rango de baja continuidad (1 - 3 m), el 24% se encuentran en muy baja continuidad (<1 m) y el 25% se encuentran en un rango de moderada continuidad (3 10 m) a alta continuidad (10-20 m), como se puede ver en las gráficas 17 y 18.

Gráfica 43. % Continuidad en la Formación Cacho



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

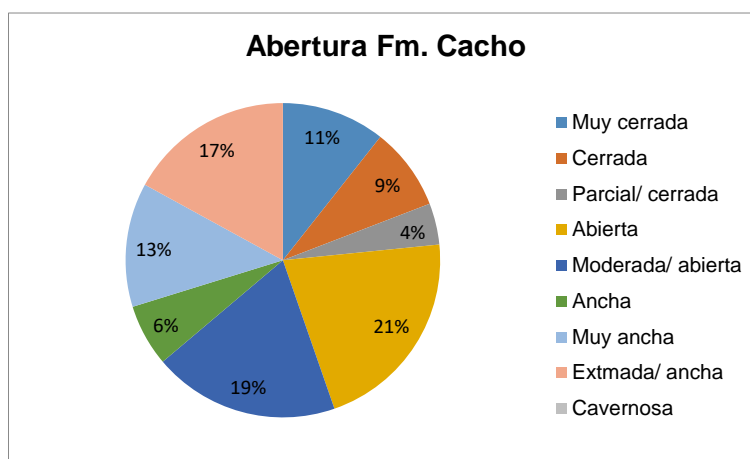
Gráfica 44. Continuidad en la Formación Cacho



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

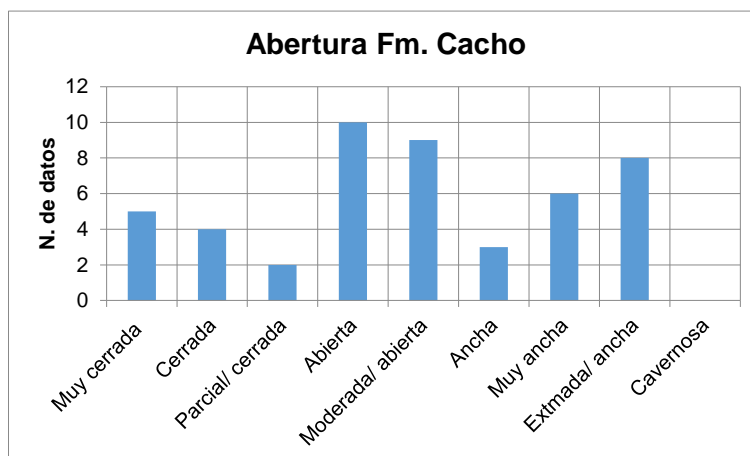
Para el parámetro de la abertura, se determinó que el 57% de las discontinuidades están en un rango de abiertas (0.5–2.5 mm), moderadamente abierta (2.5 - 10 mm) y extremadamente ancha (10-100 cm), el 19% están en un rango entre ancha (>10 mm) y muy ancha (1 - 10 cm) y el 24% representan el rango entre muy cerrada (<0.1 mm) a parcialmente cerrada (0.25 - 0.5 mm), como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 45. % Abertura en la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

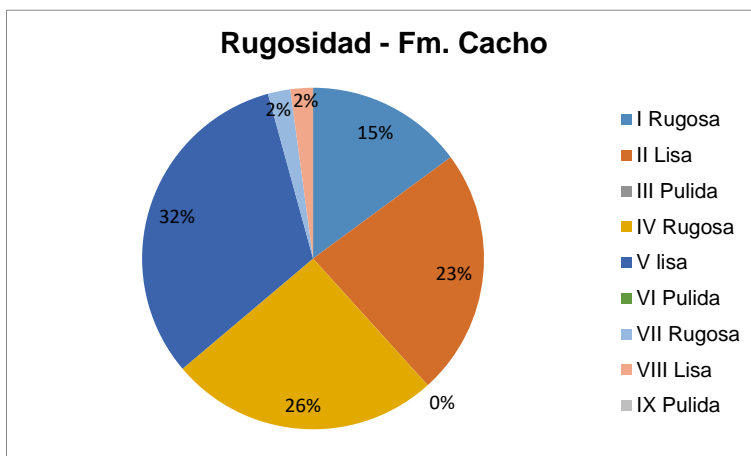
Gráfica 46. Abertura en la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

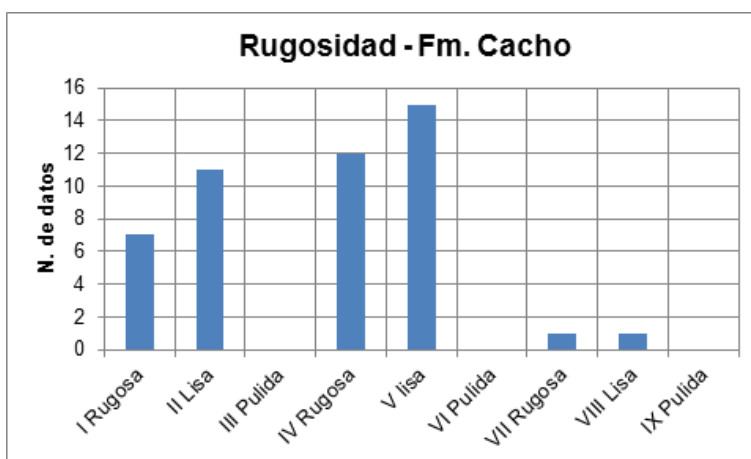
Para el parámetro de rugosidad, se determinó que el 81% de las discontinuidades se encuentran en un rango de ondulada – V lisa, ondulada – IV rugosa y escalonada – II lisa, el 15% se encuentran en escalonada – I rugosa y el 4% entre plana – VII rugosa y plana – VIII lisa, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 47. % Rugosidad en la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

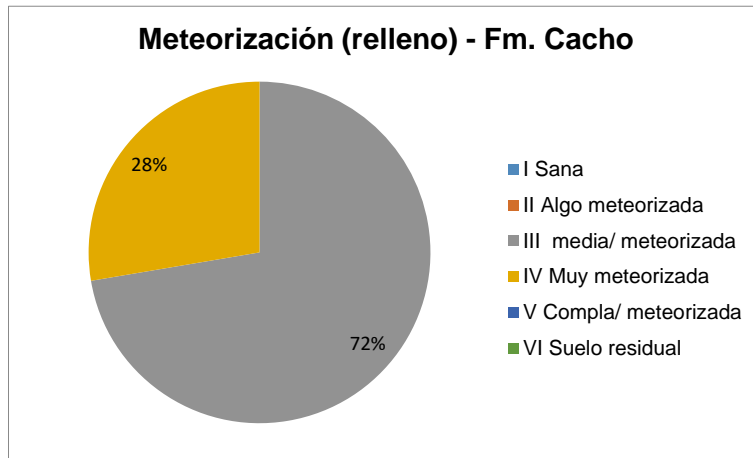
Gráfica 48. Rugosidad en la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

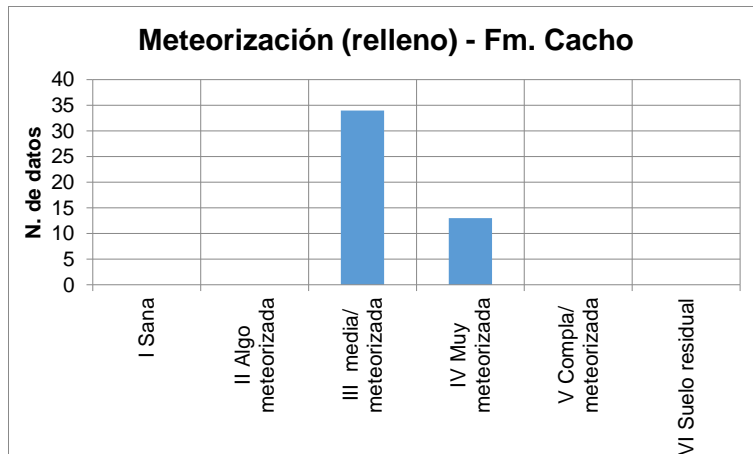
Para el parámetro de meteorización del relleno, se determinó que el 72% de las discontinuidades presentan un rango de medianamente meteorizada y el 28% se encuentra en un rango de muy meteorizada, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 49. %Meteorización en el relleno de la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

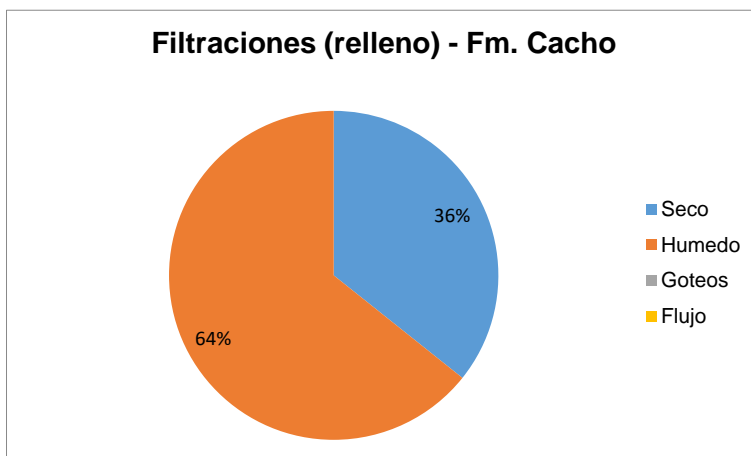
Gráfica 50. Meteorización en el relleno de la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

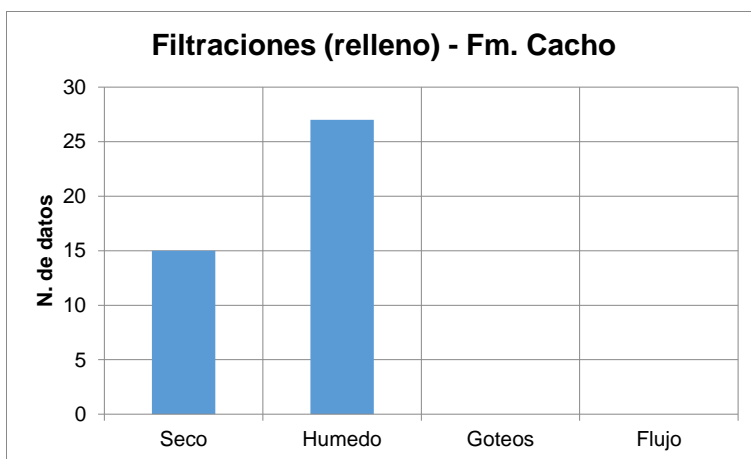
Para el parámetro de filtración en el relleno, se determinó que el 64% de las discontinuidades se encuentran húmedas y el 36% se encuentran secas, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 51. %Filtración (relleno) Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

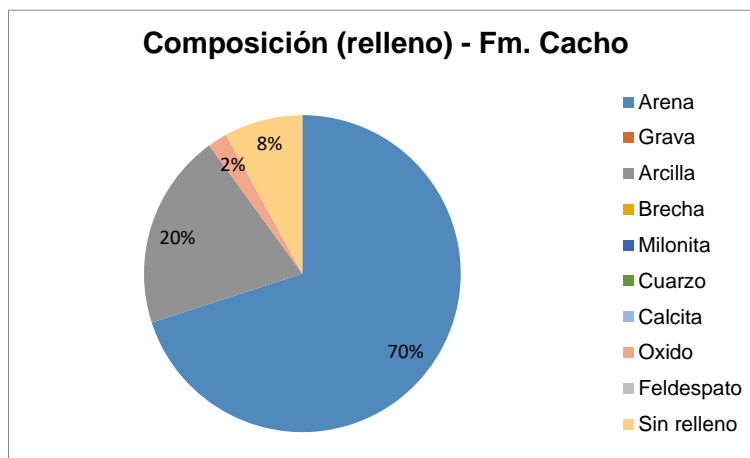
Gráfica 52. Filtración (relleno) Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

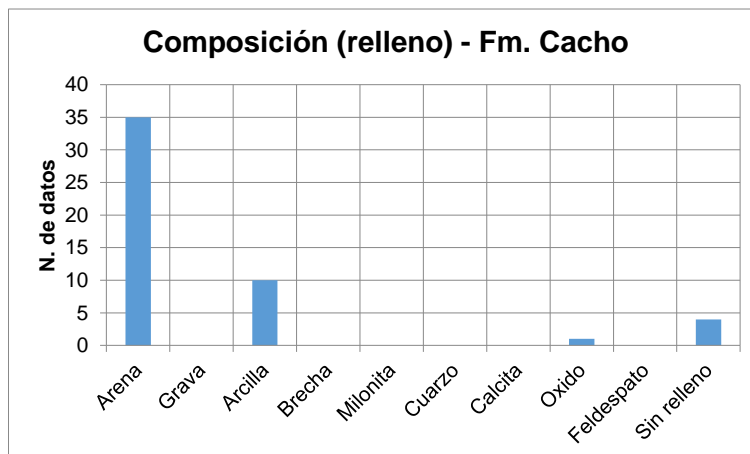
Para el parámetro de composición del relleno, se determinó que el 70% de las discontinuidades presentan relleno de arena. El 20% presentan relleno de arcilla, el 8% no presentan relleno y 2% presentan un relleno de óxidos, como se puede ver en las gráficas 28 y 29.

Gráfica 53. %Composición del relleno Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Gráfica 54. Composición del relleno Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017


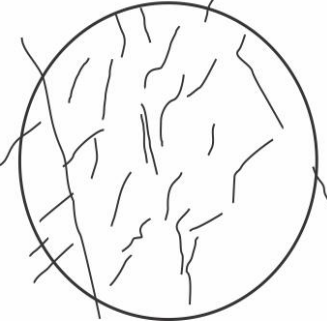

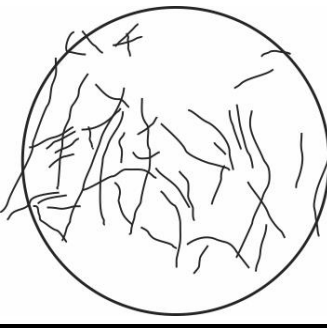
Se caracterizaron los sistemas de fracturamiento para determinar los parámetros de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, utilizando la metodología de ventana de muestra en las estaciones de la Formación Cacho. Para utilizar esta metodología se escogieron las mejores fotografías tomadas en campo, sobre las cuales se dibujó la ventana de muestra y se trazaron sobre ella las diferentes fracturas identificadas, como se puede observar en la imagen 26. Los resultados de los parámetros son presentados en tabla 10, donde se puede ver que la intensidad de fracturamiento se encuentra en un rango de 1,04 a 2,7 m⁻¹, la densidad de fracturamiento en un rango de 0,78 a 11,73 m⁻² y la longitud promedio de las fracturas en un rango de 0,19 a 1,33 m para la Formación Cacho.

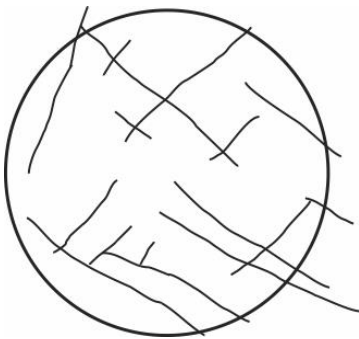
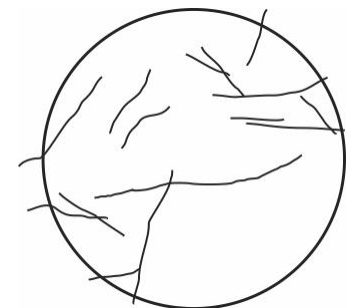
Imagen 26. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación Cacho.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Tabla 10. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación Cacho.

Muestra	Unidad afectada	r (m)	n	m	l (1/m)	D (1/m ²)	Lp (m)	Representación
110	Cacho	1,49	12	53	2,01	3,80	0,53	
126	Cacho	0,74	8	40	2,70	11,63	0,23	
135	Cacho	1,30	12	78	2,31	7,35	0,31	
165	Cacho	1,23	8	82	1,63	8,63	0,19	

Muestra	Unidad afectada	r (m)	n	m	I (1/m)	D (1/m ²)	Lp (m)	Representación
187	Cacho	2,17	9	23	1,04	0,78	1,33	
207	Cacho	1,41	7	16	1,24	1,28	0,97	

* $r[m]$: radio de la ventana de muestra en metros.
 n = número de terminaciones de las diaclasas dentro de la ventana de muestra.
 $I [1/m]$: intensidad del diaclasamiento expresada en metros a la menos uno.
 $D [1/m^2]$: densidad de diaclasamiento expresada en metros a la menos dos.
 $Lp[m]$: longitud promedio de las diaclasas en metros.

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Para los datos de intensidad y densidad se determinaron rangos de valores de muy baja, baja, media, alta, y muy alta intensidad y densidad relativa. Para el cálculo de cada uno de los rangos se tuvo en cuenta la dispersión de los datos, por esta razón se utilizó el método estadístico básico basado en la medida de media \pm la desviación estándar.

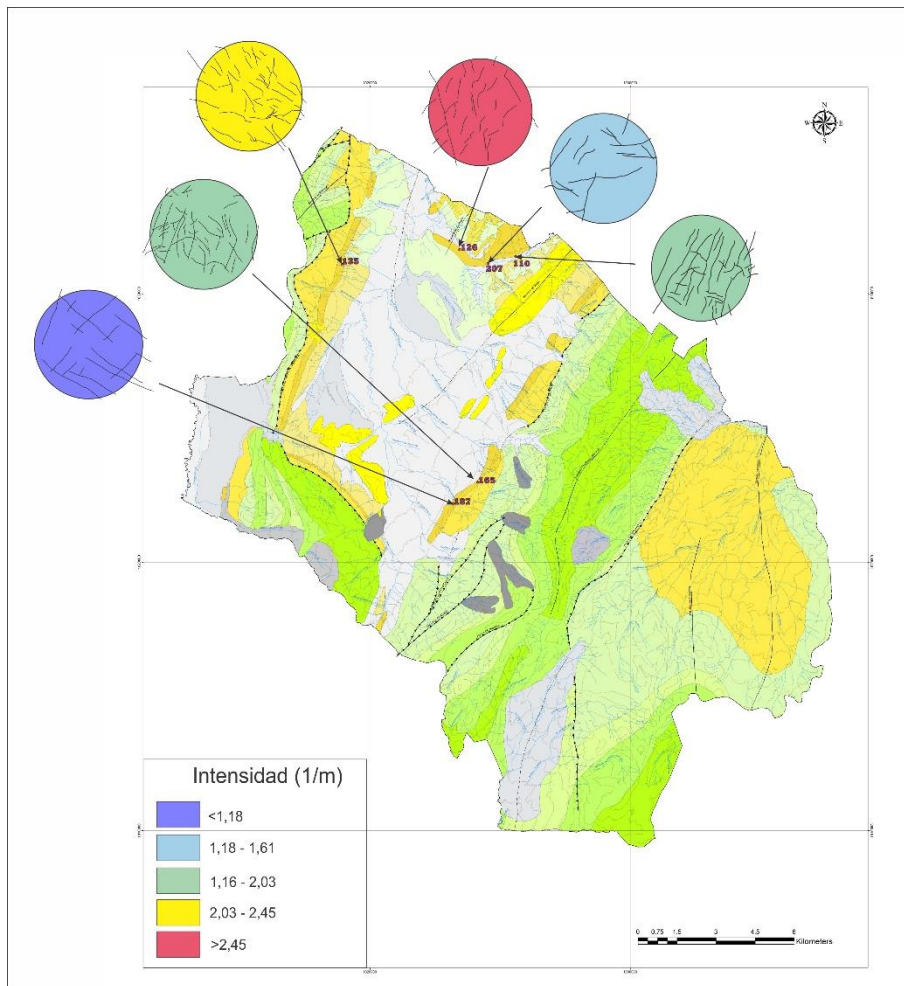
La intensidad de fracturamiento general de la zona es calculada a partir de la metodología de la ventana de muestra. Los diámetros de las ventanas presentan un rango entre 0,19 y 1,33 m, los cuales guardan proporción con el empleado para la medición de las fotografías. El color para cada una de las ventanas de muestra representa el promedio cualitativo para cada uno de los valores de intensidad de fracturamiento.

La imagen 27 muestra los rangos de intensidad de fracturamiento para la Formación Cacho, donde se muestran rangos que van desde muy baja a muy alta intensidad.

Hacia la parte norte del área de estudio, cerca del flanco este del Anticlinal de Guatavita, se encuentran los rangos más altos de intensidad para esta formación. En la parte central y noreste del área de estudio se encuentran los menores rangos de intensidad.

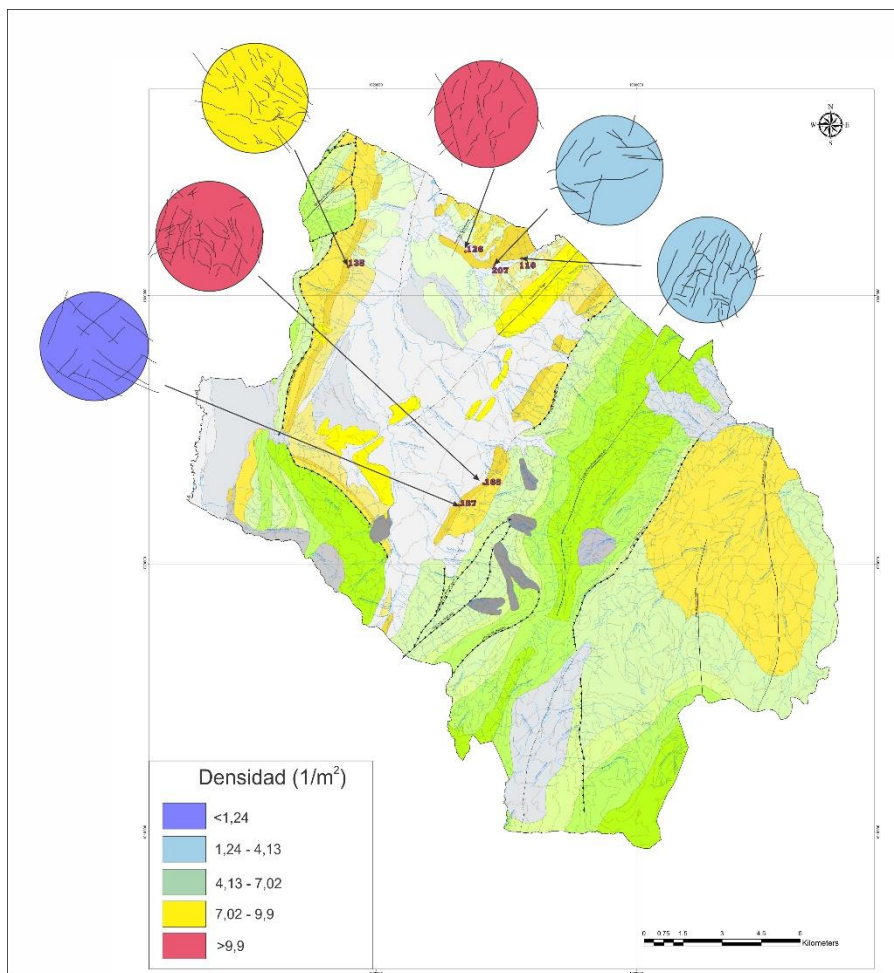
La imagen 28 muestra los rangos de densidad de fracturamiento para la Formación Cacho, donde presenta rangos de densidad que van de muy baja a muy alta. Hacia la parte norte del área de estudio, cerca al Anticlinal de Guatavita, se presentan rangos de densidad de fracturamiento que van de baja a alta sin embargo hacia la parte noreste del área de estudio se presenta un valor de muy alta densidad de fracturamiento. En la parte central del área de estudio aparecen valores con un rango muy amplio de densidad los cuales van de muy bajo a muy alto.

Imagen 27. Intensidad de fracturamiento para la Formación Cacho en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

Imagen 28. Densidad de fracturamiento para la Formación Cacho en el área de estudio.



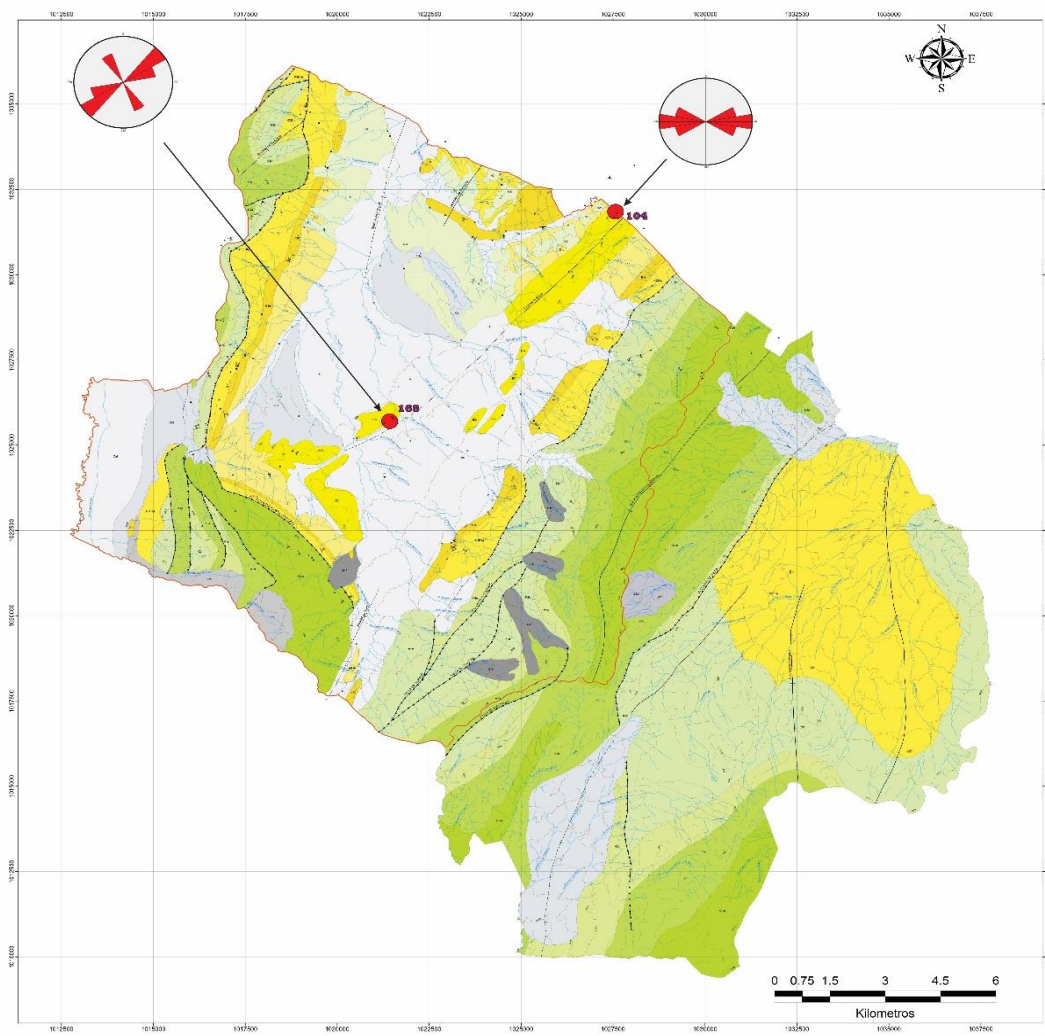
Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017

5.6.8.5. Formación la Regadera

Dirección preferencial de las diaclasas

La Formación la Regadera se encuentra distribuida en la parte norte y centro del área de estudio, el cual aflora en el núcleo del Sinclinal de Sisga en forma de franjas alargadas en sentido noreste – suroeste. Para el análisis estructural de esta formación se tomaron 19 datos de planos de diaclasas en dos estaciones (ID 104 – 151 – 168). A partir de esta información se generaron los diagramas de rosa que muestran una orientación noroeste – sureste. Los datos de buzamientos varían principalmente en un rango entre 18° y 85° sureste. La dirección preferencial de las diaclasas se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 29. Diagramas Rosa con los datos de diaclasas por estaciones y resumen de la Formación la Regadera.

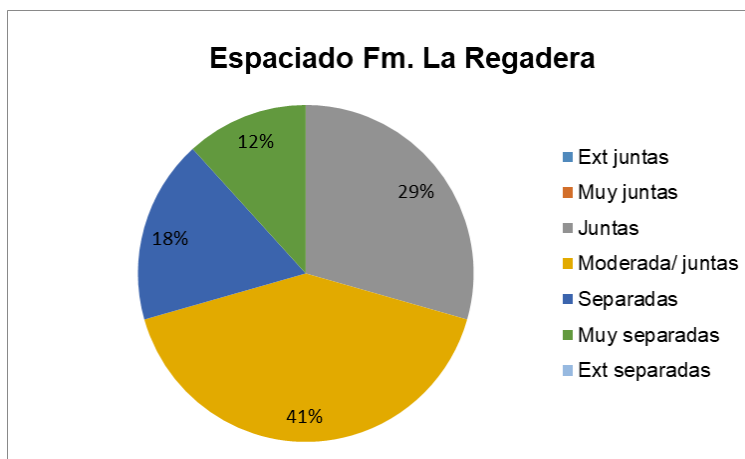


Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Caracterización del macizo rocoso

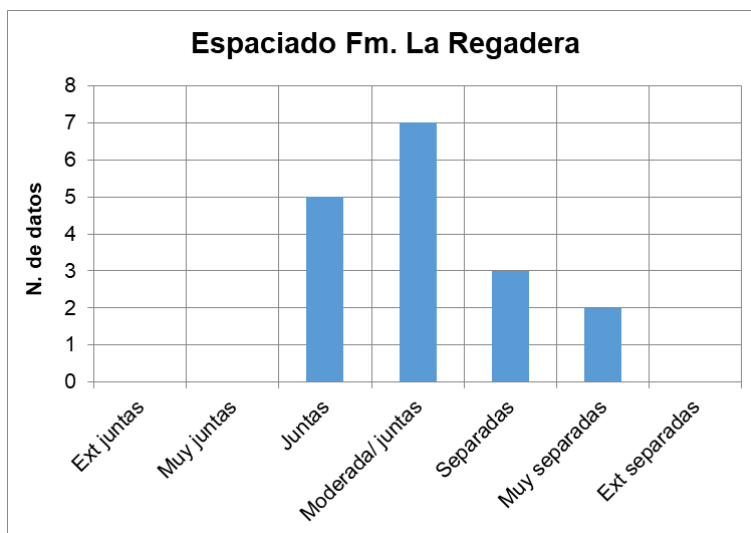
Para la Formación la Regadera en el parámetro de espaciado predomina el rango de moderadamente juntas (200 - 600 mm) con el 41% de los datos, mientras que el espaciado de juntas (20 - 60 mm), separadas (2.000 – 6.000 mm) y muy separadas (>6.000 mm) representan el 29, 18 y 12% de los datos respectivamente, como se observa en siguientes gráficas.

Gráfica 55. Espaciado en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

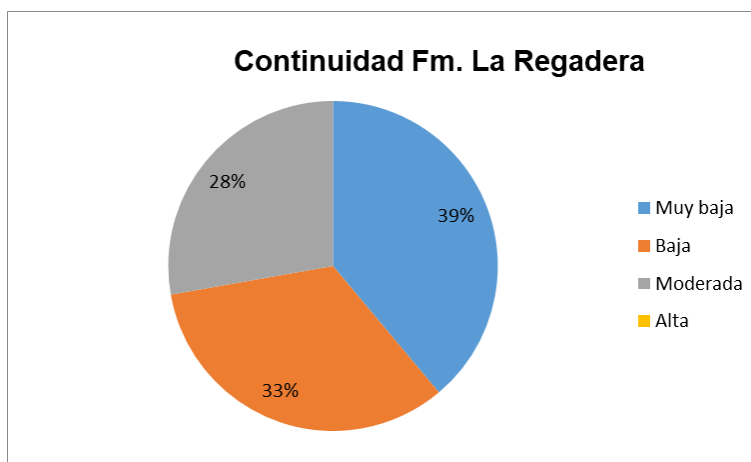
Gráfica 56. Espaciado en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

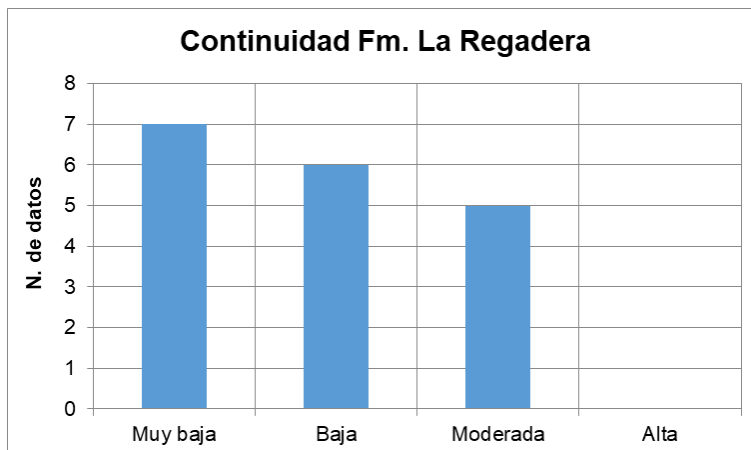
Para la continuidad, se tiene que el 39% de los planos de las discontinuidades se encuentran en un rango de muy baja continuidad (<1 m), el 33% se encuentran en un rango de baja continuidad (1 - 3 m) y el 28% se encuentran en un rango de moderada continuidad (3 – 10 m), como se puede observar en las siguientes gráficas.

Gráfica 57. %Continuidad en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

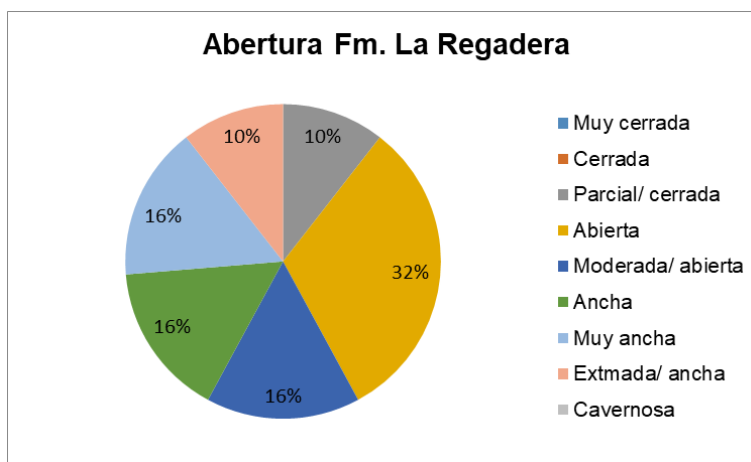
Gráfica 58. Continuidad en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

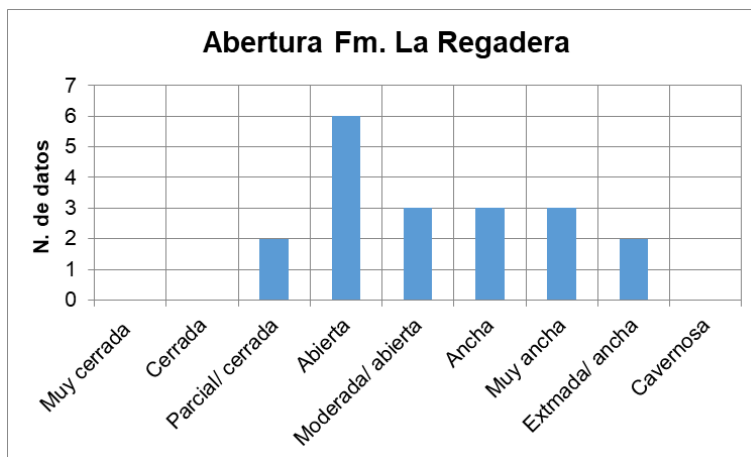
Para la abertura, se determinó que el 32% de las discontinuidades se encuentran en un rango de abierta (0,5 – 2,5 mm), el 16% en un rango de moderadamente abierta (2,5 – 10 mm), el 16% se encuentran en un rango de anchas (>10 mm), otro 16% se encuentra en un rango de muy cerrada (<0,1 mm), para los rangos de extremadamente anchas (100 – 1.000 mm) y parcialmente cerrada (0,25 – 0,5 mm) presentan el 10% cada uno, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 59. % Abertura en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

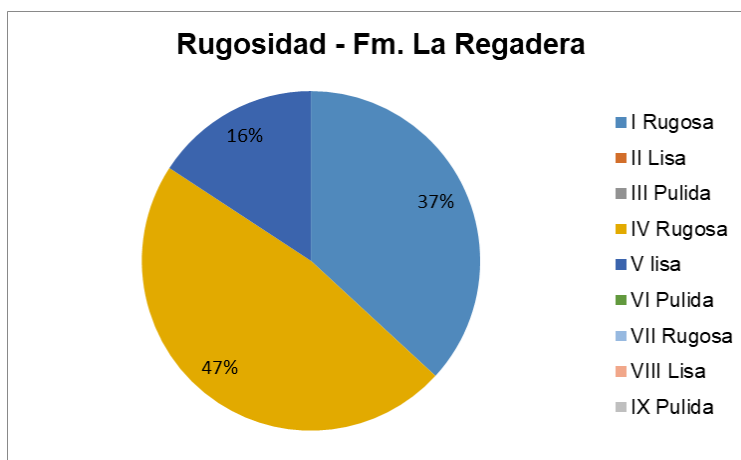
Gráfica 60. Abertura en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

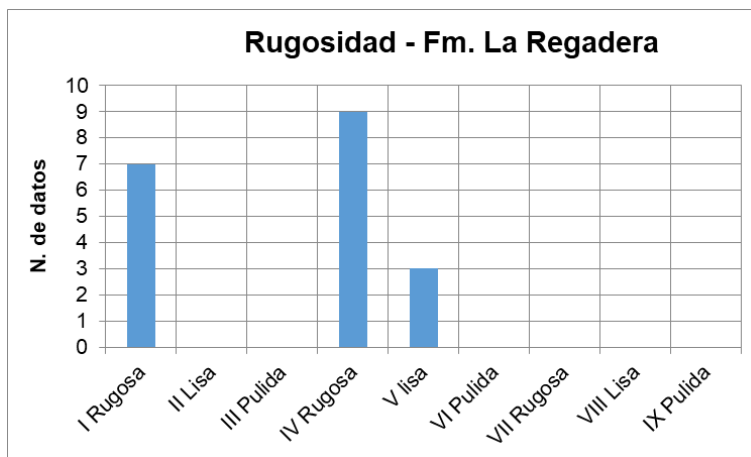
Para el parámetro de rugosidad, se determinó que el 47% de las discontinuidades se encuentran en un rango de ondulada – IV rugosa, el 37% se encuentra en un rango de escalonada – I rugosa y el 16% se encuentra en un rango de ondulada – V lisa, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 61. Rugosidad en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

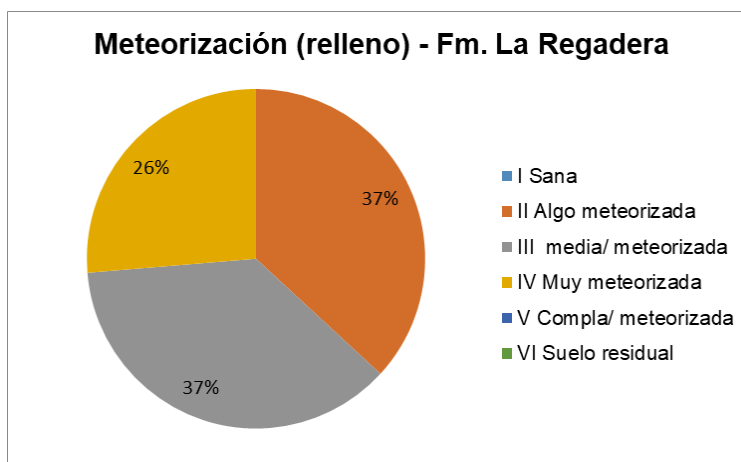
Gráfica 62. Rugosidad en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

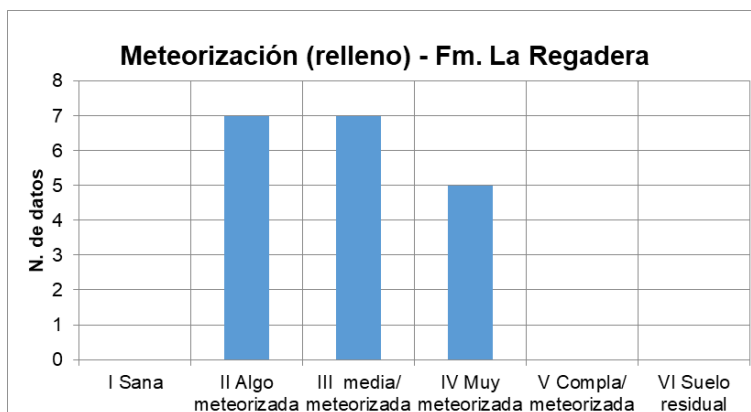
Para el parámetro de meteorización en el relleno, se determinó que el 37% de las discontinuidades presentan un rango de media meteorización, otro 37% de las discontinuidades presentan un rango de algo de meteorización y un 26% presenta un rango de muy meteorizada, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 63. % Meteorización del relleno en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

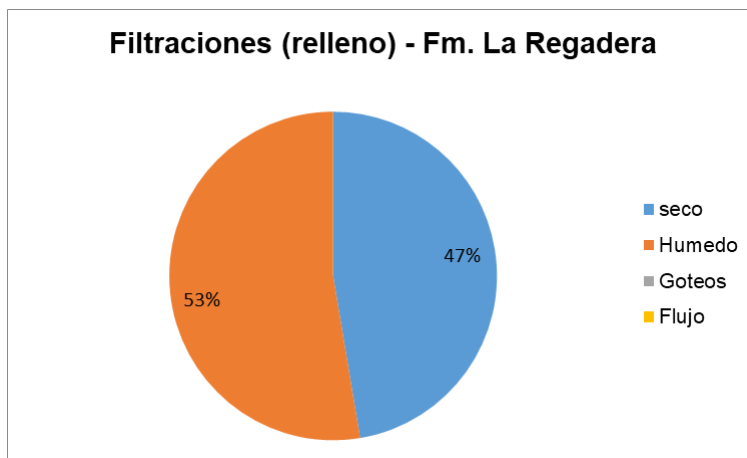
Gráfica 64. Meteorización del relleno en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

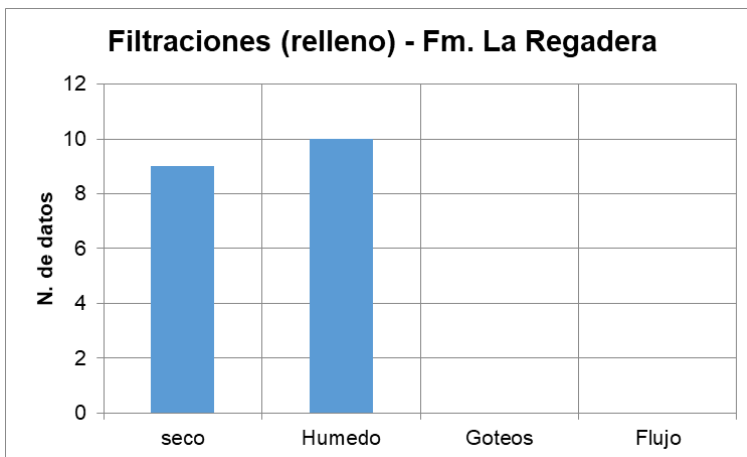
Para el parámetro de filtración en el relleno, se determinó que el 53% de las discontinuidades presentan humedad y el 47% de las discontinuidades se encuentran secas, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 65. Filtraciones en el relleno para la Formación la Regadera



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

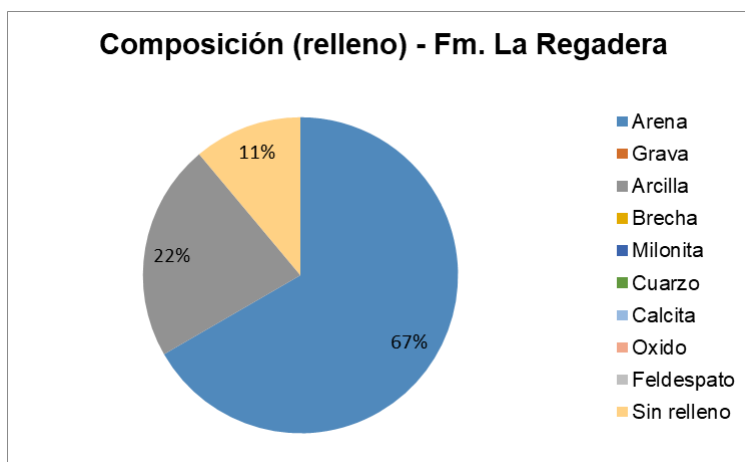
Gráfica 66. Filtraciones en el relleno para la Formación la Regadera



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

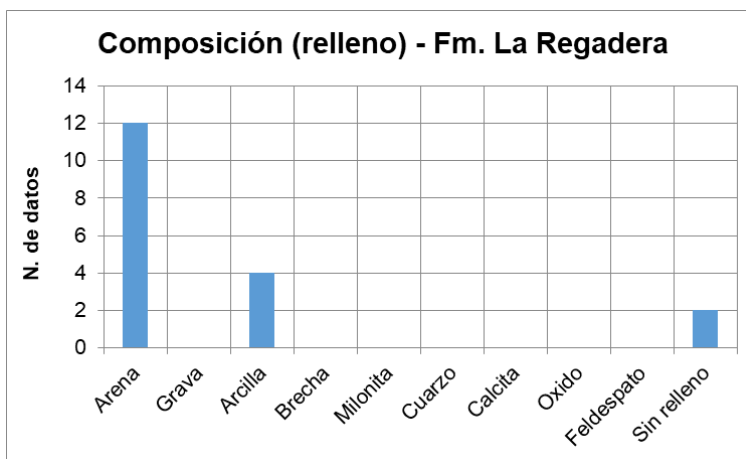
Para el parámetro de composición del relleno, se determinó que el 67% de las discontinuidades presentan relleno de arena, el 22% presentan relleno de arcilla y el 11% restante no presenta relleno, como se puede ver en las siguientes gráficas.

Gráfica 67. %Composición del relleno en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Gráfica 68. Composición del relleno en la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

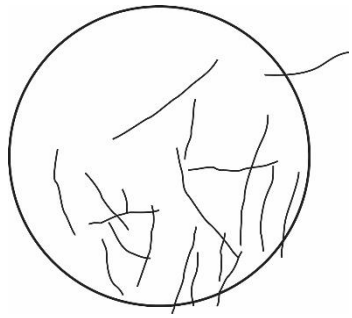
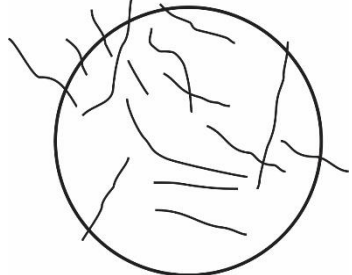
Se caracterizaron los sistemas de fracturamiento para determinar los parámetros de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, utilizando la metodología de ventana de muestra en las estaciones de la Formación la Regadera. Para utilizar esta metodología se escogieron las mejores fotografías tomadas en campo, sobre las cuales se dibujó la ventana de muestra y se trazaron sobre ella las diferentes fracturas identificadas, como se puede observar en la imagen 30. Los resultados de los parámetros son presentados en la tabla 11, donde se puede ver que la intensidad de fracturamiento es de 1,08 y 2,78 m⁻¹, una densidad de fracturamiento de 3,31 y 4,30 m⁻² y una longitud promedio de las fracturas de 0,32 y 0,65 m para la Formación La Regadera.

Imagen 30. Ventanas de muestra sobre las cuales se marcan los principales patrones de fracturamiento y las fracturas asociadas a estos para la Formación la Regadera.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Tabla 11. Datos de intensidad, densidad y longitud promedio de las fracturas, determinadas por la metodología de la ventana de muestra para la Formación la Regadera.

Muestra	Unidad afectada	r (m)	n	m	l (1/m)	D (1/m ²)	Lp (m)	Representación
104	La Regadera	1,16	5	28	1,08	3,31	0,32	
168	La Regadera	0,72	8	14	2,78	4,30	0,65	

* $r[m]$: radio de la ventana de muestra en metros.
 n = número de terminaciones de las diaclasas dentro de la ventana de muestra.
 $I [1/m]$: intensidad del diaclasamiento expresada en metros a la menos uno.
 $D [1/m^2]$: densidad de diaclasamiento expresada en metros a la menos dos.
 $Lp[m]$: longitud promedio de las diaclasas en metros.

Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

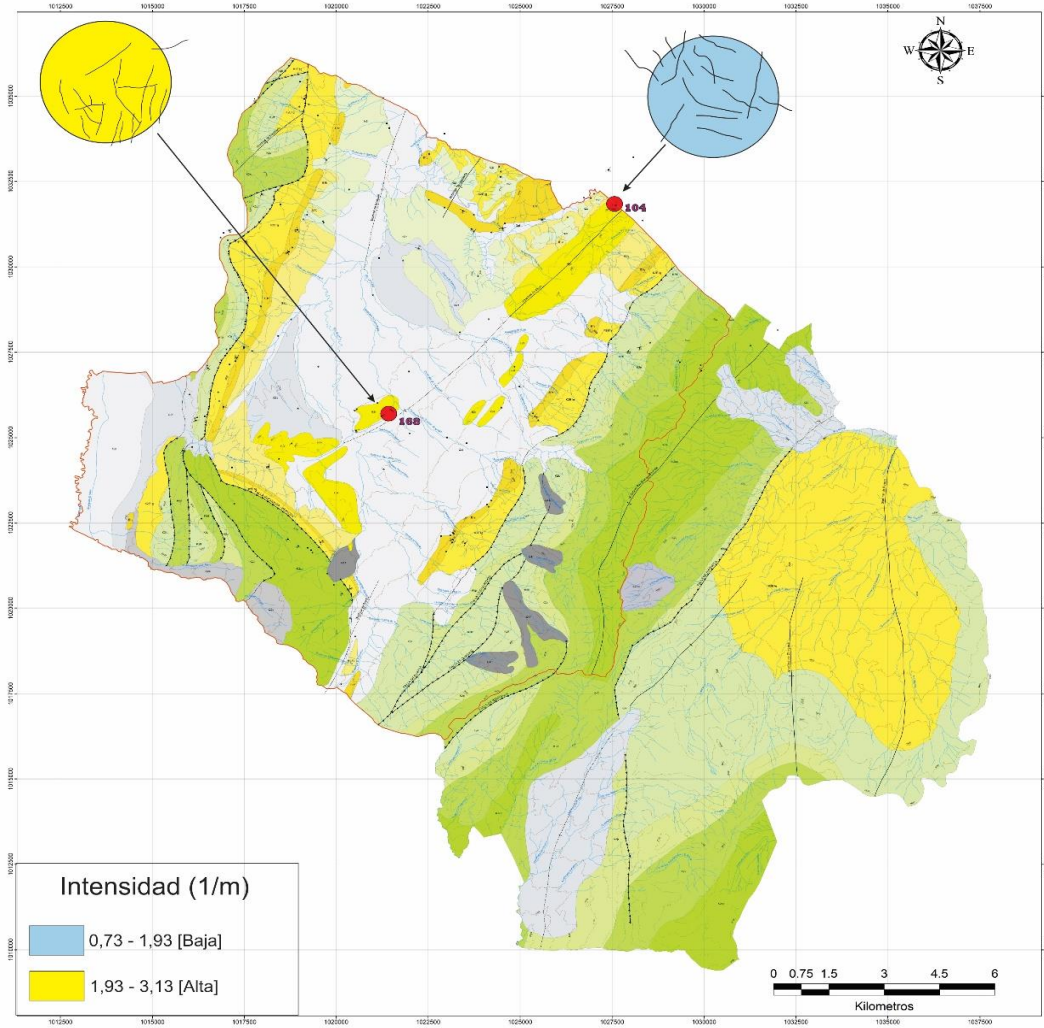
Para los datos de intensidad y densidad se determinaron rangos de valores de muy baja, baja, media, alta, y muy alta intensidad y densidad relativa. Para el cálculo de cada uno de los rangos se tuvo en cuenta la dispersión de los datos, por esta razón se utilizó el método estadístico básico basado en la medida de media \pm la desviación estándar.

La intensidad de fracturamiento general de la zona es calculada a partir de la metodología de la ventana de muestra. Los diámetros de las ventanas presentan radios de 0,72 y 1,16 m, los cuales guardan proporción con el empleado para la medición de las fotografías. El color para cada una de las ventanas de muestra representa el promedio cualitativo para cada uno de los valores de intensidad de fracturamiento.

La imagen 31 muestra los rangos de intensidad de fracturamiento para la Formación la Regadera, donde presenta rangos de alto y bajo dispersos en el centro y norte del área de estudio. Hacia la parte norte del área de estudio presenta rangos de baja intensidad, mientras que hacia el centro del área de estudio presenta un rango de alta intensidad de fracturamiento.

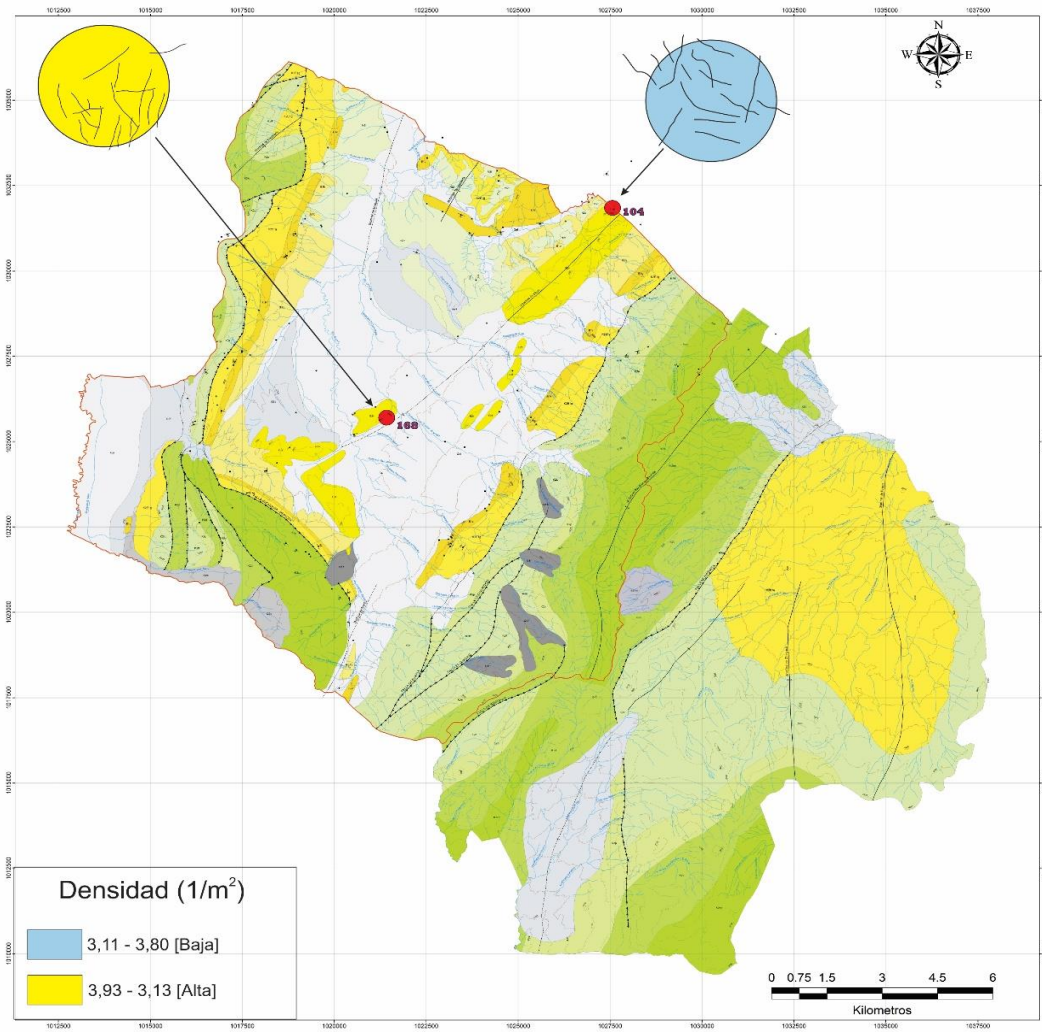
La imagen 32 muestra los rangos de densidad de fracturamiento para la Regadera, donde presenta rangos de densidad de bajo y alto dispersas en el centro y norte del área de estudio. Hacia la parte norte del área de estudio presenta rangos de baja densidad, mientras que hacia el centro del área de estudio presenta un rango de alta densidad de fracturamiento.

Imagen 31. Intensidad de fracturamiento para la Formación La Regadera en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

Imagen 32. Densidad de fracturamiento para La Regadera en el área de estudio.



Fuente: SYSCOL CONSULTORES S.A.S. 2017.

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA, J. y ULLOA, C. Memoria explicativa de la geología de la plancha 246 Fusagasugá. Bogotá: INGEOMINAS. Informe interno 2374b. 93 p., 1998.
- ÁLVAREZ, A. Estudio hidrogeológico cuantitativo de la Sabana de Bogotá - Informe hidrogeológico del sector Sisga-Tibitó y Embalse de Tominé, Sabana de Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS., 1993.
- ÁLVAREZ, A. Acuíferos de la Formación Tilatá (Mioceno-Plioceno) en dos pozos del suroeste de la Sabana de Bogotá. En: Geología Colombiana. 1998. no. 23, p. 75-95.
- ARLEGUI, L., y SIMÓN, J. El sistema de Diaclasas N-S en el Sector Central de la Cuenca del Ebro. Relación con el campo de esfuerzos neógeno. En: Revista de la sociedad Geológica de España, 1993, vol. 6, no 1 -2, p. 115-122.
- ANH - UNAL. Inventario, interpretación y evaluación integral de la información geológica, geofísica y geoquímica del Bloque Soapaga. Bogotá: AGENCIA NACIONAL DE HIDROCARBUROS y UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA., 2008.
- BERMOUDES, O., y VELANDIA, F. Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS., 2002a.
- BERMOUDES, O., y VELANDIA, F. Hidrogeología Regional de la Sabana de Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS., 2002b.
- BRICEÑO, L., y ARANGO, I. Modelamiento Geoeléctrico y Gravimétrico de un sector del suroeste de la Sabana de Bogotá. En: Geofísica Colombiana. 2000. no. 4, p. 43-60.
- CASTELLANOS Estefanía y CETINA María. Determinación de patrones de fracturamiento y análisis cinemático en inmediaciones del Municipio de Charta, Macizo de Santander. Trabajo de grado Geóloga. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Escuela de Geología, 2013. 151 p.
- CAR-CORPOGUAVIO. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico de la unidad hidrográfica del Embalse de Tominé y la unidad hidrográfica del río Teusacá las cuales pertenecen a la Cuenca del río Bogotá. Bogotá: PLANIFICACIÓN INTEGRAL Consultores S.A.S., 2015.
- CORPOGUAVIO. Estudio de zonificación para racionalizar el aprovechamiento de aguas subterráneas y actualización de expedientes de pozos profundos en el municipio de Guasca (Cundinamarca). Bogotá: GARCÍA GONZALEZ LTDA., 2000.
- CORPOGUAVIO. Formulación del Plan General de Ordenación Forestal - PGOF- para la gestión y manejo sostenible de las tierras de vocación forestal en el área de jurisdicción de la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL GUAVIO . Bogotá: Andean Geologica I Services (AGS Ltda), 2015.
- CORPORACIÓN SUNA HISCA. Plan de Ordenamiento y Manejo - POMA (Parque Ecológico Distrital de Montaña entrenubes). Bogotá. D.C: Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente., 2003.
- CORREDOR, V., y TERRAZA, R. Geología de la plancha 228 Bogotá Noreste. Bogotá: SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO., 2015.



DÍAZ, E., y ZAMORA, L. Estrategia de gestión ambiental para el manejo del recurso hídrico en el ámbito local Caso municipio de Guasca - Cundinamarca (Maestría en Gestión Ambiental). Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2011. 177 p.

EAAB. Estudio de factibilidad para el aprovechamiento adicional de la Cuenca alta del río Tunjuelo. Bogotá: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá., 1989.

EMPRESA COLOMBIANA de PERFORACIÓN LTDA. Prospección de aguas subterráneas Vereda Las Flores en el municipio de Guasca - Cundinamarca. Bogotá: CORPOGUAVIO., 2010.

INGEOMINAS. (1992). Mapa hidrogeológico - Sector Sisga, Tibitó y Embalse de Tominé. Bogotá: División de Hidrogeología.

ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. ISRM Suggested methods. Ed. E.T. Brown. Pergamon Press.

JULIVERT, M. Los rasgos tectónicos de la región de la Sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de las estructuras. En: Boletín de Geología. 1963. vol.13, no. 1.

LOBO - GUERRERO, A. Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana. En: VII Jornada Geotécnica de la Ingeniería Colombiana.1992. no. 22.

McClay, K.The Mapping of Geological Structures. London: John Willey and Sons. 1987.

MONTOYA, D., y REYES, G. Geología de la plancha 209 Zipaquirá. Bogotá: INGEOMINAS., 2003.

MONTOYA, D., y REYES, G. Geología de la Sabana de Bogotá. Bogotá: INGEOMINAS., 2005.

PADILLA, J. Mapa Geológico para Ingeniería de la Sabana de Bogotá - Plancha 228-I-B. Bogotá: INGEOMINAS., 2004a.

PADILLA, J. Mapa Geológico para Ingeniería de la Sabana de Bogotá - Plancha 228-I-C. Bogotá: INGEOMINAS., 2004b.

PADILLA, J. Mapa Geológico para Ingeniería de la Sabana de Bogotá - Plancha 228-I-D. Bogotá: INGEOMINAS., 2004c.

PADILLA, J. Mapa Geológico para Ingeniería de la Sabana de Bogotá - Plancha 228-II-C. Bogotá: INGEOMINAS., 2004d.

PADILLA, J. Mapa Geológico para Ingeniería de la Sabana de Bogotá - Plancha 228-III-B. Bogotá: INGEOMINAS., 2004e.

PEREZ, G. y SALAZAR A. Estratigrafía y *facies* del Grupo Guadalupe. En: Geología Colombiana. 1978. no.10, p. 6-85.

ROSELLO, E. Sistemas Tectónicos Transcurrentes: una Síntesis de sus Condiciones Mecánicas y Aplicaciones Geoeconómicas. En: Asociación Geológica Argentina. 2001. Vol. 5, p. 10-43.

ULLOA , C., CAMACHO, G., y ESCOVAR, R. Cuadrángulo K-12 Guateque Planchas 210 Guateque -229 Gachalá. Bogotá: INGEOMINAS., 1975.