CLASIFICADO

ELABORACIÓN DE ESTUDIOS BÁSICOS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA, A ESCALA 1:5.000 ACORDE CON LOS REQUISITOS DEL DECRETO 1077 DE 2015, PARA 8 NODOS DE EQUIPAMIENTOS RURALES DE LA LOCALIDAD DE SUMAPAZ

Instituto Distrital De Gestión De Riesgos Y Cambio Climático
IDIGER
Diagonal 47 No. 77 B – 09 Interior 11
PBX. (57 1) 4292800
idiger@idiger.gov.co
Bogotá D.C. - Colombia.

Representante de la consultoría: Ing. Mauricio Hernán Camargo
Supervisor: Torres Ing. S.A.S.

ESTUDIO BÁSICO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL NODO DE EQUIPAMIENTOS AURAS

GEODINÁMICA INGENIERÍA S.A

CONTRATO 278 DE 2022

ORIGINAL INFORME FINAL

MAYO DE 2023

Nota Especial: “De acuerdo con el Artículo 20 de la Ley 23 de 1982, modificado por el Artículo 28 de la Ley 1450 de 2011, los Derechos de Autor pertenecen al IDIGER. La solicitud para reproducir este documento parcial o totalmente se debe dirigir por escrito al director del IDIGER.

HOJA DE CONTROL

ENTIDAD	RESPONSABLE	EJEMPLARES
IDIGER	SUPERVISOR	
INTERVENTORÍA	DIRECTOR	

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

VERSIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
Entrega 1	Entrega 1	30 diciembre 2022	Se realiza entrega
Entrega 2	Entrega 2	27 enero 2023	Se realiza entrega
Entrega 3 - 1	Entrega (3 nodos)	6 de marzo 2023	Se realiza entrega de los 3 nodos acordados.
Entrega 3 - 2	Entrega (5 nodos)	5 de abril 2023	Se realiza entrega de los 5 nodos faltantes.
Entrega 4	Entrega 4 (Ensayos de laboratorio, modelo geológico geotécnico)	18 de abril 2023	Se realiza entrega
Entrega 5	Entrega 5 (Entrega final)	15 de mayo 2023	Se realiza entrega
Entrega Final	Entrega Final	27 de mayo 2023	Se realiza entrega

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN DE CONSULTORÍA

Elaborado por (Ingeniera de apoyo):	Ing. Emma Juliana Jiménez Lombana.
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Elaborado por (Especialista en Geotecnia):	Ing. Diego Mauricio Camargo Acosta.
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Aprobado por (Director de Consultoría):	Ing. Mauricio Hernán Camargo Chávez
Firma:	

Fecha:	Mayo 2023
Elaborado por (Especialista en Geología)	Ing. Luis Guillermo Córdoba
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN DE INTERVENTORÍA

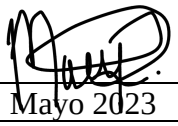
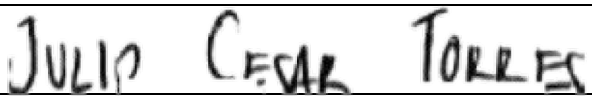
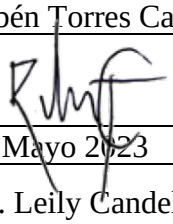
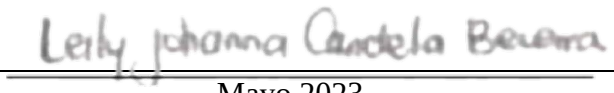
Aprobado por (Ingeniero De Apoyo)	Ing. María Paula Aparicio
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Aprobado por (Especialista en Geotecnia):	Ing. Julio Cesar Torres Camargo
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Director Interventoría	José Rubén Torres Camargo
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Aprobado por (Especialista en Geología):	Ing. Leily Candela
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 15
2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS 16
3 VERIFICACIÓN DEL POLIGONO 17
4 METODOLOGÍA EMPLEADA Y PLAN DE TRABAJO 18
4.1 METODOLOGIA 18
5 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA 22
5.1 GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ: 22
5.1.1 GEOMORFOLOGÍA 22
5.2 CUENCA RIO BLANCO 24
5.2.1 Suelos 25
5.2.2 Pendientes Localidad Sumapaz- Cuenca río Blanco 26
5.2.3 Clima 26
5.3 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO LAS AURAS: 27
5.3.1 Amenaza 27
5.3.2 Pendientes Polígono Las Auras 28
5.3.3 Precipitaciones 29
5.3.4 Hidrogeología 30
5.3.5 Estudios previos 32
5.3.6 Información Secundaria 43
6 GEOLOGÍA 53
6.1 ESTRATIGRAFÍA 53
6.2 UNIDADES GEOLÓGICAS DE SUPERFICIE 54
6.2.1 Roca blanda: (Rb6): 56
6.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 56
6.4 GEOLOGÍA LOCAL 58
6.4.1 Roca blanda (Rb): 59
6.4.2 Suelo transportado glaciar (Stg) 59
6.4.3 Suelo transportado coluvión (Stc) 59
7 GEOMORFOLOGÍA 61

7.1 ELEMENTOS DE ORIGEN GLACIAR 61
7.1.1 Ladera ondulada glaciar (Glo) 61
7.2 ELEMENTO DE ORIGEN DENUDATIVO 61
7.2.1 Depósito coluvial (Dco) 62
7.3 ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS: 63
8 PROCESOS MORFODINÁMICOS 64
9 SISMOLOGÍA 66
10 COBERTURA Y USOS DEL SUELO 67
10.1 COBERTURA DE LA TIERRA. 67
10.2 USO ACTUAL DEL SUELO: 74
10.3 RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO: 76
11 HIDROLOGIA Y EVALUACION DEL DRENAJE SUPERFICIAL 78
11.1 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA 78
11.2 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA 79
11.3 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO 79
11.4 PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES. 79
11.5 NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN 80
11.6 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS. 81
11.7 ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF. 82
11.8 IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA 86
11.9 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES: 87
11.10 CAUDALES DE DISEÑO 100
11.11 EVALUACIÓN HIDRÁULICA 106
11.12 EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN 108
11.13 BALANCE HÍDRICO 110
12 INVESTIGACIÓN GEOTECNICA 112
12.1 PROGRAMA DE EXPLORACIÓN 112
12.1.1 ANTECEDENTES 112

12.2 DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO 113
12.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 117
12.3.1 Perfiles de campo: 119
12.3.2 Resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT) 124
12.4 ENSAYOS DE LABORATORIO 132
12.4.1 HUMEDAD NATURAL 133
12.4.2 LIMITES DE ATTERBERG 134
12.4.3 GRANULOMETRÍA 135
12.4.4 PESO UNITARIO 136
12.4.5 GRAVEDAD ESPECIFICA 137
12.4.6 CORTE DIRECTO 138
12.4.7 HIDROMETRIAS: 139
12.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DETALLADO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS: 144
12.5.1 ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN: 144
12.5.2 Suelo transportado coluvión (Stc) 145
12.5.3 Angulo de fricción (**ϕ**): 147
12.5.4 Cohesión (c´): 147
12.5.5 PESO UNITARIO: 148
12.5.6 Suelo transportado glaciar (Stg) 149
12.5.7 Sondeo 1: 149
12.5.8 Angulo de fricción (**ϕ**): 152
12.5.9 Cohesión (c´): 153
12.5.10 PESO UNITARIO: 154
12.6 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO 156
12.6.1 Roca blanda (Rb): 156
12.6.2 Suelo transportado glaciar (Stg) 156
12.6.3 Suelo transportado coluvión (Stc) 156
12.7 NIVEL FREÁTICO 159
12.7.1 NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO 159

12.7.2 ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO: 159
12.8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 164
12.8.1 TALUD INFINITO 164
12.9 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA: 168
12.9.1 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 170
12.9.2 CONDICIÓN ACTUAL: 171
12.9.3 CONDICIÓN FUTURA: 172
12.10 ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA: 173
12.10.1 AMENAZA ACTUAL: 174
12.10.2 AMENAZA FUTURA: 175
12.11 DISTANCIA DE VIAJE: 175
13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 177
14 BIBLIOGRAFÍA 181
15 ANEXO 184

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Localización y área nodo Las Auras. 16
Figura 2 Verificación del polígono 17
Figura 3. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000 18
Figura 4. Localización área Sumapaz. 24
Figura 5. Ubicación del Nodo Las Auras. 25
Figura 6. Pendientes de la localidad de Sumapaz- Cuenca Rio Blanco. 26
Figura 7. Clima localidad Sumapaz. 27
Figura 8. Amenaza del polígono Las Auras. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 28
Figura 9. Niveles de detalle 29
Figura 10. Pendientes del polígono Las Auras. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 29
Figura 11. Precipitaciones del polígono Las Auras. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 30
Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Auras 32
Figura 13. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Auras 33
Figura 14. Estado actual de la vivienda de los profesores 35
Figura 15. Estado actual de la vivienda de los profesores 36
Figura 16. Localización del predio evaluado 38
Figura 17.Pendientes del polígono evaluado 39
Figura 18.Esquema en planta y perspectiva del movimiento en masa identificado 40
Figura 19. Ubicación del predio evaluado en la Vereda las Auras, localidad de Sumapaz . 42
Figura 20. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM 45
Figura 21. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat 46
Figura 22. Prestación de Servicios ASOUAN 47
Figura 23. Traslape con determinantes ambientales y elementos de la Estructura 48
Figura 24. Traslape con determinantes ambientales y elementos de la Estructura 49
Figura 25. Polígono Auras 50
Figura 26. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Auras. 51
Figura 27. Viviendas localizadas para el polígono Las Auras 52
Figura 28. Mapa geológico regional modificado plancha 265 Icononzo, INGEOMINAS 1999. 54
Figura 29. Mapa Unidades Geológicas Superficiales, modificado FOPAE-UNAL 2013. .. 55
Figura 30. Geología estructural Auras, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.... 57
Figura 31. Características presentadas en el polígono Auras 58
Figura 32. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Auras. Escala 1:5.000 60
Figura 33. Elementos Geomorfológicos polígono Las Auras. Escala 1:5.000. 62

Figura 34. Procesos de remoción en masa 64
Figura 35. Afectaciones colegio Jaime Garzón 65
Figura 36. Obras de estabilización 65
Figura 37. Sismología del polígono Auras. Escala Base cartográfica 1:25.000, Escala de dibujo: 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 66
Figura 38. Coberturas Nodo Auras 72
Figura 39. Tipo de uso del suelo nodo Auras 76
Figura 40. Localización Estaciones Nodo 6 - Auras 78
Figura 41. Distribución Mensual de Precipitación Estación PG Nazareth 80
Figura 42. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión 84
Figura 43. Curvas IDF Estación PG Nazareth. 85
Figura 44. Descripción Red de Drenaje Nodo 6 - Auras 87
Figura 45. Alcantarillas existentes en el nodo las Auras 88
Figura 46. Áreas de Drenaje Obras Existentes 102
Figura 47. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow 104
Figura 48. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas 111
Figura 49. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Auras 112
Figura 50- Localización de perforaciones ejecutadas 118
Figura 51. Muestras sondeo #1 120
Figura 52. Muestras sondeo #2 121
Figura 53. Muestras sondeo # 3. 122
Figura 54. Muestras apique # 1 123
Figura 55. Muestra apique # 2 123
Figura 56. Muestras apique # 3 124
Figura 57. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT 125
Figura 58. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT 126
Figura 59. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1 128
Figura 60. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2 129
Figura 61. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-3 130
Figura 62. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1 131
Figura 63. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2 131
Figura 64. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-3 132
Figura 65. Porcentaje de humedad Vs profundidad 133
Figura 66. % Carta de plasticidad de Casagrande 135
Figura 67. Distribución granulométrica Vs profundidad 136
Figura 68. Peso unitario Vs profundidad 137
Figura 69. Gravedad especifica Vs profundidad 138

Figura 70. % Curva Hidrometría S1 (M8)..... 140
Figura 71. % Curva Hidrometría S1 (M8)..... 141
Figura 72. % Tabla resumen de resultados..... 143
Figura 73. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Auras. Escala 1:5.000. 157
Figura 74. Clasificación de los suelos 160
Figura 75. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo 160
Figura 76. Planta y perfil Angulo $\boldsymbol{\beta}$ 166
Figura 77. Método del Talud Infinito 167
Figura 78. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento 170

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo 20
Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica 31
Tabla 3. Estado y diagnóstico de la malla vial e inventario de infraestructura 43
Tabla 4. Reserva de CIV para Auras 44
Tabla 5. Elementos viales que se encuentran dentro del nodo 44
Tabla 6.Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales 51
Tabla 7. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales 52
Tabla 8 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Auras 63
Tabla 9 Coberturas de la tierra Nodo Auras 69
Tabla 10. Uso del suelo Nodo Auras 75
Tabla 11. Estaciones empleadas Nodo 6 – Auras 78
Tabla 12. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PG Nazareth. 80
Tabla 13. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PG Nazareth. 80
Tabla 14. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PG Nazareth. 81
Tabla 15. Valores Parámetros de Regresión en Colombia 83
Tabla 16. Relaciones IDF – Estación PG Nazareth 85
Tabla 17. Elementos de equipamiento de alcantarilla 1 89
Tabla 18. Elementos de equipamiento de alcantarilla 2 90
Tabla 19. Elementos de equipamiento del Box culvert 92
Tabla 20. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 4 94
Tabla 21. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 5 96
Tabla 22. Elementos de equipamiento alcantarilla 6. 97
Tabla 23. Elementos de equipamiento alcantarilla 7. 99
Tabla 24. Período de retorno según tipo de obra. 100
Tabla 25. Coberturas de la tierra Nodo Auras 103
Tabla 26. Evaluación de caudales 106
Tabla 27. Evaluación Obras de Drenaje 108
Tabla 28. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo 109
Tabla 29. Resultados de pruebas de permeabilidad 109
Tabla 30. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo 110
Tabla 31 – Exploración del Subsuelo 117
Tabla 32.Resultados de ϕ y c’ S-1 127
Tabla 33. Resultados de ϕ y c’ S-2 128
Tabla 34. Resultados de ϕ y c’ S-3 129

Tabla 35. Parámetros estimados para cada sondeo 144
Tabla 36. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio 145
Tabla 37. Análisis estadístico (Ángulo de fricción) 147
Tabla 38. Análisis estadístico (cohesión) 147
Tabla 39. Análisis estadístico de parámetros 148
Tabla 40. Análisis estadístico (Peso Unitario) 148
Tabla 41. Parámetros Geotécnicos 149
Tabla 42. Análisis estadístico (Ángulo de fricción) 152
Tabla 43. Análisis estadístico (cohesión) 153
Tabla 44. Análisis estadístico de parámetros 153
Tabla 45. Análisis estadístico (Peso Unitario) 154
Tabla 46. Parámetros Geotécnicos 155
Tabla 47 Características zonas geotécnicas 158
Tabla 48 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT 158
Tabla 49. Tabla resumen de nivel freático 159
Tabla 50. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años 163

TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Remoción en Masa encontrada fuera del nodo de estudio. 17
Fotografía 2 Derecha pastos limpios (A), izquierda arbustal abierto (B) 72
Fotografía 3 Pastos limpios (A) y red vial (B) 72
Fotografía 4 Vivienda rural dispersa 73
Fotografía 5 Áreas culturales (escuela o colegio) 73
Fotografía 6 Obras hidráulicas. 73
Fotografía 7 adelante pastos limpios, atrás vegetación secundaria. 73
Fotografía 8. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 40". 89
Fotografía 9. Se evidencia que la estructura cuenta con muro de apoyo, cabezal y solado. 89
Fotografía 10. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural 90
Fotografía 11. Se evidencia muro de acompañamiento y muro cabezal y Guarda ruedas 91
Fotografía 12. Se tiene una tubería en concreto con un diámetro de 36" 91
Fotografía 13. Esta alcantarilla cuenta con aletas de salida, solado y muro cabezal 92
Fotografía 14. Se evidencia descole, pero se resalta que este no es eficiente ya que se vierten más adelante las aguas recogidas por esta alcantarilla al terreno natural. 92
Fotografía 15. se evidencia que la estructura no presenta agrietamiento ni daños estructurales 93
Fotografía 16. se evidencia la presencia de guarda ruedas con una altura de 45 cm aproximadamente 93
Fotografía 17. No existe presencia de aletas ni descole para el box culvert 93
Fotografía 18. Se evidencia muro de acompañamiento y muro cabezal y Guardarruedas 95
Fotografía 19. Se tiene una tubería en concreto con un diámetro de 36" 95
Fotografía 20. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural 95
Fotografía 21. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 40", se evidencia que esta esta colmatada por falta de mantenimiento 96
Fotografía 22. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural 96
Fotografía 23. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 100" 98
Fotografía 24. Encole de alcantarillado 98
Fotografía 25. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural 98
Fotografía 26. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 36", así mismo esta se encuentra equipada con una pantalla deflectora 100
Fotografía 27. Se presenta descole, pero se resalta que en este no se encuentra en buenas condiciones por la falta de mantenimiento. 100
Fotografía 28 Inclinación presentada en los cercos en el inicio del polígono. 114

Fotografía 29 Insuficiencia en el descole de las alcantarillas. 114
Fotografía 30 Deslizamiento presentado cerca de vivienda. 115
Fotografía 31 Problema de agrietamiento sobre la vivienda que se encuentra abandonada. 115
Fotografía 32 Inclinación presentada en las especies arbóreas encontradas dentro del polígono de estudio. 115
Fotografía 33 Problema de agrietamiento encontrada sobre la estructura de la escuela. ... 115
Fotografía 34 Problema de agrietamiento encontrada sobre la estructura de la escuela. ... 116
Fotografía 35 Problema de agrietamiento encontrada sobre la estructura de la escuela. ... 116
Fotografía 36 Ubicación de drenaje superficial que presenta socavación. 116
Fotografía 37 Agrietamiento encontrado sobre las estructuras del colegio. 116
Fotografía 38 Obra hidráulica aguas arriba que no presenta problemas. 117
Fotografía 39 Obra hidráulica aguas arriba que presenta problemas. 117

1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento se muestra la consolidación de la información suministrada por el IDIGER relacionada con los antecedentes de eventos y estudios realizados en la zona objeto de intervención.

Así mismo se muestra el plan de exploración del subsuelo para el Nodo 6 denominado las Auras, el cual está justificado a partir de la visita de reconocimiento realizada el día 24 de enero de 2023, la revisión de información previa, y el anexo técnico de los términos de referencia. La zona objeto de intervención del presente informe se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 6,213272 Ha.

Teniendo en cuenta la inspección visual de las condiciones actuales del sector se plantea el programa de exploración del subsuelo. Las actividades descritas se desarrollan en el marco del contrato de consultoría No. 278 de 2022 cuyo objeto es la "Elaboración De Estudios Básicos De Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa, A Escala 1:5.000 Acorde Con Los Requisitos Del Decreto 1077 De 2015, Para 8 Nodos De Equipamientos Rurales De La Localidad De Sumapaz."

Para el análisis como primera actividad de realizó una caracterización del terreno, basada en la cartografía disponible. A partir de la información hidrológica disponible en la zona se determinaron las condiciones pluviométricas generales en el sitio objeto de estudio y con la cartografía disponible, se pudieron identificar los cuerpos de agua existentes en el sitio. Así mismo se obtuvieron las Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia que permiten obtener patrones de conductas pluviométricas que registran sobre un área o región específica.

2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS

En el presente informe, se muestran las condiciones técnicas específicas para el desarrollo de los estudios básicos de zonificación de Amenaza por movimiento en masa en el Nodo Auras, este encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 6,213272 Ha.

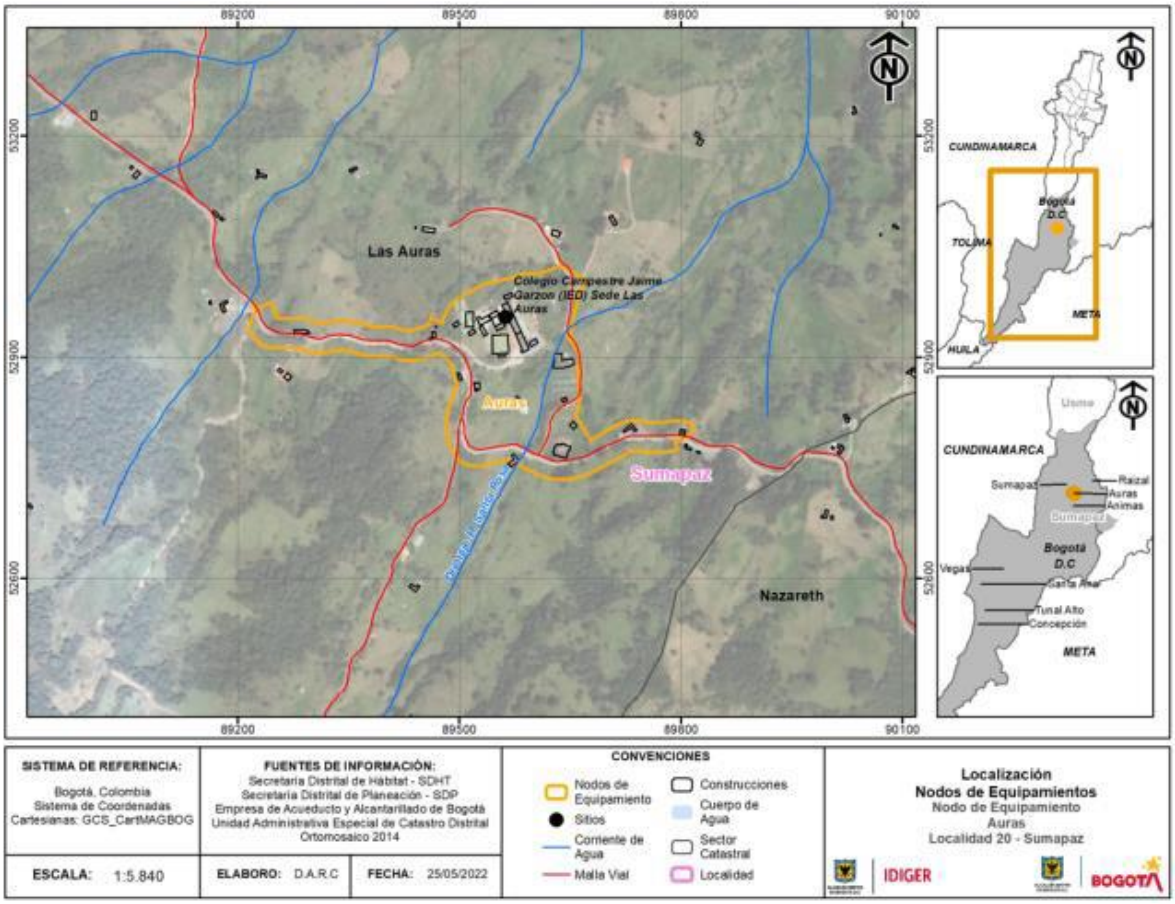


Figura 1. Localización y área nodo Las Auras.
Fuente: (IDIGER, 2017)

3 VERIFICACIÓN DEL POLIGONO

Para el polígono Auras, se propone la adición de un área directa de 0.6 Ha, considerando la problemática observada en la visita de campo realizada el 24 de enero, donde se evidencio que en el costado Sur oriental del polígono se presenta un fenómeno de remoción en masa activo que ha venido afectando el polígono de estudio.

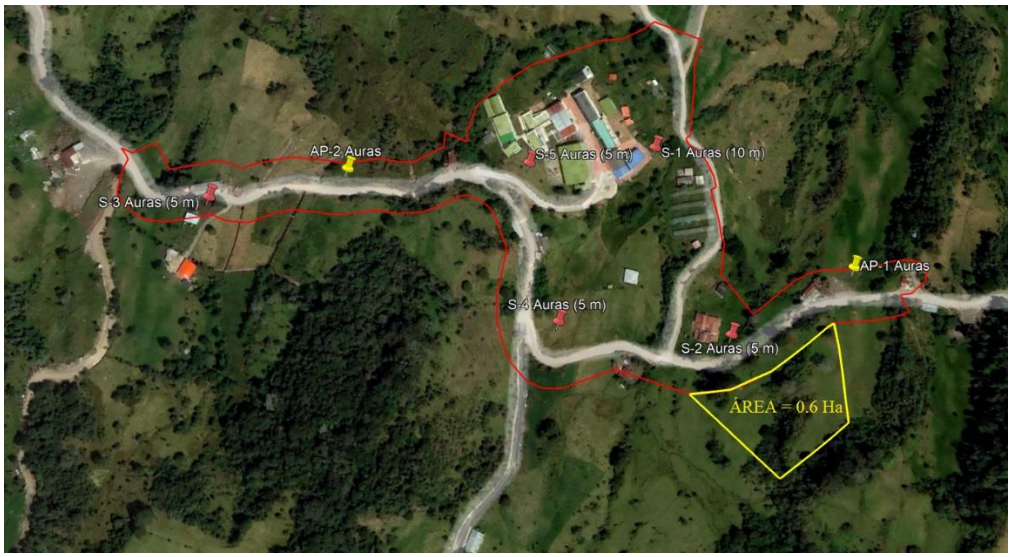


Figura 2 Verificación del polígono
Fuente: IDIGER

En la siguiente fotografía, es posible observar la problemática del deslizamiento encontrada en la zona Sur Oriental, donde dicha área ya se encuentra fuera del polígono de estudio, por lo cual se propone la adición en este nodo de estudio.



Fotografía 1. Remoción en Masa encontrada fuera del nodo de estudio.

4 METODOLOGÍA EMPLEADA Y PLAN DE TRABAJO

4.1 METODOLOGIA

Para la elaboración de zonificación de amenaza por movimientos en masa, se toma como base la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano, a partir del cual se establece que los estudios realizados para escalas 1:5000 serán desarrollados por medio de análisis determinísticos; para esto se utiliza información secundaria existente (cartografía) con el fin de generar, en primera instancia, mapas temáticos para la zona de estudio relacionados a geología, geomorfología, coberturas y uso del suelo.

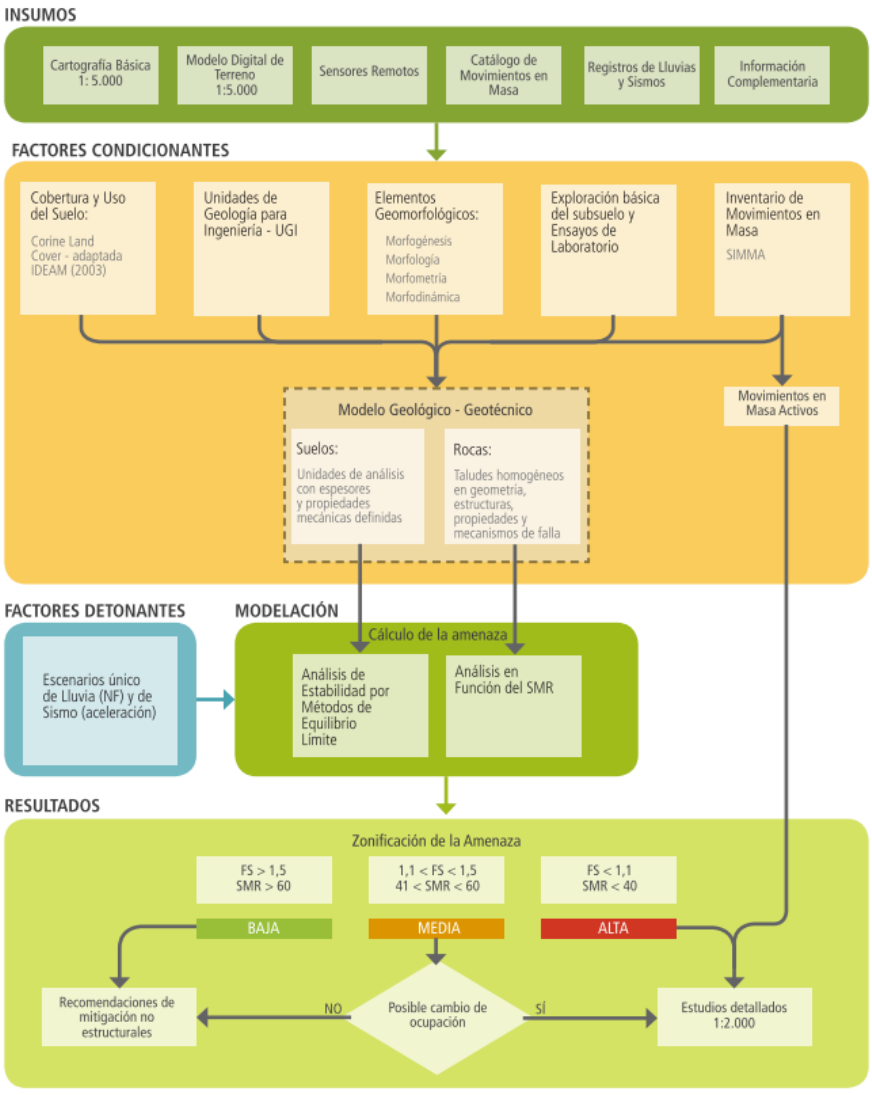


Figura 3. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000
Fuente: (SERVICIO GEOLOGICO, 2016)

Así mismo, se deben tener en cuenta los factores condicionantes tales como la UGI, elementos geomorfológicos, la exploración básica del subsuelo, información secundaria relacionada a eventos ocurridos con movimientos en masa en las áreas de estudio y coberturas y usos del suelo. Para el caso del primer ítem (UGI), se debe tener información geológica con la distribución, propiedades físicas y mecánicas de las rocas, suelos, nivel freático, características del relieve, los cuales son importantes en el desarrollo del estudio, además que con dicha información es posible diferenciar materiales aflorantes, definir espesores de suelo y características estructurales y caracterizar los materiales de acuerdo las propiedades mecánicas.

En el caso de la geomorfología, y teniendo como referencia la escala requerida para el estudio es necesario la generación geomorfológica detallada, enfocándose en la identificación y caracterización de geoformas, a partir de información relacionada con morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica; esto debe ir acompañado de actividades tales como la recopilación de información y análisis de la misma, así como el respectivo reconocimiento en campo de la zona de estudio.

Respecto al histórico de eventos de movimientos en masa en la zona de estudio, se hace el registro de las condiciones actuales del lugar a través del levantamiento en campo y con fotografías que evidencien el estado de las mismas, así como el uso de sensores remotos que permitan complementar esta información, la cual irá como complemento de la geomorfología. Adicionalmente, con la exploración básica del subsuelo, con la cual se busca realizar la caracterización de las unidades del modelo geológico-geotécnico para el polígono de estudio, se proyectan apiques de 2 metros de profundidad y sondeos de 5 metros. Estas muestras deberán tener sus respectivos ensayos de laboratorio, según sea el caso.

Finalmente, la información asociada a usos y coberturas de suelo está proyectada para desarrollarse conforme a la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia por parte del IDEAM; allí se basa en la determinación del número de curva (CN) con el cual se busca encontrar valores de nivel freático y láminas de agua, si se tiene en cuenta la lluvia como un factor importante causante de los movimientos en masa; los factores a evaluar principalmente son de tipo antrópico donde se evidencien cambios en el uso del suelo, cortes de ladera y explanaciones. Así mismo, es posible utilizar información cartográfica y/o secundaria que esté actualizada e incluida en el POT y Pomca de la zona de estudio, incluso en caso de que cumpla también con la escala de trabajo (1:5000) esta información puede ser usada como mapa temático definitivo. De igual manera, se debe tener en cuenta que es de gran importancia la actividad preliminar de reconocimiento en campo y tener una definición inicial de las coberturas en terreno, de acuerdo a la metodología mencionada (Corinne Land Cover), para luego realizar el proceso de digitalización de polígonos de coberturas, los cuales

tendrán los respectivos atributos de identificación y definición. Luego se debe realizar la respectiva caracterización con el fin de poder diferenciar y dar una descripción cualitativa del tipo, densidad, tamaño, entre otros.

Una vez definida la información anterior es posible establecer el modelo geológico-geotécnico, donde se deben identificar unidades geotécnicamente homogéneas y con esto, plantear para cada caso el modelo conceptual, mediante el cual se establezcan las características geológicas y geomorfológicas, así como los parámetros geotécnicos para cálculo de estabilidad en la zona de estudio de manera determinística. En primera instancia, las unidades geotécnicas homogéneas se determinan haciendo el cruce de información de los mapas UGI y geomorfología, los cuales han sido ajustados con la información de la exploración y ensayos de laboratorio, clasificando también las UGI como se muestra a continuación:

Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo

ESPESOR DE SUELO (m)	DESCRIPCIÓN
>1,5	Muy Profundo
1,0-1,5	Profundo
0,5-1,0	Moderadamente Profundo
0,25-0,5	Superficial
<0,25	Muy Superficial

Con la clasificación aplicada en la zona de estudio, se define una malla con herramientas SIG donde se establezcan los valores de estratificación, profundidad y nivel de agua para las columnas de suelo y/o roca. Cada unidad geotécnica homogénea definida tendrá su respectivo modelo geológico-geotécnico a partir de la información geológica y geomorfológica, donde se definen:

- Pendiente del terreno
- Espesor del suelo y su variación
- Lito estratigrafía hasta el sustrato rocoso
- Posición del nivel freático

Con los insumos definidos en la página 35 de la guía, se delimitan las zonas homogéneas de análisis estableciendo para cada una de ellas su UGI, así como la influencia que tiene en cada una de estas los factores detonantes (Lluvia y sismo). Para el factor detonante lluvia se debe analizar la lluvia para un periodo de retorno de 20 años, se recomienda emplear la ecuación que define el Pf20 (página 52), así mismo para el factor sismo se debe determinar el factor k (coeficiente de aceleración para un periodo de retorno de 100 años) sin embargo esto se analizara a la luz de lo solicitado por el anexo técnico.

Posteriormente se debe definir si la unidad de análisis es una unidad de suelo o roca, en el caso de los suelos se aplicará la ecuación de talud infinito, referenciada en la página 57 de la guía metodológica del servicio geológico, la cual se puede aplicar empleando la función Raster Calculator del aplicativo ArcMap, para lo cual se deben rasterizar previamente la totalidad de variables que se encuentran dentro de la ecuación, los cuales se presentan a continuación:

$$FS = \frac{(c'b \sec \alpha + (ybh \cos \alpha - kybh \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{ybh \sin \alpha + kybh \cos \alpha} \quad (3\text{-}9)$$

Donde

c' y Φ' son los parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en término de esfuerzos efectivos.

y es el peso unitario del suelo.

b es el ancho de la tajada (ancho de la celda).

h es la altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.

y_w es el peso unitario del agua.

h_w es la altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente a una lluvia de 20 años de periodo de retorno.

α es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

k es el coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años.

Los parámetros c' y tan (φ') deben ser los valores medios obtenidos de ensayos de laboratorio para la unidad geotécnica definida. La profundidad de la superficie de falla se toma como la profundidad del suelo o la profundidad hasta el contacto entre dos unidades de diferente comportamiento mecánico. El ángulo α se puede asumir como el ángulo de la superficie del terreno en la celda. Seguidamente se ilustran los parámetros antes indicados (figura 3-4).

Ahora bien, para la clasificación de amenaza se define a partir de en el factor de seguridad en el caso de los suelos, de esa forma se establecen tres niveles de amenaza ante deslizamiento, los cuales son alto, medio y bajo. Finalmente, con los valores de factor de seguridad y los criterios de clasificación de la tabla 3-11 de la página 60 de la guía del SGC, se tiene la representación del nivel de amenaza en la zona de estudio, donde se incluye la respectiva leyenda y/o convención con las características físicas de cada unidad según la categoría establecida, los procesos predominantes y los daños que pudieran ocasionar.

En caso de no poder aplicar algún aspecto de la metodología anteriormente descrita se concertará con interventoría e IDIGER el aspecto particular.

En caso de requerir la metodología a aplicar en las unidades de roca Para las unidades de roca se empleara la metodología correspondiente al SMR

5 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

5.1 GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ:

La localidad de Sumapaz, se encuentra ubicada sobre la cordillera Oriental, entre la altitud de 2400 y 4100 msnm. Esta localidad representa el 70% del Territorio de la ciudad de Bogotá, dicha localidad limita al Norte con el Alto de los Tunjos, Boca Grande y las localidades de Usme y Ciudad Bolívar. Al sur limita con el Alto de las Oseras y con el Departamento del Huila, al oriente con el Alto de las Oseras y con el Departamento del Meta. Al Occidente con los límites del departamento del Huila y el Alto de Los Juncos.

De acuerdo con el plan local de gestión del riesgo y cambio climático CLGR-CC para la localidad de Sumapaz, publicado en la base de datos del IDIGER, se destaca que Actualmente la Localidad se divide en dos UPR's (Unidades de Planeación Rural) la UPR Rio Blanco y la UPR Rio Sumapaz, tiene cinco centros poblados con vivienda consolidada que son: Betania, Nazareth, San Juan, La Unión y Nueva Granada y pequeñas agrupaciones de viviendas ubicadas en las veredas de Santa Ana, Tunal Bajo, Tunal Alto y la Concepción, cuenta con zonas de uso como áreas para la producción sostenible, clasificadas así: 5 áreas para la producción sostenible de alta capacidad; 20 áreas para la producción sostenible de alta fragilidad y 6 áreas para la producción sostenible de manejo especial. (POT, 2004).

5.1.1 GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo con el plan local de gestión del riesgo y cambio climático CLGR-CC del año 2019, se describe que "…La Cordillera Oriental ha estado sometida a una intensa erosión que ha afectado durante millones de años sus estructuras mayores. Las glaciaciones del Pleistoceno-Holoceno condujeron al cambio en las condiciones climáticas y ayudaron a configurar las formas actuales del área de estudio. Desde el punto de vista morfogénico, los elementos geomorfológicos encontrados en el área pueden clasificarse en tres categorías mayores: unidades de origen glacial / periglacial, las de origen estructural / denudacional y las de origen fluvial…" (Pág. 10)

5.1.1.1 Unidades de Origen Glaciar – Periglaciar:

En el plan de Gestión del riesgo y cambio climático CLGR-CC del año 2019, se destaca que los principales rasgos que se encuentran sobre la zona, son los valles en U, los circos glaciares (constituyen a las estructuras que se encuentran formando escarpes con paredes que tienen forma casi vertical (Rocas duras) o escalonada (Rocas blandas)), las morrenas (que corresponden a los materiales arrastrados por los glaciares y están formados por rocas angulosas) y los depósitos fluvioglaciares (que se forman debido al descongelamiento de los

glaciares que fueron transportados y acumulados por el acción del agua). En algunos puntos específicos de la localidad, es posible encontrar procesos de intervención antrópica, los cuales generan que las áreas presenten un alto grado de susceptibilidad a la formación de surcos y a la remisión de masas de la zona.

5.1.1.2 Unidades de Origen Fluvial:

En esta unidad, es posible destacar las terrazas bajas, asociadas a ríos y quebradas, las cuales se desarrollan como causa del descongelamiento de volúmenes de agua, Para la zona de estudio, esta unidad se encuentra escaza debido a su topografía.

5.1.1.3 Unidades de origen estructural-denudacional

Para el nodo las Auras, Esta unidad está representada por largas cuchillas, donde es posible encontrar los escarpes, depresiones sobre los núcleos anticlinales y sinclinales erosionados, planchas estructurales, superficies con pendientes fuertes sobre lutitas, entre otros. En la figura 2, se ilustra en color morado la extensión estructural para la localidad de Sumapaz y para el nodo las Auras.

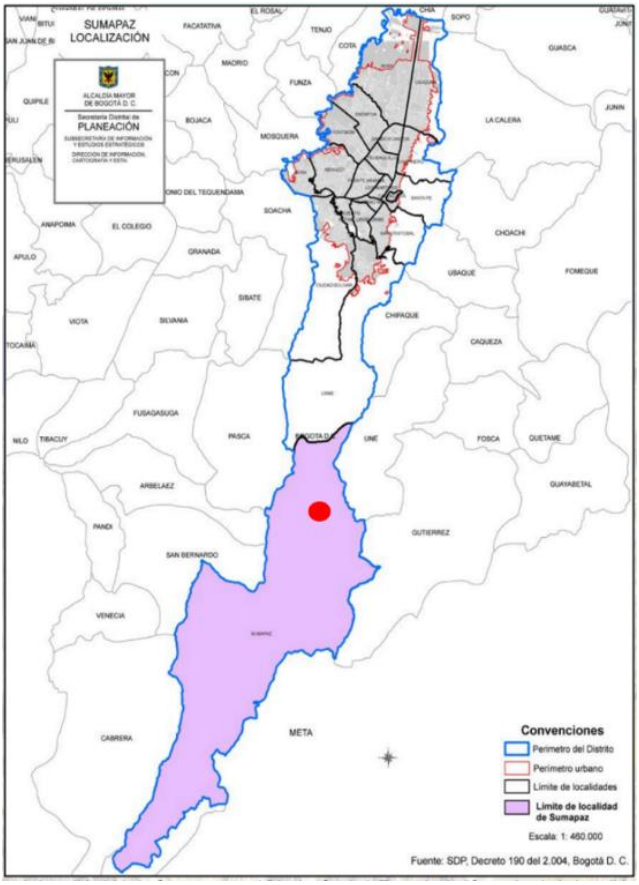


Figura 4. Localización área Sumapaz.
Fuente: (IDIGER, 2017)

De acuerdo con la información suministrada por el IDECA, para el nodo el Raizal la geología encontrada corresponde a Rb6(K2cp), Sfg (Qfg), Sco(Q2C), la descripción de esta geología se puede observar en el numeral 3.2.6 del presente informe. Así mismo la geomorfología para este polígono corresponde a Gafg (Abanicos fluvioglaciares) y Gle (Ladera estructural glaciada), en el numeral 3.2.7 del presente informe se presenta información más amplia para esta geomorfología.

5.2 CUENCA RIO BLANCO

Como primer ítem, es necesario destacar que a lo largo de la localidad Sumapaz, es posible encontrar la cuenca del Rio Sumapaz y la Cuenca de Rio Blanco, donde por medio del plan local de gestión del riesgo y cambio climático CLGR-CC del año 2019, el nodo Las Auras se encuentra ubicado en la cuenca del rio Blanco, tal como se muestra en la siguiente figura,

además, es importante mencionar que para la información secundaria se tiene en cuenta dicha Cuenca para realizar los análisis requeridos en el presente informe.

Para el nodo las Auras existe la presencia de una subcuenca llamada rio Santa Rosa, la cual es posible observarla en el anexo.

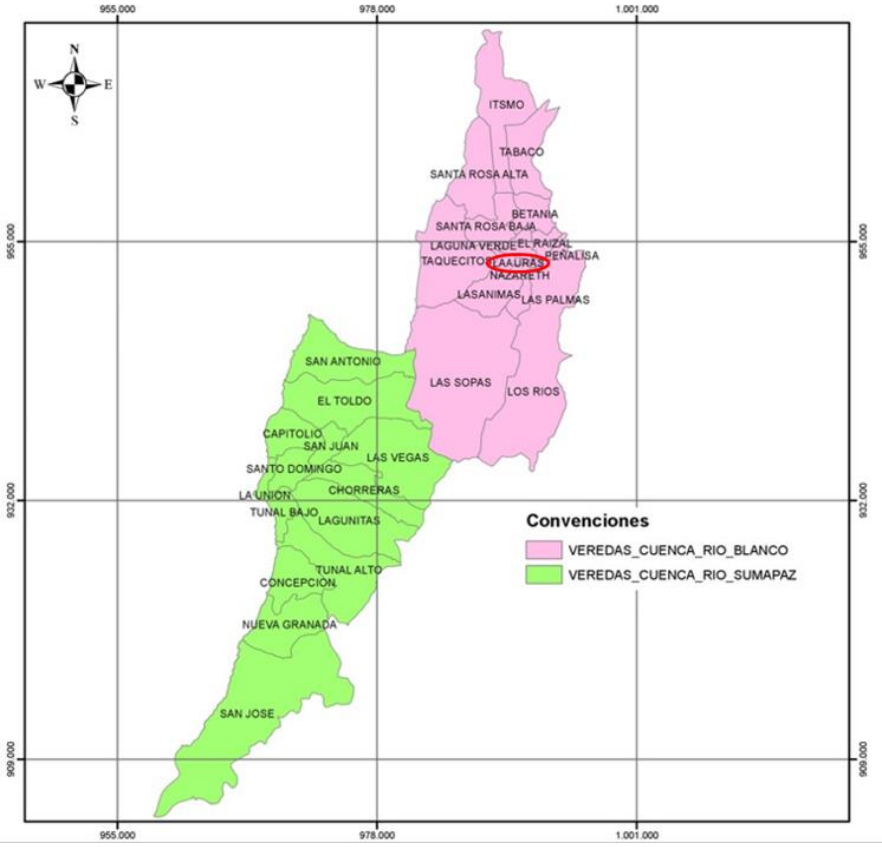


Figura 5. Ubicación del Nodo Las Auras.
Fuente: (IDIGER, 2017)

Tal como se menciona anteriormente, el nodo Las Auras se ubica a lo largo de la Cuenca del Rio Blanco, por lo cual se puede destacar:

5.2.1 Suelos

Para la zona, los suelos en la franja del páramo son profundos a superficiales, bien drenados, con excepción a los existentes en el área con características plano- cóncavas, ya que esta alguna vez fueron pequeñas lagunas de origen glaciar. El sector con suelo escarpado está conformado por suelos del subgrupo Dystrocryepts típicos y hemáticos, también hay presencia de algunos afloramientos rocosos. Las rocas más antiguas presentes en la zona,

corresponden a un conjunto de sales intercalados con areniscas y algunos bancos de caliza, hacia el norte y en la ladera izquierda del rio Santa Rosa se presentan depósitos coluviales arcillosos. El relieve que caracteriza esta zona es de alta montaña, las cuales se encuentran desarrolladas sobre rocas sedimentarias, rocas ígneas y metamórficas. Para la zona se constituyen diferentes formaciones geológicas como lo son:

- Formaciones Chipaque (Kch)
- Depósitos coluviales (Qcl)
- Formación Guaduas (K2p1g)

5.2.2 Pendientes Localidad Sumapaz- Cuenca río Blanco

Para la zona se presentan pendientes que van desde los doce grados de inclinación hasta los cincuenta grados, a continuación, se presenta de manera detallada los tipos de relieve que se presentan.

GRADOS	RELIEVE	ÁREA	PORCENTAJE
0-3	Ligeramente plano	188,56 ha	3,64%
3-7	Ligeramente ondulado	483,62 ha	9,33%
7-15	Moderadamente ondulado	2960,57 ha	57,13%
15-30	Quebrado	895,81 ha	17,29%
30-50	Fuertemente quebrado	16,24 ha	0,31%
50-75	Escarpado	204,44 ha	3,95%
< 75	Muy escarpado	432,71 ha	8,35%

Figura 6. Pendientes de la localidad de Sumapaz- Cuenca Rio Blanco.
Fuente (IDIGER, 2017)

El 57.13% de porcentaje del territorio corresponde a un relieve moderado ondulado y en un 3.64% el terreno es ligeramente plano.

5.2.3 Clima

Como se mencionaba anteriormente, el clima para la zona es frio, las lagunas se encuentran a una temperatura promedio de 4.4 °C, los meses con más lluvia son abril, octubre y noviembre y los de verano son enero y diciembre, de acuerdo con la información del IGAC, la precipitación total anual es 757,7 mm y el promedio mensual multianual es 63,1mm y por último el periodo más seco es de diciembre a marzo con 17.6 mm.

Clima	Precipitación	Temperatura	Rango de Precisión	Rango de Temperatura	Rango de Altura	Area (Ha)	%
Frío Seco	Seco	Frío	1001 - 2000 mm	12° - 18°C	1801-2800 msnm	1538,66	2,00
Muy Frío Seco	Seco	Muy Frío	1001 - 2000 mm	6° - 12°C	2801-3700 msnm	43124,05	56,07
Extremadamente Frío Seco	Seco	Extremadamente Frío	1001 - 2000 mm	1.5° - 6°C	3701-4500 msnm	32243,93	41,93

Figura 7. Clima localidad Sumapaz.
Fuente: (IDIGER, 2017)

5.3 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO LAS AURAS:

5.3.1 Amenaza

Según información suministrada en el mapa de "Amenazas por movimiento en masa para el área urbana y de expansión de Bogotá, escala 1:25.000" por el IDIGER, la amenaza presente sobre el polígono de estudio es intermedia en casi toda su totalidad, pero se presentan sectores con amenaza alta, en la parte oeste y sur del polígono como se muestra en la siguiente figura.

La escala presentada en los planos es una escala de presentación de los mismos, con el fin de que se visualice de manera correcta el polígono de estudio.

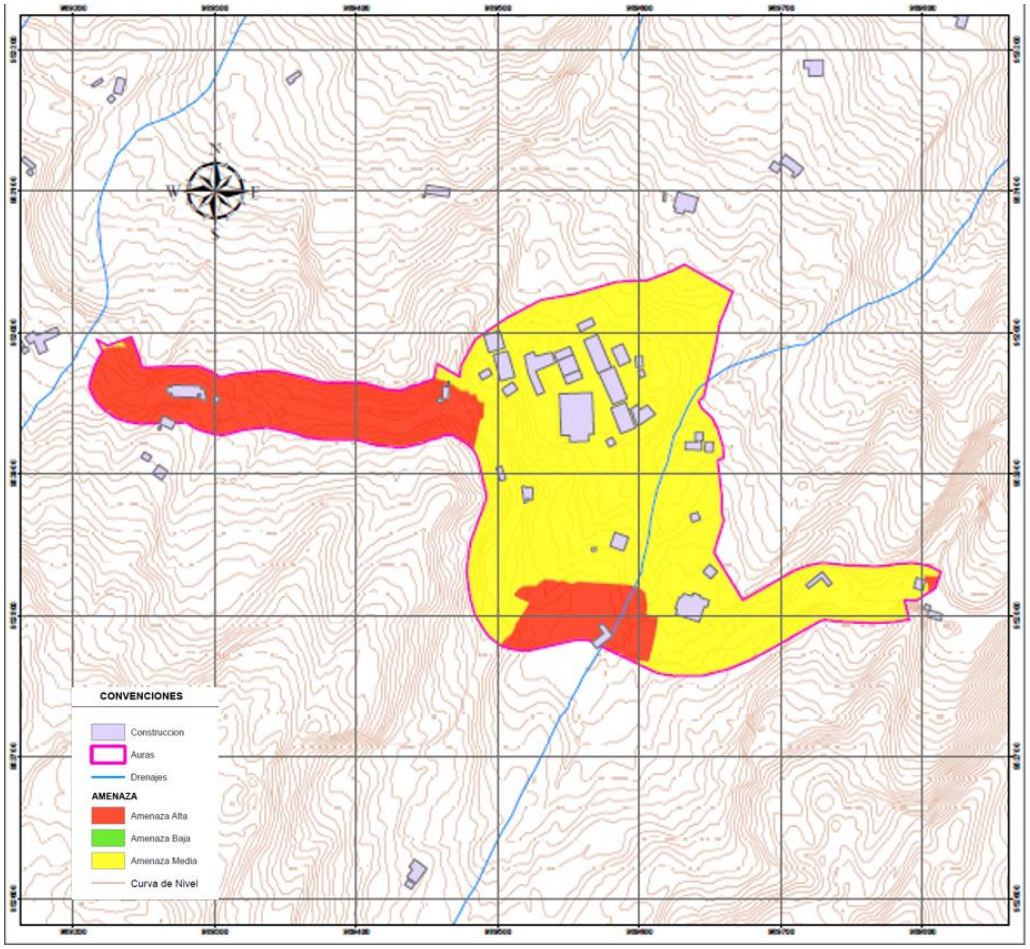


Figura 8. Amenaza del polígono Las Auras. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000
Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos proporcionados por el IDIGER

5.3.2 Pendientes Polígono Las Auras

Las pendientes para el polígono de estudio, de acuerdo con la información Ráster con tamaño de pixel 0.5x0.5 suministrada por el IDIGER, donde de acuerdo con la resolución 471 de 2020 del IGAC el tamaño de pixel es equivalente a una escala de trabajo 1:5.000. Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente las pendientes se encuentran entre el 3 al 50%, tal como se observar en la siguiente figura.

Tabla 2. Productos y nivel de detalle

Denominación de producto	Base de datos cartográfica (vectorial) Escala	Denominación de producto	Ortoimágenes GSD (cm)	Denominación de producto	Modelos digitales de terreno Grilla/Malla (m)
Carto1000	1:1000	Orto10	10	MDT1	1
Carto2000	1: 2000	Orto20	20	MDT2	2
Carto5000	1: 5000	Orto50	50	MDT5	5
Carto10000	1:10000	Orto100	100	MDT10	10
Carto25000	1:25000	Orto250	250	MDT25	25

Figura 9. Niveles de detalle
Fuente: IGAC

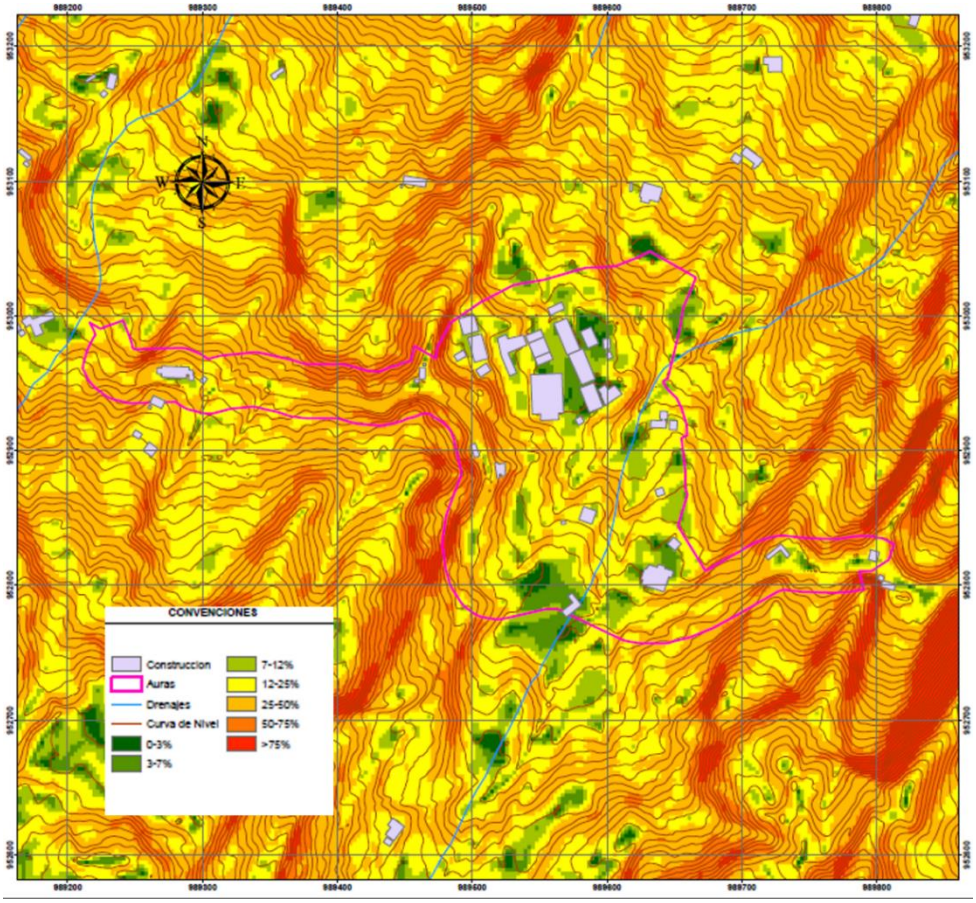


Figura 10. Pendientes del polígono Las Auras. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000
Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos suministrados por el IDIGER

5.3.3 Precipitaciones

Teniendo en cuenta la información suministrada por el IDEAM, en el mapa Coberturas del suelo y Precipitaciones anuales para Colombia, escala 1:100.000, las precipitaciones para el

polígono de estudio Las Auras, se encuentra entre 500 y 1000 mm, estas precipitaciones fueron definidas mediante el uso del SHP de precipitaciones del mapa anteriormente mencionado, ya que para la zona no se encontraron estaciones cercanas impidiendo el uso de estas.

La escala presentada en los planos es una escala de presentación de los mismos, con el fin de que se visualice de manera correcta el polígono de estudio.

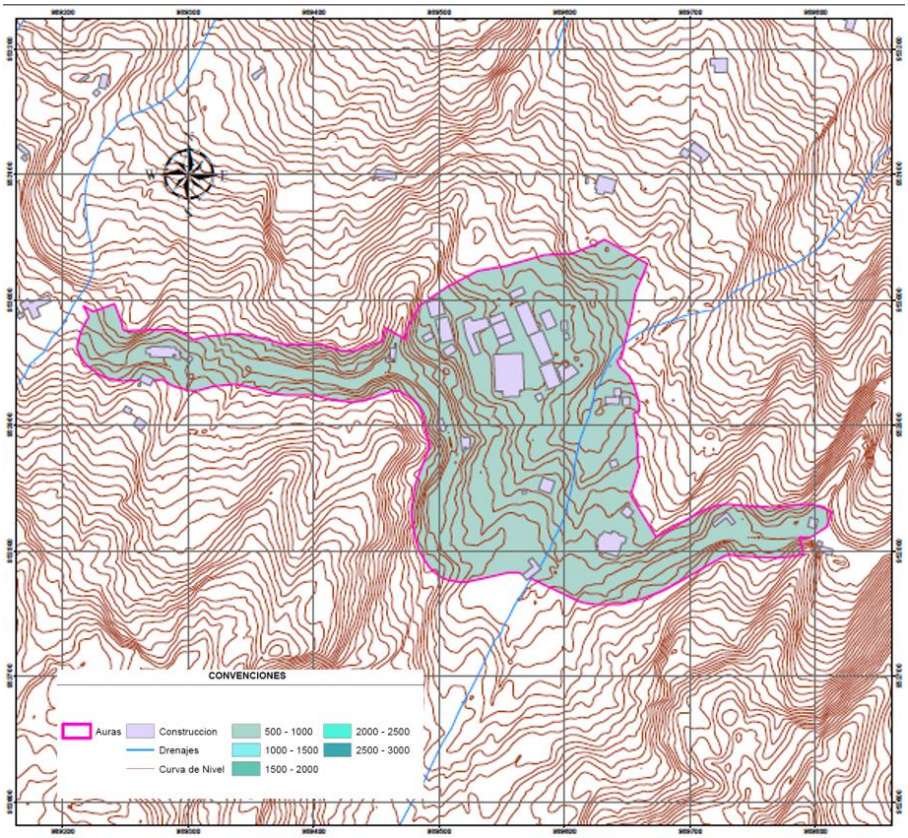


Figura 11. Precipitaciones del polígono Las Auras. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000
Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos suministrados por el IDIGER E IDEAM

5.3.4 Hidrogeología

A partir de la información consultada en diversas fuentes (IDEAM, CAR, SGC, Alcaldía Sumapaz) se hace la respectiva caracterización hidrogeológica para la zona de estudio. En primer lugar, se toma como referencia la zonificación establecida por el IDEAM en el año

2010, basada en las principales cuencas hidrográficas del país; de esta manera, el polígono de estudio está localizado en la cuenca de la cordillera oriental.

Con la identificación de zona hidrogeológica del nodo Raizal, se consultan las características de dicha zona, donde es posible encontrar afloramientos de rocas del Cretáceo y del Terciario, además de depósitos del cuaternario de origen glacial, aluvial y coluvial; las rocas se caracterizan por ser permeables, a excepción de formaciones arcillolita y lodolitas y rocas calcáreas, las cuales a causa de la disolución son elementos importantes en acuíferos. (CAR, 2003)

En términos generales, la zona de estudio presenta las siguientes unidades hidrogeológicas:

- Sedimentos y Rocas con porosidad primaria de interés hidrogeológico están representados por rocas de los Grupos Guadalupe y Guaguaqui, y los niveles de areniscas entre otras formaciones como la formación Fusa. Depósitos de terrazas que ocupan gran extensión de la cuenca y depósitos aluviales en general que conforman acuíferos libres.
- Rocas con porosidad primaria y secundaria de interés hidrogeológico. Asociados a zonas de diversos tipos de roca con afectación tectónica por sistemas de fallas y diaclasas de amplia extensión dentro de la cuenca.

	UNIDAD	LITOLOGÍA	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS
ESTRATIGRAFÍA DEL BLOQUE DE LA SABANA DE BOGOTÁ			
Mesozoico	Formación Une (Kiu)	Areniscas masivas y areniscas deleznables.	Buenas condiciones de permeabilidad dentro de la sabana de Bogotá, conforman unidades de alta importancia hidrogeológica.
	Formación Chipaque (Ksc)	Lodolitas negras con intercalaciones de arcillolitas.	Baja importancia hidrogeológica.
	Gr. Guadalupe (Ksg)	Areniscas masivas y areniscas deleznables.	Buenas condiciones de permeabilidad dentro de la sabana de Bogotá, conforman unidades de alta importancia hidrogeológica.
Terciario	Fm Guaduas (KPgg)	Arcillolitas laminadas a no laminadas, grises claras y abigarradas, con intercalaciones de cuarzoarenitas	Predominio de niveles de arcillositas de baja permeabilidad unidades de baja importancia hidrogeológica.
	Formación Fusa (Pgf)	Sedimentos arcilloarenosos con niveles de limolitas moderadamente fracturadas.	Moderada importancia hidrogeológica.
Cuaternario	Depósitos Aluviales (Qal) Depósitos Fluvioglaciares (Qf)		Moderada a alta importancia hidrogeológica especialmente para los acuíferos libres o in confinados.

Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica
Fuente: (CAR, 2003)

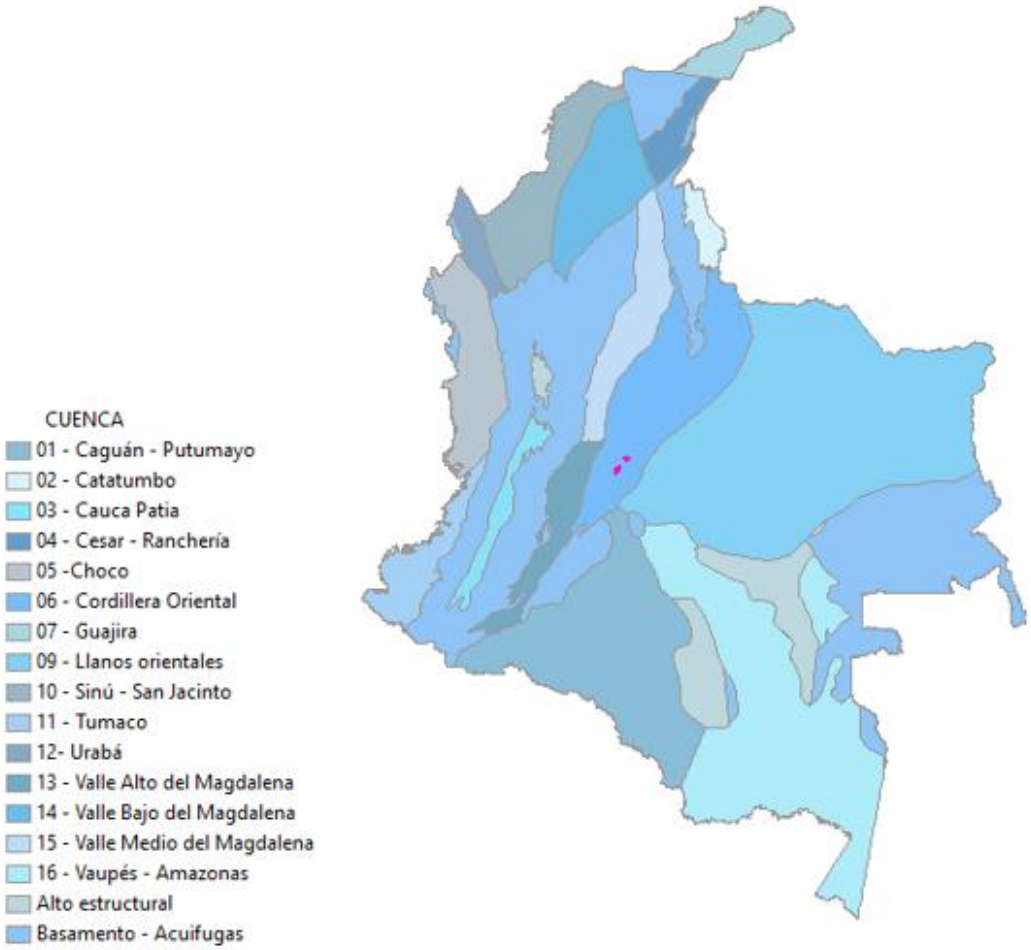


Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Auras
Fuente: IDEAM

5.3.5 Estudios previos

Con el fin de obtener información de estudios anteriores e histórico de eventos ocurridos que sirvan como base de consulta para el desarrollo de la caracterización de escenarios de riesgo, y con lo cual, se priorizara y jerarquizara las amenazas por movimiento en masa en el nodo de estudio; por lo tanto, se realiza la respectiva búsqueda de información en diferentes bases de datos asociadas a la gestión de riesgos y prevención de desastres; las bases de datos consultadas fueron DESINVENTAR, SIMMA, Unidad de Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD y reportes generados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. No obstante, una vez consultadas las diferentes bases de datos se encontró con falta de información en la zona de estudio o cercana a la misma.

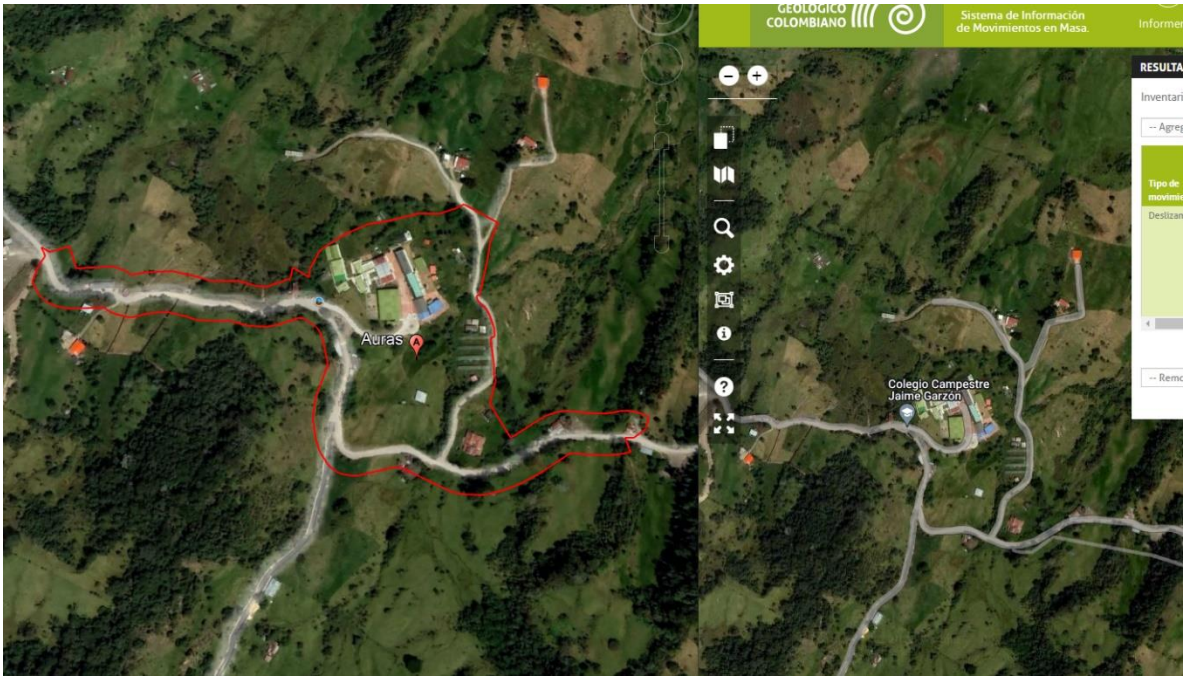


Figura 13. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Auras
Fuente: SIMMA

- **DIAGNOSTICO TÉCNICO**

1. **Diagnostico Técnico No 13150**

El instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático – IDIGER, en cumplimiento de sus funciones, el 17 de mayo del 2019 realiza la verificación de asistencia técnica, realizada en atención a la solicitud que genera Daniel Rojas Pulido-Colegio Campestre Jaime Garzón, con el objeto de valorar el grado de afectación de las edificaciones y/o infraestructura que permite establecer el compromiso de estabilidad y funcionalidad de las mismas, a fin de identificar predios y/o predios que presenten inseguridad, para analizar y determinar las acciones pertinentes que se deben tomar.
En la visita de campo del 16 de agosto del 2012, se observó que las instalaciones del Colegio Campestre IED Jaime Garzón se presentan fisuras en los muros con una abertura de 2 mm y longitud de 1 m aproximadamente, así mismo, en la antigua vivienda de los profesores se localizan en la parte sur del predio, fisuras horizontales y verticales con una abertura de 2 mm y una longitud aproximada de 1.5 m, también se evidencian grietas diagonales con aberturas de 15 mm y longitudes aproximadas a 1.5 m.

Posteriormente, el 24 de septiembre del 2014, se realizó una nueva vista a las instalaciones del Colegio, en el cual se identificó un incremento de los daños del salón

comunal y en la antigua vivienda de los profesores con respecto a las observaciones realizaras en el año 2012. En el terreno que se encuentra a un costado de la antigua vivienda de profesores se identificó indicios de un posible movimiento en masa tipo reptación, debido a la presencia de escalonamientos.

El 25 de agosto del 2016, se realizó visita del predio del Colegio Jime Garzón y se pudo observar que las fisuras y agrietamientos presentes en las estructuras del salón comunal y los dormitorios de los profesores, aumentaron considerablemente y así mismo se observó la presencia de manchas humedad en algunas habitaciones, por lo anterior se emitieron recomendaciones de evacuación de dicha edificación.

La visita realizada en 17 de mayo del 2019, fue atendida por el señor Daniel Rojas Pulido, funcionario de la Institución educativa y al realizar la inspección del alojamiento temporal de profesores localizado al costado sur del predio y las instalaciones del colegio en general, los responsables del predio indican que el antiguo alojamiento de profesores fue clausurado para uso luego de las recomendaciones hechas por el IDIGER, el alojamiento temporal a usar fue una edificación de un nivel en mampostería simple, que tiene una placa de contrapiso en concreto y cubierta de tejas metálicas. En este alojamiento temporal se observan fisuras horizontales y diagonales en los dinteles de los muros interiores de la edificación, con aberturas de hasta 3 mm y longitudes de 1,5 m, así mismo se aprecia la formación de una dilatación entre baldosas de enchape del piso de aproximadamente 6 mm de abertura y una longitud de 1.8 m.

A continuación, se muestran fotografías tomadas el día de la visita en donde se puede observar de manera detallada las patologías descritas anteriormente.



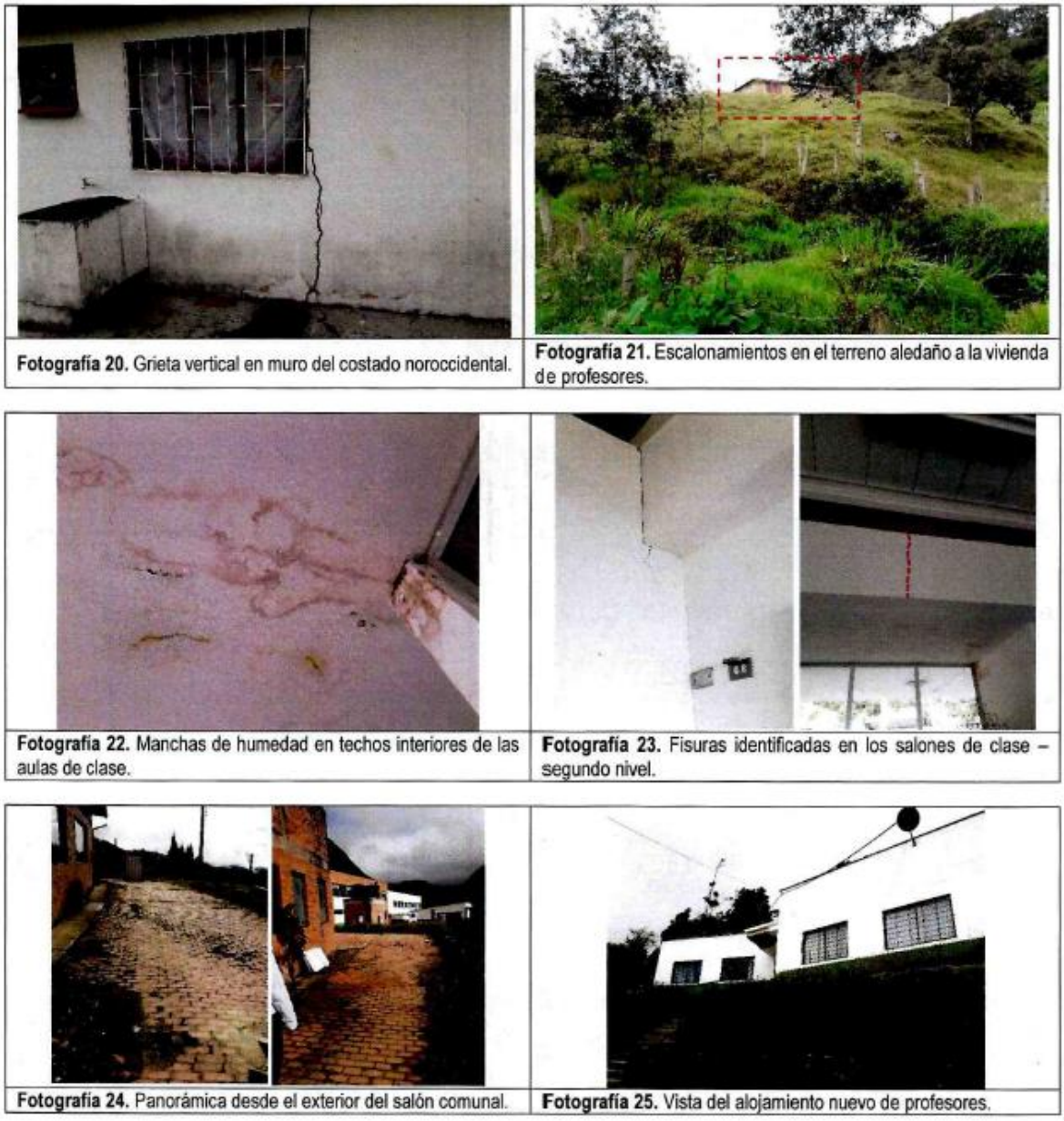
Fotografía 11. Vista general del depósito

Fotografía 12. Fisuras en la placa de contrapiso del depósito

Fotografía 13. Vista interior del depósito.

Fotografía 14. Separación localizada en el costado oriental

Figura 14. Estado actual de la vivienda de los profesores
Fuente: Subdirección de Emergencias



Fotografía 20. Grieta vertical en muro del costado noroccidental.

Fotografía 21. Escalonamientos en el terreno aledaño a la vivienda de profesores.

Fotografía 22. Manchas de humedad en techos interiores de las aulas de clase.

Fotografía 23. Fisuras identificadas en los salones de clase – segundo nivel.

Fotografía 24. Panorámica desde el exterior del salón comunal.

Fotografía 25. Vista del alojamiento nuevo de profesores.

Figura 15. Estado actual de la vivienda de los profesores
Fuente: Subdirección de Emergencias

En las instalaciones del colegio, persisten los dalos identificados en los antecedentes, consistentes en manchas de humedad y fisuras verticales y horizontales entre 1 y 2 mm de abertura y longitudes de 1.2 m en las aulas de clase del segundo nivel. No se identificaron daños estructurales.

En el salón comunal localizado al costado sur, se continúa presentando los daños descritos en los antecedentes anteriores sin presentar cambios sustanciales. A la fecha de realizar esta visita no se realizaron las reparaciones correcticas en la edificación, aunque si bien, los responsables de la misma han acatado la recomendación de restricción emitida por la entidad.

En conclusión, la estabilidad estructural y funcionamiento de la dependencia administrativa y salones de clase de la Institución Educativa Distrital Colegio Campestre Jaime Garzón, no se encuentran comprometidas en la actualizad ante cargas normales de servicio por los daños identificaos, se desconoce el comportamiento ante cargas dinámicas. Así mismo la estabilidad del salón comunal localizado al costado suroriental de la Institución, continúa estando comprometida al día de la visita, ante cargas normales de servicio por los daños evidenciados.

2. Diagnostico Técnico No 17560

La Subdirección de análisis de riesgo y efectos de cambio climático en atención al evento SERIE 5397329, el día 30 de mayo de 2017, realizo visita a la finca del señor Arnulfo Martínez, ubicada en la vereda Auras de la localidad de Sumapaz. Se identifican algunos daños menores sobre la vivienda del señor Martínez, asociados principalmente con la presencia de fisuras de tendencia vertical y diagonal escalonada con una abertura de entre 1 y 2 mm. Estos daños posiblemente se asocian con la carencia de elementos de confinamiento sobre la estructura de la vivienda y no representan un compromiso en la estabilidad y habitabilidad de la misma. Como recomendación, se deben generar acciones de mejoramiento, mantenimiento y/o reforzamiento de la misma.

A continuación, se relaciona plano con la localización del polígono evaluado.

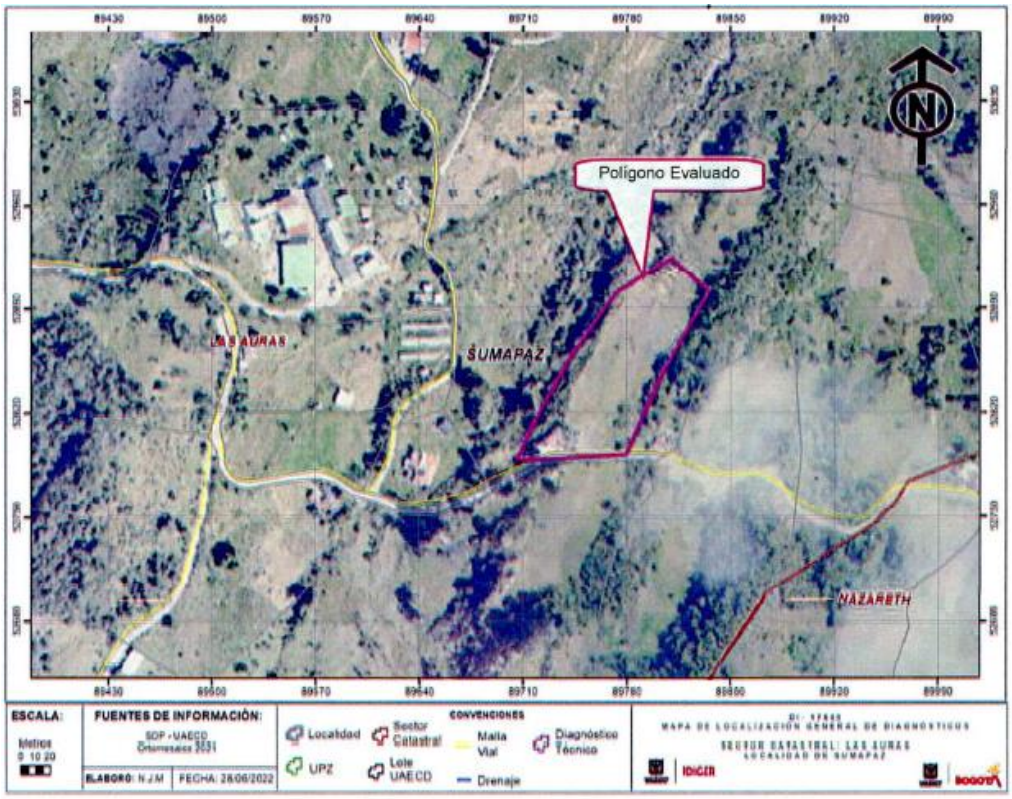


Figura 16. Localización del predio evaluado
Fuente: IDIGER

Desde el punto de vista geológico, el polígono evaluado está conformado por gruesos niveles de lutita gris oscuro negra con intercalaciones menores de limolitas silíceas, calizas arenáceas, arenitas de grano fino y hacia la base esporádicos mantos de carbón.

En relación al relieve, la ladera presenta una pendiente principal en sentido sur-norte, predominantemente moderada, con una inclinación que varía entre 11° y 20°, mientras que en el sentido occidente-oriente se presenta una pendiente igualmente moderada con un perfil topográfico convexo-cóncavo, cuya parte más baja coincide con un drenaje natural.

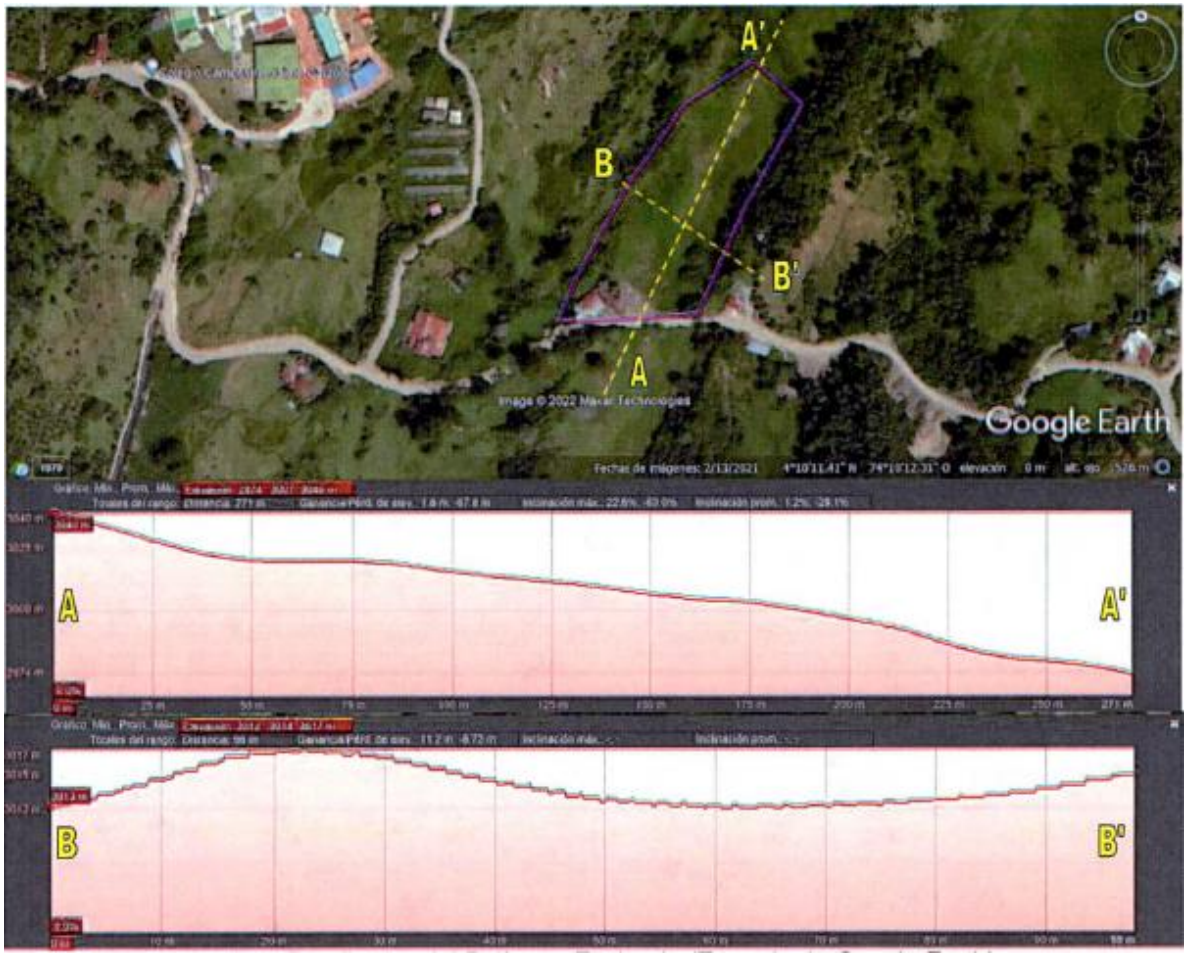


Figura 17.Pendientes del polígono evaluado

Al interior del polígono, se identificó un movimiento en masa que involucra un volumen de material cercano a los 80 m3, el cual presenta varias grietas de tracción y escarpes el cual presenta una altura de aproximadamente 15 m. Hacia la parte alta dl movimiento, sobre el costado occidental del polígono se presenta un escarpe de aproximadamente de 8 m, así mismo se evidencia una vivienda de un nivel, en donde habita el señor Arnulfo Martínez y su familia, la cual se encuentra construida en mampostería simple y paneles prefabricados en concreto, con una placa de contrapiso maciza y cubierta liviana de tejas de fibrocemento y zinc.

Igualmente, hacia el costado sur del polígono a una distancia aproximada de 1.5 m del escarpe principal se identifica la vía de acceso al corregimiento de Nazareth que corresponde a una vía pavimentada de aproximadamente 6m de ancho con una cuneta dispuesta de forma longitudinal sobre el costado sur, la cual está destinada para el manejo

de aguas de escorrentía superficial. Realizada la valoración de esta cuneta se nota que las aguas de escorrentía son conducidas a una alcantarilla que las recolecta y las pasa bajo la estructura de la vía, para posteriormente verterlas a la ladera abajo del sector donde se identificó el movimiento en masa.



Figura 18.Esquema en planta y perspectiva del movimiento en masa identificado
Fuente: IDIGER

Se destaca que en la vida no se evidencian daños importantes asociados al movimiento identificado.

Las posibles causas de movimiento en masa pueden ser: Vertimiento puntual de las aguas de escorrentía de la vía, falta de medidas para el manejo de las aguas de escorrentía sobre la ladra, susceptibilidad de los materiales que conforman la ladera y conformación de rellenos antrópicos y poco técnicos.

3. Diagnostico Técnico No 7460

La subdirección de análisis de riesgo y efectos de cambio climático realiza visita el 30 de julio del 2014 en el predio localizado en las coordenadas aproximadas X= 88285 y Y= 54039, cuyo responsable es el Señor José Israel Rivera, el cual se encuentra a 5 km hacia el sur del colegio Jaime Garzón.

En esta visita se evidencio que a lo largo de la ladera existe fenómenos de remoción en masa activos y puntuales, reptamiento, flujo de lodos, procesos erosivos intensos grietas abiertas, caída de bloque de gran tamaño y alta humedad. La ladera natural se encuentra

cubierta de pastos y arbustos con una pendiente cercana a los 45°, al momento de realizar la cuantificación de los daños por este fenómeno de remoción en masa se vio afectaciones en una vía vehicular pavimentada localizada a media ladera y la cual comunica el colegio Jaime Garzón con el centro poblado de Nazareth.

Así mismo se observó que, el proceso de remoción en masa identificado involucro un volumen de masa inestable cercana a los 5,000m3, compuesto por suelos residuales y coberturas vegetales, en donde parte del material se depositó en un tramo de 40m aproximadamente sobra la banca de la vía.

Hacia el costado sur parte media del proceso de remoción en masa se observa que, en la finca del señor José se emplaza una caseta, la cual al momento de la inspección visual no presenta afectaciones directas por impacto de material inestable. Se plantea que entre las posibles causas por las cuales se generó el proceso de remoción en masa, es por la carencia de medidas de estabilización y sistemas para manejo de la escorrentía superficial y subsuperficial sobre la ladera evaluada.

4. Diagnostico Técnico No 14762

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático IDIGER, en cumplimiento de sus funciones, realiza la verificación de asistencia técnica con base en una inspección visual, aplicando la metodología para este tipo de procedimiento que permite establecer el compromiso de estabilidad y funcionalidad de las mismas, a fin de identificar predios y/o edificaciones inseguras para analizar y determinar las acciones pertinentes a que haya lugar.

El predio evaluado corresponde a una vía rural sin estructura de pavimento, al costado norte de la vía se encuentra un talud de corte, con una altura de aproximadamente 10m de tendencia vertical, conformado por lutitas deleznables de color gris y una capa superficial de limo de color café de consistencia suelta.

Las posibles causas de la perdida de banca son por la falta de medias de contención y/o protección en el talud vial y la falta de obras de drenaje.

5. Diagnostico Técnico No 14964

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático IDIGER, realiza la verificación de asistencia técnica con base en una inspección visual, aplicado la metodología para este tipo de procedimiento, con el objeto de valorar el grado de afectación de las edificaciones y/o infraestructura, que permite establecer el compromiso

de estabilidad y funcionalidad de las mismas, a fin de identificar los predios, edificaciones o infraestructura insegura.

El predio objeto de evaluación, se ubica en la Vereda las Auras, y presenta cobertura de amenaza media por movimiento en masa, en la mayoría del predio y de amenaza alta hacia el costado oriental. Por otra parte, se resiso el Sistema de Información para la Gestión de Riesgo y Atención de Emergencia de Bogotá, con relación a los antecedentes asociados a movimientos en masa, inundaciones por desbordamiento y/o avenidas torrenciales, por consiguiente, se informa que no hay restricción para ocupación del suelo en el predio.

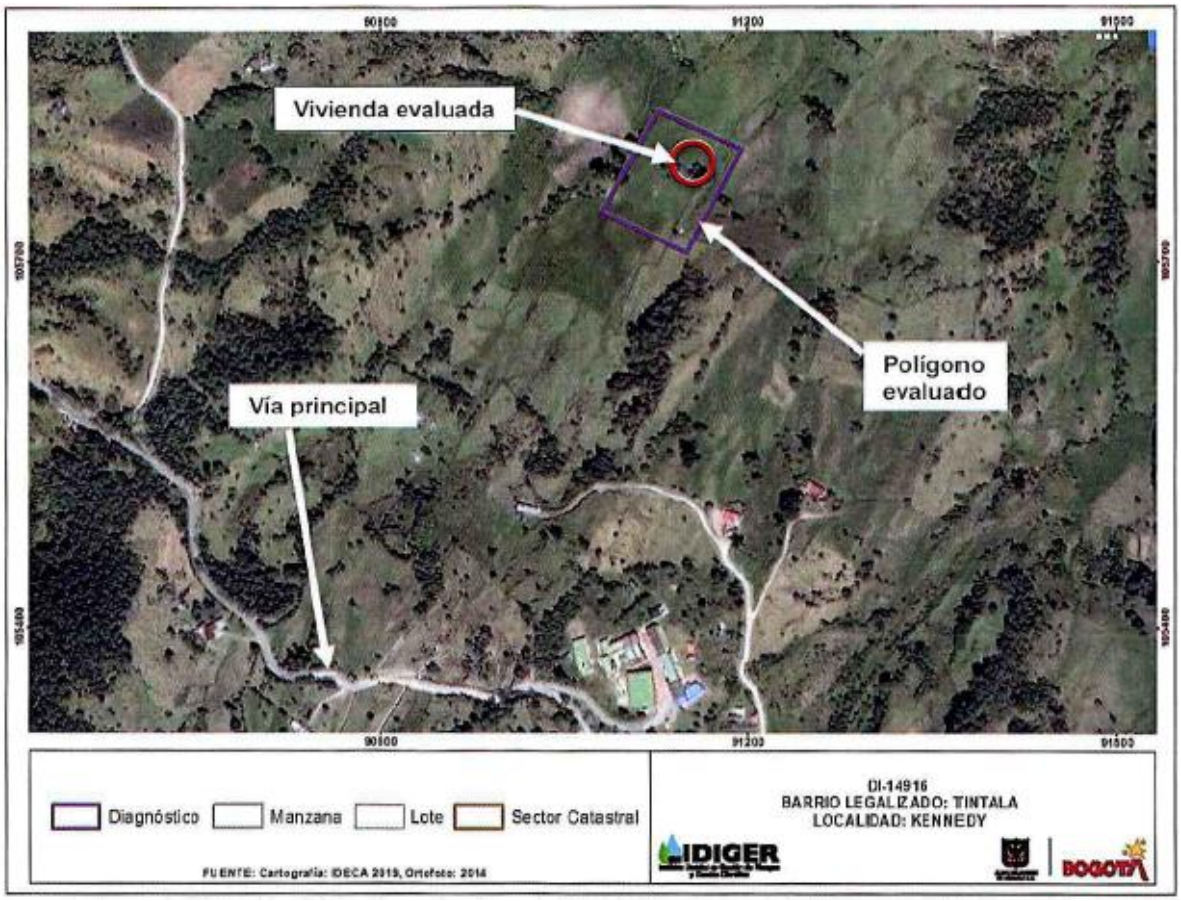


Figura 19. Ubicación del predio evaluado en la Vereda las Auras, localidad de Sumapaz
Fuente: IDIGER

El 12 de noviembre del 2020, al predio emplazado en las coordenadas geográficas 4°10’28.9” N Y 74°10’16”, en la vereda las Auras, corresponde a la finca la Esperanza, encontrando que el sector pertenece a una zona rural de pendientes medias y bajas. La

vivienda consiste en una edificación de un nivel construida en mampostería simple, sobre una placa de concreto y senderos en concreto y en adoquines, con cubierta en teja metálica. La vivienda presenta un hundimiento hacia el costado oriental, se evidencia un patrón de fracturas y grietas en los muros de cerramiento y divisorios.

Las posibles Causas de las afectaciones en la vivienda es la deficiencia en el manejo de aguas de escorrentía superficial y subsuperficial adicionalmente se presentan movimientos en masa locales por saturación hídrica.

La estabilidad de esta vivienda se encuentra comprometida por los daños presentes y agrietamientos, así como por el riesgo de colapso parcial o total de la edificación. Se recomienda acatar las recomendaciones de evacuación del predio, hasta tanto se adelanten las acciones que garanticen la estabilidad y habitabilidad de la misma, así mismo se recomiendan adelantar los mejoramientos, reforzamientos, reubicación o acciones a que haya lugar, en la vivienda emplazada, incluyendo el manejo adecuado de aguas de escorrentía superficial, con el ánimo de garantizar la estabilidad y habitabilidad en el predio.

5.3.6 Información Secundaria

- **IDU:**

De acuerdo a la información suministrada por el IDU, dan respuesta a lo solicitado así:

1. ***Estado o diagnóstico de la malla vial, inventario de la infraestructura vial, reservas de CIVS por parte de la entidad para la futura ejecución de proyectos, estudios o intervenciones realizados por la entidad en el polígono de estudio.***
   Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la entidad para la evaluación vial, se presenta la siguiente información para la discriminación por cada sector así:

Tabla 3. Estado y diagnóstico de la malla vial e inventario de infraestructura

Loc	Sector	CIV	PK_ID Calzada	Tipo Índice	Clasificación	Índice 2022-II	Estado 2022-II
20	AURAS	20076269	91027661	PCI	Malla Vial Principal Rural	34	MUY POBRE
20	AURAS	20076268	91027666	PCI	Malla Vial Principal Rural	100	BUENO
20	AURAS	20038001	91027841	URCI	Malla Vial Rural	98	BUENO
20	AURAS	20076270	91027887	URCI	Malla Vial Rural	26	MUY POBRE
20	AURAS	20075001	91028025	PCI	Malla Vial Principal Rural	100	BUENO

Fuente: (IDU, 2023)

Con respecto a la reserva de CIV, se destaca que el SIGIDU centraliza y dispone la información geográfica para los procesos de planeación, ejecución y seguimiento para los proyectos a cargo del IDU. Teniendo en cuenta el estado de la malla vial se procede a generar la selección de los elementos de la malla vial existente dentro de los polígonos, de lo cual se tiene:

Tabla 4. Reserva de CIV para Auras

Loc	Sector	CIV	Elemento	Tipo Elemento	Contrato	Estado	Intervención	Entidad
20	AURAS	20076269	91027661	Calzada	Sin Dato	Reservado	Conservación	FDL SUMAPAZ
20	AURAS	20076268	91027666	Calzada	COP-283-2020	Terminado	Construcción	FDL SUMAPAZ
20	AURAS	20076268	91027666	Calzada	IDU-1738-2021	Reservado	Conservación	IDU
20	AURAS	20038001	91027841	Calzada	COP-094-2019	Terminado	Rehabilitación	FDL SUMAPAZ
20	AURAS	20075001	91028025	Calzada	COP-283-2020	Terminado	Construcción	FDL SUMAPAZ
20	AURAS	20075001	91028025	Calzada	IDU-1738-2021	Reservado	Conservación	IDU

Fuente: (IDU, 2023)

A continuación, se presentan algunos elementos viales que están dentro de los nodos de estudio, pero que no cuentan con reserva de ninguna entidad dentro de la base de datos SIGIDU.

Tabla 5. Elementos viales que se encuentran dentro del nodo

Loc	Sector	CIV	Elemento	Tipo Elemento
20	AURAS	20076270	91027887	Calzada

Fuente: (IDU, 2023)

- **Futura Ejecución De Proyectos Dentro Del Polígono:**
  Teniendo en cuenta el desarrollo de malla vial arterial, en el numeral 1.2 Programa para descarbonizar la movilidad, el libro V “Programas y Proyectos” del Documento Técnico de Soporte del POT de Bogotá, el Acuerdo 523 de julio 8 de 2013, entre otros proyectos, el IDU presenta un listado de obras de los cuales se realizó la revisión y se determinó que para los polígonos no se detectaron proyectos de malla vial arterial que actualmente interfieran con el desarrollo del contrato.

- **EPM**:
  No se presenta ningún activo de EPM que lo cruce o estos contenidos en ellos. (EMP, s.f.)



Figura 20. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM
Fuente: (EMP, s.f.)

- **Secretaria del Hábitat**

En atención a las solicitudes realizadas a la Secretaria del Habitad, donde se solicita información sobre el estado actual y caracterización de la infraestructura para los polígonos de estudio, uso y coberturas del suelo dentro de los polígonos de estudio , programación y proyectos de la Secretaria Distrital del Hábitat que se estén ejecutando o se planee su ejecución, información sobre el estado de servicios públicos domiciliarios, información sobre reasentamiento de los predios en el polígono de estudio y Shapes y planos con información recopilada por la Secretaria Distrital Del Habitar , se obtiene como respuesta, lo siguiente para el nodo las Auras.

1. Programas y proyectos que la secretaria Distrital del Hábitat haya o este ejecutando al cualmente o planee ejecutar.

SDOperaciones			
Radicado	**Polígono**	**Competencia o no de Proyecto (Si sí aplica, indicar No. de Proyecto. Si no aplica, poner N.A)**	**Si sí aplica, poner objetivo del proyecto**
1-2022-52468	Auras	Proyecto No. 7659 Mejoramiento integral rural Líneas de acción: *Vivienda Nueva Rural *Mejoramiento de vivienda rural	En estructuración los proyectos de vivienda nueva rural y mejoramiento de vivienda rural, de acuerdo con la convocatoria y postulaciones realizadas para la asignación de subsidios en estas dos modalidades, previo cumplimiento de requisitos

Figura 21. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat
Fuente: secretaria del Hábitat

2. Información sobre el estado de los servicios públicos domiciliarios

- ✓ No se evidencian redes o infraestructura de servicio de Gas Natural de la empresa Vanti S.A - E.S.P.
- ✓ En relación a los servicios de electricidad, se presenta superposición con la infraestructura de redes de Media Tensión1 de la empresa Enel- Codensa.
- ✓ En relación con el servicio de Acueducto, se presenta superposición con áreas de prestación de servicios de acueducto comunitarios tal como se observa en la siguiente figura.

Es importante señalar que la información en formato *.shp de las empresas de servicios públicos, cuenta con restricciones de uso y confidencialidad, por lo que esta información solo es usada para consulta. Sin embargo, se envían algunas imágenes anexas de la consulta realizada a continuación:

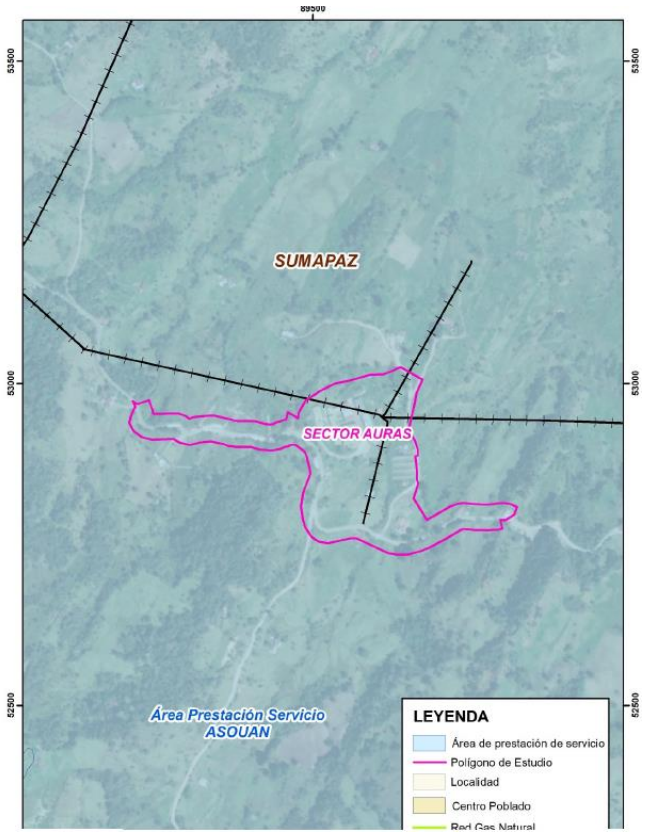


Figura 22. Prestación de Servicios ASOUAN
Fuente: secretaria del Hábitat

- **Secretaria Distrital De Ambiente**

En atención al radicado 2022ER333094, donde se solicita información ambiental referente al polígono de estudio (Auras) de la localidad de Sumapaz se obtiene como respuesta:

1 En cuanto a «Información disponible respecto a Zonas de Manejo y Protección Ambiental (ZMPA), zonas de Ronda Hidráulica y corredores ecológicos sobre el polígono de estudio o cercanos a este», en primera medida se indica que, en el artículo 61 del Decreto Distrital 555 de 2021 «Por el cual se adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial de Bogotá D.C.» se armonizaron las definiciones y conceptos técnicos referentes a los acotamientos de cuerpos hídricos en Bogotá D.C. de la siguiente manera:

✓ **Ronda hídrica:** Comprende la faja paralela a la línea del cauce permanente de cuerpos de agua, así como el área de protección o conservación aferente. La ronda hídrica corresponde al "corredor ecológico de ronda". Esta armonización de

definiciones aplica a los cuerpos de agua que a la fecha del presente Plan cuenten con acto administrativo de acotamiento.

- ✓ **Faja paralela:** Corresponde al área contigua al cauce permanente y ésta tiene un ancho hasta de treinta metros. La faja paralela corresponde a la "ronda hidráulica" de los cuerpos hídricos que a la fecha del presente Plan cuenten con acto administrativo de acotamiento.
- ✓ **Área de protección o conservación aferente:** Corresponde a la "Zona de Manejo y Preservación Ambiental" de los cuerpos hídricos que a la fecha del presente Plan cuenten con acto administrativo de acotamiento. Igualmente, corresponde a los acotamientos que se realicen de acuerdo con el Decreto 1076 de 2015, adicionado por el Decreto 2245 de 2017 o la norma que los adicione, modifique o sustituya.

Adicionalmente, se comunica que el polígono de la solicitud se traslapa parcialmente con la ronda hídrica estimada de dos drenajes denominados "drenaje rio Santa Rosa". Estos dos elementos corresponden a cuerpos hídricos naturales, que están definidos por el artículo 62 del Decreto Distrital 555 de 2021. El régimen de usos que aplica sobre el área traslapada con la ronda hídrica estimada es definido en el parágrafo 1 del Artículo 62 del citado Decreto Distrital, ver la figura que se presenta a continuación.

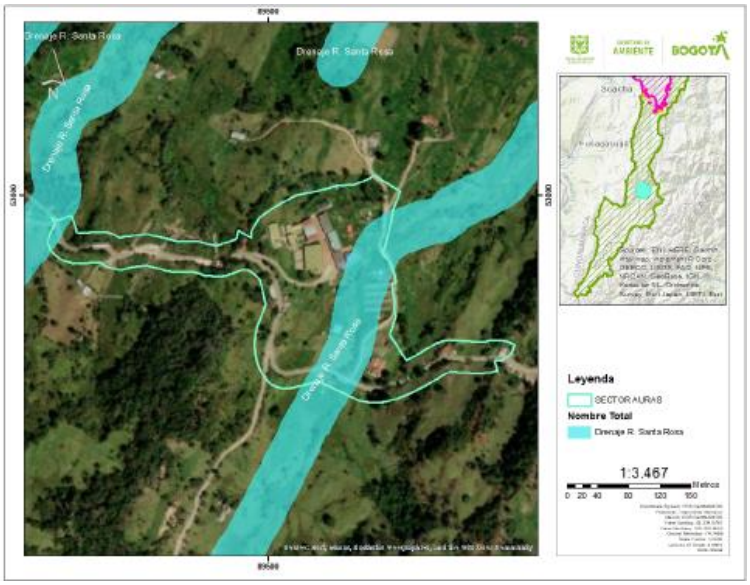


Figura 23. Traslape con determinantes ambientales y elementos de la Estructura
Fuente: Decreto 555 de 2021, SER / SDA.

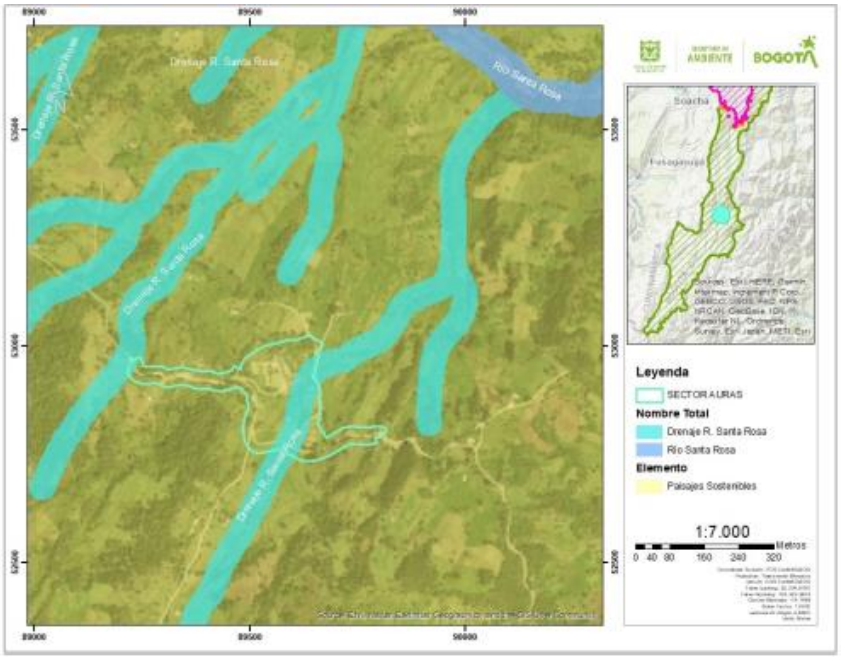


Figura 24. Traslape con determinantes ambientales y elementos de la Estructura
Fuente: Decreto 555 de 2021, SER / SDA.

2 El área objeto de consulta presenta las siguientes condiciones en cuanto a programas sociales y comunitarios desarrollados por parte del grupo de Ruralidad de la SER-SDA:

En el ordenamiento ambiental de fincas OAF, implementado por la SDA en la ruralidad de Bogotá DC, se trabajan cuatro componentes Buenas Prácticas Agrícolas, Buenas Prácticas Pecuarias, seguridad alimentaria y gestión ambiental.

En el proceso de ordenamiento ambiental de fincas OAF, a cargo del grupo ruralidad de la SER, en este polígono se cuenta con la vinculación de cuatro predios, dos de estos denominados Colegio Jaime Garzón y El Moral.

En el Colegio Jaime Garzón se han implementado acciones de fortalecimiento de huerta, siembra de cobertura vegetal para enriquecimiento de suelos, capacitación en bio preparados e implementación de pacas biodigestoras. En el predio El moral, han sido adelantados procesos de apoyo a establecimiento de cerca viva, procesos de fortalecimiento y diversificación de huerta casera. Los otros dos predios presentes en el polígono están en proceso de apoyo en actividades relacionadas con el fortalecimiento de la huerta casera y seguridad alimentaria.

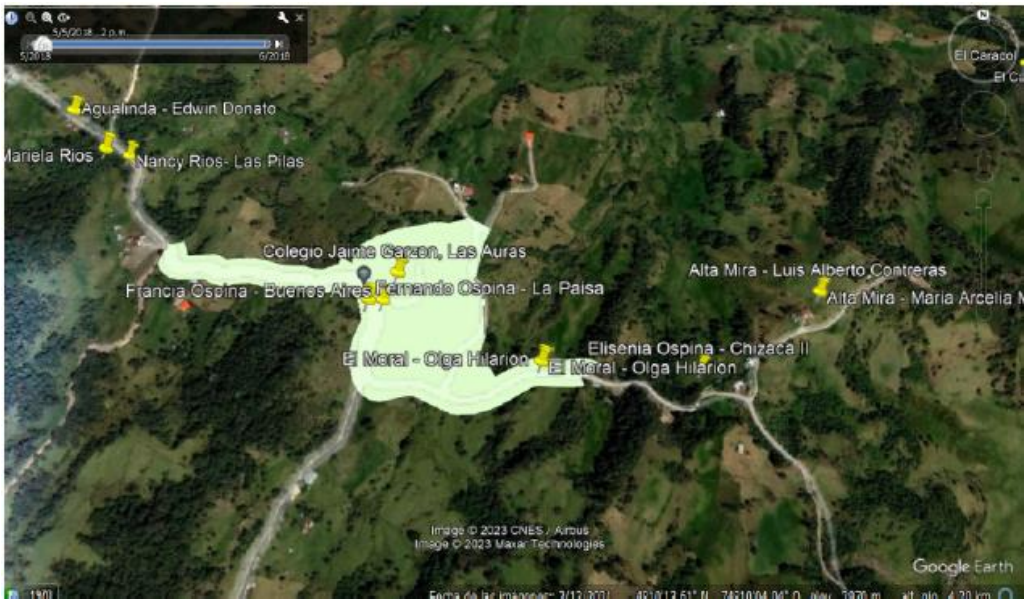


Figura 25. Polígono Auras
Fuente: Decreto 555 de 2021, SER / SDA.

- **Secretaria De Planeación**

En atención a la solicitud realizada a la secretaria de Planeación, por medio del radicado 2-2023-12957, el área de estudio coincide con el nodo de equipamientos rurales Auras, ubicado en la categoría de desarrollo restringido en suelo rural, subcategoría zonas para la localización de nodos de equipamiento rurales en la localidad del Distrito Capital de Bogotá. Este nodo de equipamiento se encuentra en el corredor de paramo Cruz verde- Sumapaz elemento de la estructura Ecológica Principal de Bogotá, en la siguiente imagen se muestra la ubicación del mismo y los equipamientos rurales presentes.

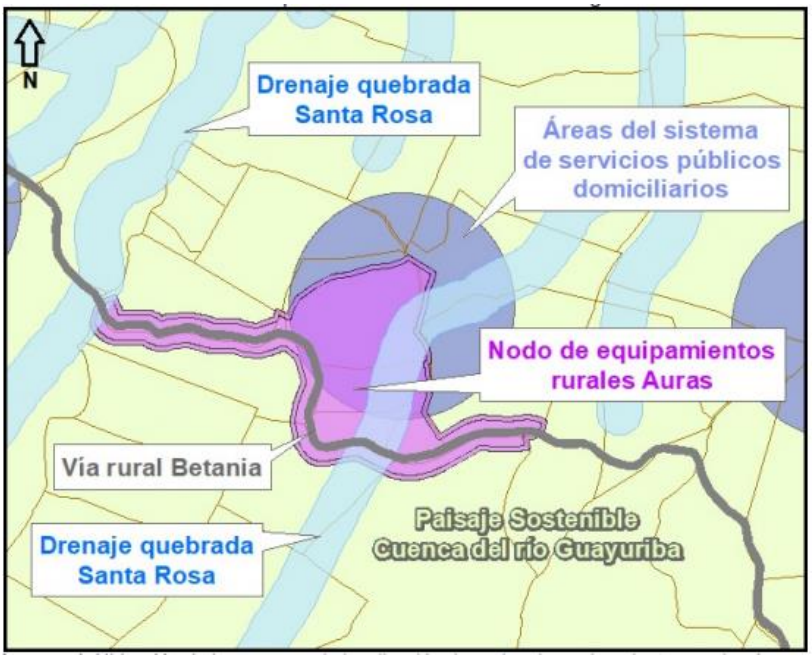


Figura 26. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Auras. Fuente: SDP, Decreto Distrital 555 de 2021, BDGC

Así mismo, aclara mediante el articulo 464 las condiciones de edificabilidad y volumetría que deben tener los nodos de equipamientos rurales y los parámetros requeridos para subdividir predios con áreas mayores a una hectárea (1 ha), se deberá adelantar licencia de parcelación y cumplir con las obligaciones urbanísticas establecidas para la categoría de desarrollo restringido.

Tabla 6.Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales

Nodo de equipa-mientos	Divisiones Prediales mínimas	IO máximo	IC máximo	Altura máxi-ma	Frente mínimo (m)	Aisla-miento Lateral mínimo	Aisla-miento Posterior mínimo
... Ánimas ...	500 m2	0,29	1,3	2 pisos	10	No se exige	Igual o mayor a 3,0 m

Fuente: secretaria de Planeación

Tabla 7. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales

Altura	La altura máxima permitida es de dos (2) pisos; únicamente se permitirán alturas hasta cuatro (4) pisos en el nodo de equipamientos rurales "Antonio Nariño". En las nuevas edificaciones deben empatarse con el perfil de alturas existentes, con el fin de mantener una continuidad en fachada. La altura mínima del piso habitable es de 2,3 metros. Las edificaciones destinadas a usos dotacionales podrán manejar alturas libres entre pisos.
Antejardín	Se exige mínimo 5 m de antejardín a los predios con frente sobre vía.
Voladizos	Se permiten voladizos de 0,60 m. Aplica también sobre elementos del espacio público rural.
Sótanos	No se permiten.
Cubiertas	Las edificaciones ubicadas con frente a espacio público como andenes y zonas de circulación peatonal, deben contar con aleros en cubiertas, con el fin de brindar protección contra la lluvia a las personas transeúntes.

Fuente: secretaria de Planeación

- ✓ **Caja De La Vivienda Popular**

En atención al radicado No 202317000013862, la entidad CAJA DE LA VIVIENDA POPULAR se permite informar que, una vez revisado el sistema de información de la entidad, se identificaron los polígonos requeridos y se envía plano donde se identifican las viviendas presentes en el sector.



Polígono Auras

Figura 27. Viviendas localizadas para el polígono Las Auras
Fuente. Caja De La Vivienda Popular

6 GEOLOGÍA

El área estudiada se localiza al sur de Bogotá en la parte central de La Cordillera Oriental, se identificaron rocas sedimentarias de edad Cretácico. En la definición del modelo como geológico se utilizó base la información geológica elaborada por INGEOMINAS para la cartografía de la plancha 265 Icononzo (1999), la cartografía realizada para la elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá, FOPAE-UNAL (2013), a escala 1:25.000 y los levantamientos realizados a lo largo de las visitas de campo, los cuales permitieron detallar las características encontradas dentro del nodo. Ver figuras anexadas en los numerales 6.11 y 6.12

6.1 ESTRATIGRAFÍA

En el polígono Las Auras afloran rocas sedimentarias de edad Cretáceo superior que hacen parte de la Formación Chipaque, unidad que se muestra en la siguiente figura y se describe a continuación:

- ✓ . **Formación Chipaque (Ksch)**

El nombre “Chipaque” fue empleado por primera vez por Hubach (1931) con el rango de “Conjunto Chipaque “. Redefinida por Renzoni (1962), quien la presenta como una “unidad conformada fundamentalmente por lutitas”, hecho que la diferencia claramente de sus dos unidades infra y suprayacentes que están formadas por areniscas.

La Formación Chipaque aflora al oriente de la cuchilla la Rabona, formando el anticlinal del Raizal, encontrándose en contacto fallado con la Formación Une, donde está constituida por una alternancia de lodolitas grises oscuras a negras, en capas delgadas a muy gruesas y arenitas de cuarzo en capas finas a medias, gris claras a oscuras, cemento silíceo, en capas muy delgadas a muy gruesas, presentando delgadas intercalaciones de caliza y capas delgadas de carbón.

La sección levantada en el Páramo el Cobre tiene un espesor de 1.625m, es probable que la sección se encuentre repetida por fallas de cabalgamiento. La Formación Chipaque consta en su parte inferior a media de una alternancia de lodolitas grises oscuras a negras, físiles en capas muy finas a muy gruesas; intercaladas con capas muy delgadas a muy gruesas plano paralelas y no paralelas de arenitas de grano fino a medio de cuarzo de color gris claro a oscuro, cemento silíceo; los primeros 25m de espesor se presentan delgadas intercalaciones de caliza muy meteorizada. En la parte superior de la sección predomina la lodolita negra en capas delgadas a muy gruesas con intercalaciones de capas delgadas a gruesas de arenita de

grano muy fino a fino de cuarzo, de color gris oscuro a negro con cemento silíceo y a veces calcáreo.
La Formación Chipaque tiene el contacto inferior fallado con la Formación Une, el contacto superior transicional con el Grupo Guadalupe; la edad de la unidad comprende parte del Cenomaniano, el Turoniano y parte del Coniaciano, De acuerdo con Julivert (1968). La unidad presenta características de depósitos de plataforma con poca influencia clástica, en un ambiente marino de aguas poco profundas y circulación restringida, según Ulloa y Rodríguez (1979).

En la siguiente figura se muestra el mapa geológico regional modificado de la plancha 265 Icononzo, Ingeominas (1999).

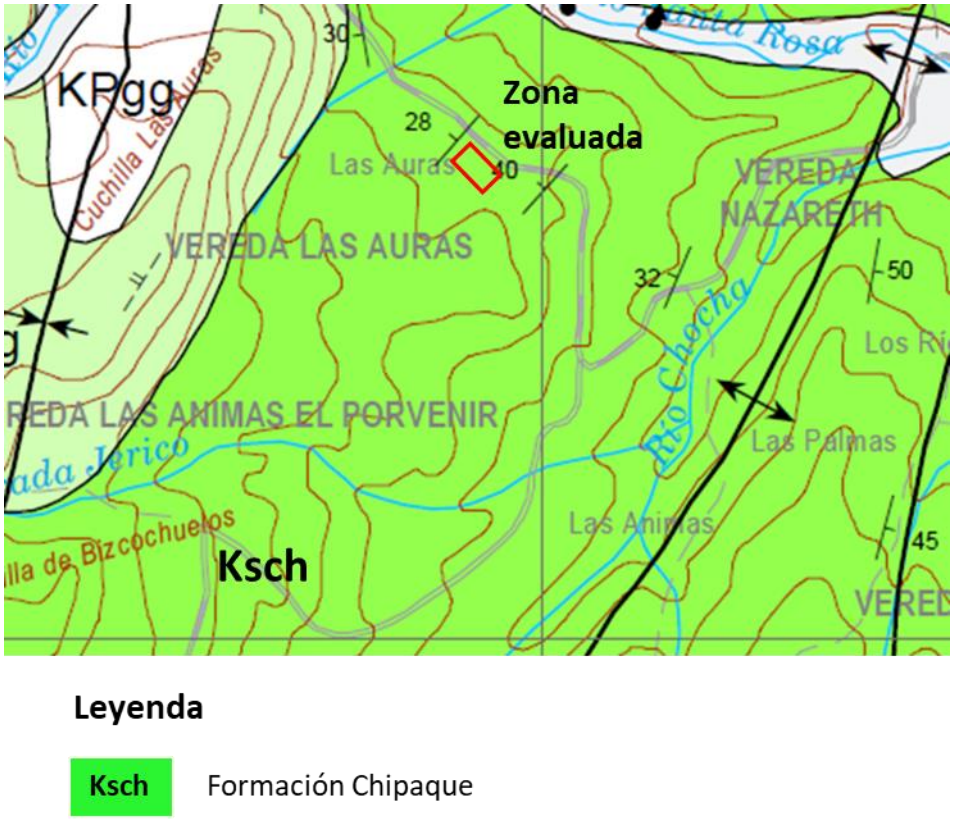


Figura 28. Mapa geológico regional modificado plancha 265 Icononzo, INGEOMINAS 1999.

6.2 UNIDADES GEOLÓGICAS DE SUPERFICIE

Las unidades geológicas superficiales se tomaron del estudio "Cartografía Geológica Aplicada a la Zonificación Geomecánica de la Sabana de Bogotá", INGEOMINAS, 2004 y

son concordantes con la simbología utilizada en el estudio "Elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá" FOPAE-Universidad Nacional. (2013).

Las unidades geológicas superficiales identificadas para el área de estudio se clasifican como Unidades de Roca. Ver siguiente figura. Las unidades de roca, de acuerdo con sus características litológicas y geotécnicas, se clasificaron en roca de resistencia blanda (Rb6).

La unidad de roca se describe a continuación.

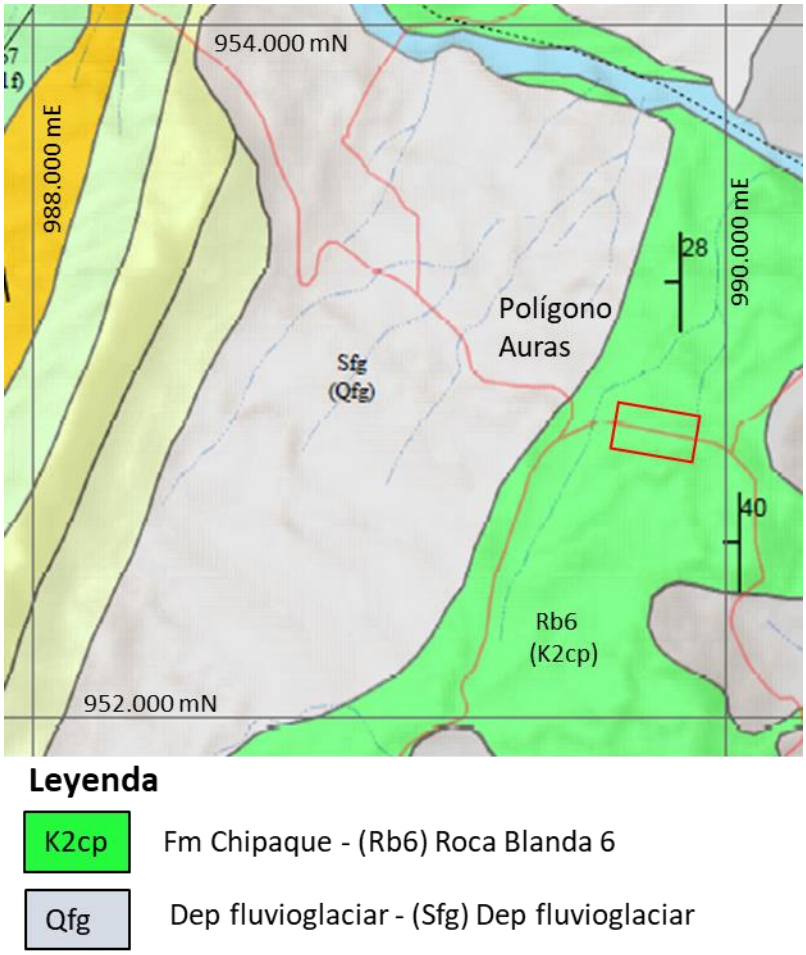


Figura 29. Mapa Unidades Geológicas Superficiales, modificado FOPAE-UNAL 2013.

6.2.1 Roca blanda: (Rb6):

Conformada por gruesos niveles de lutitas, color gris oscuro a negro con intercalaciones menores de limolitas silíceas, calizas arenáceas y areniscas de grano fino. Dentro de la zona de estudio aflora, al Suroriente de la Sabana de Bogotá, conformando el pliegue anticlinal El Raizal.

Morfológicamente conforma laderas principalmente de naturaleza estructural, con sectores en contrapendiente y laderas con pendientes desde suaves hasta abruptas. Son rocas de resistencia principalmente blanda y moderadamente fracturadas.

6.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Zona Ubicada en la vereda Las Auras, al occidente de la Falla de Nazareth y el flanco occidental del Anticlinal del Raizal. Está conformado principalmente por rocas de edad cretácico con rumbo N20E y buzan 32º hacia el NW.

A partir de las imágenes satelitales no se observan fallas ni lineamientos estructurales que afecten los materiales identificados en el área de estudio.

A continuación, es posible observar la ubicación del área de estudio con respecto a la falla Nazareth y el anticlinal del Raizal, en la figura se referencia el mapa de geología a escala 1:100.000 correspondiente a de la plancha 265 de Ingeominas.

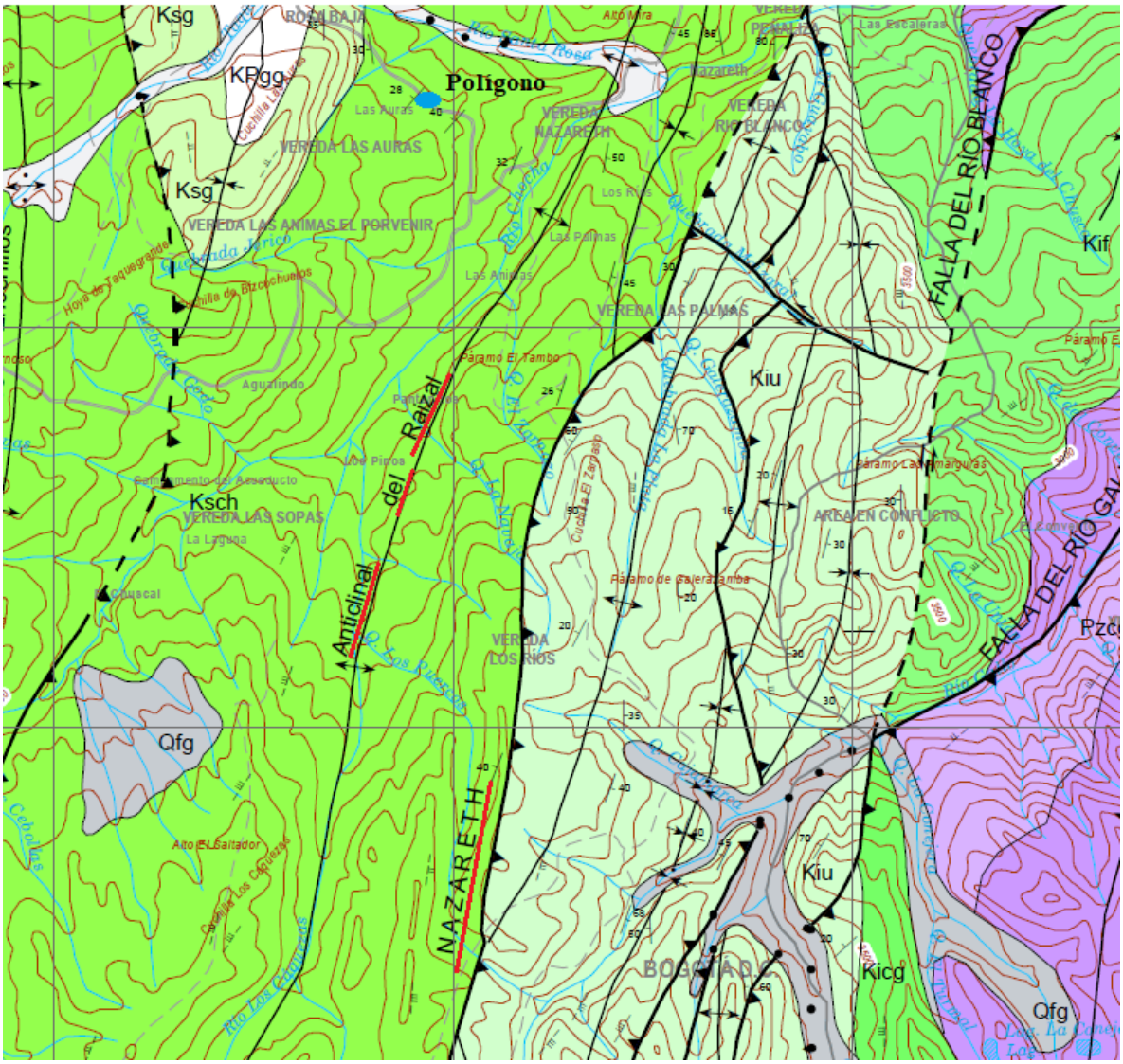


Figura 30. Geología estructural Auras, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.

En la siguiente figura, es posible observar las características encontradas de la zona de estudio.



Figura 31. Características presentadas en el polígono Auras
Fuente: Geodinámica

6.4 GEOLOGÍA LOCAL

Para la geología local se definieron unidades geológicas para ingeniería UGI, siguiendo las recomendaciones de la publicación "Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa" SGC, (2016).

Los materiales presentes se clasificaron en unidades de Suelo y unidades de Roca. Los materiales clasificados como suelo se dividieron según su origen en las siguientes unidades: suelo transportado Glaciar y suelo transportado coluvión.

La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, se clasificó en la unidad Roca de resistencia blanda (Rb).

Las Unidades Geológicas para Ingeniería presentes describen a continuación:

6.4.1 Roca blanda (Rb):

Conformada por gruesos niveles de lutitas, color gris oscuro a negro con intercalaciones menores de limolitas silíceas y areniscas de grano fino. Dentro de la zona de estudio aflora en un talud de la vía de acceso, cerca del sector suroriental del polígono, las rocas presentan un rumbo N20 E y buzan 32 grados al NW.

En el área del polígono no se observan afloramientos de la unidad de roca blanda, pero la evidencia geológica disponible indica que la roca se encuentra infrayaciendo las unidades de suelo presentes en el polígono; los sondeos exploratorios realizados no permitieron establecer la presencia directa de roca en el subsuelo.

La UGI conocida como roca blanda (Rb), se denomina así, ya que dentro de la exploración geotécnica no fue posible caracterizar a que roca se asocia.

6.4.2 Suelo transportado glaciar (Stg)

Este suelo se encuentra a lo largo del área del colegio campestre Jaime Garzón y a lo largo del brazo occidental del nodo de estudio, está integrado por horizontes de gravas con intercalaciones de arenas, arcillas orgánicas y paleosuelos; tal como se puede evidenciar en el sondeo 3.

En los sondeos exploratorios realizados esta unidad alcanzó un espesor superior a 10 m, en los sondeos 1 y 2 se observó el predominio de la matriz arcillo limosa, con fragmentos de lutitas y limolitas; en el sondeo 3 se observó un predominio de la armazón sobre la matriz, la armazón está integrada por bloques de arenisca cuarzosa.

6.4.3 Suelo transportado coluvión (Stc)

Unidad generada por la presencia de procesos de remoción en masa que han ocasionado el hundimiento y movimiento, de materiales sobre las laderas contiguas al colegio y la vía; las corrientes superficiales presentan socavación del cauce, condición que acelera los procesos de remoción en masa que corresponden a deslizamientos con movimiento lento, generados por una combinación de retiro de la cubierta vegetal arbustiva, conformación de potreros para

ganadería, presencia de pendientes fuertes, la pluviosidad alta y los materiales arcillosos sin consolidar. Dicha unidad también se encuentra sobre una vivienda construida cerca de la vía, donde se está viendo afectada la vivienda debido a este proceso.

En el sondeo 2 se observó el predominio de la matriz arcillo limosa, con fragmentos de lutitas y limolitas; sobre los apiques 1 y 3 se observa la presencia de materiales arcillosos y limosos, dichas exploraciones se realizaron a lo largo de la unidad de suelo transportado coluvión.

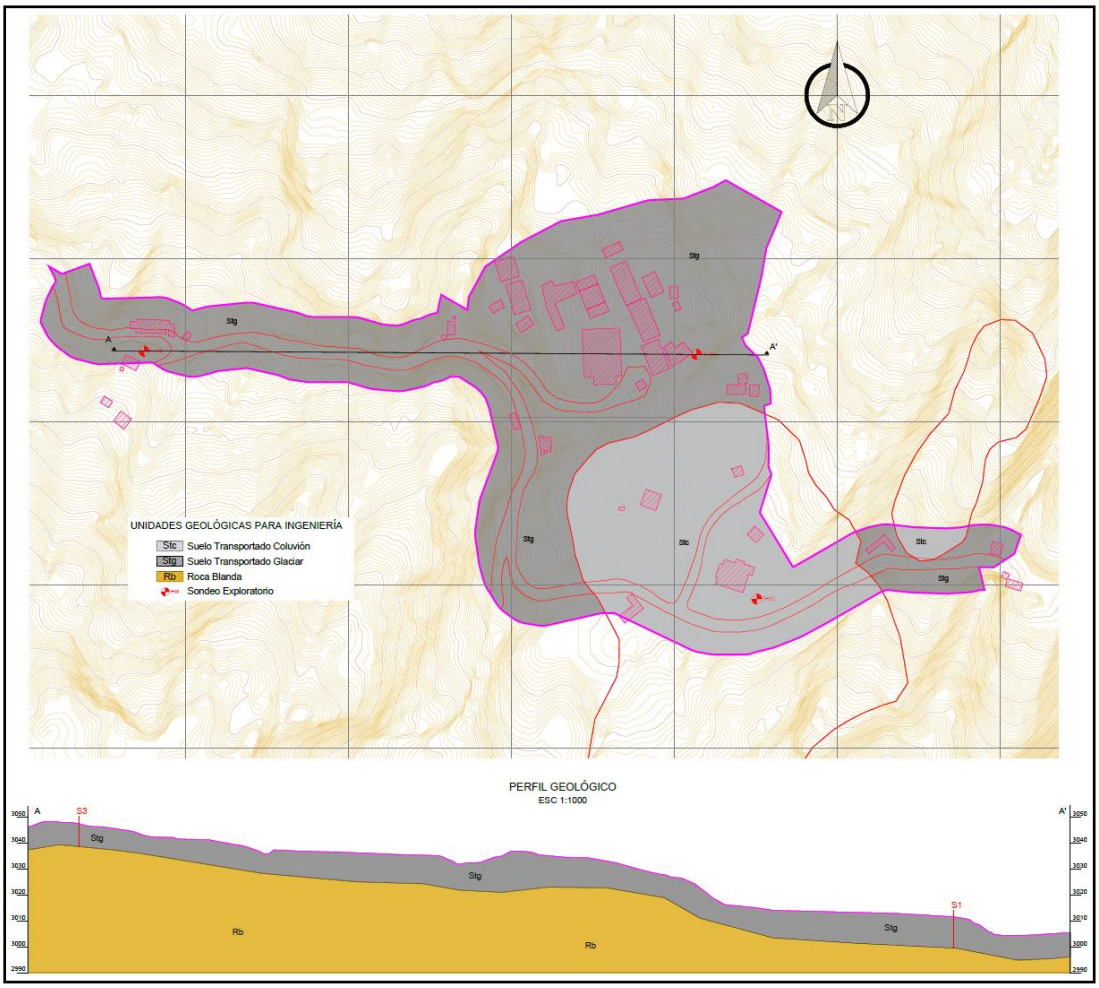


Figura 32. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Auras. Escala 1:5.000

En la figura anterior, es posible observar un gráfico de la geología local encontrada, el plano es posible encontrarlo en la carpeta de planos del presente nodo.

7 GEOMORFOLOGÍA

Para la caracterización y representación de los elementos geomorfológicos se utilizó la "Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa" SGC (2012).

En el área de estudio se reconocen geoformas de ambiente glaciar y denudativo que conforman laderas de relieve suave a ondulado.

Los elementos geomorfológicos reconocidos se muestran en la siguiente figura y se describen a continuación:

7.1 ELEMENTOS DE ORIGEN GLACIAR

Elemento originado por procesos relacionados con la erosión intensa que ocasiona movimiento en las masas de hielo en zonas de alta montaña durante épocas glaciales o en la actualidad. Estos eventos modelaron el sustrato rocoso preexistente, generando así grandes cantidades de sedimentos que posteriormente fueron transportados o acumulados en las laderas adyacentes. El elemento originado en este ambiente se describe a continuación:

7.1.1 Ladera ondulada glaciar (Glo)

Ladera con relieve bajo, suavemente inclinada a inclinada, con pendientes entre 7° y 20°, moderadamente larga, de forma convexa, presenta un patrón de drenaje sub-dendrítico, forma parte de un amplio valle en forma de "U" generado por actividad glaciar de montaña; el valle glaciar fue modificado posteriormente por procesos denudativos.

Este elemento fue originado por flujos lentos de depósitos formados durante el avance y retroceso de las masas de hielo con transporte de material superficial durante la actividad del glaciar de montaña.

7.2 ELEMENTO DE ORIGEN DENUDATIVO

Elemento que involucra las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional que han modelado de las laderas preexistentes, creando nuevos elementos por acumulación de materiales.

7.2.1 Depósito coluvial (Dco)

Elemento de origen denudativo generada por la presencia de movimientos de remoción en masa que han están afectando depósitos de origen fluvioglaciar con predominancia de material arcillo limoso y espesor variable. Se encuentran localizados en el sector sur oriental del polígono.

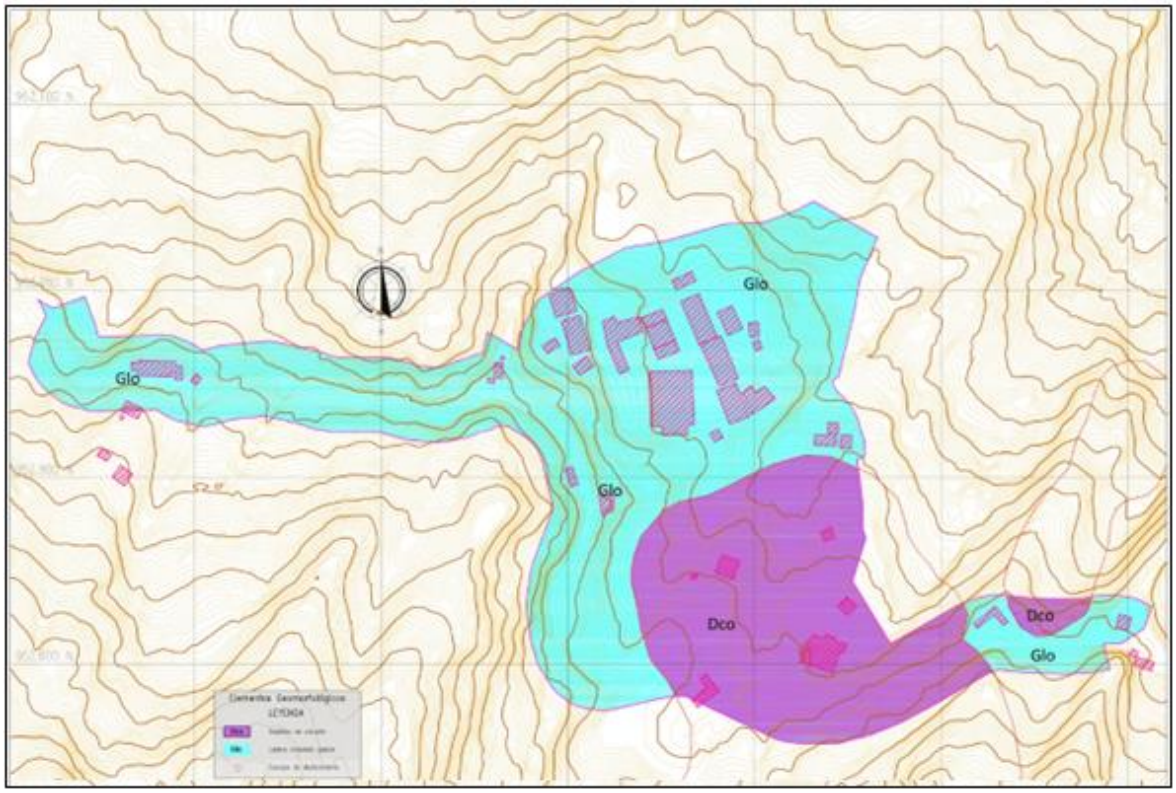


Figura 33. Elementos Geomorfológicos polígono Las Auras. Escala 1:5.000.

En la figura anterior, es posible observar un gráfico de la geomorfología encontrada, el plano es posible encontrarlo en la carpeta de planos del presente nodo.

7.3 ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS:

Realizando el cruce de la geomorfología y las pendientes del nodo Auras es posible encontrar en cada elemento geomorfológico, los siguientes rangos de pendientes:

Tabla 8 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Auras

CUADRO DE ÁREAS-NODO AURAS			
ELEMENTO	**PENDIENTE**	**ÁREA Ha**	**PORCENTAJE %**
Dco	Inclinado	0.71	11.46
	Moderadamente Abrupto	0.57	9.26
	Abrupto	0.59	9.55
Glo	Inclinado	1.36	21.97
	Moderadamente Abrupto	1.05	16.99
	Abrupto	1.91	30.77
TOTAL		**6.21**	**100**

En la tabla mostrada anteriormente, es posible observar los elementos geomorfológicos encontrados dentro del polígono, en el ANEXO Geomorf vs Pendientes-Auras (PLANOS AURAS), se observa el plano del cruce realizado, y las geoformas más representativas encontradas para este nodo.

8 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Teniendo en cuenta la escala de estudio 1:5.000 se identificaron únicamente dos procesos morfodinámicos que afectan la banca, de los cuales es posible destacar:

- Sobre la vía de acceso se observó el fracturamiento de una estructura de contención que está en el talud inferior, adicionalmente se observan las secuelas estructurales que el movimiento está dejando a las viviendas, vías y aulas del colegio, dicho proceso se genera fuera del área de estudio, presenta gran tamaño, por lo cual lo encontrado dentro del polígono hace referencia a una zona de depositación del movimiento.
- Otro proceso está afectando una vivienda construida cerca de la vía, en otro sitio el proceso removió material dispuesto en la ladera en el talud inferior, proceso al cual se le realiza levantamiento mediante el formato del SGC.



Figura 34. Procesos de remoción en masa

En el sitio del polígono se presenta erosión leve manifestada como erosión laminar en sectores desprovistos de vegetación, la poca área que presentan estos procesos hace que no sean cartografiables en una escala 1:5.000. Dentro del área se encuentra una drenaje superficial, el cual atraviesa el polígono en la parte central, este cuerpo de agua presenta problemas de socavación, y está generando afectaciones a las estructuras del colegio, en la zona occidental del nodo se encuentran dos disipadores por donde pasan cuerpos intermitentes de agua. Sobre la zona no se localización de trazas de fallas activas e inactivas.

En los predios del colegio Jaime Garzón sede campestre se observó un aula afectada por hundimiento y desplazamiento de un muro, al parecer el aula se construyó sobre un material dispuesto en ladera como relleno. En el costado derecho de la estructura descrita anteriormente, se evidencia que sobre esta zona pasa un cuerpo de agua que presenta problemas de socavación.



Figura 35. Afectaciones colegio Jaime Garzón

Sobre la zona donde se encuentran las pantallas deflectoras, se observan unas obras para estabilidad, de las cuales no se encontró información en las fuentes consultadas, se anexa registro fotográfico de lo evidenciado en campo.



Figura 36. Obras de estabilización

En el archivo anexado se encuentra evaluado el proceso morfodinámico evidenciado dentro del área de estudio, donde se muestran las características más relevantes de la remoción en masa presentada en la zona (ANEXO PROCESOS MORFODINAMICOS)

9 SISMOLOGÍA

A partir de la información suministrada por el IDIGER en el estudio de "Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000" del año 2013 (Nacional, 2013), se concluye un coeficiente de aceleración Ao de 0.3 para una tasa de retorno (TR) de 475 años. En la siguiente figura, es posible verificar el coeficiente analizado para el polígono.

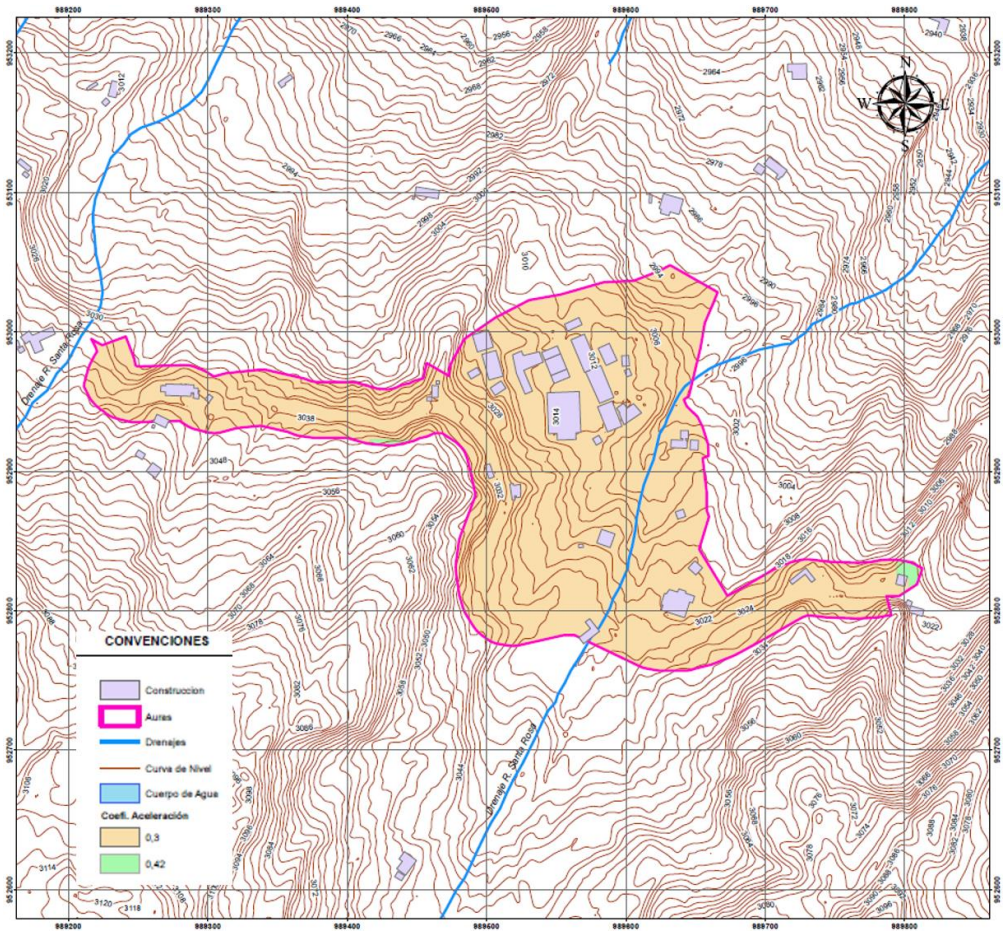


Figura 37. Sismología del polígono Auras. Escala Base cartográfica 1:25.000, Escala de dibujo: 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000
Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos proporcionados por el IDIGER

10 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisionómicas y ambientales que van desde herbazales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales; incluye las coberturas vegetales inducidas por la acción humana como las áreas de cultivos o pastos para ganadería.

Para la clasificación de las distintas coberturas vegetales, este estudio utilizó como herramienta la Leyenda Nacional de Coberturas de Tierras - Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia, del IDEAM (2010), adoptada para la homogenización de las coberturas para Colombia y la elaboración de mapas a escala 1:100.000. Teniendo en cuenta que los términos de referencia establecen que los mapas se deben presentar a escala 1:5.000, donde se evidencie el área del proyecto y su impacto real en las diferentes capas de vegetación y el uso de suelo que se da en éstas; se toma como referencia la leyenda, puntualizando en ciertas categorías el uso real observado en campo y contrastado con la interpretación de fotografías aéreas, tomadas de BaseMap de ArcGIS y adaptadas para la aplicación en el desarrollo del análisis de coberturas y uso del suelo.

10.1 COBERTURA DE LA TIERRA.

Para la determinación de la cobertura y usos de la tierra se hizo uso de los criterios de la metodología Corine Land Cover (Coordination of Information on the Environmental por su sigla en inglés) la cual fue concebida en la década de los 90 en Europa debido al auge de las herramientas de teledetección satelital, permitiendo modelar con alta exactitud las diversas coberturas terrestres. Para Colombia, Corine Land Cover (adaptada Colombia 2010) inició con el programa de apoyo y la colaboración prestada por el Fondo Francés para el Medio Ambiente (FFEM), la Embajada de Francia en Colombia, el Instituto Geográfico Nacional de Francia (ING) y ONF Andina Colombia (SIAC, 2012); con el propósito de tener métodos que permitieron consolidar cifras, análisis, esquemas, y desarrollar un sistema único de clasificación de coberturas para poder tener elementos de planificación comunes entre las diferentes regiones del país; es decir, hablar un "mismo idioma" a nivel nacional.

En el 2008 y producto de la cooperación interinstitucional entre el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM, Parques Nacionales Naturales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC, Instituto de Investigaciones Amazónicas SINCHI y el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt, se

publicó la leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia a Escala 1:100.000. (Humboldt, 2014)

Luego de las experiencias tenidas con la primera aproximación o leyenda (IGAC, 2002) el IDEAM presentó en junio de 2010 la segunda aproximación de la leyenda nacional para la escala 1:100000, la cual sirve de guía para el desarrollo de la aplicación a escala 1:25.000 e igualmente se tomaron experiencias de soporte los trabajos realizados por el IGAC en el levantamiento de los trabajos de cobertura en los departamentos de Antioquia (1:100.000), Quindío (1:25.000) los municipios de Fusagasugá y Jericó (1:25.000) entre otros.

Una particularidad importante de la metodología CLC es el uso de una leyenda jerárquica, basada en clases de cobertura y discriminadas principalmente por atributos físicos y fisionómicos (Nunes de Lima, 2005; Perdigao and Annoni, 1997), organizada en niveles, que permiten agregar datos a nivel nacional o, desagregarlos, para trabajar a nivel departamental o municipal. Lo anterior justifica el hecho de que la leyenda está fuertemente relacionada con los procesos de interpretación de imágenes, la escala de publicación y el área mínima de mapeo (Perdigao and Annoni, 1997).

En el desarrollo del presente proyecto, se utilizó la metodología CLC adaptada para Colombia, respetando sus conceptos y la secuencia operativa. Sin embargo, considerando que la metodología debe adecuarse consistentemente a las particularidades físico-naturales y biodiversidad del área de estudio, ella fue adoptada y ajustada para dar cumplimiento a los requerimientos del Anexo técnico de escala de 1:5.000.

La metodología utilizada para el trabajo de interpretación comenzó con la revisión de la información base, que consiste en verificar el cumplimiento de las características de las imágenes para llevar a cabo el proceso de interpretación: resolución espacial y espectral adecuadas para la interpretación de coberturas; sistema de referencia acorde con el sistema de proyección cartográfica y ortorrectificación para la producción de información.

Para el proceso de interpretación propiamente dicho se utilizó la interpretación visual en pantalla de las Fotografías aéreas (técnica conocida como PIAO) mediante la utilización de un programa SIG (para el caso ArcGIS 10x). Esta consiste en cargar la capa o feature de la GDB donde se piensa delinear o restituir[1] la Cobertura de la Tierra, junto con la ortofoto. No

[1] Restitución fotogramétrica: consiste en la vectorización de la información capturada con la digitalización de una orto fotografía.

deberá haber discrepancias entre los sistemas de coordenadas, ya que no permitiría una vectorización conforme.

La base de datos se conformó de acuerdo con los parámetros establecidos para la misma por la metodología Corine Land Cover y los códigos asignados a las coberturas encontradas corresponderán a la nomenclatura consignada en la leyenda oficial publicada por el IDEAM en el año 2010, la cual se complementó teniendo en cuenta que la leyenda nacional está planteada para escala 1:100.000, por lo que en algunos casos se aumentó el nivel de detalle de la cobertura encontrada, para adaptarla a la escala de trabajo.

Es así como para la elaboración del mapa de coberturas se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Selección y revisión del insumo para la interpretación.
- Creación el respectivo archivo gráfico, que para este caso será el MXD con el programa ArcGIS 10.x, verificando el marco de referencia de trabajo para el restudio.
- Así mismo, se cargó la capa o feature de la GDB donde se delineó o vectorizó la Cobertura de la Tierra, junto con la imagen.

Las coberturas de la tierra para el proyecto, se clasificaron de acuerdo a la metodología CORINE Land cover adaptada para Colombia, con esta clasificación se obtuvieron coberturas diferentes las cuales se presentan a continuación:

Tabla 9 Coberturas de la tierra Nodo Auras

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Auras	112	Tejido urbano Discontinuo	0,23
	1211	Zonas Industriales	0,05
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,83
	125	Obras Hidráulicas	0,06
	1421	Áreas Culturales	0,57
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,18
	225	Cultivos Confinados	0,15
	231	Pastos Limpios	3,85
	3222	Arbustal abierto	0,08
	3231	Vegetación Secundaria alta	0,06
	3232	Vegetación Secundaria baja	0,15

Fuente: Geodinámica, 2023

De acuerdo a lo definido en el mapa de Cobertura de la Tierra, IDEAM, 2010:

- Tejido Urbano Discontinuo (1.1.2): Son espacios formados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren artificialmente la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierto por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas.
- Zonas Industriales (1.2.1.1): Comprende las áreas donde se llevan a cabo actividades y labores tecnificadas de producción. Incluye las plantas, las instalaciones administrativas, los parqueaderos y las zonas verdes anexas.
- Red Vial, Ferroviarias y Terrenos Asociados (1.2.2.1): Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas tales como estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.
- Obras hidráulicas (1.2.5): Superficies que corresponden a construcciones consolidadas de carácter permanente destinadas a instalaciones hidráulicas.
- Áreas culturales (1.4.2.1): Terrenos dedicados a las Instalaciones de servicios públicos (escuelas, hospitales), con su infraestructura de áreas asfaltadas y verdes.
- Otros cultivos permanentes arbóreos (2.2.3.1): Cobertura donde predominan los cultivos permanentes arbóreos diferentes de la palma de aceite, cítricos, mango, aguacate, guanábana, macadamia, mangostino y guayaba.
- Cultivos Confinados (2.2.5): Comprenden las tierras ocupadas por cultivos bajo infraestructuras de invernaderos, principalmente dedicadas al cultivo de flores, frutales y hortalizas. Incluye toda aquella estructura cerrada cubierta por materiales transparentes, dentro de la cual es posible obtener unas condiciones artificiales de microclima, y con ello cultivar plantas en condiciones óptimas.
- Pastos Limpios (2.3.1): Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor al 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas.
- Arbustal abierto (3.2.2.2): Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un estrato de copas (dosel) discontinuo, y cuya cubierta representa entre el 30% y el 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales.
- Vegetación Secundaria alta (3.2.3.1): Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbórea con dosel irregular y presencia ocasional de arbustos, palmas

y enredaderas, que corresponden a los estadios intermedios de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales. Se desarrolla luego de varios años de la intervención original, generalmente después de la etapa secundaria baja. Según el tiempo transcurrido se podrán encontrar comunidades de árboles formadas por una sola especie o varias

- Vegetación Secundaria baja (3.2.3.2): Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva y herbácea con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales. Se desarrolla posterior a la intervención original. Generalmente están conformadas por comunidades de arbustos y herbáceas formadas por muchas especies

Las coberturas de la tierra para el proyecto, se clasificaron de acuerdo a la metodología CORINE Land cover adaptada para Colombia, con esta clasificación se obtuvieron coberturas diferentes las cuales se presentan a continuación.

En el Nodo Auras, la cobertura más dominante corresponde a pastos limpios (231), la cual se distribuye a lo largo del polígono del nodo cubriendo el 62%, en este nodo se destaca la presencia de una institución educativa cuya infraestructura ocupa el 9,2% y que se ubica en el centro del nodo como referente espacial de la zona.

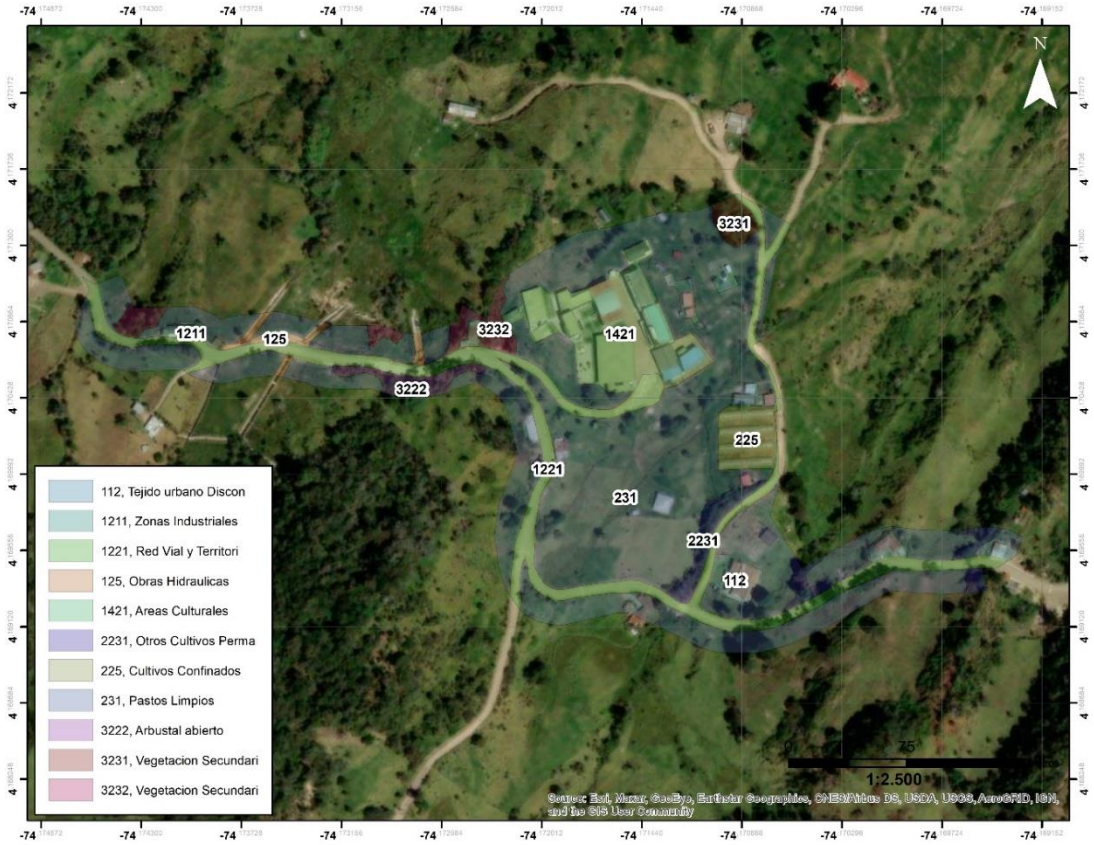
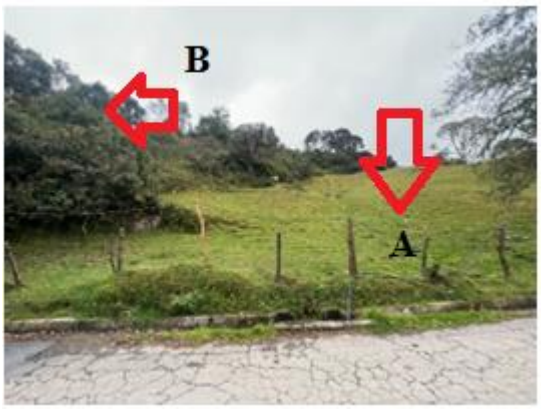
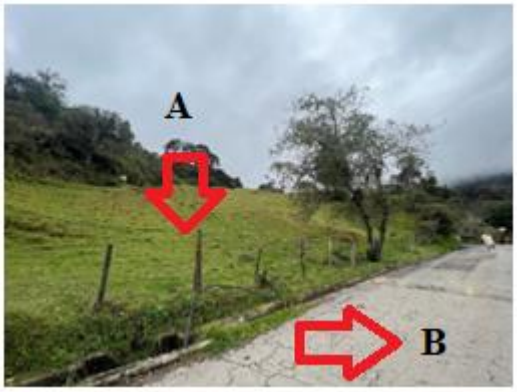


Figura 38. Coberturas Nodo Auras



Fotografía 2 Derecha pastos limpios (A), izquierda arbustal abierto (B)



Fotografía 3 Pastos limpios (A) y red vial (B)



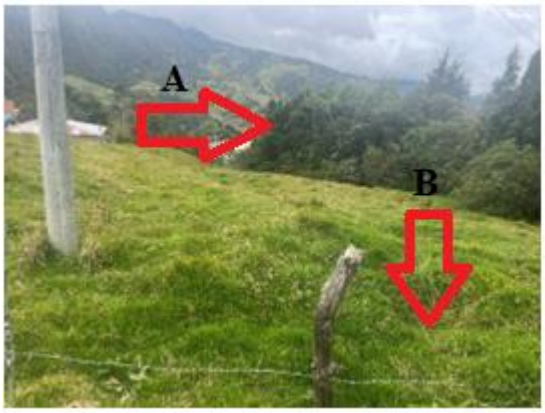
Fotografía 4 Vivienda rural dispersa



Fotografía 5 Áreas culturales (escuela o colegio)



Fotografía 6 Obras hidráulicas.



Fotografía 7 adelante pastos limpios, atrás vegetación secundaria.

10.2 USO ACTUAL DEL SUELO:

El uso actual corresponde a los tipos de ocupación o utilización que de una cobertura hace el hombre, apuntando a la producción de bienes y servicios para la sociedad. Es así, que, de acuerdo a las coberturas identificadas, se reconocen y clasifican los usos, entre los que se tienen los agrícolas, pecuarios, de infraestructura y de conservación. Así mismo estos usos se reclasifican en sub usos entre los cuales se tienen cultivos permanentes, vía, vivienda dispersa, pasturas manejadas, protección, recuperación, dotacional, industrial y obra hidráulica.

Los usos agrícolas, corresponden a aquellos asociados a actividades de producción de material vegetal de consumo humano, estos se clasifican en permanentes entre los cuales se identifican los cultivos que no requieren después de cada cosecha ser replantados para obtener una nueva cosecha.

El uso pecuario tiene un tipo de uso de pasturas manejadas, las cuales refieren a especies de semillas introducidas de pastos que no siempre son nativos.

En el uso de infraestructura, se identificaron varios tipos de uso como el uso vía que se asocia a las estructuras relacionadas al desplazamiento de personas y/o vehículos; las viviendas dispersas, que son las casas de la comunidad asentada en cada nodo; en cuanto al tipo de uso dotacional se relaciona a la infraestructura dedicada a la prestación de servicios a la comunidad, en el caso específico de los nodos objeto de este estudio, se refiere a las escuelas y colegios; también se identificó un uso industrial relacionado con infraestructura dedicada a la transformación de productos; y finalmente el uso de obra hidráulica corresponde las estructuras presentes que amortiguan los efectos del agua en el suelo.

También se identificó el uso de conservación, entre los cuales se detectaron usos de protección y recuperación, el primero se refiere a aquellas unidades que por su carácter de naturalidad y la presión ejercida por las actividades agropecuarias del entorno se destinan a ser protegidas para garantizar su permanencia; la recuperación se refiere al uso donde se evidencia una alteración de las condiciones primarias de la vegetación, haciendo necesario que se propenda por salvaguardar las condiciones actuales y propender por su estabilización.

En el nodo Auras, el uso del suelo se asocia principalmente en las pasturas manejadas, debido a la alta presencia de pastos limpios, así mismo se identifica un uso dotacional relacionado con la institución educativa, en el sector sur occidental se evidencian obras (calanes) que

marcan el uso de esas franjas, hacia la derecha se identifican cultivos de tipo permanente y viviendas rurales propia de la zona. En la tabla y figura se presentan los usos identificados en este nodo.

Tabla 10. Uso del suelo Nodo Auras

Uso Actual	Tipo de Uso	Área (ha)
Agrícola	Cultivos permanentes	0,33
Conservación	Protección	0,08
	Recuperación	0,21
Infraestructura	Dotacional	0,57
	Industrial	0,05
	Obra hidráulica	0,06
	Vía	0,83
	Vivienda dispersa	0,23
Pecuario	Pasturas manejadas	3,85

Fuente: Geodinámica, 2023

A continuación, es posible observar el tipo de uso del suelo del nodo Auras.

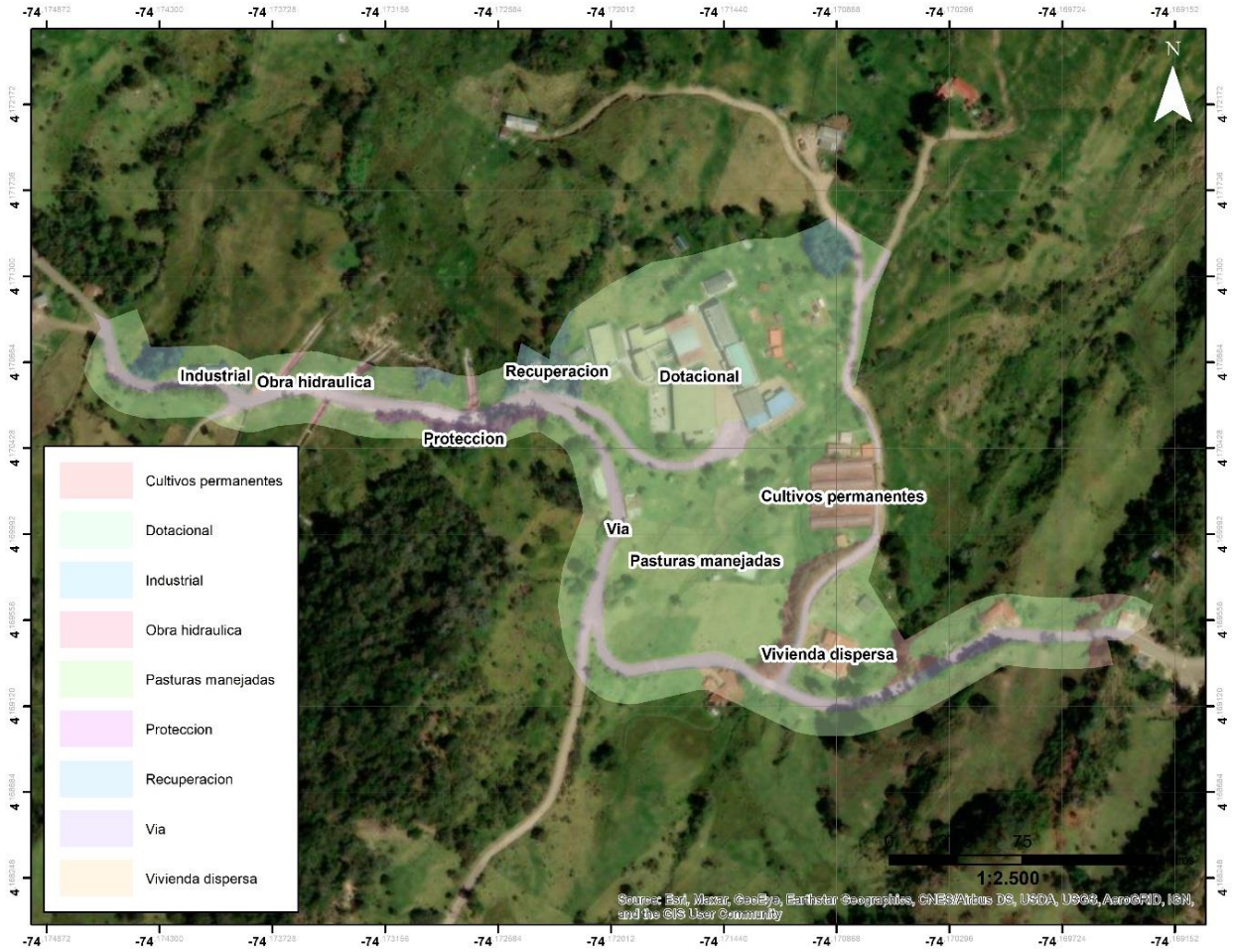


Figura 39. Tipo de uso del suelo nodo Auras

Para observar el plano de uso actual del suelo y el tipo de uso, teniendo en cuenta lo mencionado en la tabla anterior ver anexo Uso Suelo-Auras (PLANOS AURAS).

Teniendo en cuenta la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano para estudios de escalas 1:5000, las unidades de cobertura y uso del suelo deben ser tenidas en cuenta e integradas en los análisis de las condiciones de estabilidad actual y futura.

10.3 RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO:

Se recomienda que los cambios de las coberturas y los usos del suelo generados por acciones antrópicas, deben realizarse de manera controlada, considerando que, al realizar talas no controladas, deforestación u otros cambios en los suelos, se generan cambios en las propiedades analizadas para la amenaza del estudio, es importante tener en cuenta que se

deberá cumplir con la normatividad vigente (NSR-10) para el caso de construcción de edificaciones de equipamientos; se deberá prestar especial atención a los taludes generados y se deberá verificar si requieren análisis de Amenaza detallados.

11 HIDROLOGIA Y EVALUACION DEL DRENAJE SUPERFICIAL

11.1 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

En el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), se recopilaron los datos de precipitación y de los principales parámetros pluviométricos de la estación representativa del sitio en estudio, la cual se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 11. Estaciones empleadas Nodo 6 – Auras

Entidad	Código	Tipo	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Elevación msnm
IDEAM	3502031	PG	Nazareth	Bogotá D.C	4.17	-74.15	2800

Fuente: Elaboración Propia

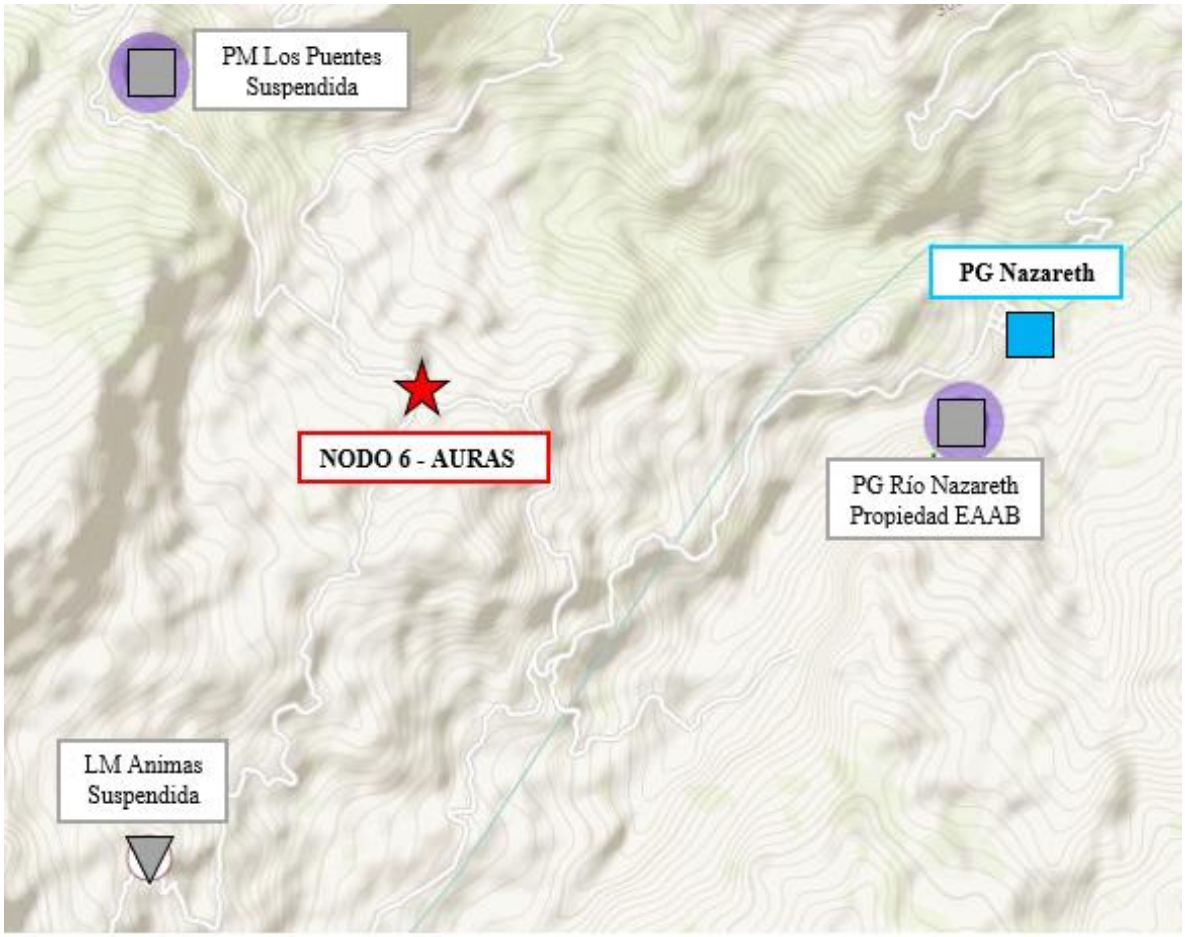


Figura 40. Localización Estaciones Nodo 6 - Auras
Fuente: Elaboración Propia a partir del IDEAM.

Para el estudio hidrológico de este proyecto, se identificaron las estaciones con registros extensos y confiables que fueran representativos del comportamiento de las precipitaciones en el sector objeto de estudio; de igual manera, la elección de las estaciones dependió de su cercanía al proyecto, de forma que permitiera caracterizar adecuadamente la región. Para realizar el análisis de las principales variables de precipitación se empleó la estación PG Nazareth. En la anterior figura Localización Estaciones empleadas, se presenta la ubicación del sitio objeto del presente estudio, la red de estaciones en el sector y de la estación empleada, señalada en color azul.

11.2 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Para el proyecto objeto de estudio se cuenta con cartografía oficial del IGAC, disponible en escala 1:25.000 para todo el predio, que corresponde a la plancha 265-II-B. Con esta cartografía se cubre todo el Polígono del Nodo 6 - Auras y los cauces aferentes a este polígono.

11.3 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

Para el análisis del comportamiento de las lluvias en la zona en estudio, se utilizó la información de las estaciones registradoras de precipitación mencionadas en la tabla anterior. La información empleada se encuentra en el **Anexo 1.** Información Pluviométrica.

11.4 PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES.

El ciclo anual de precipitación de la Estación PG Nazareth presenta un promedio anual del orden de 1143.64mm. El régimen de lluvias es monomodal, ya que, aunque se encuentra en la región andina, este influenciado por el comportamiento de las lluvias en el piedemonte llanero. Se tiene un periodo de lluvias entre los meses de abril – octubre, se presenta un periodo seco o de menores precipitaciones entre los meses de noviembre – marzo, siendo junio el mes más lluvioso y enero el mes con menores lluvias (Véase la siguiente figura).

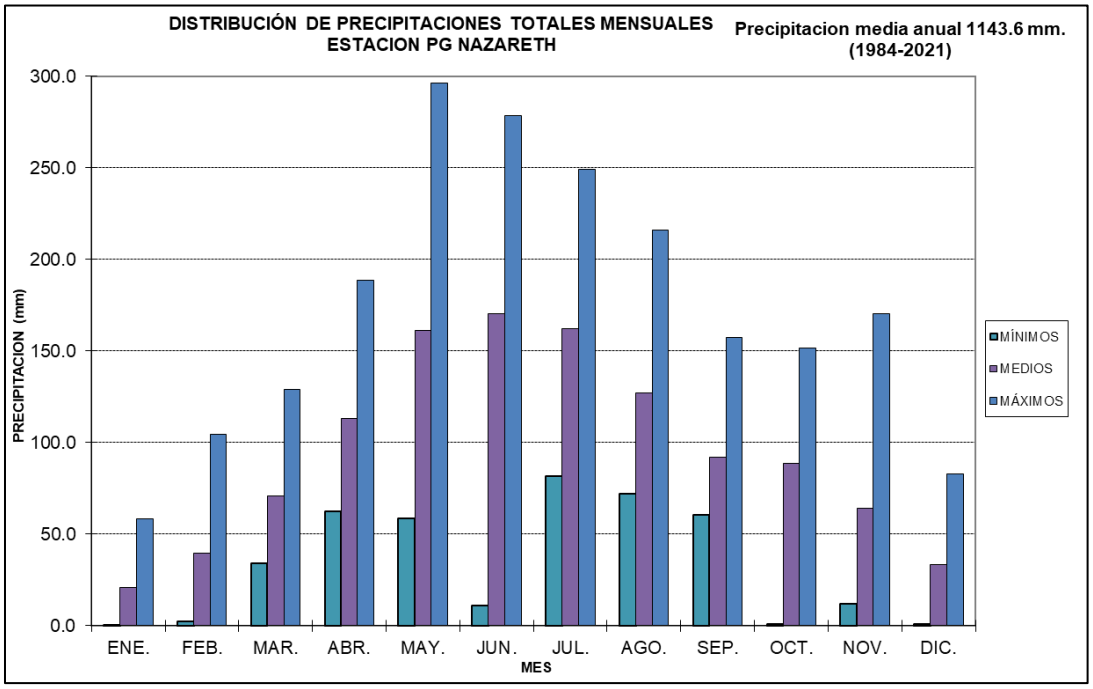


Figura 41. Distribución Mensual de Precipitación Estación PG Nazareth
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PG Nazareth.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pmedia anual
P media (mm)	21.07	39.42	70.96	113.15	161.43	170.20	162.06	127.27	92.02	88.50	63.96	33.61	1143.64

Fuente: Elaboración Propia.

11.5 NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN

Para la estación PG Nazareth el número promedio de días de precipitación al año es de 196, presentándose en el mes de julio el mayor número de días promedio (23 días) y en el mes de enero el menor número de días de precipitación (7 días).

Tabla 13. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PG Nazareth.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	No. Días de lluvia
No. días	7	9	14	18	22	23	24	23	18	16	14	9	196

Fuente: Elaboración Propia.

11.6 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.

Para el análisis de las lluvias máximas en 24 horas, se recopilaron los máximos valores anuales de precipitación en 24 horas registrada.

Tabla 14. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PG Nazareth.

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
59.00	**1984**
39.40	**1985**
30.00	**1986**
46.20	**1987**
28.00	**1988**
29.00	**1989**
118.90	**1990**
27.30	**1991**
32.40	**1992**
35.90	**1993**
32.40	**1994**
29.40	**1995**
31.00	**1996**
37.80	**1997**
42.50	**1998**
33.60	**1999**
30.00	**2000**
32.70	**2001**
48.00	**2002**
27.20	**2003**
60.00	**2004**
49.10	**2005**
50.00	**2006**
38.20	**2007**

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
33.00	**2008**
27.50	**2009**
38.30	**2010**
36.60	**2011**
6.20	**2012**
44.50	**2013**
38.00	**2014**
28.70	**2015**
39.00	**2016**
34.00	**2017**
33.00	**2018**
42.50	**2019**
36.00	**2020**
40.40	**2021**
39.45	**Promedio**

Fuente: Elaboración Propia.

11.7 ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF.

Se pueden definir como patrones de conductas pluviométricas que registran sobre un área o región específica y que resultan de unir los puntos más representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno, representando las duraciones en abscisas y las intensidades en las ordenadas.

Intensidad (I): Se puede definir como el volumen de precipitación por unidad de área o altura equivalente de precipitación por unidad de tiempo (mm/ hora) y se expresa como I = P / Td (Ven Te Chow, 1994), donde P = Lámina de agua lluvia (mm) y Td = Duración (horas).

Duración (Td): Es el tiempo comprendido entre el comienzo y el final de la precipitación considerado como evento.

Frecuencia (F): Se considera como una medida de la probabilidad de ocurrencia de que un evento sea igualado o excedido por lo menos una vez al año, expresada en función del periodo de retorno.

Debido a que no en todas las zonas del país el IDEAM cuenta con curvas IDF, se ha dado amplio uso a la metodología de "Curvas sintéticas de Intensidad – Duración – Frecuencia para Colombia" de Vargas Rodrigo – 1998. Esta metodología es conocida como el método simplificado, se realiza a partir de una correlación de la Precipitación Máxima en 24 h, el Número promedio de Días de Lluvia al año y la Precipitación Total Anual.

Con base a esta metodología se calcularon las Curvas IDF para la estación PG Nazareth: la ecuación definida como Número 11 es la empleada para la elaboración de las curvas IDF y se presenta a continuación:

$$I_m = a \cdot \frac{T^b}{t^c} \cdot M^d \cdot N^e \cdot PT^f$$

En donde:

I: Intensidad media en mm/hr.
T: Periodo de retorno en años.
t: duración de la lluvia en horas.
N: promedio del número de días con lluvia al año.
PT: Precipitación Media anual en mm.
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria en mm.

Para Colombia, se han establecido diferentes valores de a, b, c, d, e y f (Parámetros de regresión) según la región del país, los cuales se presenta en la siguiente Tabla y en la siguiente figura.

Tabla 15. Valores Parámetros de Regresión en Colombia

Región	A	b	c	d	e	f
Andina (R1)	1.61	0.19	0.65	0.75	-0.15	0.08
Caribe (R2)	8.51	0.21	0.50	-0.01	-0.08	0.28
Pacífico (R3)	2.31	0.19	0.58	-0.20	0.12	0.400

Fuente: Curvas Sintéticas de IDF para Colombia – Vargas Rodrigo 1998.

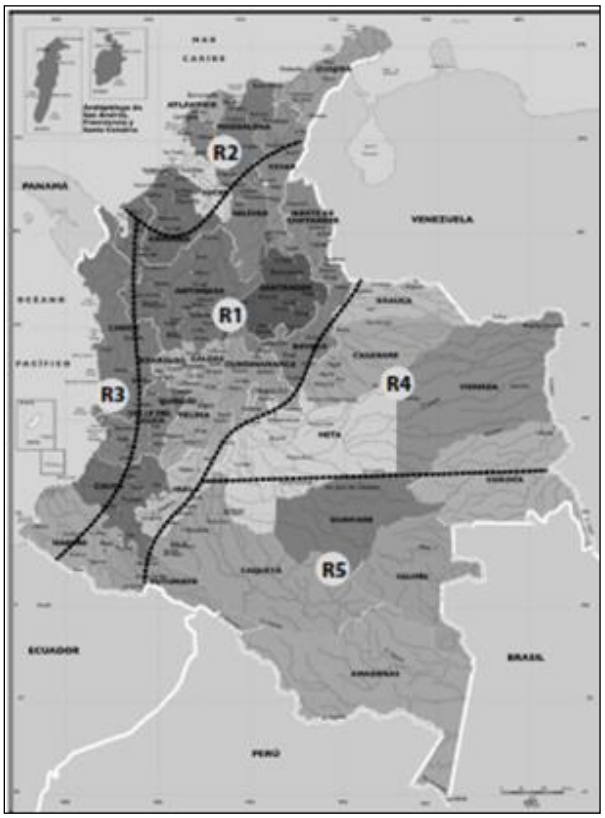


Figura 42. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión
Fuente: Curvas Sintéticas de IDF para Colombia – Vargas Rodrigo 1998.

La zona de proyecto se encuentra en la Región 1 (Andina), cuyos parámetros a, b, c, d, e y f son iguales respectivamente a: 1.61, 0.19, 0.65, 0.75, -0.15 y 0.08.

Aplicando estos valores, la ecuación anterior queda:

$$I_m = 1.61 \cdot \frac{T^{0.19}}{t^{0.65}} \cdot M^{0.75} \cdot N^{-0.15} \cdot PT^{0.08}$$

Teniendo en cuenta los datos históricos, el promedio del valor máximo anual de precipitación diaria en la estación PG Nazareth es de 39.45mm y el número de días de lluvia es 196. La precipitación promedio anual es de 1143.64mm. A continuación, se presentan las curvas IDF obtenidas.

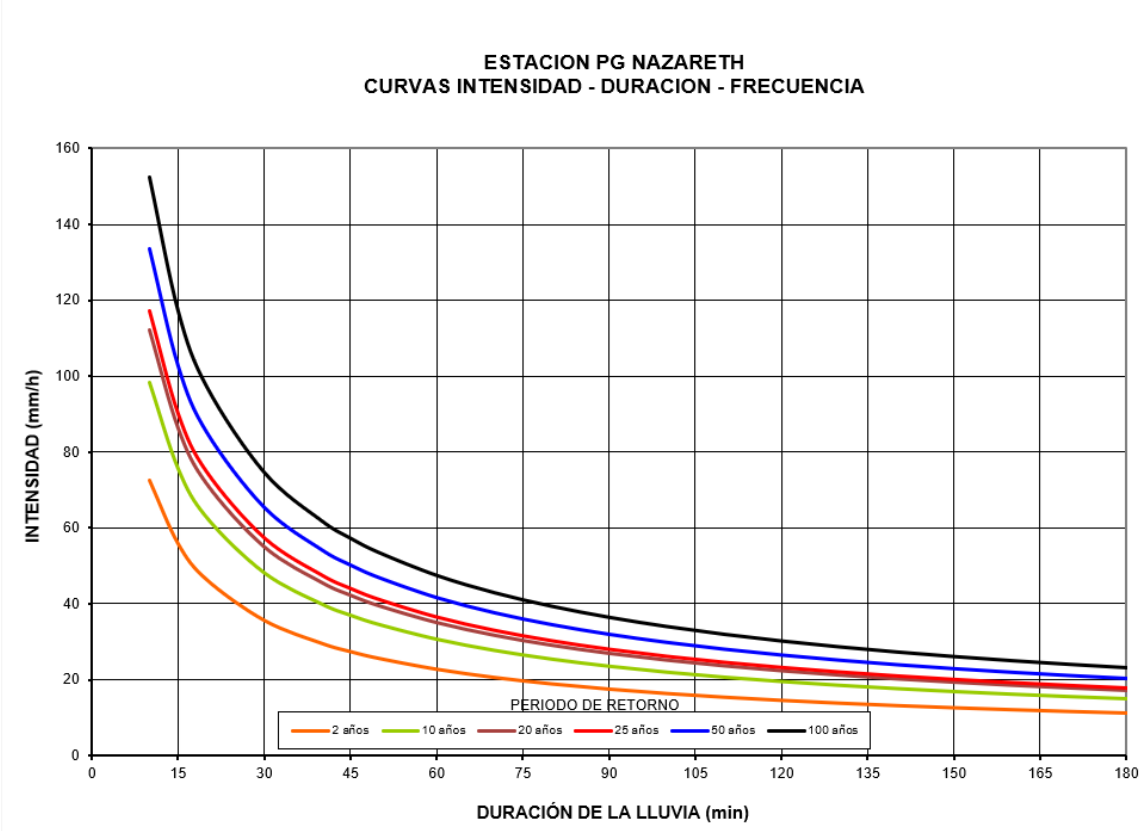


Figura 43. Curvas IDF Estación PG Nazareth.
Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se presentan las Relaciones de Intensidad – Duración – Frecuencia, a partir de las cuales se generaron las Curvas IDF.

Tabla 16. Relaciones IDF – Estación PG Nazareth

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)						
	2	5	10	20	25	50	100
10	72.5	86.3	98.4	112.3	117.2	133.6	152.5
15	55.7	66.3	75.6	86.3	90.0	102.7	117.1
20	46.2	55.0	62.7	71.6	74.7	85.2	97.2
30	35.5	42.2	48.2	55.0	57.4	65.4	74.6
40	29.4	35.0	40.0	45.6	47.6	54.3	61.9

45	27.3	32.5	37.0	42.2	44.1	50.3	57.4
50	25.5	30.3	34.6	39.4	41.2	46.9	53.6
60	22.6	26.9	30.7	35.0	36.6	41.7	47.6
70	20.5	24.4	27.8	31.7	33.1	37.7	43.0
80	18.8	22.3	25.5	29.1	30.3	34.6	39.5
90	17.4	20.7	23.6	26.9	28.1	32.0	36.5
100	16.2	19.3	22.0	25.1	26.2	29.9	34.1
110	15.3	18.2	20.7	23.6	24.7	28.1	32.1
120	14.4	17.2	19.6	22.3	23.3	26.6	30.3
130	13.7	16.3	18.6	21.2	22.1	25.2	28.8
140	13.0	15.5	17.7	20.2	21.1	24.0	27.4
150	12.5	14.8	16.9	19.3	20.2	23.0	26.2
160	12.0	14.2	16.2	18.5	19.3	22.0	25.1
170	11.5	13.7	15.6	17.8	18.6	21.2	24.2
180	11.1	13.2	15.0	17.2	17.9	20.4	23.3
1440	2.9	3.4	3.9	4.4	4.6	5.3	6.0

Fuente: Elaboración Propia.

11.8 IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA

El sector donde se encuentra ubicado el Nodo 6 - Auras corresponde a una zona en general en una altitud importante. En efecto, la cota del terreno sobre el nivel del mar varía entre los 3000msnm y 3050msnm. El predio analizado se encuentra en un sector alrededor del cual, se identificaron importantes cuerpos de agua, como lo son la Quebrada Santa Rosa, también se identificó el Cauce de la Quebrada Las Auras y sus quebradas afluentes que en el punto más cercano se encuentra a 280 m y el cauce del Río Chochal. En la siguiente figura se presenta la identificación de los principales drenajes naturales dentro y fuera del área del Nodo 6:

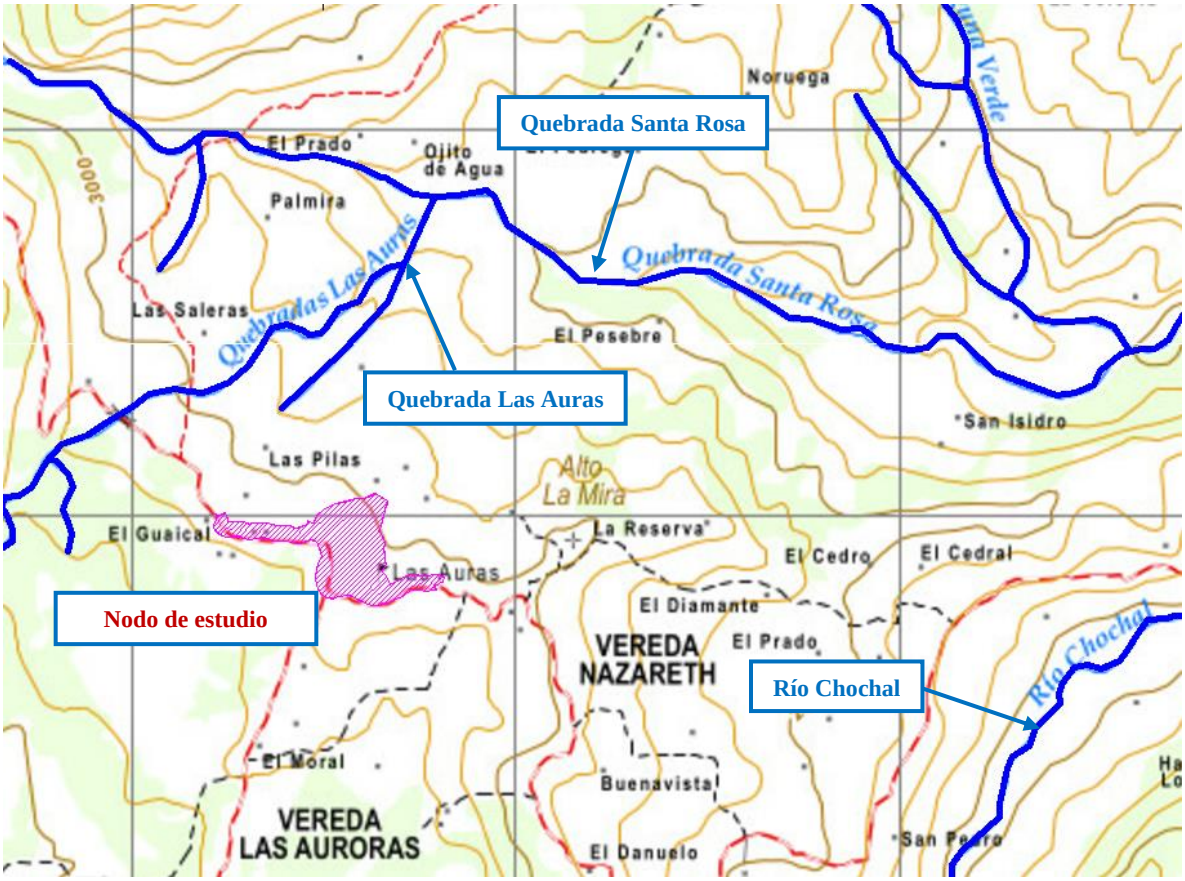


Figura 44. Descripción Red de Drenaje Nodo 6 - Auras
Fuente: Elaboración Propia.

Aunque no se evidencia el cruce de cauce natural identificado en la cartografía, las curvas de nivel muestran que el polígono es atravesado por una escorrentía menor. En el anexo Planos Auras, archivo *Drenajes_Auras*, se relaciona plano en el cual se puede visualizar que no se evidencia el cruce de cauces naturales.

11.9 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES:

En el sector donde se encuentra ubicado el Nodo 6 – Auras se identificaron cinco obras de Drenaje menores para permitir el cruce de escorrentía superficial sobre la vía existente. En el Anexo 3 se presenta el Inventario realizado y a continuación se presentan la identificación realizada. En visita de campo realizada el 2 de enero del 2023, se apreciaron cuatro alcantarillas ubicadas en las siguientes coordenadas:

- ✓ **Alcantarilla 1**
  N → 952815,076
  E → 989768,975
- ✓ **Alcantarilla 2**
  N → 952803,915
  E → 989699,804
- ✓ **Box Culvert**
  N → 952784,466
  E → 989594,881
- ✓ **Alcantarilla 4**
  N → 952804,380
  E → 989508,282
- ✓ **Alcantarilla 5**
  N → 952932,552
  E → 989436,797
- ✓ **Alcantarilla 6- Pantalla Deflectora 1**
  N → 952946,827
- ✓ E → 989350,197
- ✓ **Alcantarilla 7- Pantalla Deflectora 2**
  N → 952940,861
  E → 989303,232

Las cuales tienen como finalidad recolectar las aguas superficiales y subsuperficiales del sector. Se resalta que, si bien estas obras se encuentran en funcionamiento, no se presenta intervención de mantenimiento, provocando la presencia de colmatación y empozamientos de agua.



Figura 45. Alcantarillas existentes en el nodo las Auras

✓ Obra de Drenaje No. 1 - Alcantarilla 1

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro ϕ 40" (1.0m) y una longitud de 6.60m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable. En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

Tabla 17. Elementos de equipamiento de alcantarilla 1

	ENTRADA		SALIDA	
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Altura (m)	1.8	Altura (m)	1.8
GUARDA RUEDAS	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.2
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.7
MURO DE ACOMPAÑAMINETO	Longitud (m)	1.25	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	-
SOLADO	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

No se presenta estructura para el descole para esta alcantarilla, por lo cual las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial recogidas, son vertidas a la ladera y al terreno natural. A continuación, se presenta el registro fotográfico tomado para esta alcantarilla.



Fotografía 8. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 40".



Fotografía 9. Se evidencia que la estructura cuenta con muro de apoyo, cabezal y solado.



Fotografía 10. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural

✓ Obra de Drenaje No. 2 - Alcantarilla 2

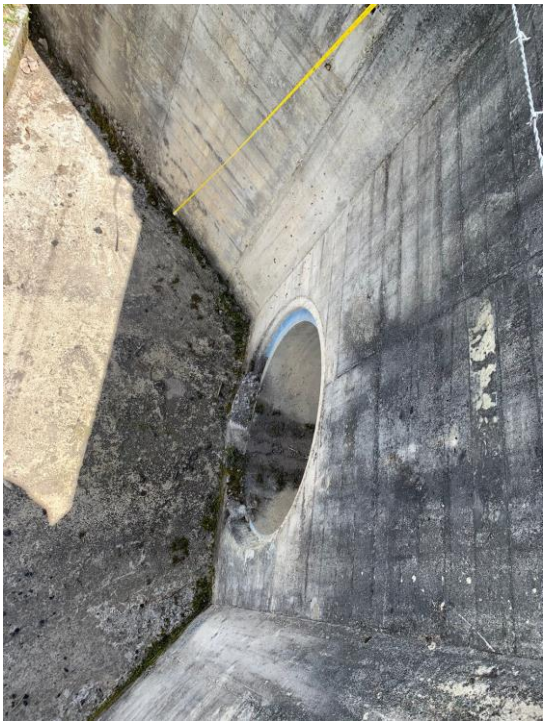
Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro ϕ 36” (0.90m) y una longitud de 4.5m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, permite la descarga de cunetas y el cruce de escorrentía superficial. Adicionalmente cuenta con los elementos mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 18. Elementos de equipamiento de alcantarilla 2

	ENTRADA		SALIDA	
ENCOLE-DESCOLE	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.5
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.9	Longitud (m)	2
	Altura (m)	2.6	Altura (m)	3.6
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	2.1	Longitud (m)	2.5
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	0.25
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.9
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.8
MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Longitud (m)	1.5	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	-
SOLADO	Altura (m)	0.1	Altura (m)	0.1

No se cuenta con un sistema de descole apropiado para la entrega de las aguas de escorrentía superficiales y subsuperficiales, por lo cual estas aguas se vierten al terreno natural. A continuación, se presenta fotografías tomadas en la visita, en las cuales se puede evidenciar el estado actual de esta obra hidráulica.

	
Fotografía 11. Se evidencia muro de acompañamiento y muro cabezal y Guarda ruedas	**Fotografía 12.** Se tiene una tubería en concreto con un diámetro de 36"



Fotografía 13. Esta alcantarilla cuenta con aletas de salida, solado y muro cabezal



Fotografía 14. Se evidencia descole, pero se resalta que este no es eficiente ya que se vierten más adelante las aguas recogidas por esta alcantarilla al terreno natural.

- ✓ **Obra de Drenaje No. 3 - Box Culvert**

El box Culvert presente en la zona es de tipo cajón, con un ancho de 2 m de ancho y 1.80 m de altura, su longitud es de 7.6 m y es de ducto simple, en la parte estructural no se evidenciaron fallas, agrietamientos o daños estructurales. De acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, permite el cruce de cauce menor. En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

Tabla 19. Elementos de equipamiento del Box culvert

	ENTRADA		SALIDA	
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.8	Longitud (m)	1.8
	Altura (m)	0.8	Altura (m)	0.8
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	1.8	Longitud (m)	1.8
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2

	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	1.5	Longitud (m)	1.5
	Altura (m)	1.8	Altura (m)	1.8

No se cuenta con un sistema de descole apropiado para la entrega de las aguas de escorrentía superficiales y subsuperficiales recogidos por esta obra hidráulica, por lo cual estas aguas se vierten al terreno natural. A continuación, se presenta fotografías tomadas en la visita, en las cuales se puede evidenciar el estado actual de esta obra hidráulica.



Fotografía 15. se evidencia que la estructura no presenta agrietamiento ni daños estructurales



Fotografía 16. se evidencia la presencia de guarda ruedas con una altura de 45 cm aproximadamente



Fotografía 17. No existe presencia de aletas ni descole para el box culvert

- ✓ **Obra de Drenaje No. 4 - Alcantarilla 4**

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro ϕ 36” (0.90m) y una longitud de 5.6m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, permite la descarga de cunetas y el cruce de escorrentía superficial. Adicional a esto, cuenta con los elementos de equipamiento mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 20. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 4

	ENTRADA		SALIDA	
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.8	Longitud (m)	1.8
	Altura (m)	1.6	Altura (m)	1.6
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	2.1	Longitud (m)	2.1
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	0.25
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.9
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.8
MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Longitud (m)	1.5	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	-
SOLADO	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

No se cuenta con un sistema de descole apropiado para la entrega de las aguas de escorrentía superficiales y subsuperficiales, por lo cual estas aguas se vierten al terreno natural. A continuación, se presenta fotografías tomadas en la visita, en las cuales se puede evidenciar el estado actual de esta obra hidráulica.



Fotografía 18. Se evidencia muro de acompañamiento y muro cabezal y Guardarruedas



Fotografía 19. Se tiene una tubería en concreto con un diámetro de 36"



Fotografía 20. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural

Dentro el tramo vial presente en el polígono, a un costado de esta, se encuentra una alcantarilla con un tubo de 40” de diámetro, esta no presenta un descole adecuado por lo cual las aguas recolectadas en esta alcantarilla se filtran directamente en el terreno. Cerca a esta alcantarilla se presenta un movimiento en masa.

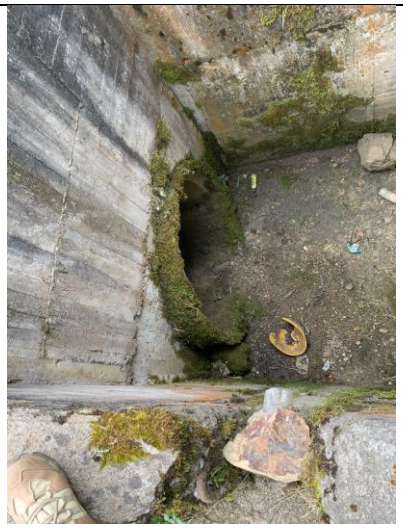
- ✓ **Obra de Drenaje No. 5 Alcantarilla 5**

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro ϕ 40” (1.00m) y una longitud de 5.5m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, permite la descarga de cunetas y el cruce de escorrentía superficial. Adicionalmente, cuenta con los elementos mostrados en la siguiente tabla. No se registraron daños estructurales. En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

Tabla 21. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 5

	ENTRADA		SALIDA	
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Altura (m)	1.8	Altura (m)	1.8
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.3
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.2
ALETAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.2
	Altura (m)	-	Altura (m)	0.1

No se cuenta con un sistema de descole apropiado para la entrega de las aguas de escorrentía superficiales y subsuperficiales, por lo cual estas aguas se vierten al terreno natural. A continuación, se presenta fotografías tomadas en la visita, en las cuales se puede evidenciar el estado actual de esta obra hidráulica.



Fotografía 21. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 40", se evidencia que esta esta colmatada por falta de mantenimiento



Fotografía 22. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural

- ✓ **Obra de Drenaje No. 6 - Pantalla deflectora**

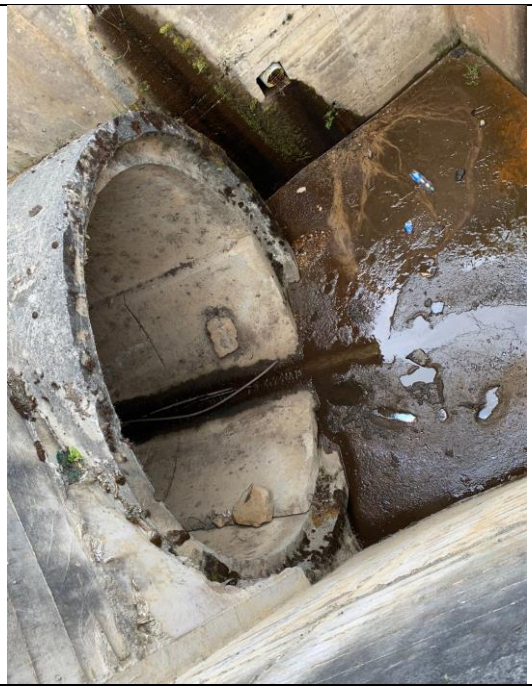
Para este alcantarillado en la parte de encole se encuentra una pantalla deflectora de aproximadamente 2.8 m de ancho y 2 m de alto la cual se encarga de recoger las aguas de escorrentías superficiales y subsuperficiales de la parte alta media y baja de la ladera. Estas aguas son entregadas a un alcantarillado que se encuentra equipado con una tubería de 100" y una longitud de 6.6 m. Para la parte del descole de esta alcantarilla se evidencio daños estructurales, provocados por la estructura en bolsacreto lo que genera un taponamiento.

En la siguiente tabla se muestran las medidas de los elementos de equipamiento presentes en esta alcantarilla.

Tabla 22. Elementos de equipamiento alcantarilla 6.

	ENTRADA		SALIDA	
ENCOLE-DESCOLE	Longitud (m)	67	Longitud (m)	-
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.7	Longitud (m)	1.7
	Altura (m)	1.8	Altura (m)	1.8
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	1.7	Longitud (m)	1.7
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	1.6	Longitud (m)	1.7
	Altura (m)	1.85	Altura (m)	1.1
MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Longitud (m)	-	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	-	Espesor (m)	-
SOLADO	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

A continuación, se muestran imágenes del estado actual de esta obra.



Fotografía 23. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 100"



Fotografía 24. Encole de alcantarillado



Fotografía 25. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural

✓ Obra de Drenaje No. 7 - Pantalla deflectora 2

Para este alcantarillado en la parte de encole se encuentra una pantalla deflectora de aproximadamente 1.8 m de ancho y 1.40 m de alto la cual se encarga de recoger las aguas de escorrentías superficiales y subsuperficiales de la parte alta media y baja de la ladera. Estas aguas son entregadas a un alcantarillado que se encuentra equipado con una tubería de 36" y una longitud de 6.6 m. Para la parte del descole de esta alcantarilla se evidencio daños estructurales, provocados por la estructura en bolsacreto lo que genera un taponamiento.

En la siguiente tabla se muestran las medidas de los elementos de equipamiento presentes en esta alcantarilla.

Tabla 23. Elementos de equipamiento alcantarilla 7.

	ENTRADA		SALIDA	
ENCOLE-DESCOLE	Longitud (m)	52	Longitud (m)	-
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.7	Longitud (m)	1.7
	Altura (m)	1.8	Altura (m)	1.8
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	1.7	Longitud (m)	1.7
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.2
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.5
MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Longitud (m)	-	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	-	Espesor (m)	-
SOLADO	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

A continuación, se muestran imágenes del estado actual de esta obra.



Fotografía 26. La tubería de la alcantarilla es de concreto, con diámetro de 36", así mismo esta se encuentra equipada con una pantalla deflectora



Fotografía 27. Se presenta descole, pero se resalta que en este no se encuentra en buenas condiciones por la falta de mantenimiento.

11.10 CAUDALES DE DISEÑO

Para revisar las necesidades de drenaje de la vía es necesario establecer los caudales de las cuencas que la cruzan, es decir, los que deberán manejar las obras de drenaje. Dichos caudales varían de acuerdo al período de retorno para el cual se diseñan las obras. En función del tipo de obra y de su importancia, los períodos de retorno adoptados para determinar los caudales de diseño son los siguientes:

Tabla 24. Período de retorno según tipo de obra.

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (años)
Box culvert	25
Alcantarillas mayores de 0.90 m de diámetro	20
Alcantarillas hasta de 0.90 m de diámetro	10
Cunetas	5
Subdrenaje	2

Fuente: Manual de drenaje de carreteras de INVIAS.

En los estudios del tramo de vía que corresponden a este informe, se utiliza el método racional para estimar el caudal de diseño para las obras de drenaje, el cual aplica para cuencas con un

área menor o igual a 2.5 km². Este criterio está de acuerdo con lo estipulado en el Manual de Drenaje de Carreteras de INVIAS.

Este método permite calcular los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, mediante una ecuación matemática que utiliza las características hidrológicas y morfométricas de cada cuenca y relaciona los caudales de las cuencas en un punto dado con la precipitación máxima que cae sobre la cuenca. El método racional propone la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{F * C * I * A}{3.6}$$

Dónde:

- ✓ Q: Caudal máximo, (m³/s)
- ✓ F: Factor de reducción de la lluvia puntual por área de drenaje, valor adimensional.
- ✓ C: Coeficiente de escorrentía.
- ✓ i: Intensidad de la lluvia, (mm/h)
- ✓ A: Área de Drenaje, (Km²)

- **Áreas de Drenaje:**

En la siguiente figura se presentan las áreas de drenaje obtenidas para cada obra de drenaje existente:

Figura 46. Áreas de Drenaje Obras Existentes



Fuente: Elaboración Propia.

- **Factor de Reducción de Lluvia:**

Para el Factor de Reducción de la Lluvia Puntual por Área de Drenaje, se tiene en cuenta que en general, la precipitación para una duración determinada (intensidad promedio) decrece desde el centro de las tormentas, a medida que se incrementa la distancia a partir de este punto. La precipitación máxima es representativa del centro de las tormentas, por lo cual la precipitación promedio en la totalidad del área de drenaje deberá ser menor, dependiendo del tamaño y forma de la cuenca, de las tormentas históricas registradas y de la localización del centro de precipitación máxima. Para calcular el factor de reducción de lluvia se emplea la ecuación de Frühling que se presenta a continuación:

$$F(A) = 1.0 - 0.0054 * A^{0.25}$$

Este valor se aplicará para cuencas que superen un área de 1.0 km^2.

- **Coeficiente de Escorrentía:**

El coeficiente de escorrentía (C), es la relación del total del agua precipitada en una cuenca, con el volumen real de la escorrentía después de descontar las pérdidas por almacenamiento, retención e infiltración. Dependen del uso y tipo de suelo, de la cobertura vegetal y de la condición de humedad antecedente.

Las coberturas de la tierra para el proyecto, se clasificaron de acuerdo a la metodología CORINE Land cover adaptada para Colombia, con esta clasificación se obtuvieron coberturas diferentes las cuales se presentan a continuación:

Tabla 25. Coberturas de la tierra Nodo Auras

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Auras	112	Tejido urbano Discontinuo	0,23
	1211	Zonas Industriales	0,05
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,83
	125	Obras Hidráulicas	0,06
	1421	Áreas Culturales	0,57
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,18
	225	Cultivos Confinados	0,15
	231	Pastos Limpios	3,85
	3222	Arbustal abierto	0,08
	3231	Vegetación Secundaria alta	0,06
	3232	Vegetación Secundaria baja	0,15

Fuente: Geodinámica, 2023

Considerando la cobertura del suelo en el sector, se emplean coeficientes de escorrentía de 0.41, 0.44 y 0.48 para periodos de retorno de 10, 25 y 50 años respectivamente. El coeficiente de escorrentía se estimó con base a los coeficientes propuestos por V. T. Chow en el libro "Handbook of Applied Hydrology" que se presentan en la siguiente figura:

Figura 47. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años) 2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Zonas verdes (jardines, parques, etc.)							
Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)							
Plano, 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Promedio, 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Pendiente, superior a 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Condición promedio (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Condición buena (cubierta de pasto mayor del 75% del área)							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
Área de cultivos							
Plano, 0-2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Promedio, 2-7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Pendiente, superior a 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pastizales							
Plano, 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Promedio, 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Pendiente, superior a 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Bosques							
Plano, 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Promedio, 2-7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Fuente: V. T. Chow, Handbook of Applied Hydrology

- **Intensidad:**

La intensidad de la precipitación se selecciona para una duración igual a la del tiempo de concentración propio de cada cuenca y para el período de retorno establecido. Por lo tanto, el caudal calculado corresponderá a la creciente con una frecuencia igual a la de la precipitación con la intensidad seleccionada. Para tiempos de concentración inferiores a 15 minutos se utilizó la intensidad correspondiente a tiempo de concentración de 15 minutos, (Ver Curvas IDF).

- **Tiempo de Concentración:**

Para el tiempo de concentración se realizaron cálculos empleando varias expresiones:

La expresión de Kirpich (U.S. Bureau of Reclamation "Design of Small Dams"), aplica bastante bien a cuencas pequeñas y está dada por la siguiente expresión:

$$T_C = 3.9756 * L^{0.77} * S^{-0.385}$$

Dónde:

- ✓ Tc: Tiempo de concentración en minutos, está definido como el tiempo que gasta una gota de agua para llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio donde se quiere calcular el caudal
- ✓ L: Longitud del cauce desde el sitio más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés (km)
- ✓ S: Pendiente ponderada correspondiente a la cuenca de estudio (m/m).

También se aplicó la fórmula de Bransby-Williams[2] que corresponde a la siguiente ecuación:

$$Tc = \frac{14.6L}{A^{0.1}S^{0.2}}$$

Dónde:

- ✓ Tc: Tiempo de concentración en minutos
- ✓ L: Longitud máxima de la corriente en km
- ✓ A: Área de la cuenca en km².
- ✓ S: Pendiente de la corriente principal en m/m

La formulación propuesta por Ventura Heras, corresponde a la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.75}$$

Dónde:

- ✓ Tc: Tiempo de concentración en minutos
- ✓ L: Longitud máxima de la corriente en km
- ✓ S: Pendiente de la corriente principal en m/m

La formulación propuesta por V.T Chow, corresponde a la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.273\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.64}$$

Dónde:

- ✓ Tc: Tiempo de concentración en minutos
- ✓ L: Longitud máxima de la corriente en km
- ✓ S: Pendiente de la corriente principal en m/m

[2] Pilgrim y Cordery, 1993, p.9-16

La formulación propuesta por Temez, corresponde a la siguiente ecuación:

$$T_c = 0.30\left(\frac{L}{S^{0.25}}\right)^{0.76}$$

Dónde:

- ✓ Tc: Tiempo de concentración en minutos
- ✓ L: Longitud máxima de la corriente en km
- ✓ S: Pendiente de la corriente principal en m/m

En general, para la zona en estudio, considerando las características de las cuencas y los cauces, se adopta la Fórmula de Bransby – Williams para los estimativos de caudales**,** ya que los tiempos de concentración por Kirpich se consideran excesivamente cortos y los tiempos de concentración de Temez, V.T Chow y Ventura Heras tienen un orden de magnitud similar a Bransby Williams.

Finalmente, en la siguiente tabla, se presenta el resumen de los caudales calculados, el número de cuenca, área tributaria, tiempo de concentración, coeficiente de escorrentía e intensidad de lluvia, factor de reducción aplicado y caudal de diseño según el periodo de retorno.

Tabla 26. Evaluación de caudales

No	Área (Km²)	Long. (Km.)	S (m/m)	Tc Bransby (min)	Coeficiente de escorrentía			I 10 años (mm/h)	I 25 años (mm/h)	I 50 años (mm/h)	Método Racional (Q m3/s)		
					10 años	25 años	50 años				Tr=10 años	Tr=25 años	Tr=50 años
1	0.067	0.450	0.11111	15.0	0.44	0.48	0.51	75.6	86.4	98.6	0.62	0.77	0.94
2	0.010	0.100	0.10000	15.0	0.44	0.48	0.51	75.6	90.0	102.7	0.09	0.12	0.15
3	0.194	0.680	0.07353	19.7	0.44	0.48	0.51	63.3	77.6	88.5	1.50	2.01	2.43
4	0.010	0.100	0.10000	15.0	0.44	0.48	0.51	75.6	90.0	102.7	0.09	0.12	0.15
5	0.059	0.284	0.17606	15.0	0.44	0.48	0.51	75.6	90.0	102.7	0.55	0.71	0.86

Fuente: Elaboración Propia.

11.11 EVALUACIÓN HIDRÁULICA

Los criterios adoptados para el análisis hidráulico de las obras menores se presentan a continuación:

- Las alcantarillas con pendiente supercrítica y flujo de aproximación de carácter subcrítico (So > Sc) establecen un control hidráulico de entrada; en el caso contrario (So < Sc) existirá flujo con control de salida.
- El dimensionamiento hidráulico se realizó considerando que para el caudal de diseño la lámina de aproximación era igual a la altura del conducto.
- La cabeza de velocidad de la lámina de aproximación se considera despreciable, comparada con la cabeza de velocidad dentro del conducto.
- Igualando energías entre el punto inmediato aguas arriba de la entrada del conducto y la entrada, se establece la siguiente ecuación:

$$Hw = \frac{v^2_c}{2g} + \frac{KV^2_c}{2g} + Y_c$$

Dónde:

- ✓ Hw: Nivel de agua a la entrada; parámetro que establece las dimensiones de la obra de drenaje, en metros.
- ✓ Yc: Profundidad crítica que se forma inmediatamente aguas abajo de la entrada+ del conducto, en metros.
- ✓ Vc: Velocidad crítica, en m/s.
- ✓ K: Coeficiente de pérdida por entrada. Este coeficiente se estima en 0.5.

Desarrollando la ecuación anterior el "Bureau of Reclamation" presenta la siguiente ecuación, aplicable a alcantarillas circulares:

$$\frac{Q}{D^{\frac{5}{2}}} = 2.2$$

Dónde:

- ✓ Q: Caudal, en pies³/s.
- ✓ D: Diámetro de la alcantarilla, en pies.

Para el caso de los Box Culvert se estableció como condición de flujo, según las características naturales de las corrientes predominantes en el proyecto, control hidráulico a la entrada y parámetros de evaluación similar a las alcantarillas circulares. La ecuación resultante es la siguiente:

$$Q = 1.35 * b * H^{3/2}$$

Dónde:

- ✓ H: Nivel del agua a la entrada, altura del conducto, en metros.
- ✓ B: Ancho del conducto, en metros.
- ✓ Q: Caudal, en m³/s.

En todos los casos, las alcantarillas y así mismo los Box Culvert, al presentar una pendiente superior a la crítica desarrollarán un flujo supercrítico, cuyas profundidades varían con las distancias generando movimientos gradualmente variados. Los resultados de los análisis computacionales demuestran que las estructuras existentes funcionaran a flujo libre con control de entrada y que los caudales transitados bajo la estructura no sobrepasaran la cota clave de la estructura proyectada.

Tabla 27. Evaluación Obras de Drenaje

No.	Área (Km²)	Caudal Máximo Instantáneo (m3/s)	OBRA EXISTENTE						OBSERVACIONES
			Cant	b (m)	f (m)	h (m)	Capacidad (m³/s)	Longitud(m)	
1	0.067	0.77	1		1.00		1.21	6.60	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente requiere actividades de limpieza y mantenimiento.
2	0.01	0.09	1		0.90		0.93	4.50	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente requiere actividades de limpieza y mantenimiento.
3	0.194	2.01	1	2.00		1.50	4.96	7.60	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente requiere actividades de limpieza y mantenimiento.
4	0.01	0.09	1		0.90		0.93	5.60	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente requiere actividades de limpieza y mantenimiento.
5	0.059	0.71	1		1.00		1.21	5.50	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente requiere actividades de limpieza y mantenimiento.

Fuente: Elaboración Propia

11.12 EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN

Los resultados de capacidad de filtración de los diferentes depósitos se tomaron a partir de la literatura aportada por el doctor Lambe en su libro Mecánica de suelos[3]. En su libro describe los coeficientes de permeabilidad de la siguiente forma:

[3] Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1972). *Mecánica de suelos* (No. 624.151 LAM).

Tabla 28. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo

Tipo de formación	Valor de k (cm/seg)
Depósitos fluviales	
Ródano en Genissiat	
Pequeños ríos de los	Hasta 0.40
Alpes orientales	0.02–0.16
Missouri	0.02–0.20
Mississippi	0.02–0.12
Depósitos glaciales	
Llanuras de aluvión	0.05–2.00
Esker, Westfield, Mass.	0.01–0.13
Delta, Chicopee, Mass.	0.0001–0.015
Till morrénico	Menor de 0.0001
Depósitos eólicos	
Arena de médano	0.1–0.3
Loes	0.001 ±
Tierras loésicas	0.0001 ±
Depósitos lacustres y marinos (no costeros)	
Arena muy fina uniforme $U^a = 5–2$	0.0001–0.0064
"Hígado de toro"*, 6a. Avenida, N. Y. $U = 5–2$	0.0001–0.0050
"Hígado de Toro", Brooklyn, $U = 5$	0.00001–0.0001
Arcilla	Menor de 0.0000001

[a] U = coeficiente de uniformidad
Según Terzaghi y Peck, 1967.

* Nombre dado en la región de Nueva York a un limo inorgánico muy inestable, de consistencia viscosa. (N.T.)

Sin embargo, pruebas posteriores de permeabilidad sobre materiales más comparables lograron determinar lo siguiente:

Tabla 29. Resultados de pruebas de permeabilidad [4]

Suelo	Tamaño D_{10} (cm)	Permeabilidad (μ/seg)	k/D_{10}^2 (l/seg cm)
Grava gruesa	0.082	1100	16
Grava arenosa	0.020	160	40
Grava fina	0.030	71	8
Grava limosa	0.006	4.6	11
Arena gruesa	0.011	1.1	1
Arena media	0.002	0.29	7
Arena fina	0.003	0.096	1
Limo	0.0006	0.15	42
			Media = 16

[4] Lane, K. S., Washburn, D. E., & Krynine, D. P. (1947). Capillarity tests by capillarimeter and by soil filled tubes. In *Highway research board proceedings* (Vol. 26).

En el modelo geológico geotécnico se asignará un valor dependiendo de capacidad de filtración (permeabilidad) de los depósitos, dependiendo del material predominante que se encuentre en la zona.

11.13 BALANCE HÍDRICO

Para realizar el balance hídrico en la zona objeto de estudio, se emplearon los datos de la estación AG Pasca – Aut., esta es la única estación en el sector que permite obtener datos de evaporación, temperatura y precipitación en el sector, a partir de este dato se aplicó el método de Thornthwaite. Este método trata de cuantificar los distintos componentes del balance hídrico en el suelo, el fundamento esta descrito mediante la siguiente ecuación:

$$P = Es + ETR + I$$

Donde,

- ✓ P: Precipitación (en mm/unidad de tiempo, habitualmente año o mes).
- ✓ Es: Escorrentía superficial (en mm/unidad de tiempo).
- ✓ I: Infiltración en el terreno (en mm/unidad de tiempo).
- ✓ ETR: Evapotranspiración real (en mm/unidad de tiempo).

El cálculo del déficit de escurrimiento sobre un periodo de tiempo relativamente corto, como el mes, no puede llegar a cifras correctas más que si se tienen en cuenta las relaciones de un mes con otro de la variación R de las reservas almacenadas en las capas de agua subterránea. Para la estación AG Pasca – Aut., se cuenta con información de evaporación en tanque Clase A, Temperatura y precipitaciones mensuales. El método empleado fue el de Thornwaithe, utilizando como estimación de la Evapotranspiración potencial, una relación comúnmente usada en Colombia, que es EVP = 0.7* Evaporación en tanque clase A.

Tabla 30. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo

MES	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA	EVP	DEF	EXC
Enero	54.93	15.4	51.47	-3.46	0.00
Febrero	46.79	15.3	40.87	-5.92	0.00
Marzo	68.45	15.3	47.48	-20.97	0.00
Abril	92.59	15.6	44.77	-71.22	-23.40
Mayo	104.52	15.6	45.36	0.00	59.16
Junio	91.09	15.6	53.30	0.00	37.79

Julio	61.83	15.5	23.90	0.00	37.94
Agosto	55.18	15.3	19.99	0.00	35.18
Septiembre	48.44	15.3	31.54	0.00	16.91
Octubre	52.48	15.6	50.74	0.00	1.74
Noviembre	113.12	15.5	65.04	0.00	48.08
Diciembre	116.46	15.4	58.93	0.00	57.53
Total, Anual	**905.89**	**15.44**	**533.39**	**-172.78**	**270.92**

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente figura se muestra la variación espacial de los excesos totales anuales y los déficits totales anual, producto del balance hídrico realizado.

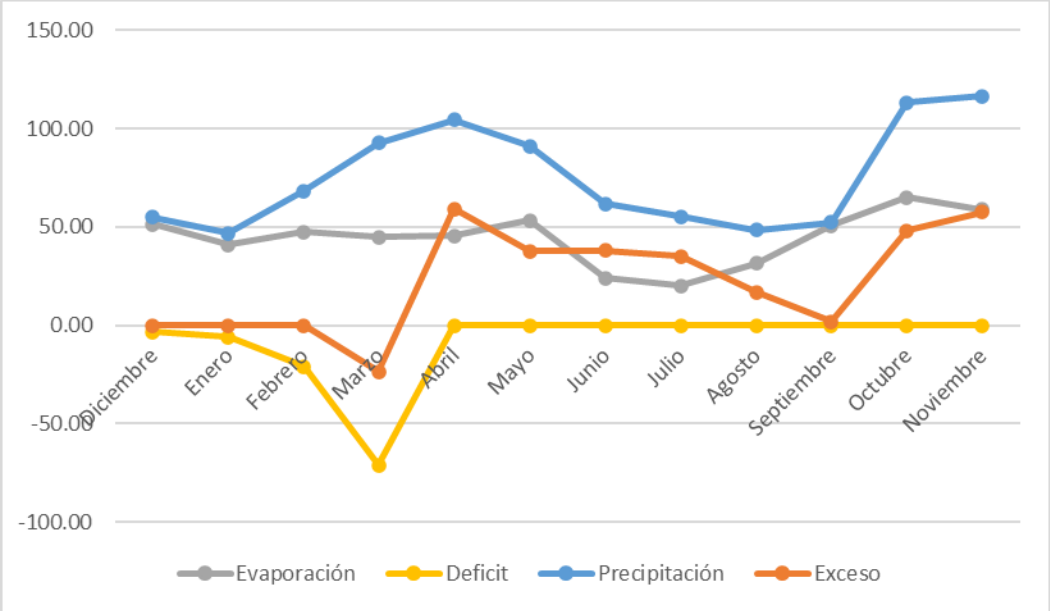


Figura 48. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas
Fuente: Elaboración Propia.

12 INVESTIGACIÓN GEOTECNICA

12.1 PROGRAMA DE EXPLORACIÓN

12.1.1 ANTECEDENTES

12.1.1.1 Estudios previos

Con el fin de obtener información de estudios anteriores e histórico de eventos ocurridos que sirvan como base de consulta para el desarrollo de la caracterización de escenarios de riesgo, y con lo cual, se priorizara y jerarquizara las amenazas por movimiento en masa en el nodo de estudio; por lo tanto, se realiza la respectiva búsqueda de información en diferentes bases de datos asociadas a la gestión de riesgos y prevención de desastres; las bases de datos consultadas fueron DESINVENTAR, SIMMA, Unidad de Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD y reportes generados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca-CAR. No obstante, una vez consultadas las diferentes bases de datos se encontró con falta de información en la zona de estudio o cercana a la misma.

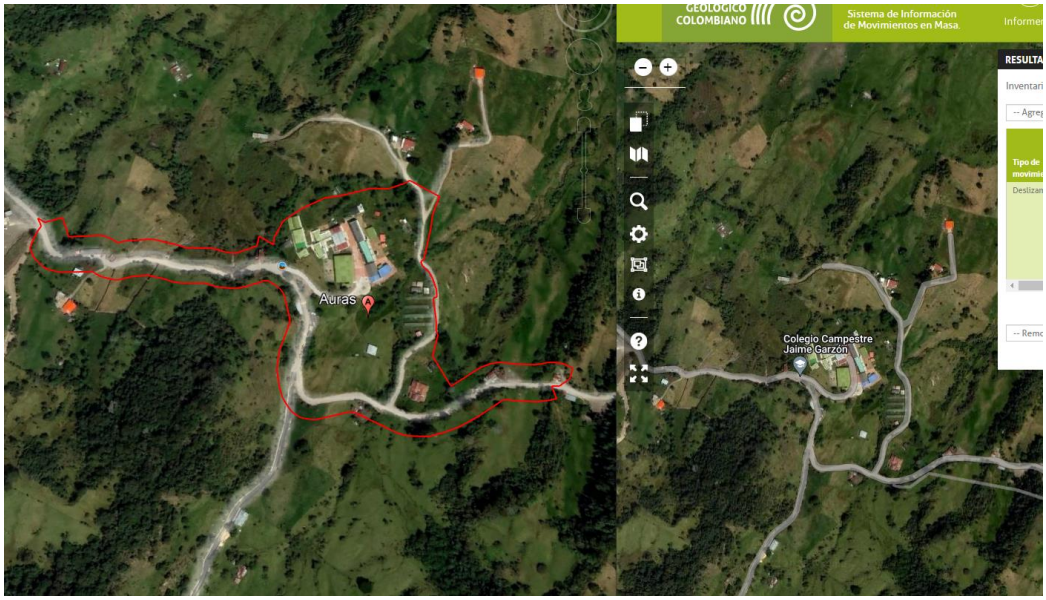


Figura 49. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Auras
Fuente: SIMMA

- **Diagnostico técnico**

En el 2014 y 2016, la alcaldía local de Sumapaz hace intervención en el nodo debido al riesgo por actividad de la construcción. Para el 2017 la alcaldía local de Sumapaz realiza visita por

llamado de la comunidad, ya que se presenta en algunos predios riesgos por movimiento en masa.

Se está a la espera de información complementaria sobre estos diagnósticos realizados por el IDIGER.

12.2 DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El día 24 de enero de 2023 se llevó a cabo la visita de reconocimiento inicial del área de estudio del Nodo 6 denominado las Auras, en compañía del director, el Especialistas en geotecnia, el geólogo y la ingeniera de apoyo de Geodinámica Ingeniería.

Del recorrido realizado se identifican los siguientes hallazgos que comprometen la estabilidad de la zona y el área de estudio.

- En la entrada del polígono en la zona inferior, es posible evidenciar una inclinación sobre los cercos que se encuentran a lo largo de la vía. (Ver las Fotografías 28).
- Dentro del polígono, es posible encontrar alcantarillas de 40", que no presentan un descole adecuado, ya que las aguas se infiltran directamente al terreno. (Ver la Fotografía 29).
- Cerca de una de las viviendas se encuentra un movimiento en masa, donde la comunidad indica que este problema se presentó desde hace aproximadamente 6 o 8 meses. Dentro del nodo, es posible encontrar una vivienda abandonada, la cual presenta grandes problemas de agrietamiento. (Ver la Fotografía 30 y 31)
- En la parte superior donde se encuentra el predio descrito anteriormente, es posible evidenciar un movimiento en masa, y la inclinación que presentan los árboles que se encuentran sobre la zona, donde es posible identificar que hay humedad debido a la presencia de plantas. (Ver las Fotografías 32).
- Se realiza la revisión de la infraestructura del colegio campestre Jaime Garzón, es posible evidenciar una serie de grietas sobre la estructura, lo cual indica que hubo un asentamiento y se produce una falla a tracción. Además, Sobre el suelo de la estructura descrita anteriormente, se puede destacar que hay problemas de asentamiento, lo que da como resultado agrietamiento sobre la estructura en adoquines que se encuentra allí. Esta estructura se encuentra sobre un relleno que tiene aproximadamente entre 20 a 25 años (Ver la Fotografía 33, 34 y 35).
- En el costado derecho de la estructura descrita anteriormente, se evidencia que sobre esta zona pasa un cuerpo de agua, el cual por problemas de socavación. (Ver la Fotografía 36).
- Al realizar la respectiva revisión en la infraestructura que se encuentra en funcionamiento, se evidencian una serie de grietas sobre los andenes. (Ver la Fotografía 37).

- En el final del polígono, se evidencio una obra hidráulica tipo pantallas deflectoras, donde aguas arriba presenta condiciones adecuadas, pero aguas abajo no, ya que se observa que se pusieron bolsacretos que producen peso y generan inestabilidad al terreno. (Ver la Fotografía 38 y 39).

En general, se puede mencionar que el ancho promedio del polígono es de 296 m, y la longitud del mismo es de 607 m, para un área aproximada de 6.21 Ha. El terreno presenta una cobertura vegetal consistente en pastos y arbustos. Por otra parte, se observa que al interior del polígono de estudio se desarrollan edificaciones de 1 y hasta 2 pisos, construidas principalmente en mampostería.



Fotografía 28 Inclinación presentada en los cercos en el inicio del polígono.



Fotografía 29 Insuficiencia en el descole de las alcantarillas.



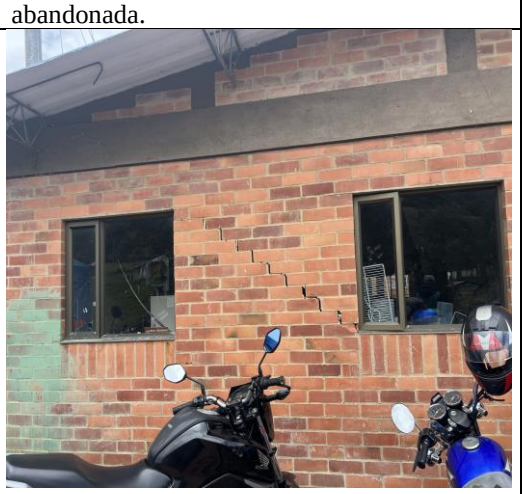
Fotografía 30 Deslizamiento presentado cerca de vivienda.



Fotografía 31 Problema de agrietamiento sobre la vivienda que se encuentra abandonada.



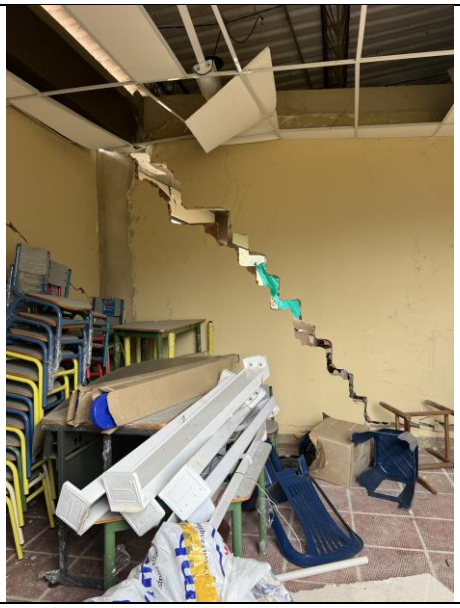
Fotografía 32 Inclinación presentada en las especies arbóreas encontradas dentro del polígono de estudio.



Fotografía 33 Problema de agrietamiento encontrada sobre la estructura de la escuela.



Fotografía 34 Problema de agrietamiento encontrada sobre la estructura de la escuela.



Fotografía 35 Problema de agrietamiento encontrada sobre la estructura de la escuela.



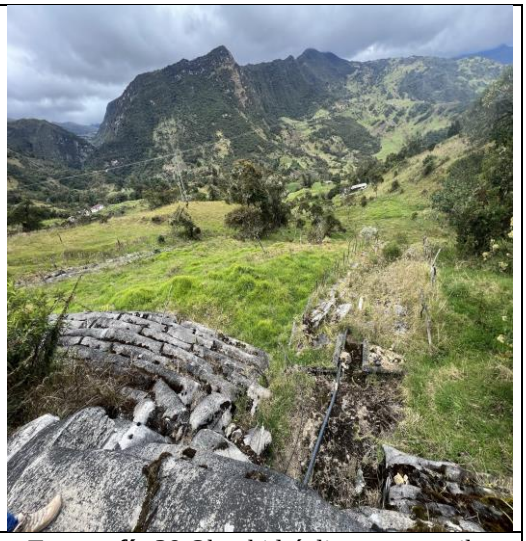
Fotografía 36 Ubicación de escorrentía superficial que presenta socavación.



Fotografía 37 Agrietamiento encontrado sobre las estructuras del colegio.



Fotografía 38 Obra hidráulica aguas arriba que no presenta problemas.



Fotografía 39 Obra hidráulica aguas arriba que presenta problemas.

12.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para la caracterización geotécnica del área de estudio se ejecutaron tres (3) sondeos mecánicos de 10.10 m, 10.25 m y 10.20 m de profundidad y tres (3) apiques de 2.10 m, 1.90 m y 2.10 m de profundidad. En la carpeta 6 GEOTECNIA se encuentran los registros de exploración y fotográficos, con la caracterización y espesores de los materiales presentes en la zona de estudio.

Esta exploración tiene el objeto de caracterizar los materiales existentes en el área y definir su espesor. En la siguiente tabla se muestran las coordenadas del sondeo y apiques propuestos, mientras que en la siguiente figura se incluye sobre una imagen de Google Earth la localización del sondeo propuesto (marcadores color rojo), y los apiques (marcadores de color amarillo).

Tabla 31 – Exploración del Subsuelo

AURAS			
Sondeo/Apique	**Norte (m)**	**Este (m)**	**Prof. (m)**
S-1	952941.045	989613.663	10.10
S-2	952791.204	989650.617	10.25
S-3	952943.187	989275.476	10.20
AP-1	952829.564	989751.657	2.10
AP-2	952952.353	989378.510	1.90
AP-3	952828.484	989531.268	2.10



Figura 50- Localización de perforaciones ejecutadas

- Los valores de la investigación de campo - exploración geotécnica, se determinan desde la exploración realizada en campo, donde es importante considerar que los ensayos se ejecutan a partir de las muestras recolectadas, las cuales deben tener condiciones óptimas para el ensayo que lo requiera, por lo cual para generar la orden de ensayo se realiza un análisis en campo de las muestras extraídas y teniendo en cuenta las cantidades de ensayos dadas por el anexo técnico, se verifica que ensayo se le puede realizar a la muestra, evaluando las condiciones que requieren cada ensayo. Algunas de las muestras extraídas no son aptas para realizar ningún tipo de ensayo, debido a la composición y calidad del material, por lo cual no se proyectan ensayos.

La exploración del subsuelo, se realizó en su totalidad. Para las muestras extraídas se generan ensayos a las que presentan características apropiadas, considerando que a lo largo de las perforaciones se encuentran muestras a las que no son posible realizarle ningún tipo de ensayo.

12.3.1 Perfiles de campo:

A continuación, se realiza una breve descripción de las muestras obtenidas para los sondeos y apiques. Los registros de exploración y fotográficos se encuentran en el ANEXO 6-GEOTECNIA.

1. **SONDEO 1**

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte norte del polígono a un costado del Colegio Campestre Jaime Garzón. Se obtuvo 8 muestras en las cuales se encuentran los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.80 m** → Relleno mixto compuesto de limo arenoso de grano fino con lentes de arcilla fina, restos de concreto, gravas finas, medias y gruesas, color de la muestra café claro. Muestra 1 SPT (N=16 golpes)
- **0.80 m – 1.10 m** → Capa vegetal limo arcillo arenoso de grano fino, vetas amarillentas y oxidadas, raíces finas, color café y marrón.
- **1.10 m – 5.00 m** → Arcilla limosa y lutita fracturada, trazas ocres, consistencia muy rígida, color de la muestra café oscuro. Muestra 2 tipo shelby y muestra 3 recuperada mediante SPT (N=24 golpes).
- **5.00 m – 6.00 m** → Arcilla limosa plástica y lutita fracturada, gravas finas, puntos de oxido, raíces finas, color gris oscuro. Las muestras 4 y 5 se extraen mediante shelby y NQ respectivamente.
- **6.00 m – 9.60 m** → Lutita, arcilla limosa fracturada, con arena fina intercalada, trazas ocres y oxidadas, consistencia dura, humedad media, color de la muestra gris oscuro Muestra 6 NQ y muestra 7 tipo SPT (N=44 golpes)
- **9.60 m – 10.10 m** → Lutita fracturada y/o descompuesta, arcillosa, gravas de lutita, puntos de oxido, consistencia media, color gris oscuro. Muestra 8 tipo Shelby.

A continuación, se muestran algunas fotografías de las muestras extraídas en este sondeo.



Figura 51. Muestras sondeo #1

2. SONDEO 2:

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte sur del polígono, se obtuvo 7 muestras en las cuales se encontraron los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.20 m** → Capa de pasto, raíces.
- **0.20 m – 0.50 m** → Capa vegetal limo arcillo arenoso de grano fina, plasticidad baja color café.
- **0.50 m – 1.10 m** → Material removido lutita con lentes de arcilla plástica, vetas de oxido y ocres, raíces, arena fina intercalada, humedad media, consistencia suave, color de la muestra habano. Muestra 1 SPT (N=4 golpes)
- **1.10 m – 5.20 m** → Arcilla limosa plástica, zonas saturadas, lentes de lutita, gravas finas, lentes de limo café, puntos ocres, humedad alta, consistencia suave, color habano con presencia de manchas color gris claro. Muestra 2 tipo Shelby, muestra 3 tipo SPT (N=4 golpes)
- **5.20 m – 10.25 m** → Arcilla limosa plástica con arena fina intercalada gravas de lutita, lentes de arcilla gris oscura, vetas oxidadas y ocrea, zonas saturadas, humedad alta, consistencia muy rígida, color gris y café, humedad media, color de la muestra gris oscuro con manchas color habano y amarillo oscuro. Muestra 4 tipo Shelby, muestra 5 tipo SPT (N=21 golpes), muestra 6 tipo SPT (N=20 golpes), muestra 7 tipo SPT (N=30 golpes)



Figura 52. Muestras sondeo #2

3 SONDEO 3

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte occidental del polígono, se obtuvo 12 muestras en las cuales se encontraron los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.80 m** → Relleno recebo común limo arenoso de grano fino, gravas finas y medias y subangulares, color habano.
- **0.80 m – 2.20 m** → Limo arcillo arenoso de grano fino con gravas finas y media, raíces, humedad alta, consistencia rígida, la muestra presenta un color habano con manchas de color café claro. Muestra 1 tipo SPT (N=9 golpes), muestra 2 tipo Shelby, muestra 3 tipo SPT (N=11 golpes).
- **2.20 m – 3.50 m** → Arcilla limosa con arena fina intercalada, gravas finas, trazas de limo negro orgánico, puntos ocres y oxidadas, zonas saturadas, humedad alta, consistencia muy rígida, la muestra presenta un color café oscuro con manchas color café claro. Muestra 4 tipo Shelby, muestra 5 tipo SPT (N=27 golpes), muestra 6 tipo SPT (N=50/3") rechazo.
- **3.50 m – 4.40 m** → Gravas, fragmentos y bloques de arenisca en matriz de arcilla saturada gris oscuro, gravas de lutita, la muestra presenta gravas color habano y gris oscuro. Muestra 7 cambio de broca a NQ
- **4.40 m – 7-70 m** → Bloques de roca arenisca de grano fino a medio, lentes de arcilla arenosa de grano fino, la muestra presenta un color habano. Se presentan zonas saturadas. Muestra 8, 9 y 10 cambio de broca a NQ.

- **7.70 m – 8.30 m →** Lutita fracturada, lentes de arcilla gris oscuro, gravas de arenisca, puntos ocres, color gris oscuro. Muestra 11 cambio de broca a NQ.
- **8.30 m – 10.20 m →** Roca arenisca de grano fino fracturada, vetas de lutita, color de la muestra gris oscuro. Muestra 12 cambio de broca a NQ.



Figura 53. Muestras sondeo # 3.

4 APIQUE 1

Este apique se encuentra ubicado en la parte oriental del polígono, se realizó muestra tipo cubo a una profundidad de 1.25 m hasta 1.50 y muestra tipo SPT. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar los ensayos previamente programados. A continuación, se presentan imágenes de las muestras.



Figura 54. Muestras apique # 1

5 APIQUE 2

Este apique se encuentra ubicado en la parte occidente del polígono, se realizó muestra tipo cubo a una profundidad de 1.20 m hasta 1.40 y muestra tipo SPT. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar los ensayos previamente programados. A continuación, se presentan imágenes de las muestras.



Figura 55. Muestra apique # 2

6 APIQUE 3

Este apique se encuentra ubicado en la parte suroccidental del polígono, se realizó muestra tipo cubo a una profundidad de 1.20 m hasta 1.45 y muestra tipo SPT. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar los ensayos previamente programados. A continuación, se presentan imágenes de las muestras.



Figura 56. Muestras apique # 3

12.3.2 Resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT)

Durante la ejecución de los sondeos se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar SPT del cual se obtuvo valores de N (golpes/pie) que permiten correlacionar con la consistencia de los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares. De esta manera se obtuvo la variación en profundidad del valor N en cada sondeo. En general se observa de los resultados de resistencia a la penetración N en golpes del ensayo de SPT que la resistencia aumenta con la profundidad en los sondeos S-1, S-2 y S-3.

Para el caso del S-3 se observa que el rechazo se obtuvo a 3.60 m con la presencia de la capa de gravas, fragmentos y bloques de arenisca. Para la capa de gravas, fragmentos y bloques de arenisca entre 3.60 a 4.50 m de profundidad, se obtuvieron valores de (N70=98 Golpes) y (N60=114 Golpes), que se asocian a una consistencia dura. En la siguiente Figura se muestra la variación de N60 con la profundidad para cada uno de los sondeos ejecutados.

En la siguiente figura se muestra la variación de N70 y 60 con la profundidad para cada uno de los sondeos ejecutados.

Los resultados obtenidos de la correlación de N70 con la resistencia al corte no drenado[5] se incluyen en las figuras que se presentan a continuación, en la cual se observan valores de En la siguiente figura se muestra la variación de c_u con la profundidad para cada uno de los sondeos, de haberse obtenido este parámetro por ensayo de corte directo se dará total prelación a este.

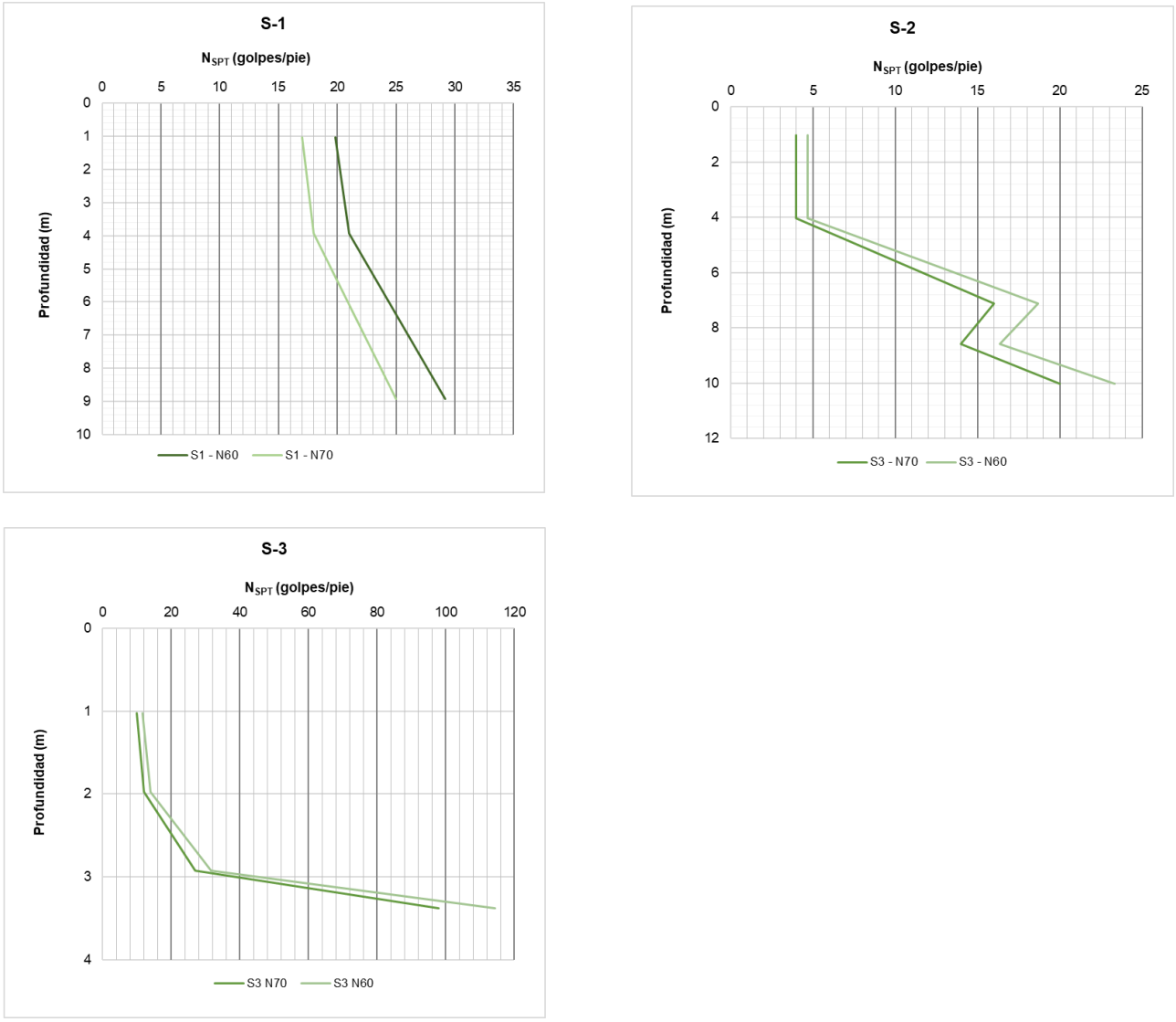
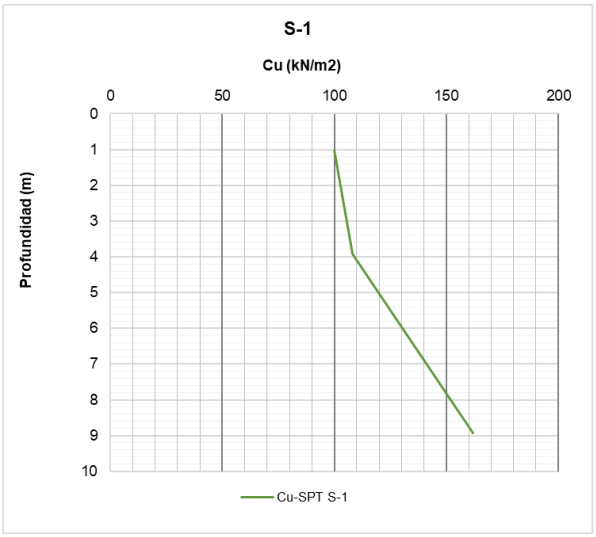
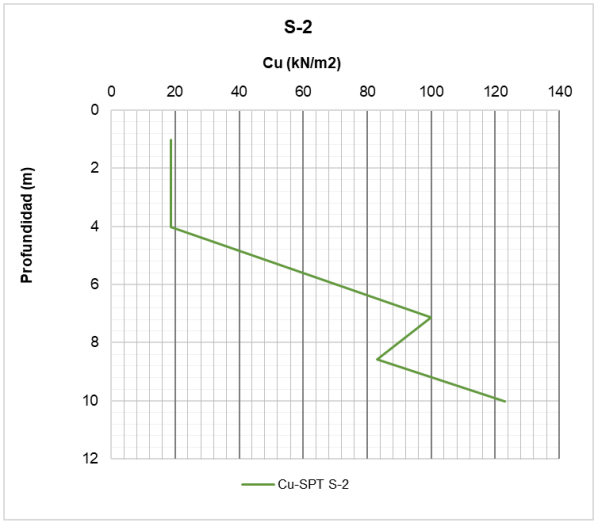


Figura 57. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT

[5] Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.





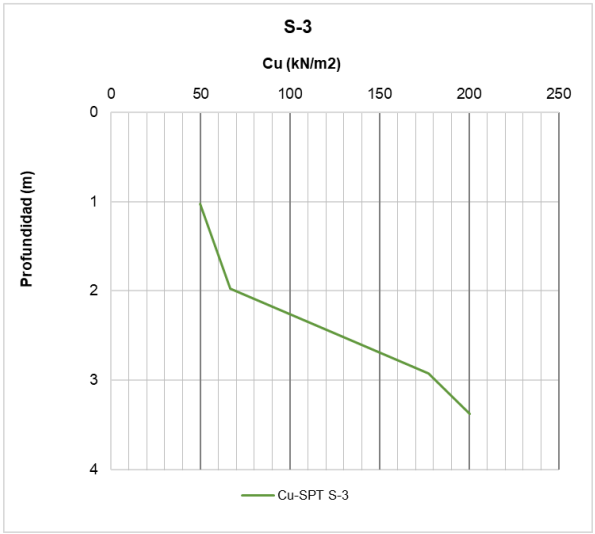


Figura 58. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT

12.3.2.1 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA A PARTIR DEL ENSAYO DE SPT

Con la metodología propuesta por González, A. J. (1999), se estimaron los parámetros c'[6] y con la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) se estimaron los parámetros ϕ[7]' de manera aproximada por tipo de material. Este método consiste en graficar puntos (σv', τ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicas efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado como se describió anteriormente.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para ángulo de fricción vs profundidad para cada uno de los sondeos.

- **SONDEO 1**

Tabla 32.Resultados de ϕ y c' S-1

Profundidad media	ϕ	c'
1.0	39.2	100
3.9	39.2	108
8.9	42.0	162

Fuente Geodinámica (2023)

[6] Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

[7] (Montenegro Padilla, 2014) . Calibración del método de parámetro de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana

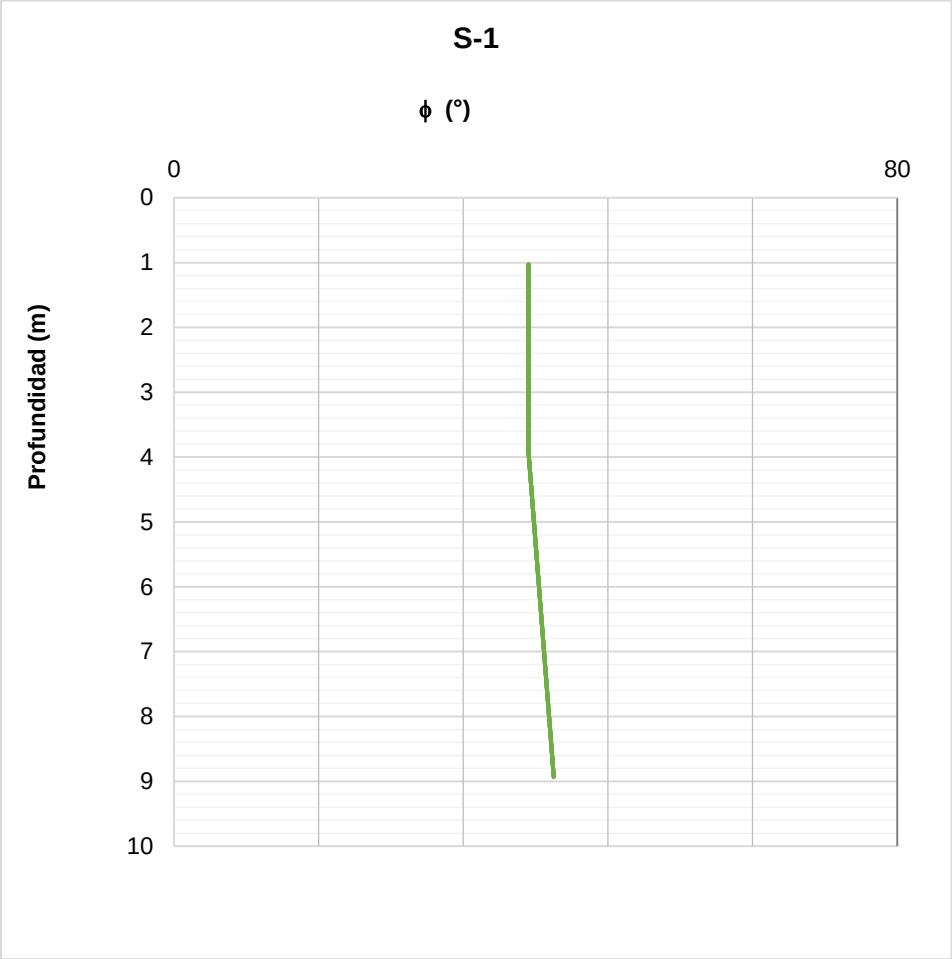


Figura 59. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1

- **SONDEO 2**

Tabla 33. Resultados de ϕ y c' S-2

Profundidad media	ϕ	c'
1.03	25.2	19
4.03	23.0	18.75
7.13	34.4	100
8.58	32.5	83
10.03	36.1	123

Fuente Geodinámica (2023)

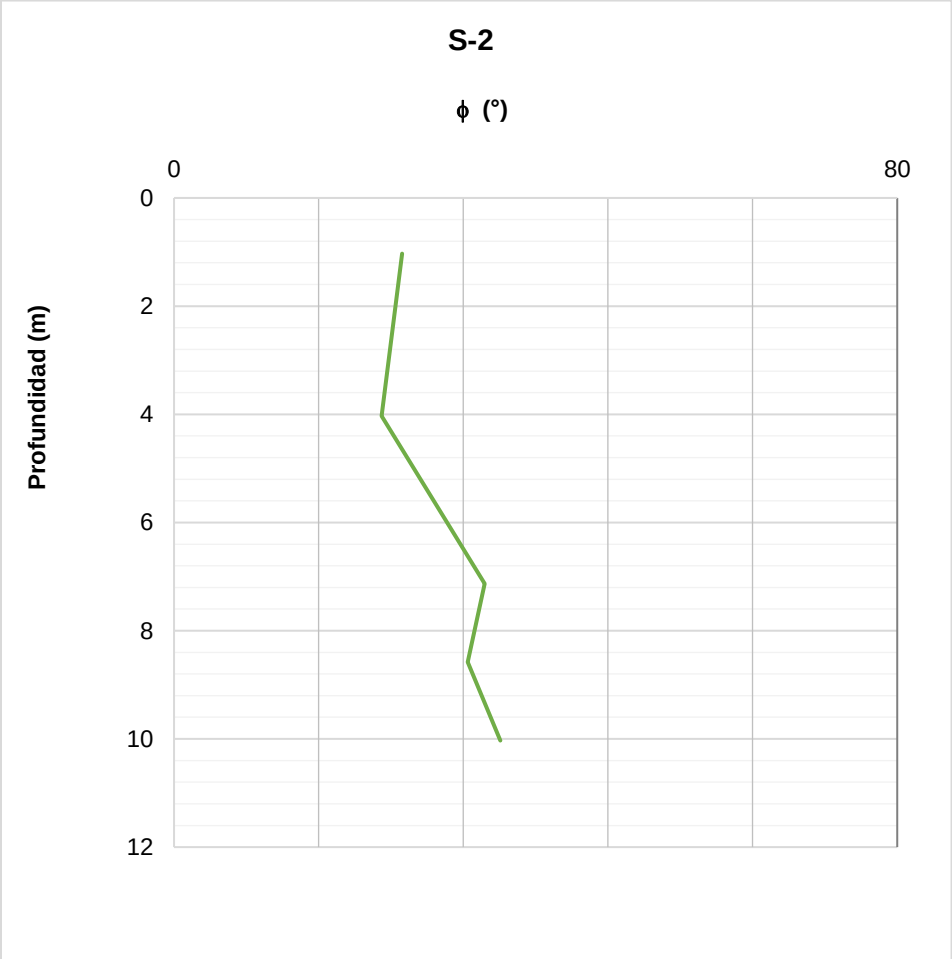


Figura 60. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2

- **SONDEO 3**

Tabla 34. Resultados de ϕ y c' S-3

Profundidad media	ϕ	c'
1.0	32.5	50
2.0	32.5	67
2.9	42.0	177
3.4	68.3	200

Fuente Geodinámica (2023)

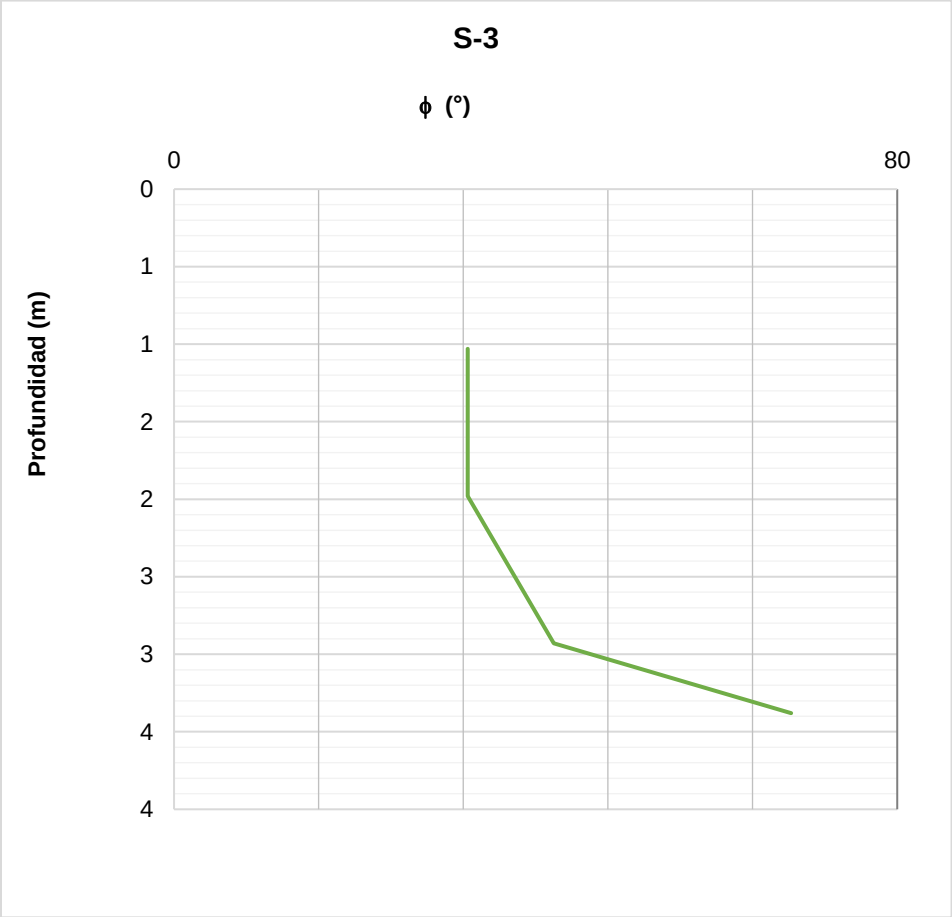


Figura 61. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-3

12.3.2.2 PORCENTAJE DE RECOBRO

De los registros de perforación se puede observar que el porcentaje de recobro de las muestras del sondeo S-1 es alto con una variación entre 70 a 90 %, tal como se indica en la siguiente Figura.

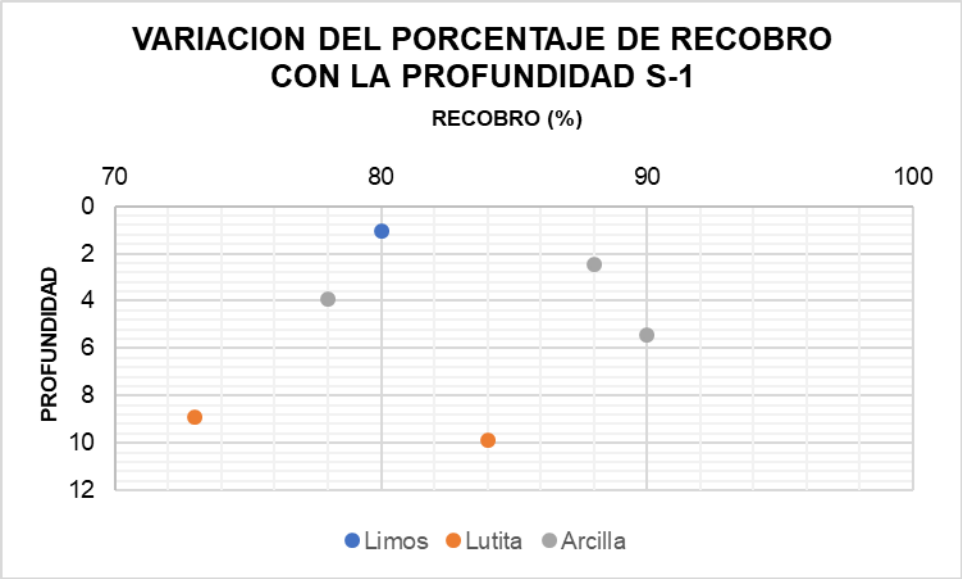


Figura 62. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1

Para el sondeo S-2 se observa que el porcentaje de recobro de las muestras está en una variación entre el 70 y el 90 %, tal como se indica en la siguiente Figura.

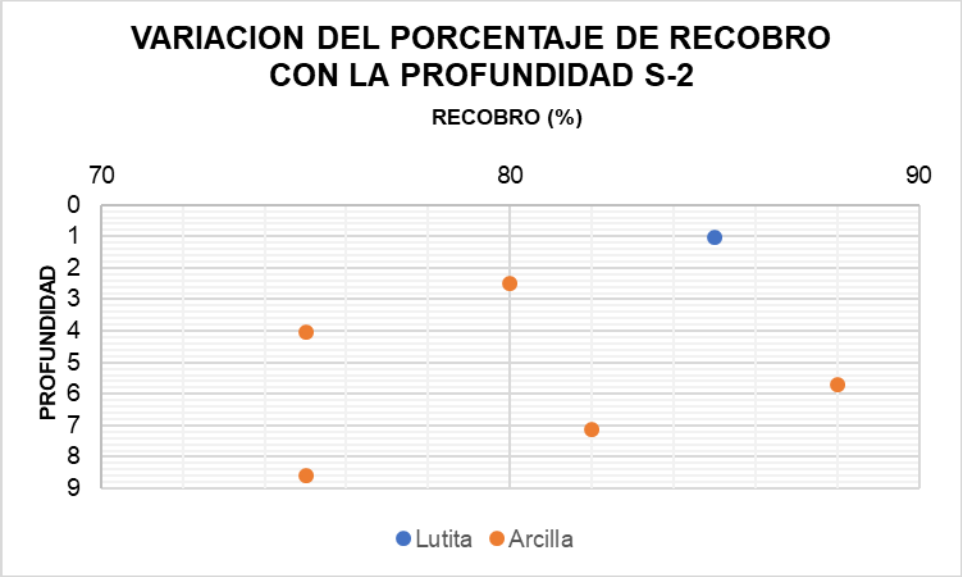


Figura 63. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2

Para el sondeo S-3 se observa que el porcentaje de recobro de las muestras está en una variación entre el 20 y el 90 %, tal como se indica en la siguiente Figura.

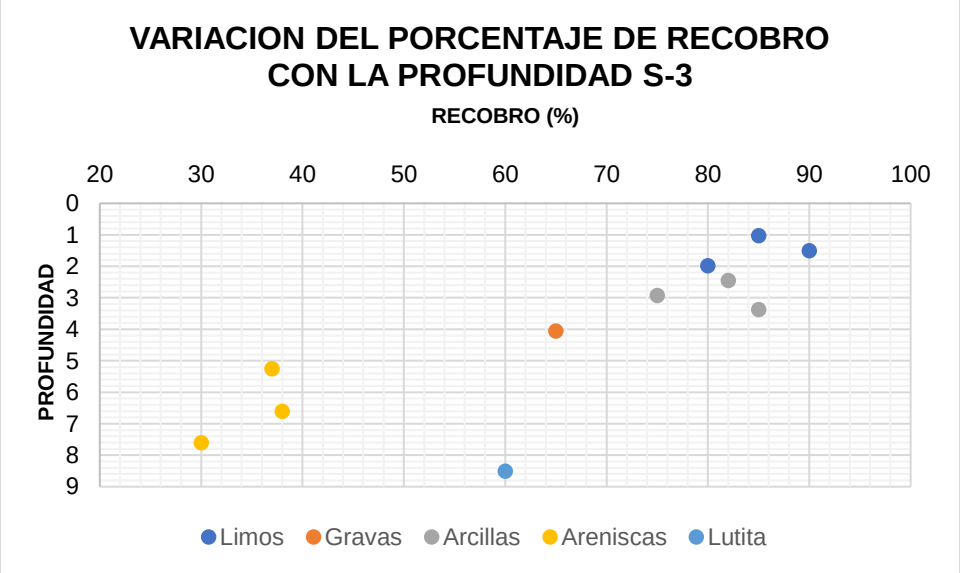


Figura 64. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-3
Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

12.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Durante la ejecución del proyecto se realizaron ensayos de, análisis granulométrico, determinación de la densidad (Peso unitario), determinación de la gravedad específica, determinación limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad, determinación de contenido de agua, compresión inconfinada, corte directo en condición CD, determinación del contenido orgánico y carga puntual en muestra de roca. Las cantidades de ensayos se muestran en la siguiente tabla.

ENSAYOS DE LABORATORIO	Cantidad	Unidad
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	9	Und
Determinación de la densidad (peso unitario) de muestras de suelo.	8	Und
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	4	Und
Determinación límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	3	Und

Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo - agregado	8	Und
Compresión inconfinada en muestras de suelo	1	Und
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (granulometría por tamizado e hidrometría)	2	Und
Corte directo en condición CD, consolidada - drenada (3 puntos)	1	Und
Resistencia a la compresión uniaxial de muestras de rocas intactas	1	Und
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición	1	Und
Carga puntual en muestras de roca intacta	1	Und

12.4.1 HUMEDAD NATURAL

La humedad natural a lo largo del perfil del subsuelo presenta una variación entre 14.20 % a 94.28 %, donde se evidencia que los valores de humedad del suelo o estrato disminuyen a medida que la profundidad aumenta.

A continuación, es posible observar la gráfica de la humedad natural presentada.

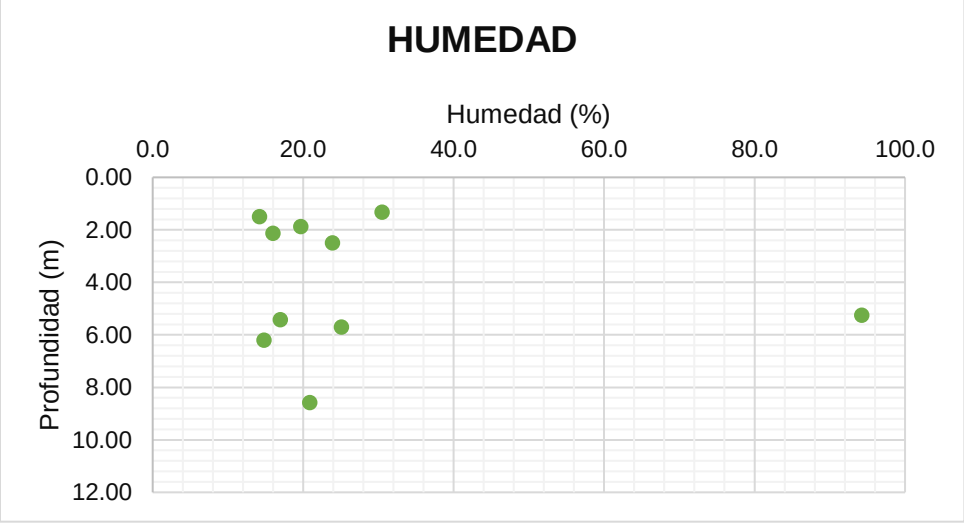


Figura 65. Porcentaje de humedad Vs profundidad

12.4.2 LIMITES DE ATTERBERG

Para este nodo, se realizó un ensayo de límites de para la muestra M-5 del sondeo S-1, muestra M-4 del sondeo S-2 y muestra M-5 del sondeo S-3, A continuación es posible observar el límite liquido el cual permite determinar el porcentaje de humedad con que un suelo, el límite plástico, que es la humedad a la cual un pequeño cilindro de suelo comienza a desmigajarse y el índice de plasticidad el cual indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico.

- **S1(M5)**
  - Limite liquido → 58 %
  - Limite plástico → 27 %
  - Índice de plasticidad → 31%

- **S2(M4)**
  - Limite liquido → 41 %
  - Limite plástico → 18 %
  - Índice de plasticidad → 23%

- **S3(M5)**
  - Limite liquido → 41 %
  - Limite plástico → 24 %
  - Índice de plasticidad → 17%

De acuerdo con la carta de plasticidad y con el ensayo de limites realizado, el material encontrado a una profundidad de 5.7 m hasta 6.7 m, se clasifica como una arcilla alta plasticidad con Arena (CH), el material encontrado en el sondeo 2, desde los 5.4 m hasta los 6.00 m, se clasifica como arcilla media plasticidad con arena (CL), y el material encontrado en el sondeo 3, a una profundidad desde los 2.7 m hasta 3.15 m, se clasifica como Arena Arcillosa (SC).

En la siguiente figura, e posible observar la clasificación de los materiales mediante la carta de plasticidad.



Figura 66. % Carta de plasticidad de Casagrande

12.4.3 GRANULOMETRÍA

De acuerdo con los ensayos de laboratorio realizados, entre los 5.15 m a 5.70 m de profundidad presenta una composición granulométrica promedio del 75 % de finos, 23 % de arenas y 3 de gravas. Para el estrato presente a una profundidad entre 5.15 m a 5.7 m, presenta una composición granulométrico promedio del 74% de finos y 26 % de arenas. La composición granulométrica promedio del estrato identificado a una profundidad entre los 8.7 m a 9.15 m se presenta una composición granulométrico promedio del 60 % de finos, 35 % de arenas y 5 % de gravas.

Con respecto al estrato identificado a una profundidad entre 5.4 m a 6.0 m, presenta una composición granulométrico promedio del 78 % de finos, 11 % de arenas y 11 % de gravas. La composición granulométrica promedio del estrato identificado a una profundidad entre 8.35 m a 8.80 m se presenta una composición granulométrica de 85 % de finos, 10 % de arenas y 5 % de gravas.

La composición granulométrico promedio del estrato identificado a una profundidad entre 2.2 m a 2.7 m es de 33 % de finos, 51.6 % de arenas y 15.2 % de gravas.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la determinación de los tamaños de las partículas de los suelos

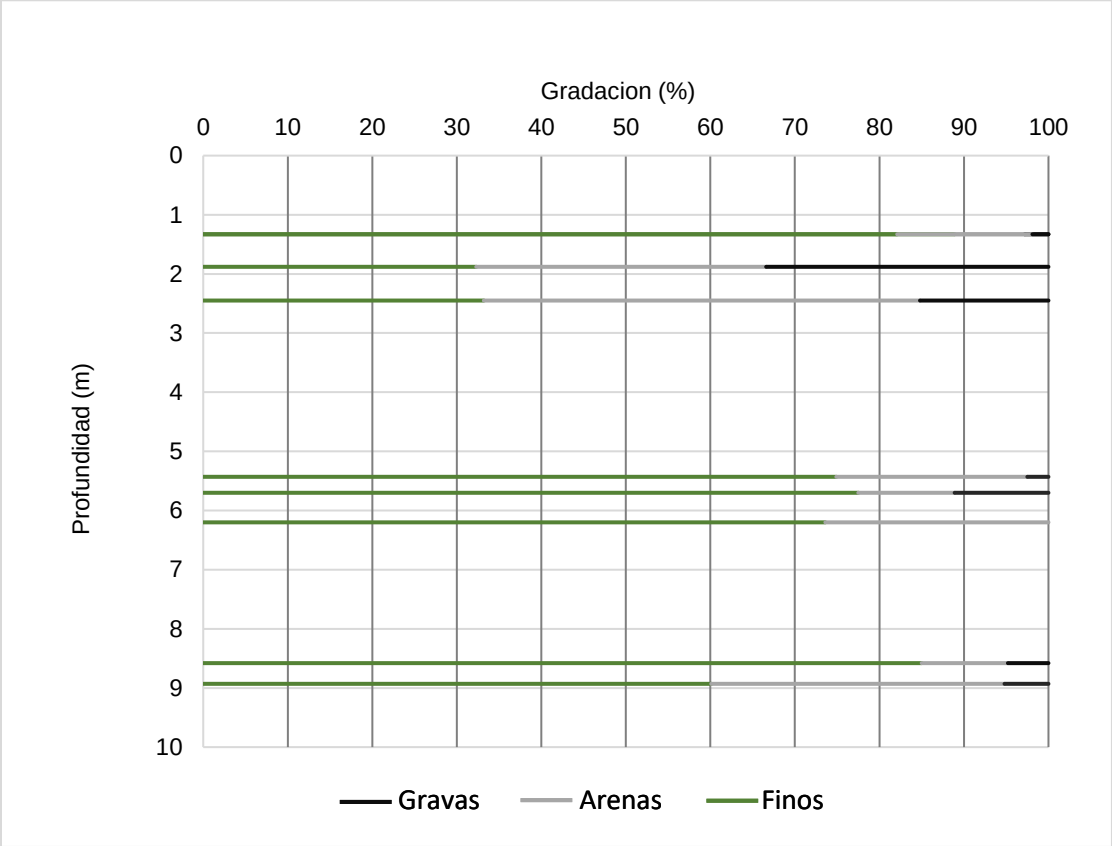


Figura 67. Distribución granulométrica Vs profundidad
Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

12.4.4 PESO UNITARIO

El peso unitario total presenta una variación entre 18.1 kN/m^3 a 21.2 kN/m^3, con un valor promedio de 19.9 kN/m^3.

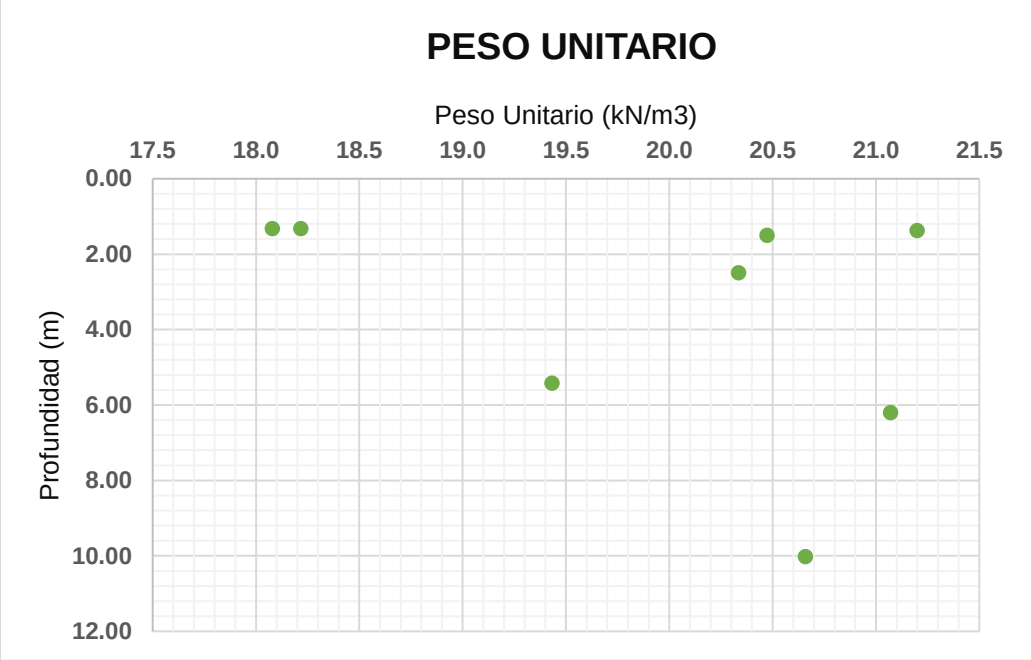


Figura 68. Peso unitario Vs profundidad

12.4.5 GRAVEDAD ESPECIFICA

Para este nodo, el valor de gravedad especifica (Gs) obtenido se encuentra entre de 2.35 a 2.74.

A continuación, se muestra la gráfica y resultados de gravedad especifica Vs profundidad.

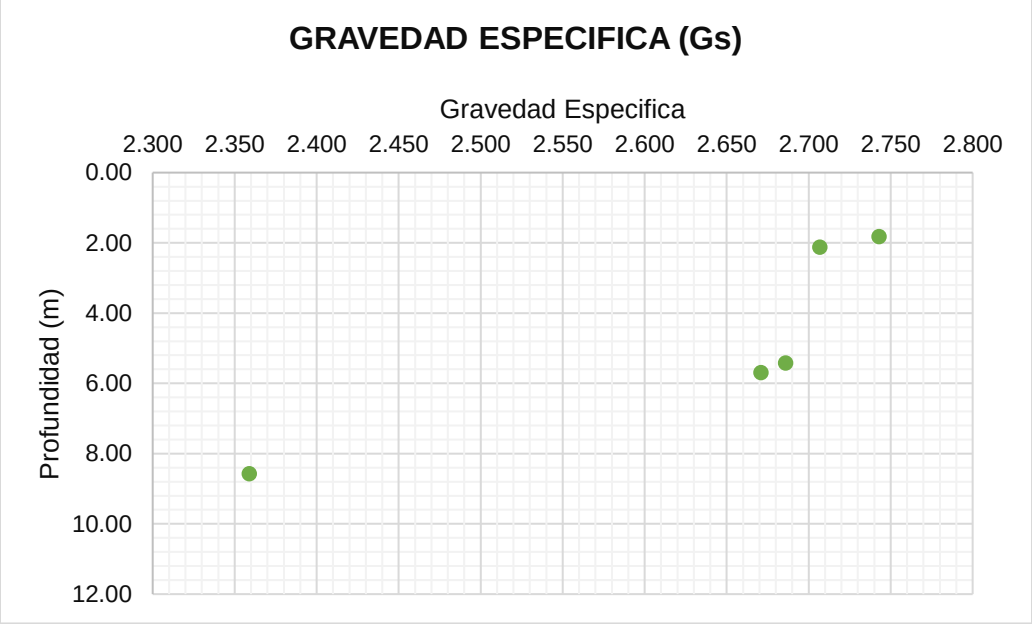


Figura 69. Gravedad especifica Vs profundidad

12.4.6 CORTE DIRECTO

Este ensayo se realizó sobre la muestra M-4 del sondeo S-2 para determinar las condiciones o parámetros de resistencia a los materiales de relleno o los más superficiales del terreno. El valor obtenido de cohesión y ángulo de fricción para el estrato presente entre 5.40 m a 6.00 m de profundidad el cual se encuentra compuesto por una arcilla limosa plástica con arena fina intercalada gravas de lutita se muestran en la siguiente tabla.

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Cohesión c' kPa	Ángulo de fricción (ϕ')
S2	4	5.40-6.00	Arcilla limosa plástica con arena fina intercalada gravas de lutita, lentes de arcilla gris oscura, vetas oxidadas y ocrea, zonas saturadas, humedad alta, consistencia muy rígida, color gris y	6.86	26.7

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Cohesión c' kPa	Ángulo de fricción (ϕ')
			café, humedad media, color de la muestra gris oscuro con manchas color habano y amarillo oscuro		

12.4.7 HIDROMETRIAS:

Este ensayo se realizó en dos muestras extraídas del presente estudio, en los materiales identificados del S1 (M8) y S3 (M5) de la cual se obtiene el siguiente resultado:

- **S1 (M8):**
  En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:
  - % de gravas →26.9%
  - % de arena gruesa → 21.7%
  - % de arena media → 0.3%
  - % de arena fina → 0.4%
  - **% de finos → 50.7%**
  - ✓ % de Limos → 5.6%
  - ✓ % de arcillas → 45.1%

La siguiente figura, permite conocer la curva hidrométrica de la muestra en estudio.

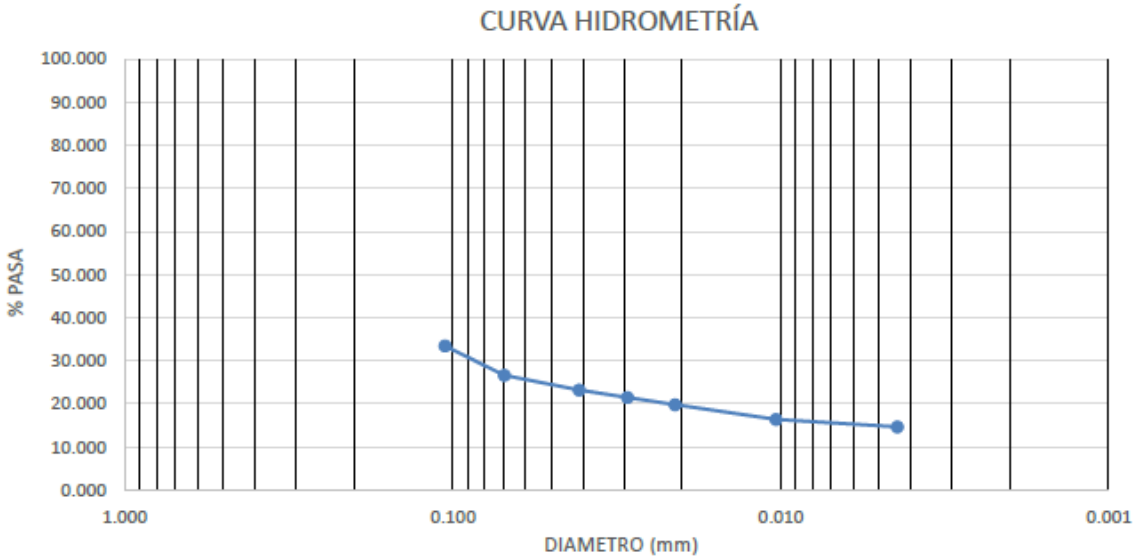


Figura 70. % Curva Hidrometría S1 (M8)
Fuente: Bateman Ingeniería S.A.S. (2023)

- **S3 (M5):**
  En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:
  - % de gravas →22.1%
  - % de arena gruesa → 16.7%
  - % de arena media → 15.3%
  - % de arena fina → 17.8%
  - **% de finos → 28.1%**
  - ✓ % de Limos → 3.1%
  - ✓ % de arcillas → 25.0%

La siguiente figura, permite conocer la curva hidrométrica de la muestra en estudio.

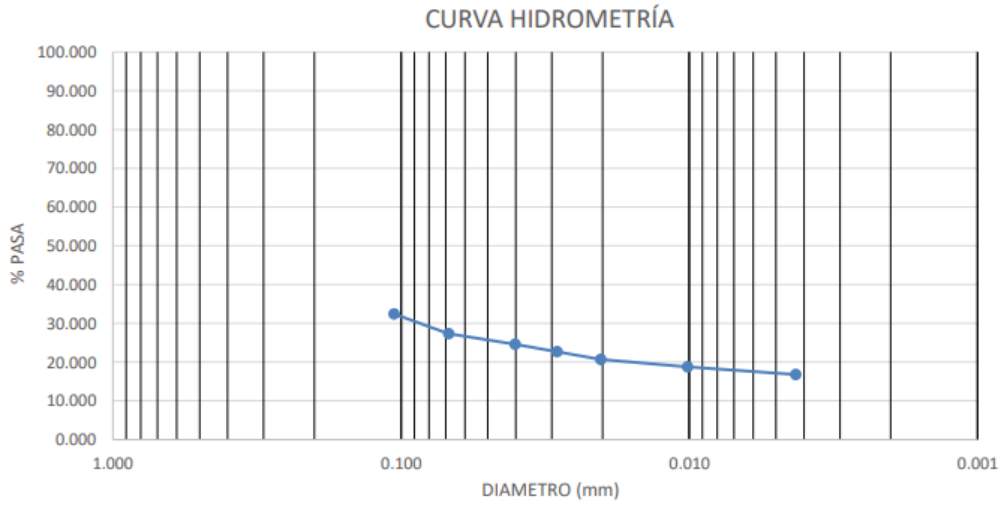


Figura 71. % Curva Hidrometría S1 (M8)
Fuente: Bateman Ingeniería S.A.S. (2023)

A continuación, es posible observar la tabla resumen de resultados de los ensayos realizados para el nodo de estudio:

Sondeo/ Apique No.	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Profundidad de la muestra		Humedad %	LL %	LP %	IP %	IC %	IL %	IF %	IT %	CONTENIDO MATERIA ORGANICA (%)	GRANULOMETRIA % QUE PASA										GRANULOMETRIA POR HIDROMETRIA % QUE PASA									
			límite superior	límite inferior										3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	Fondo	No. 16	No. 20	No. 30	No. 40	No. 50	No. 60	No. 100	No. 140	No. 200	Fondo
S1	4	5.43	5.15 -	5.70	17.0			0.0						100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	98.0 %	97.0 %	94.0 %	83.0 %	75.0 %	75.0 %									
S1	5	6.20	5.70 -	6.70	14.80	58.0	27.0	31.0	1.4	-0.4	0.42	74.4		100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	99.0 %	87.0 %	74.0 %	73.0 %									
S1	7	8.93	8.70 -	9.15				0.0						100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	98.0 %	95.0 %	84%	66%	60%	60%									
S1	8	9.90	9.70 -	10.10				0.0						100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	92.2 %	73.1 %	51.4 %			22.0 %	51.4 %	51.4 %	51.4 %	51.1 %	51.1 %	51.1 %	51.1 %	51.1 %	50.7 %	41.3 %
S2	2	2.50	2.20 -	2.80	23.90			0.0																								
S2	4	5.70	5.40 -	6.00	25.13	41.0	18.0	23.0			0.28	85.8		100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	94.0 %	89.0 %	85.0 %	82.0 %	77.0 %	77.0 %									
S2	6	8.58	8.35 -	8.80	20.90			0.0						100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	98.0 %	95.0 %	93.0 %	90.0 %	85.0 %	85.0 %									
S2	7	10.03	9.80 -	10.25				0.0																								
S3	2	1.50	1.25 -	1.75	14.20			0.0																								
S3	4	2.45	2.20 -	2.70				0.0					10.5 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	94.0 %	85.0 %	73.0 %	54.0 %	33.0 %	33.0 %									
S3	5	2.93	2.70 -	3.15		41.0	24.0	17.0			0.20	85.9		100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	90.8 %	77.9 %	61.2 %			48.6 %	61.2 %	61.2 %	61.2 %	45.9 %	45.9 %	45.9 %	45.9 %	45.9 %	28.1 %	27.0 %
S3	8	5.25	4.50 -	6.00	94.28			0.0																								
S3	11	8.50	8.00 -	9.00				0.0																								
AP1	CUBO	1.38	1.25 -	1.50				0.0																								
AP1	2	1.88	1.65 -	2.10	19.70			0.0						100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	89.0 %	74.0 %	67.0 %	59.0 %	50%	32%	32.0%									
AP2	CUBO	1.33	1.20 -	1.45	30.5			0.0						100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	98.0 %	97.0 %	96.0 %	94.0 %	89%	89%									
AP2	2	1.83	1.60 -	2.05				0.0																								
AP3	CUBO	1.33	1.20 -	1.45				0.0						100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0 %	100.0	99.0	98.0	96.0	93.0	82.0	82.0									
AP3	2	2.13	1.65 -	2.60	16.0			0.0																								

CLASIFICACION				COMPRESION INCONFINADA	γ húmedo (kN/m³)	γ seco (kN/m³)	PESO UNITARIO (kN/m³)	GRAVEDAD ESPECÍFICA Gs	CARGA PUNTUAL	ROCA INTACTA A COMPRESIÓN UNIAXIAL	CORTE DIRECTO (CD)		CONSOLIDACIÓN DEL SUELO
Indice de grupo	AASTHO	P ó W	USC	COMPRESION INCONFINADA qu (kPa)					(MPa)	(MPa)	Cohesión (kPa)	ϕ (°)	Esfuerzo de Preconsolidación (kPa).
(8)							19.427	2.686					
(19)	A-7-5		CH				21.065						
(0)													
							20.329						
(13)	A-7-5		CL		18.470	14.740		2.671			6.86	26.7	
(0)								2.359					
							20.653						
							20.467						
				64	22.430	18.540		2.714					
									94.28				
										61			
							21.192						
(0)							18.211						
								2.743					
(8)							18.074						
								2.707					

Figura 72. % Tabla resumen de resultados

12.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DETALLADO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS:

12.5.1 ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN:

Para realizar el análisis estadístico, se toma el ángulo de fricción, la cohesión y el peso unitario como parámetros geotécnicos requeridos en el estudio. Inicialmente, es importante tener en cuenta la estimación de los parámetros de resistencia a partir del ensayo SPT, con la metodología propuesta por González, A. J. (1999), donde se estimaron los parámetros c' y con la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) de manera aproximada por tipo de material. Es importante tener en cuenta que, para este análisis, es necesario tener en cuenta los parámetros obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio. En la siguiente tabla, es posible observar el valor de los parámetros para cada uno de los sondeos.

Tabla 35. Parámetros estimados para cada sondeo

Profundidad media	ϕ	c'
Sondeo 1		
1.0	39.2	100
3.9	39.2	108
8.9	42.0	162
Sondeo 2		
1.03	25.2	19
4.03	23.0	18.75
7.13	34.4	100
8.58	32.5	83
10.03	36.1	123
Sondeo 3		
1.0	32.5	50
2.0	32.5	67
2.9	42.0	177
3.4	68.3	200

En la siguiente tabla, es posible observar el valor de los parámetros obtenido a partir del ensayo de corte directo:

Tabla 36. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
S2 (M4)		
5.70	26.7	6.86

Teniendo en cuenta los valores de los parámetros estimados en cada sondeo a partir del ensayo SPT, se determina por unidad, así:

12.5.2 Suelo transportado coluvión (Stc)

12.5.2.1 Sondeo 2:

12.5.2.1.1 Muestra 1:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
1.03	25.2	19

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 4, donde para la profundidad media de 1.03 m, se encuentra una lutita con lentes de arcilla, el cual presenta teóricamente un valor de 25.2° como ángulo de fricción y una cohesión de 19 kPa, donde para el análisis estadístico se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de material fino y que la consistencia es suave.

12.5.2.1.2 Muestra 3:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
4.03	23.0	18.75

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 4, donde para la profundidad media de 4.03 m, se encuentra una arcilla limosa, la cual teóricamente presenta un valor de 23.0° como ángulo de fricción y una cohesión de 18.75 kPa, donde para el análisis estadístico se tiene en

cuenta estos valores, considerando la presencia de material fino y que la consistencia es suave.

12.5.2.1.3 Muestra 5:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
7.13	34.4	100

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 16, donde para la profundidad media de 7.13 m, se encuentra una arcilla limosa plástica con arena fina intercalada gravas de lutita, la cual teóricamente presenta un valor de 34.4° como ángulo de fricción y una cohesión de 100 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de material granular y una consistencia es muy rígida.

12.5.2.1.4 Muestra 6:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
8.58	32.5	83

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 14, donde para la profundidad media de 8.58 m, se encuentra un material idéntico al anterior, el cual teóricamente presenta un valor de 32.5° como ángulo de fricción y una cohesión de 83 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de material granular y una consistencia es muy rígida.

12.5.2.1.5 Muestra 7:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
10.03	36.1	123

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 20, donde para la profundidad media de 10.03 m, se encuentra un material idéntico al anterior, el cual teóricamente presenta un valor de

36.1° como ángulo de fricción y una cohesión de 123 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de material granular y una consistencia es muy rígida.

12.5.3 Angulo de fricción (ϕ):

Para el ángulo de fricción, se obtiene:

Tabla 37. Análisis estadístico (Ángulo de fricción)

ϕ	
Media	24.103435
Error típico	1.142889
Mediana	24.103435
Moda	#N/D
Desviación estándar	1.6162891
Varianza de la muestra	2.6123905
Curtosis	#¡DIV/0!
Coeficiente de asimetría	#¡DIV/0!
Rango	2.285778
Mínimo	22.960546
Máximo	25.246324
Suma	48.206869
Cuenta	2

Teniendo en cuenta los valores teóricos del ángulo de fricción, se obtienen como medio un valor de 24.1°, el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 40%, considerando que este valor representa un supuesto de lo encontrado en el terreno. Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 1.62.

12.5.4 Cohesión (c´):

Para la cohesión, se obtiene:

Tabla 38. Análisis estadístico (cohesión)

c'	
Media	18.75
Error típico	0

Mediana	18.75
Moda	18.75
Desviación estándar	0
Varianza de la muestra	0
Curtosis	#¡DIV/0!
Coeficiente de asimetría	#¡DIV/0!
Rango	0
Mínimo	18.75
Máximo	18.75
Suma	37.5
Cuenta	2

Teniendo en cuenta los valores teóricos de la cohesión, se obtienen como media un valor de 18.75 kPa, el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 40%, considerando que este valor representa un supuesto de lo encontrado en el terreno. Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 0.0.

Considerando los valores estimados a partir del análisis presentado anteriormente, se toma un porcentaje de importancia del 40% para el valor de cohesión y ángulo de fricción, para los valores obtenidos en laboratorio el porcentaje de importancia es del 60%, teniendo en cuenta que en laboratorio se realiza un análisis detallado de la muestra.

Tabla 39. Análisis estadístico de parámetros

Porcentaje (%)	**ϕ**	**c'**
40%	24.1	18.75
60%	26.7	6.9
100%	25.66	11.64

12.5.5 PESO UNITARIO:

Para el peso unitario, se obtiene:

Tabla 40. Análisis estadístico (Peso Unitario)

Peso Unitario (kN/m3)	
Media	20.491
Error típico	0.162

Mediana	20.491
Moda	#N/D
Desviación estándar	0.2291026
Varianza de la muestra	0.052488
Curtosis	#¡DIV/0!
Coeficiente de asimetría	#¡DIV/0!
Rango	0.324
Mínimo	20.329
Máximo	20.653
Suma	40.982
Cuenta	2

Teniendo en cuenta los resultados de los pesos unitarios obtenidos en el laboratorio, se tiene como media un valor de 20.49 kN/m^3, el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 100%, Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 0.14.

Realizando el análisis, y aplicando los coeficientes de importancia descritos anteriormente, se estiman los siguientes parámetros para el estudio:

Tabla 41. Parámetros Geotécnicos

ϕ (°)	**C' (kPa)**	**γ (kN/m^3)**
25.66	11.64	20.49

12.5.6 Suelo transportado glaciar (Stg)

12.5.7 Sondeo 1:

12.5.7.1.1 Muestra 1:

Profundidad media	**ϕ (°)**	**c' (kPa)**
1.0	39.2	100

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 17, donde para la profundidad media de 1.0 m, se encuentra un limo arenoso, el cual presenta teóricamente un valor de 39.2° como ángulo de fricción y una cohesión de 100 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de restos de concreto y material granular.

12.5.7.1.2 Muestra 3:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
3.9	39.2	108

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 18, donde para la profundidad media de 3.9m, se encuentra una arcilla limosa, la cual presenta teóricamente un valor de 39.2° como ángulo de fricción y una cohesión de 108 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de material granular.

12.5.7.1.3 Muestra 7:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
8.9	42.0	162

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 25, donde para la profundidad media de 8.9 m, se encuentra una arcilla limosa, la cual presenta teóricamente un valor de 42.0° como ángulo de fricción y una cohesión de 162 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando una consistencia dura y posteriormente ya se encuentra material grueso, por lo cual a una profundidad de 9.15 m se usa una barra NQ, antes de la muestra 7, se extraen diferentes muestras mediante barra NQ, debido a la presencia de roca.

12.5.7.2 Sondeo 3:

12.5.7.2.1 Muestra 1:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
1.0	32.5	50

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 10, donde para la profundidad media de 1.0 m, se encuentra limo arcillo arenoso, el cual presenta teóricamente un valor de 32.5° como ángulo de fricción y una cohesión de 50 kPa, donde para el análisis estadístico se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de material fino.

12.5.7.2.2 Muestra 3:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
2.0	32.5	67

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 12, donde para la profundidad media de 2.0 m, se encuentra un material idéntico al anterior, el cual presenta teóricamente un valor de 32.5° como ángulo de fricción y una cohesión de 67 kPa, donde para el análisis estadístico se tiene en cuenta estos valores, considerando presencia de material fino.

12.5.7.2.3 Muestra 5:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
2.9	42.0	177

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 27, donde para la profundidad media de 2.9 m, se encuentra una arcilla limosa, la cual presenta teóricamente un valor de 42.0° como ángulo de fricción y una cohesión de 177 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando que ya presenta una consistencia muy rígida con presencia de material granular.

12.5.7.2.4 Muestra 7:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
3.4	68.3	200

Para esta muestra se obtiene un valor de N_{70} = 98, donde para la profundidad media de 3.4 m, se genera rechazo, en este punto ya se encuentra fragmentos de bloques de arenisca, la cual presenta teóricamente un valor de 68.3° como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando que ya se encuentra roca, por lo cual para la siguiente muestra se debe hacer uso de la barra NQ.

A continuación, es posible observar la estadística descriptiva realizada para los parámetros mencionados anteriormente, donde se obtiene:

12.5.8 Angulo de fricción (ϕ):

Para el ángulo de fricción, se obtiene:

Tabla 42. Análisis estadístico (Ángulo de fricción)

	ϕ
Media	32.4851771
Error típico	0
Mediana	32.4851771
Moda	#N/D
Desviación estándar	#¡DIV/0!
Varianza de la muestra	#¡DIV/0!
Curtosis	#¡DIV/0!
Coeficiente de asimetría	#¡DIV/0!
Rango	0
Mínimo	32.4851771
Máximo	32.4851771
Suma	32.4851771
Cuenta	1

Teniendo en cuenta los valores teóricos del ángulo de fricción, se obtienen como medio un valor de 32.48°, el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 40%, considerando que este valor representa un supuesto de lo encontrado en el terreno.

12.5.9 Cohesión (c´):

Para la cohesión, se obtiene:

Tabla 43. Análisis estadístico (cohesión)

c'	
Media	66.6
Error típico	0
Mediana	66.6
Moda	#N/D
Desviación estándar	#¡DIV/0!
Varianza de la muestra	#¡DIV/0!
Curtosis	#¡DIV/0!
Coeficiente de asimetría	#¡DIV/0!
Rango	0
Mínimo	66.6
Máximo	66.6
Suma	66.6
Cuenta	1

Teniendo en cuenta los valores teóricos de la cohesión, se obtienen como media un valor de 66.6 kPa, el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 40%, considerando que este valor representa un supuesto de lo encontrado en el terreno.

Considerando los valores estimados a partir del análisis presentado anteriormente, se toma un porcentaje de importancia del 40% para el valor de cohesión y ángulo de fricción, para los valores obtenidos en laboratorio el porcentaje de importancia es del 60%, teniendo en cuenta que en laboratorio se realiza un análisis detallado de la muestra.

Tabla 44. Análisis estadístico de parámetros

Porcentaje (%)	ϕ	c’
40%	32.5	66.6
60%	26.7	6.9
100%	29.01	30.76

12.5.10PESO UNITARIO:

Para el peso unitario, se obtiene:

Tabla 45. Análisis estadístico (Peso Unitario)

Peso Unitario (kN/m3)	
Media	19.808352
Error típico	0.68896937
Mediana	20.47347
Moda	#N/D
Desviación estándar	1.54058234
Varianza de la muestra	2.37339395
Curtosis	-3.15664123
Coeficiente de asimetría	-0.47745955
Rango	3.11958
Mínimo	18.07983
Máximo	21.19941
Suma	99.04176
Cuenta	5

Teniendo en cuenta los resultados de los pesos unitarios obtenidos en el laboratorio, se tiene como media un valor de 19.81 kN/m^3, el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 100%, Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 1.54.

Realizando el análisis, y aplicando los coeficientes de importancia descritos anteriormente, se estiman los siguientes parámetros para el estudio:

Tabla 46. Parámetros Geotécnicos

ϕ (°)	C' (kPa)	γ (kN/m^3)
29.01	30.76	19.81

12.6 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

Con base en el análisis geológico se logra determinar la presencia de tres UGI, correspondientes a suelo transportado glaciar, suelo transportado coluvión y roca blanda. Con base en los resultados de laboratorio se les asignan parámetros geotécnicos, características geomecánicas de resistencia y densidad, las unidades son:

12.6.1 Roca blanda (Rb):

menores de limolitas silíceas y areniscas de grano fino. Dentro de la zona de estudio aflora en un talud de la vía de acceso, cerca del sector suroriental del polígono, las rocas presentan un rumbo N20 E y buzan 32 grados al NW.

En el área del polígono no se observan afloramientos de la unidad de roca blanda, pero la evidencia geológica disponible indica que la roca se encuentra infrayaciendo las unidades de suelo presentes en el polígono; los sondeos exploratorios realizados no permitieron establecer la presencia directa de roca en el subsuelo.

Teniendo en cuenta las UGI descritas en la guía metodológica la roca blanda encontrada en el nodo Vegas corresponde a una roca blanda, por lo cual se caracteriza con la nomenclatura Rb.

12.6.2 Suelo transportado glaciar (Stg)

Este suelo se encuentra a lo largo del área del colegio campestre Jaime Garzón y a lo largo del brazo occidental del nodo de estudio, está integrado por horizontes de gravas con intercalaciones de arenas, arcillas orgánicas y paleosuelos; tal como se puede evidenciar en el sondeo 3.

En los sondeos exploratorios realizados esta unidad alcanzó un espesor superior a 10 m, en los sondeos 1 se observó el predominio de la matriz arcillo limosa, con fragmentos de lutitas y limolitas; en el sondeo 3 se observó un predominio de la armazón sobre la matriz, la armazón está integrada por bloques de arenisca cuarzosa.

12.6.3 Suelo transportado coluvión (Stc)

Unidad generada por la presencia de procesos de remoción en masa que han ocasionado el hundimiento y movimiento, de materiales sobre las laderas contiguas al colegio y la vía; las corrientes superficiales presentan socavación del cauce, condición que acelera los procesos de remoción en masa que corresponden a deslizamientos con movimiento lento, generados por una combinación de retiro de la cubierta vegetal arbustiva, conformación de potreros para

ganadería, presencia de pendientes fuertes, la pluviosidad alta y los materiales arcillosos sin consolidar. Dicha unidad también se encuentra sobre una vivienda construida cerca de la vía, donde se está viendo afectada la vivienda debido a este proceso.

En el sondeo 2 se observó el predominio de la matriz arcillo limosa, con fragmentos de lutitas y limolitas; sobre los apiques 1 y 3 se observa la presencia de materiales arcillosos y limosos, dichas exploraciones se realizaron a lo largo de la unidad de suelo transportado coluvión.

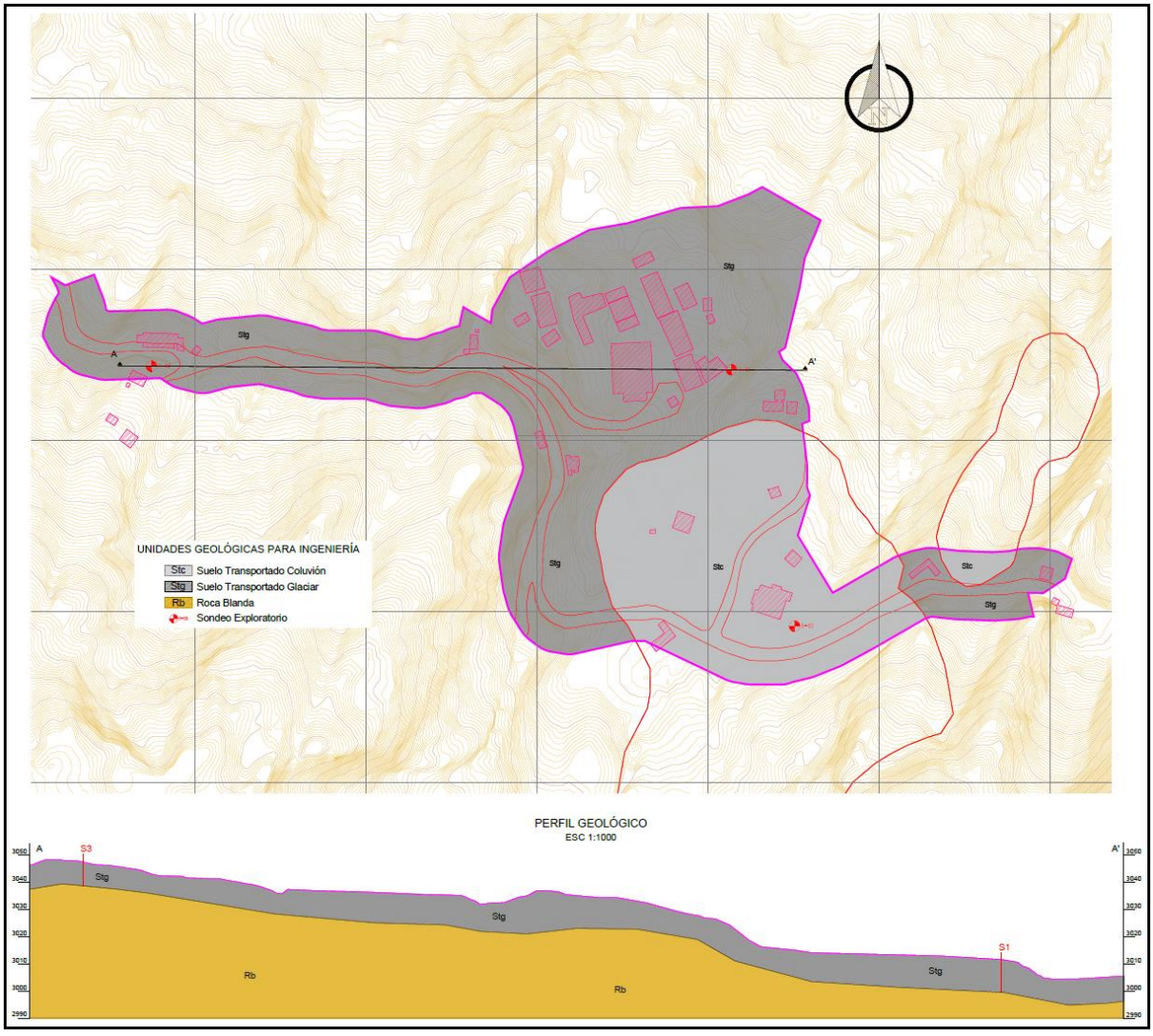


Figura 73. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Auras. Escala 1:5.000.

Tabla 47 Características zonas geotécnicas

Suelo transportado Glaciar (Stg) Entre 12 – 15 m.

Humedad: 14.2 - 94.28 %

Peso Unitario: 19.81 kN/m^3

Ángulo de fricción 29.01°

Gravedad especifica 2.359 - 2.743

Cohesión[8] 30.76 kPa

Material 2: Suelo transportado coluvión.

Peso Unitario: 20.49 kN/m^3

Ángulo de fricción 25.66º

Cohesión[9] 11.64 kPa

Material 3: Roca Blanda.

Peso Unitario: 20.4 kN/m^3

Ángulo de fricción 45º

Cohesión[10] 200 kPa

Tabla 48 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT

Material	γ (kN/m^3)	c' (kN/m^2)	ϕ' (°)
Stg	19.81	30.76	29.01
Stc	20.49	11.64	25.66
Rb	20.4	200	45

Fuente Geodinámica (2023)

[8] Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.
[9] Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.
[10] Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

12.7 NIVEL FREÁTICO

12.7.1 NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO

A manera de resumen se muestran las profundidades del nivel freático obtenido en los sondeos realizados para este sitio

Tabla 49. Tabla resumen de nivel freático

Sondeo	Nivel Freático (m)
S-1	4.30
S-2	1.30
S-3	1.60
AP-1	1.90
AP-2	2.10

12.7.2 ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO:

Definidas las unidades geotécnicas para los análisis básicos, es necesario evaluar la inestabilidad resultante de la acción hídrica relacionada con la fluctuación del nivel freático.

Para estimar la variabilidad del nivel freático a partir de la variabilidad de la magnitud de la infiltración, se requiere realizar una clasificación de las unidades geotécnicas según los tipos A, B, C o D. En la siguiente figura, se definen los cuatro grupos de suelos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.
Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.
Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

Figura 74. Clasificación de los suelos
Fuente: (Chow V.T., 1994)

Para el presente estudio el tipo de suelo y uso de la tierra, se catalogó en el grupo de suelos C, los valores de CN utilizados para el grupo de suelos C se presentan en la siguiente tabla.

USO DE SUELO	GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
	A	B	C	D
Tierra cultivada				
Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales				
Condiciones pobres	68	79	86	89
Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos	30	58	71	78
Bosques				
Troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas	45	66	77	83
Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.				
Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75 % o más)	39	61	74	80
Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50 al 75 %)	49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85 % impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72 % impermeables)	81	88	91	93
Residencial				
Tamaño promedio lote porcentaje promedio impermeable				
1/8 de acre 65	77	85	90	92
1/4 de acre 38	61	75	83	87
1/3 de acre 30	57	72	81	86
1/2 de acre 25	54	70	80	85
1 de acre 20	51	68	79	84
Parqueadero pavimentado, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

Figura 75. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo
Fuente: (Chow V.T., 1994)

Se define un numero adimensional de curva CN, tal que $0 \leq CN \leq 100$. Para superficies impermeables y superficies de agua CN=100, para superficies naturales $CN \leq 100$.

Una vez realizada la clasificación hidrológica del suelo, se procedió a calcular la retención potencial máxima (S) la cual se determinó con la siguiente formula:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde:

$$CN = Numero\ de\ curvas\ seleccionadas\ para\ condiciones\ de\ humedad\ II$$

Con los registros de precipitación diaria (P) suministrados por la estación más cercana al polígono de estudio se procede a calcular la precipitación infiltrada en 24 horas (P_i), haciendo uso de la ecuación de lluvia- escorrentía del SCS, la cual se presenta a continuación:

$$P_i = P - P_e$$

Donde P_e se calculó de la siguiente forma:

$$P_e = \frac{(P.0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

$$P = Precipitacion\ diaria$$

Con los datos de precipitación infiltrada en 24 horas, se procedió a calcula el valor de precipitación de infiltración total, haciendo uso de los valores diarios de precipitación infiltrada para cada año del registro y calculando la precipitación infiltrada media anual haciendo uso de la siguiente formula:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n}$$

Posteriormente se procede a calcular la desviación estándar (σ) y el coeficiente de variación (CV) de los datos de precipitación infiltrada media anual haciendo uso de las siguientes formulas:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100$$

Se calculo la profundidad media del nivel freático en milímetros reportados en las exploraciones de campo:

$$\overline{p_f} = \frac{p_{f_1} + p_{f_2} + \cdots + x_n}{n}$$

Por último, se consideró una intensidad de la lluvia infiltrada diaria (I_{i20}) para un periodo de retorno de 20 años. Este análisis se hace suponiendo una variación a largo plazo del nivel freático. La profundidad del nivel freático para dicho periodo se estimó haciendo uso de la siguiente formula:

$$P_{f20} = \left(\overline{P_f} - 1.65 CVP_f\right) - (I_{i_{20}} * 24)$$

Considerando que sobre este polígono se presentan 8 tipos de usos diferentes, estos usos fueron agrupados en 5 grupos hidrológicos del suelo, donde se toman así:

- **Distritos industriales** → % Zonas Industriales
- **Cubierta de pasto (75% o más)** → % Arbustal Abierto + % Pastos limpios
- **Cultivos sin tratamiento de conservación** → % Cultivos Confinados + % Otros Cultivos Permanentes
- **Residencial** → % Área culturales + %Tejido urbano discontinuo
- **Áreas abiertas** → % Vegetación Secundaria
- **Cunetas y alcantarillados** → % Obras Hidraulicas
- **Calles y carreteras** → % Red vial

En el grupo hidrológico del suelo denominado residencial, se encuentran las áreas culturales y el tejido urbano discontinuo con un valor de CN de 79.00 considerando las descripciones dadas en la figura anterior.

Teniendo en cuenta la metodología mencionada para el proyecto y haciendo uso de las ecuaciones anteriormente descritas se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 50. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años

RESULTADOS OBTENIDOS					
UGI	**GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO**	**CN**	**Pf20 (m)**	**h (m)**	**hw (m)**
Stg	Distritos industriales	91.00	1.59	9.00	7.41
	Cubierta de pasto (75% o más)	74.00	1.29	15.00	13.71
	Residencial	79.00	1.89	15.00	13.11
	Cunetas y alcantarillados	98.00	2.09	9.00	6.91
	Calles y carreteras	89.00	1.59	9.00	7.41
Stc	Cultivos sin tratamiento de conservación	88.00	4.29	15.00	10.71
	Áreas abiertas	79.00	4.29	9.70	5.41

12.8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

12.8.1 TALUD INFINITO

El método de talud infinito es un método para determinar el factor de seguridad de un talud, suponiendo que el talud se extiende de forma infinita en todas las direcciones y que el deslizamiento ocurre a lo largo del plano paralelo a la cara del talud. Este método cumple con condiciones para el equilibrio de fuerzas y equilibrio de momentos a pesar de que no se consideran explícitamente, debido a que las fuerzas son colineales y las fuerzas normales actúan en el centro del talud (Duncan J.M., 2005)

Para un talud uniforme y relativamente largo en el cual el mecanismo de falla esperado no es muy profundo, los efectos de borde son despreciables y el factor de seguridad puede calcularse a partir de una unidad de área con base en el criterio de Mohr- Coulomb.

Para realizar el análisis del método de talud infinito, se requieren conocer los siguientes parámetros:

- Altura de la masa deslizante z
- Altura del agua subterránea medida durante el movimiento h
- Angulo de inclinación de la horizontal β
- Peso específico del suelo γ
- Presión de poros μ
- Cohesión c
- Tensión vertical efectiva sobre el plano de deslizamiento σ
- Resistencia al corte sobre el plano de deslizamiento σ_n
- Resistencia al esfuerzo cortante τ_f
- Angulo de rozamiento del terreno ϕ

Para determinar la tensión vertical efectiva sobre el plano de deslizamiento se utilizó la siguiente expresión.

$$\boldsymbol{\sigma}= \frac{Peso\ efectivo\ del\ prisma\ por\ (und) de\ profundidad}{Superficie\ de\ actuación}$$

$$\boldsymbol{\sigma}= z * cos\beta[\gamma - \gamma_w\ (1-\varepsilon)]$$

Obtenida la tensión vertical efectiva sobre el plano de deslizamiento, se procede a calcular la resistencia al corte sobre el plano de deslizamiento:

$$\sigma_n = z * cos\beta^2[\gamma - \gamma_w\,(1-\varepsilon)]$$

y la resistencia al esfuerzo cortante calculada por la fórmula propuesta por Coulomb.

$$\tau_f = c + z * cos\beta^2[\gamma - \gamma_w\,(1-\varepsilon)] * Tan\phi$$

La fuerza perturbadora que induce la tensión de corte sobre el plano de deslizamiento, es la componente del peso total del prisma actuando sobre el plano de deslizamiento, esta se determinó por medio de la siguiente expresión:

$$Tensión\ perturbadora = \frac{\gamma z}{2} * sen2\beta$$

El factor de seguridad varia con la posición del nivel freático de acuerdo con la relación r_u que se denomina coeficiente de presión de poros y que relaciona la presión de poros con la altura del suelo, para determinar esta relación se utilizo la siguiente formula

$$r_\mu = \frac{\mu}{Z}$$

Como se menciona anteriormente el factor de seguridad varía con la posición del nivel freático, por lo que esto se debe tener en cuenta a la hora de ser determinado. Para el presente estudio el factor de seguridad se determina por medio de la siguiente expresión:

$$F = \frac{c + (z * cos\beta^2 * \gamma - \mu) * Tan\boldsymbol{\phi}}{\frac{\gamma z}{2} * sen2\beta}$$

12.8.1.1 Angulo de inclinación de la horizontal $\boldsymbol{\beta}$

El valor del Angulo beta para el polígono de estudio es de $\boldsymbol{\beta = 31}$ °

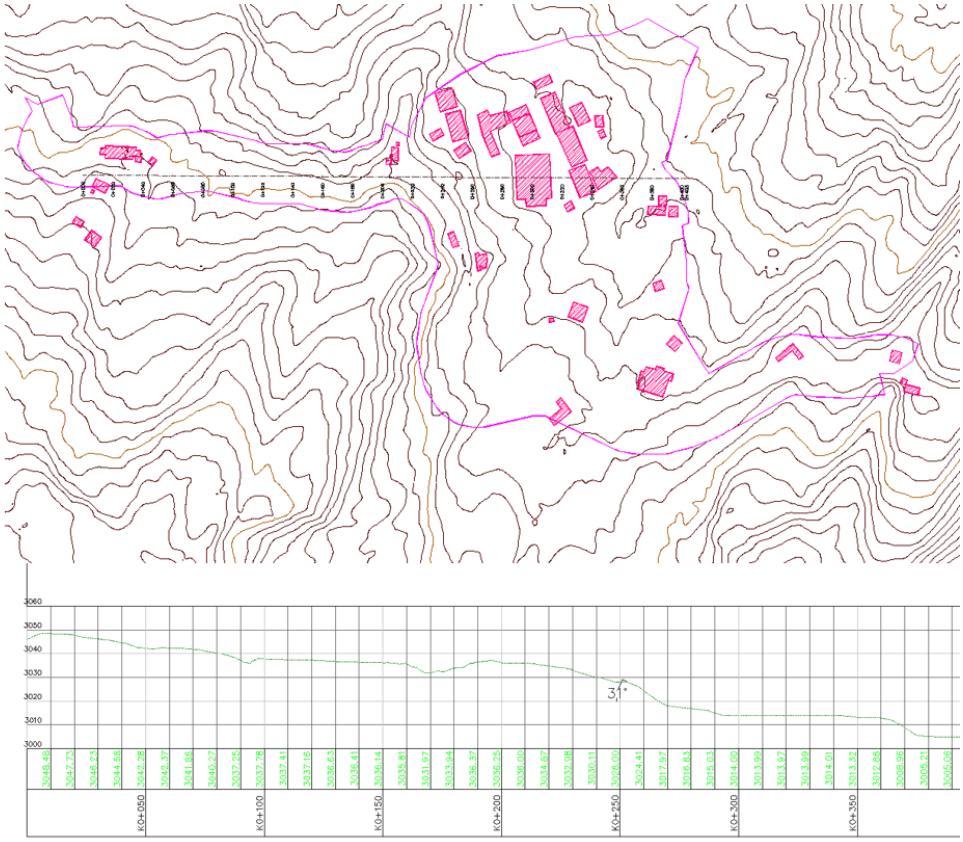
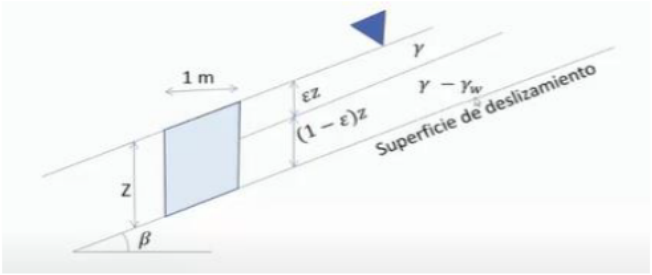


Figura 76. Planta y perfil Angulo β

GEODINAMICA INGENIERIA	METODO DEL TALUD INFINITO AURAS		IDIGER Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
DINAMICA S.A.	No. DEL PROYECTO:	188 Zonificación Sumapaz	

Coeficiente de seguridad (Método del Talud Infinito)



$$F = \frac{tensión\ resistente}{tensión\ perturbadora}$$

$$F = \frac{c + z * cos\beta^2[\gamma - \gamma_w\,(1-\varepsilon)] * Tan\boldsymbol{\Phi}}{\frac{\gamma z}{2} * sen2\beta}$$

$$F = \frac{c + (z * cos\beta^2 * \gamma - \mu) * Tan\boldsymbol{\Phi}}{\frac{\gamma z}{2} * sen2\beta}$$

DATOS ENTRADA		
c	30.76	kN/m^2
z	15	m
z_w	1.3	m
γ	19.81	kN/m^3
γ_w	9.81	kN/m^3
β	31	°
Φ	30.76	°

DATOS SALIDA		
β	0.5410521	Rad
Φ	0.5368633	Rad
μ	12.753	kN/m^2
Fs	1.167	

RESULTADO	
Fs	1.167
¿ALTA?	NO
¿MEDIA?	SI
¿BAJA?	NO

Figura 77. Método del Talud Infinito

12.9 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA:

Tomando como base la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano, a partir del cual se establece que los estudios realizados para escalas 1:5000, se desarrollaron por medio de análisis determinísticos e información secundaria existente (cartografía) la generación de los mapas temáticos relacionados a geología, geomorfología, coberturas y uso del suelo.

Así mismo, se tomó en cuenta los factores condicionantes tales como la UGI, elementos geomorfológicos, la exploración básica del subsuelo, información secundaria relacionada a eventos ocurridos con movimientos en masa en las áreas de estudio y coberturas y usos del suelo.

A continuación, se detalla lo realizado a lo lardo del presente informa, donde es posible destacar:

A. **(UGI)**, Información geológica con la distribución, propiedades físicas y mecánicas de las rocas, suelos, nivel freático, características del relieve, dicha información permitió diferenciar materiales aflorantes, definir el espesor de suelo, las características estructurales y caracterizar los materiales de acuerdo las propiedades mecánicas. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 6 del presente informe.

B. En el caso de la **geomorfología**, Se identifican y caracterizan las geoformas, a partir de información relacionada con morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica. Se realizó el registro de las condiciones actuales del lugar a través del levantamiento en campo y con fotografías que evidencian el estado de las mismas, así como el uso de sensores remotos que permitan complementar esta información, la cual irá como complemento de la geomorfología. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 7 del presente informe.

C. Se determina la presencia de **procesos morfodinámicos** dentro del polígono. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 8 del presente informe.

D. Se delimitan las zonas homogéneas de análisis estableciendo para cada una de ellas su UGI, así como la influencia que tiene en cada una de estas los factores detonantes, como lo es el **factor sismo**, se debe determinar el factor k (coeficiente de aceleración para un periodo de retorno de 100 años) el cual se toma a partir de un estudio realizado

por el IDIGER para la localidad de Sumapaz. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 9 del presente informe.

E. **Usos y coberturas de suelo** se desarrolla conforme a la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia por parte del IDEAM; allí se basa en la determinación del número de curva (CN) con el cual se busca encontrar valores de nivel freático y láminas de agua, si se tiene en cuenta la lluvia como un factor importante causante de los movimientos en masa; los factores a evaluar principalmente son de tipo antrópico donde se evidencien cambios en el uso del suelo, cortes de ladera y explanaciones. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 10 del presente informe.

F. Se delimitan las zonas homogéneas de análisis estableciendo para cada una de ellas su UGI, así como la influencia que tiene en cada una de estas los factores detonantes, como lo es **lluvias** el factor detonante lluvia se analiza la lluvia para un periodo de retorno de 20 años. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 11 e ítem 12.6.3. del presente informe.

G. Con la exploración básica del subsuelo, se realiza la caracterización de las unidades del modelo geológico-geotécnico para el polígono de estudio, se ejecutan los y sondeos proyectados inicialmente. Estas muestras deberán tener sus respectivos ensayos de laboratorio, según sea el caso. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 12 del presente informe. Con la clasificación aplicada en la zona de estudio, se define una malla con herramientas SIG donde se establezcan los valores de estratificación, profundidad y nivel de agua para las columnas de suelo y/o roca. Cada unidad geotécnica homogénea definida tendrá su respectivo modelo geológico-geotécnico a partir de la información geológica y geomorfológica, donde se definen:
   - Pendiente del terreno
   - Espesor del suelo y su variación
   - Lito estratigrafía hasta el sustrato rocoso
   - Posición del nivel freático

Una vez realizado lo mencionado anteriormente, se procede a establecer el modelo geológico-geotécnico, donde se identifican las unidades geotécnicamente homogéneas y con esto, plantear para cada caso el modelo conceptual, mediante el cual se establecen las características geológicas y geomorfológicas, así como los parámetros geotécnicos para cálculo de estabilidad en la zona de estudio de manera determinística. Posteriormente se define si la unidad de análisis es una unidad de suelo o roca, en el caso de los suelos se aplicará la ecuación de talud infinito, mostrada en el ítem 12.7 del presente documento, la cual se puede aplicar empleando la función Raster Calculator del aplicativo ArcMap, para lo

cual se deben rasterizar previamente la totalidad de variables que se encuentran dentro de la ecuación.

12.9.1 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Teniendo en cuenta la información desarrollada a lo largo del presente estudio, se procede a realizar la clasificación de amenaza, la cual se define a partir del factor de seguridad en el caso de los suelos, de esa forma se establecen tres niveles de amenaza ante deslizamiento, los cuales son alto, medio y bajo. En caso de requerir la metodología a aplicar en las unidades de roca Para las unidades de roca se empleará la metodología correspondiente al SMR.

Para la clasificación del nivel de amenaza para el área de estudio, se considera el factor de seguridad y los criterios de clasificación de la siguiente tabla de la guía del SGC, se tiene la representación del nivel de amenaza en la zona de estudio, donde se incluye la respectiva leyenda y/o convención con las características físicas de cada unidad según la categoría establecida, los procesos predominantes y los daños que pudieran ocasionar.

NIVEL DE AMENAZA	FACTOR DE SEGURIDAD	VALOR DE SMR	COLOR EN EL MAPA
Alta	<1,1	<40	Rojo
Media	1,1-1,5	41-60	Amarillo
Baja	>1,5	>60	Verde

Figura 78. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano (SGC)., 2016)

A continuación, es posible conocer a detalle las descripciones de la amenaza por remoción en masa de la zona de estudio.

12.9.1.1 Nivel de amenaza alto:

Este nivel de amenaza, se presenta cuando el rango del factor de seguridad (FS) es menor o igual a 1.1. Estas zonas se caracterizan por:

- Presentar en los deslizamientos rotacionales grandes superficies de falla.
- Presentar en los suelos residuales o materiales de deslizamientos, un nivel freático en promedio a 15 m de profundidad.

La amenaza alta también está dada para las zonas más empinadas del nodo, las cuales presentan inclinación mayor a los 25 grados. Las zonas de deslizamientos activos se distinguen por la falla de los taludes en un evento de sismo y lluvia fuerte.

12.9.1.2 Nivel de amenaza medio:

Este nivel de amenaza, se presenta cuando el rango del factor de seguridad (FS) está entre 1.1 y 1.5. Estas zonas se caracterizan por:

- Son suelos finos granulares sueltos, como lo son areniscas y arcillas, en gran medida no son residuales, depósitos fluvioglaciares o deslizamientos antiguos.
- Presentar nivel freático cercano a los 10 m de profundidad.

La amenaza media presenta unas pendientes entre 12 y 25 grados, estas zonas deben ser manejadas con precaución, ya que a largo plazo se pueden convertir en amenaza alta.

12.9.1.3 Nivel de amenaza bajo:

Este nivel de amenaza, se presenta cuando el rango del factor de seguridad (FS) es mayor a 1.5. Estas zonas se caracterizan por:

- Presentarse en la parte alta del deslizamiento, con presencia de arcillolitas y areniscas con alta cohesión.

La amenaza baja presenta unas pendientes menores a los 12 grados, estas zonas no presentan problemas en un evento de sismo o lluvias fuertes.

La evaluación y zonificación de amenaza, se realizará en dos condiciones, en la cual es posible destacar la condición actual y condición futura, con lo cual se destaca:

12.9.2 CONDICIÓN ACTUAL:

Para la evaluación de las condiciones actuales se tiene en cuenta la metodología de talud infinito, la cual se describe a lo largo del ítem 12.7, en la cual se emplea la siguiente ecuación:

$$F = \frac{c + (z * cos\beta^2 * \gamma - \mu) * Tan\boldsymbol{\phi}}{\frac{\gamma z}{2} * sen2\beta}$$

- ✓ Altura de la masa deslizante →z
- ✓ Angulo de inclinación de la horizontal → β
- ✓ Peso específico del suelo → γ
- ✓ Presión de poros → μ
- ✓ Cohesión → c
- ✓ Angulo de rozamiento del terreno → ϕ
- ✓ Presión de poros → μ

12.9.3 CONDICIÓN FUTURA:

Para la evaluación de las condiciones futuras se tiene en cuenta la metodología de talud infinito, descrita en la guía metodología del servicio geológico colombiano la cual permite hacer uso de los factores detonantes como lo son:

- Las lluvias mediante la altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente una lluvia de 20 años de periodo de retorno.
- Los sismos mediante el coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años.

Haciendo uso de estos factores en la siguiente ecuación:

$$FS = \frac{(c'b \sec \alpha + (ybh \cos \alpha - kybh \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{ybh \sin \alpha + kybh \cos \alpha}$$

Donde:

c’ y Φ’→ Son los parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en término de esfuerzos efectivos.

γ → Es el peso unitario del suelo.

b → Es el ancho de la tajada (ancho de la celda).

h → Es la altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.

γ_w → Es el peso unitario del agua.

h_w → Es la altura de la lámina de agua, determinada a partir del nivel freático correspondiente a una lluvia de 20 años de periodo de retorno.

α → Es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

k → Es el coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años.

Los parámetros c’ y tan (φ’) se toman mediante el análisis estadístico realizado, para la unidad geotécnica definida. La profundidad de la superficie de falla se toma como la

profundidad del suelo o la profundidad hasta el contacto entre dos unidades de diferente comportamiento mecánico.

12.10 ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA:

Inicialmente como unidades geológicas para ingeniería en el nodo de estudio, se encontró material clasificado como suelo transportado glaciar, suelo transportado coluvión y roca blanda que de acuerdo a sus características litológicas y geotécnicas se clasifica en roca blanda (Rb), ya que por medio de la exploración geotécnica no se llegó hasta el punto que permitiera caracterizar a que roca se asocia. Se define un espesor para el suelo transportado entre 12 y 15 metros.

En el caso de la geomorfología, Se identifican y caracterizan elementos geomorfológicos de origen glaciar y denudativo, donde se determina a partir de un análisis de pendientes que sobre la zona se presentan Laderas Onduladas Glaciares y depósitos coluviales Inclinados, moderadamente abruptos y abruptos.

Dentro del nodo de estudio se evidencio dos procesos morfodinámicos, se trata de una remoción en masa que afectan la banca, en uno de los casos se observó el fracturamiento de una estructura de contención que está en el talud inferior, otra situación está afectando una vivienda construida cerca de la vía, dichos procesos se levantaron teniendo en cuenta el formato de inventario del servicio geológico colombiano.

Mediante la información del estudio de la Universidad Nacional “Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000” del año 2013, suministrado por el IDIGER, El coeficiente de aceleración es de Ao = 0.30 para una tasa de retorno (TR) de 475 años.

Mediante la metodología Corinne Land Cover, las coberturas del nodo de estudio se clasifican en tejido urbano discontinuo, zonas industriales, red vial, obras hidráulicas, áreas culturales, pastos y vegetación. y en el uso actual se encontró usos agrícolas, conservación, infraestructura y pecuario.

El factor detonante lluvia se analiza para un periodo de retorno de 20 años, donde se analiza la información pluviométrica de la estación PM Nazareth, y allí se determina el valor de Pf20 y hw para la UGI cartografiada.

Al realizar el análisis estadístico detallado de los parámetros geotécnicos, se identifican los valores de la UGI cartografiable y el especialista a partir de las características presentadas por la roca determina los valores para dicha unidad. Teniendo en cuenta los parámetros geotécnicos se aplica la ecuación de talud infinito la cual se puede aplicar empleando la función Raster Calculator del aplicativo ArcMap, donde se obtiene como resultado, el análisis de zonificación de amenaza actual y futura, anexado en la carpeta PLANOS AURAS denominados Amenaza-Actual y Amenaza-Futura

12.10.1AMENAZA ACTUAL:

12.10.1.1 Nivel de amenaza alto:

Corresponde al 77.39% del área total de estudio, corresponde a zonas con susceptibilidad alta a baja en los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo y de las coberturas encontradas dentro del nodo. Para este sector las lluvias diarias presentan un promedio de 39.45 mm desde el año 1984 al 2021 y la precipitación media anual presenta un valor promedio de 1143.6 mm, el coeficiente de aceleración máximo horizontal es de 0.30 siendo este uno de los detonantes principales para este nivel de amenaza. Teniendo en cuenta las geoformas presentadas en esta categoría la posibilidad de que ocurra un movimiento en masa es máximas, ya que las pendientes son altas, dentro del polígono se observan dos procesos morfodinámicos, se trata de una remoción en masa que afectan la banca, en uno de los casos se observó el fracturamiento de una estructura de contención que está en el talud inferior. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son severas, ya que pueden generar pérdidas humanas, de viviendas y cultivos.

12.10.1.2 Nivel de amenaza medio:

Corresponde al 22.61%. del área total de estudio, corresponde a zonas con susceptibilidad media a baja en los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo y de las coberturas encontradas dentro del nodo. Las geoformas presentadas en esta zona son principalmente inclinadas y moderadamente abruptas, para este nivel existe una posibilidad en que se generen movimientos en masa como deslizamientos, reptaciones y flujos. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son destrucción parcial de viviendas, obras civiles, entre otros. Es necesario que la comunidad haga uso y manejo adecuado del suelo, además, se recomienda generar políticas ambientales donde se hallan extinto las coberturas.

12.10.2AMENAZA FUTURA:

12.10.2.1 Nivel de amenaza alto:

Corresponde al 100% del área total de estudio, corresponde a zonas con susceptibilidad alta a baja en los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo, factores detonantes como lluvias, sismos y de las coberturas encontradas dentro del nodo. Para este sector las lluvias diarias presentan un promedio de 39.45 mm desde el año 1984 al 2021 y la precipitación media anual presenta un valor promedio de 1143.6 mm, el coeficiente de aceleración máximo horizontal es de 0.30 siendo este uno de los detonantes principales para este nivel de amenaza. Teniendo en cuenta las geoformas presentadas en esta categoría la posibilidad de que ocurra un movimiento en masa es máximas, ya que las pendientes son altas, dentro del polígono se observan dos procesos morfodinámicos, se trata de una remoción en masa que afectan la banca, en uno de los casos se observó el fracturamiento de una estructura de contención que está en el talud inferior. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son severas, ya que pueden generar pérdidas humanas, de viviendas y cultivos.

12.11 DISTANCIA DE VIAJE:

Para el análisis de zonificación de amenaza por movimiento en masa, se cumple con la metodología descrita en el capítulo 4, la cual se toma como base de la guía metodológica del servicio geológico colombiano del año 2016, a partir de la cual se establece que los estudios realizados para escalas 1:5000 son desarrollados por medios de análisis determinísticos, metodología se emplea para estudios base, tal cual lo precisa la escala de estudio requerida en el contrato.

En la topografía suministrada por el IDIGER no es posible evidenciar si se presentaron cambios en la zona de estudio, considerando que no se sabe con exactitud en qué fecha se realizó el modelo de superficie.

Para la presente consultoría el análisis de la distancia de viaje con el fin de fines específicos de ordenamiento territorial, requiere un rigor técnico que un estudio de amenaza escala 1:5.000 no permite abordar, ya que metodológicamente en estudios detallados se hace para movimientos activos que se encuentren dentro del área de estudio, mediante métodos de elementos finitos, por lo cual se requiere estimar parámetros como la caída vertical y el ángulo del talud, situación que sugiere una alta suposición de parámetros bajo los insumos temáticos establecidos en el estudio escala 1:5.000. Adicionalmente, la cantidad de sondeos es escaso, por lo cual no se permitió caracterizar los datos requeridos para dicho análisis, de

esta forma se estima un valor de distancia aproximado en aquellas zonas que presenten movimientos activos.

Sin embargo, para escalas básicas es posible generar una predicción aproximada de este parámetro bajo métodos analíticos como el de "la línea de energía" presentado por Heim (1932, citado por Mavrouli et al., 2014), el cual se basa en la predicción de la máxima distancia de viaje recorrida por un bloque a lo largo de un perfil. A partir de la interacción de la topografía con una línea cuyo punto de partida, puede ser la zona de inicio o el punto más alto de la ladera. (https://www2.sgc.gov.co/archivos/GM(2017).pdf), análisis que se tuvo en cuenta en la definición de la zonificación de amenaza.

Dentro del nodo de estudio se presenta un movimiento activo, el material transportado caería a lo largo de la ladera, este proceso es de suma importancia tenerlo en cuenta, ya que a futuro puede generar afectaciones sobre la vía, dicho proceso se genera en el patio de una vivienda, donde los habitantes realizaron un relleno para poner en función un parqueadero. Para el análisis de amenaza, la zona de afectación se deja en nivel alto (color rojo), considerando las características mencionadas anteriormente.

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. De acuerdo a la información geológica elaborada por INGEOMINAS para la cartografía de la plancha 265 Icononzo (1999) a escala 1:100.000, la cartografía realizada para la elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá, FOPAE-UNAL (2013), a escala 1:25.000 y los levantamientos realizados a lo largo de las visitas de campo, se detallaron las características encontradas dentro del nodo, determinando la presencia Formación Chipaque (Ksch) y roca blanda (Rb6).

B. El polígono evaluado, limita al occidente por la Falla de Nazareth, está conformada por rocas de edad Cretáceo. La principal estructura corresponde al Anticlinal del Raizal, el polígono estudiado se ubica en el flanco occidental de la mencionada estructura, las capas presentan un rumbo aproximado N20˚ E y buzan 25˚ hacia el NW., dentro del polígono no se evidencian unidades geológicas de superficie.

C. En la geología local del nodo Auras, fue posible encontrar material clasificado como suelo transportado glaciar, suelo transportado coluvión y roca que de acuerdo a sus características litológicas y geotécnicas se clasifica en roca blanda (Rb), ya que por medio de la exploración geotécnica no se llegó hasta el punto que se pudiera caracterizar a que roca se asocia.

D. En la geomorfología de la zona, se reconocen geoformas de ambiente glaciar que conforman laderas de relieve suave a ondulado, la cual se denomina técnicamente como Ladera Ondulada Glaciar (Glo), y elementos de origen denudativo como lo son los depósitos coluviales (Dco), donde a partir de las pendientes se realiza un cruce de información con este componente, y en el plano obtenido, se observan las geoformas más representativas dentro del nodo.

E. Se realiza el levantamiento del proceso morfodinámico encontrado dentro del polígono, donde se generó el inventario de aquel proceso cartografiable a escala 1:5.000, uno de los procesos encontrados se genero fuera del área del polígono, por lo cual lo que se encuentra en el área de estudio es una zona de depositación del proceso, para dicho movimiento no se genera formato de levantamiento.

F. El coeficiente de aceleración para este nodo de estudio, es de Ao = 0.30 para una tasa de retorno (TR) de 475 años, esta información se toma a partir del estudio de la Universidad Nacional “Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000” del año 2013, el cual fue suministrado por el IDIGER.

G. Las coberturas de tierra para este nodo de estudio, se desarrolla conforme a la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia; se clasifican en tejido urbano discontinuo, zonas industriales, red vial, obras hidráulicas, áreas culturales, pastos y vegetación, donde se evidencia que la cobertura más dominante corresponde a pastos limpios (231), la cual se distribuye a lo largo del polígono del nodo cubriendo el 62%, en este nodo se destaca la presencia de una institución educativa cuya infraestructura ocupa el 9,2% y que se ubica en el centro del nodo como referente espacial de la zona..

H. El uso actual del suelo se refiere a la utilización que el hombre les hace a las coberturas, por lo cual para el presente nodo de estudio se encuentran usos agrícolas, conservación, infraestructura y pecuario.

I. Se analiza la información pluviométrica del nodo de estudio, tomando como base la información de la estación PM Nazareth, dicha estación no es la más cercana al nodo, pero es la única estación cercana que muestra información para realizar los respectivos análisis, ya que las otras estaciones están suspendidas o hacen parte del EAAB.

J. Se genera la curva IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) para la estación de estudio, con un periodo de retorno de 2, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Los datos obtenidos para periodo de retorno de 20 años se usan para determinar las lluvias en la zona durante 24 horas, considerando que se requiere para hallar el valor de Pf20.

K. Se realiza el levantamiento de las obras hidráulicas encontradas dentro del polígono, las cuales se evalúan verificando el estado y las condiciones que presentan, para este nodo de estudio, no se encontraron cuerpos de agua generados por la comunidad de manera manual.

L. Se ejecutan los sondeos y los apiques programados para el sector, evidenciando que en algunas perforaciones se encontró la roca, a partir de este análisis, se justifican las unidades geológicas regionales presentadas.

M. En la ejecución de los sondeos se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar SPT, del cual se obtienen los valores de N (golpes) que permiten correlacionar con la consistencia los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares, obteniendo así la variación en profundidad de N en cada sondeo, de acuerdo a este valor obtenido en campo, se realiza la respectiva corrección de N60 y N70.

N. Se genera la estimación de parámetros de resistencia a partir del ensayo SPT, con la metodología propuesta por González, A. J. (1999) para la cohesión y la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) para **ϕ**, donde se grafican puntos (**σ**v, τ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicas efectivos buscados, y finalmente estimar de manera aproximada los valores de c´y **ϕ**.

O. Se realizan ensayos de, análisis granulométrico, determinación de la densidad (Peso unitario), determinación de la gravedad específica, determinación limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad, determinación de contenido de agua, compresión inconfinada, corte directo en condición CD, determinación del contenido orgánico y carga puntual en muestra de roca, los cuales se analizaron de manera detallada.

P. Se realiza un análisis estadístico detallado de los parámetros geotécnicos, donde se toman cada una de las muestras extraídas y se analizan de acuerdo a las características y los resultados de **ϕ** y c'.

Q. Se realiza el modelo geológico geotécnico con base en el análisis geológico y se logra determinar la presencia de suelo transportado glaciar y roca blanda, las cuales son UGI cartografiables, con base en los resultados de laboratorio y el análisis estadístico se les asignan parámetros geotécnicos, características geomecánicas de resistencia y densidad.

R. Se determina el número de curva (CN) y los valores de nivel freático y láminas de agua, considerando la lluvia como un factor importante causante de los movimientos en masa, teniendo en cuenta la metodología de servicio geológico colombiano (2016).

S. Teniendo en cuenta la escala de estudio 1:5.000, se realizó la evaluación de los diferentes parámetros requeridos para el análisis de estabilidad mediante la metodología del talud infinito, los cuales fueron evaluados por cada especialista.

T. Se realizó el análisis de estabilidad por la metodología descrita por el servicio geológico colombiano 2016, donde se evidencia mediante cada uno de los parámetros el nivel de amenaza para cada una de las zonas del polígono.

U. En la zonificación actual del nodo, se evidencia que el 77.39% del área total de estudio corresponde a un nivel de amenaza alto, donde estas áreas corresponden a una

susceptibilidad alta a baja en los movimientos en masa debido a características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo y de las coberturas encontradas, el 22.61% del área de estudio presenta un nivel de amenaza medio.

V. En la zonificación futura se caracteriza un único nivel de amenaza, en lo cual el 100% del área total del polígono se encuentra en amenaza alta, debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo, factores detonantes como lluvias, sismos y de las coberturas encontradas dentro del nodo.

W. Como recomendación se deberá cumplir con la normatividad vigente (NSR-10) para el caso de construcción de edificaciones de equipamientos; se deberá prestar especial atención a los taludes generados y verificar si requieren análisis de Amenaza detallados.

X. Se recomienda que los cambios de las coberturas y los usos del suelo generados por acciones antrópicas, deben realizarse de manera controlada, considerando que, al realizar talas no controladas, deforestación u otros cambios en los suelos, se generan cambios en las propiedades analizadas para la amenaza del estudio.

Y. De acuerdo al análisis realizado a lo largo del estudio, dentro del nodo de estudio se presenta un movimiento activo, el material transportado caería a lo largo de la ladera, este proceso es de suma importancia tenerlo en cuenta, ya que a futuro puede generar afectaciones sobre la vía, dicho proceso se genera en el patio de una vivienda, donde los habitantes realizaron un relleno para poner en función un parqueadero. Para el análisis de amenaza, la zona de afectación se deja en nivel alto (color rojo), considerando las características mencionadas anteriormente.

14 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldesa Local de Sumapaz, A. d. (29 de 12 de 2022). *Identificación y Priorización Escenario de Riesgo*. Obtenido de https://www.idiger.gov.co/documents/220605/329657/Identificaci%C3%B3n+y+Priorizaci%C3%B3n.pdf/c0c0d444-dcce-4c14-9f06-a40e0f9f7777

Chow V.T., M. D. (1994). *Hidrologia aplicada.* Bogotá.

Colombiano, S. G. (s.f.). *http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/.*

Duncan J.M., W. S. (2005). *Soil Strength and Slope Stability". John Wiley and Sons.Inc. Hoboken. New Jersey 297p.*

EMP. (s.f.). *Respuesta a solucitud de activos o contenido de estos en la zona*.

IDIGER, I. D. (27 de 01 de 2017). *PROYECTO ACTUALIZACIÓN COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO PARA LA REVISIÓN ORDINARIA Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. Obtenido de https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO_TECNICO_DE_SOPORTE_14-06-19/DT04_Anexo04_Amenaza_porMov_enMasa_enPerspectiva_CCZonaRural.pdf

IDU. (01 de 2023). *Respuesta a informacion sobre la malla vial, inventario de la infraestructura vial y reservas de Civs* .

Montenegro Padilla, L. F. (2014). Calibracion del metodo de parametro de resistencia con SPT en suelos de la region llanera colombiana.

Nacional, U. (2013). *Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000.*

SERVICIO GEOLÓGICO, C. (s.f.). *ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA. ESCALA 1:25.000.*

Sumapaz, C. L.-C. (10 de 2019). *Plan Local de Gestión del Riesgo y Cambio climático CLGR-CC*. Obtenido de https://www.idiger.gov.co/documents/220605/494708/PLAN+LOCAL+DE+GESTI%C3%93N+DEL+RIESGO+COMPILADO-SUMAPAZ.pdf/328381c6-8c49-4415-acc0-87335808df07

- HANSEN, A. 1984. Landslide hazard analisys.In: Brunsden, D., Prior, D.B (ed.) Slope Instability. 523-602. Wiley & Sons, NewYork.
- VAN WESTEN, C. 2003. GISSIZ: training packagefor Geographic Information Systemsin Slope Instability Zonation. HandoutConferences, ITC, Enschede.
- Castro, E., Valencia, A., Ojeda, J., Muñoz, F., & Fonseca, S. (2001). Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa: Guía metodológica. Santa Fé de Bogotá, Colombia: INGEOMINAS/Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca/Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Colombiano, S. G. (2013). Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza por movimientos en masa escala 1: 100.000. Bogotá DC, Colombia.
- Linares, P. S. (2017). Desarrollo y análisis de zonificación de amenaza por fenómenos de remoción en masa: uso y evaluación del método heurístico del proceso de análisis jerárquico y comparación de criterios adecuados. Bogotá DC.
- Cuervo, V. (1999). Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa.
- INGEOMINAS. (2004). Mapa Geológico para Ingeniería Sabana de Bogotá. Bogotá D.C.: INGEOMINAS.
- INGEOMINAS. (2004). Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geológica para Ingeniería. Bogotá D.C.: INGEOMINAS.
- IDEAM, 2021. Cobertura de la Tierra 100K Periodo 2018.
- IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p.
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- Nacional, U. (2013). Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000.
- BÜRGL, H.1957. Bioestratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional: V.3. No.2, Bogotá.

- CARVAJAL, J. H. 2012. Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia, SGC, Bogotá, 2012.
- CARVAJAL, J. H 2005. Zonificación Geomorfológica de la Sabana de Bogotá "Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá" Volumen I, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- FOPAE-UNAL. 2013, Elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá D.C a escala 1:25.000.
- INGEOMINAS, 1999. Geología de la Plancha 265-Icononzo; Esc. 1:100.000.
- INGEOMINAS, 1999. Memoria explicativa de la Plancha 265 Icononzo.
- INGEOMINAS, 2005. Cartografía Geológica Aplicada a la Zonificación Geomecánica de la Sabana de Bogotá, Volumen II, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- INGEOMINAS, 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.
- INGEOMINAS, 2017. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.
- MONTOYA D. y REYES G., 2005. Geología de La Sabana de Bogotá Esc. 1:100.000.
- MONTOYA D. y REYES G., 2005. Memoria explicativa del mapa Geología de la Sabana de Bogotá.
- OPPENHEIM, V., 1940. Glaciaciones Cuaternarias de la Cordillera Oriental de Colombia.
- Informe 276. INGEOMINAS. Bogotá.
- RENZONI, G, 1965. Geología del Cuadrángulo L-11 Villavicencio, escala 1:200.000 Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional, Bogotá.
- STUTZER, O., 1934. Sobre la Geología de la Parte Media del Valle del Magdalena. Compendio de Estudios Geológicos Oficiales de Colombia: t.2, p.183-209. Bogotá.
- Duncan J.M., W. S. (2005). *Soil Strength and Slope Stability". John Wiley and Sons.Inc. Hoboken. New Jersey 297p*
- Montenegro Padilla, L. F. (2014). Calibracion del metodo de parametro de resistencia con SPT en suelos de la region llanera colombiana.

15 ANEXO

- 1 - ESTUDIOS DE GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA
- 2 - INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINAMICOS
- 3 - SISMOLOGIA
- 4 - ANEXO COBERTURAS Y USOS DEL SUELO (GENERAL)
- 5 - HIDROLOGIA Y DRENAJE SUP
- 6 - GEOTECNIA
- ANEXO REGISTROS FOTOGRAFICOS
- GIS
- PLANOS AURAS
- RASTER
- INFORME EJECUTIVO
- INFORME FINAL
- PRESENTACIÓN NODO AURAS