



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
AMBIENTE  
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos  
y Cambio Climático

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  
**CONTRATO No 278 DE 2022**



## 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](mailto: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 SUMAPAZ

**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.

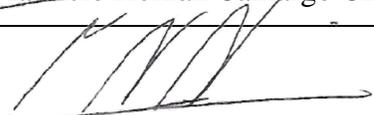
## HOJA DE CONTROL

ENTIDAD	RESPONSABLE	EJEMPLARES
IDIGER	SUPERVISOR	
INTERVENTORÍA	DIRECTOR	

## ÍNDICE DE MODIFICACIONES

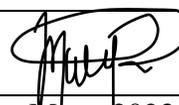
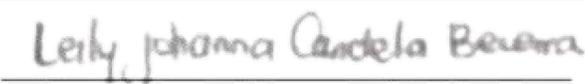
VERSIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
Entrega 1	Entrega 1	30 diciembre 2022	Se realiza entrega
Entrega 2	Entrega 2	27 enero 2023	Se realiza entrega
Entrega 3 - 1	Entrega (3 nodos)	6 de marzo 2023	Se realiza entrega de los 3 nodos acordados.
Entrega 3 - 2	Entrega (5 nodos)	5 de 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:	JULIO CESAR TORRES
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 .....	13
2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS.....	14
3	VERIFICACIÓN DEL POLIGONO .....	15
4	METODOLOGIA EMPLEADA Y PLAN DE TRABAJO.....	16
4.1	METODOLOGIA.....	16
5	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA .....	20
5.1	GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ:.....	20
5.1.1	GEOMORFOLOGÍA .....	20
5.2	CUENCA RIO BLANCO.....	22
5.2.1	Suelos .....	23
5.2.2	Pendientes Localidad Sumapaz- Cuenca río Blanco.....	23
5.2.3	Clima .....	24
5.3	DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO SUMAPAZ:.....	24
5.3.1	Amenaza.....	24
5.3.2	Pendientes polígono Sumapaz.....	25
5.3.3	Precipitaciones.....	26
5.3.4	Hidrogeología.....	27
5.3.5	Estudios previos.....	29
5.3.6	Información secundaria .....	34
6	GEOLOGÍA .....	41
6.1	GEOLOGÍA REGIONAL .....	41
6.1.1	ESTRATIGRAFÍA.....	41
6.1.2	UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES .....	42
6.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	44
6.3	GEOLOGIA LOCAL .....	45
6.3.1	Roca Blanda (Rb). .....	46
6.3.2	Suelo transportado aluvión (Sta) .....	46
6.3.3	Suelo transportado Glaciar (Stg). .....	46
7	GEOMORFOLOGÍA .....	49

7.1	ELEMENTO DE ORIGEN GLACIAR.....	49
7.1.1	Ladera ondulada glaciar (Glo).....	49
7.2	ELEMENTO DE ORIGEN FLUVIAL .....	49
7.2.1	Planicie de inundación (Fpi).....	50
7.3	ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS:.....	51
8	PROCESOS MORFODINAMICOS.....	52
9	SISMOLOGÍA .....	53
10	COBERTURA Y USOS DEL SUELO .....	54
10.1	INFORMACIÓN ACTUAL DE COBERTURAS Y USO DEL SUELO NODO SUMAPAZ .....	54
10.2	COBERTURA DE LA TIERRA. ....	54
10.3	USO ACTUAL DEL SUELO.....	59
10.4	RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO: 61	
11	HIDROLOGIA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL .....	63
11.1	INFORMACIÓN HIDROGRÁFICA ACTUAL DEL NODO SUMAPAZ .....	63
11.2	INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	63
11.3	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA .....	64
11.4	ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.....	64
11.5	PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES .....	64
11.6	NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN .....	65
11.7	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS. ....	66
11.8	ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF.....	67
11.9	IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA .....	71
11.10	OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES: 72	
11.11	CAUDALES DE DISEÑO.....	78
11.12	EVALUACIÓN HIDRÁULICA.....	84
11.13	EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN.....	86
11.14	BALANCE HÍDRICO .....	87

12	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.....	90
12.1	PROGRAMA DE EXPLORACIÓN .....	90
12.1.1	ANTECEDENTES .....	90
12.2	DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	91
12.3	IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO .....	92
12.3.1	Perfiles de campo.....	94
12.3.2	Resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT) .....	98
12.4	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	106
12.4.1	HUMEDAD NATURAL Y LIMITES DE ATTERBERG .....	107
12.4.2	LIMITES DE ATTERBERG .....	107
12.4.3	GRANULOMETRÍA .....	108
12.4.4	PESO UNITARIO: .....	109
12.4.5	GRAVEDAD ESPECÍFICA: .....	110
12.4.6	CORTE DIRECTO.....	111
12.4.7	HIDROMETRIAS:.....	111
12.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DETALLADO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS:.....	115
12.5.1	ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN: .....	115
12.5.2	SUELO TRANSPORTADO GLACIAR (Stg). .....	116
12.5.3	Ángulo de fricción ( $\phi$ ):.....	119
12.5.4	Cohesión ( $c'$ ):.....	119
12.5.5	PESO UNITARIO:.....	120
12.5.6	SUELO TRANSPORTADO ALUVIÓN (Sta) .....	121
12.6	MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO .....	123
12.6.1	Roca Blanda (Rb). .....	123
12.6.2	Suelo transportado Glaciar (Stg). .....	123
12.6.3	Suelo transportado aluvión (Sta) .....	123
12.7	NIVEL FREÁTICO .....	126
12.7.1	NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO .....	126
12.7.2	ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO: .....	126

12.8	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	130
12.8.1	TALUD INFINITO .....	130
12.9	EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA:.....	134
12.9.1	EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA .....	136
12.9.2	CONDICIÓN ACTUAL: .....	137
12.9.3	CONDICIÓN FUTURA:.....	138
12.10	ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA: .....	139
12.10.1	AMENAZA ACTUAL: .....	140
12.10.2	AMENAZA FUTURA: .....	141
12.11	DISTANCIA DE VIAJE:.....	142
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	143
14	BIBLIOGRAFÍA .....	147
15	ANEXOS .....	151

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Localización y área Nodo Sumapaz.....	14
Figura 2. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000 .....	16
Figura 3. Localización área Sumapaz.....	21
Figura 4. Ubicación del Nodo Sumapaz.....	22
Figura 5. Pendientes de la localidad de Sumapaz- Cuenca Rio Blanco. ....	23
Figura 6. Clima localidad Sumapaz.....	24
Figura 7. Amenaza del polígono Sumapaz. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 .....	25
Figura 8. Niveles de detalle .....	25
Figura 9. Pendientes del polígono, Sumapaz. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 .....	26
Figura 10. Precipitación del polígono Sumapaz. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 .....	27
Figura 11. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Sumapaz.....	29
Figura 12. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Sumapaz .....	30
Figura 13. Sector evaluado ubicado en el Km 1.5 y Km 2.5 desde la vía Usme- San Juan al centro poblado de Betania en la localidad de Sumapaz.....	31
Figura 14. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM .....	35
Figura 15. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat .....	36
Figura 16. Prestación de Servicios ASOMEDIA NARANJA.....	37
Figura 17. Comprobación de predios públicos en el polígono de estudio.....	38
Figura 18. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Sumapaz. ....	39
Figura 19. Viviendas localizadas para el polígono Sumapaz .....	40
Figura 20. Mapa geológico regional modificado plancha 265 Icononzo INGEOMINAS 1999. ....	42
Figura 21. Mapa Unidades Geológicas para ingeniería, modificado FOPAE-UNAL 2013.43	
Figura 22. Geología estructural Sumapaz, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999. ....	45
Figura 23. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Sumapaz. Escala 1:5000.....	47
Figura 24. Características presentadas en el polígono Sumapaz .....	48
Figura 25. Elementos Geomorfológicos polígono Sumapaz. Escala 1:5.000 .....	50
Figura 26. Ladera donde se observa un proceso de remoción en masa.....	52
Figura 27. Geomorfología del polígono Sumapaz. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 .....	53
Figura 28. Coberturas Nodo Sumapaz.....	58
Figura 29. Tipo Uso del suelo nodo Sumapaz.....	61
Figura 30. Localización Estaciones Nodo 8 - Sumapaz .....	63

Figura 31. Distribución Mensual de Precipitación Estación PM Los Taques .....	65
Figura 32. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión .....	69
Figura 33. Curvas IDF Estación PM Los Taques.....	70
Figura 34. Descripción Red de Drenaje Nodo 8 - Sumapaz.....	72
Figura 35. Alcantarillas existentes en el nodo Sumapaz .....	73
Figura 36. Áreas de Drenaje Obras Existentes .....	80
Figura 37. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow .....	82
Figura 38. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas .....	89
Figura 39. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Sumapaz .....	90
Figura 40. Localización de la perforación ejecutada.....	93
Figura 41. Muestras sondeo # 1 .....	95
Figura 42. Muestras sondeo # 2.....	96
Figura 43. Muestras apique # 1 .....	97
Figura 44. Muestras sondeo # 2.....	98
Figura 45. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT .....	100
Figura 46. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT.....	101
Figura 47. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1.....	103
Figura 48. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2.....	104
Figura 49. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1.....	105
Figura 50. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2.....	105
Figura 51. % Humedad Vs Profundidad.....	107
Figura 52. % Carta de plasticidad de Casagrande .....	108
Figura 53. Distribución granulométrica Vs profundidad.....	109
Figura 54. Peso unitario Vs. Profundidad .....	110
Figura 55. % Gravedad específica Vs Profundidad.....	110
Figura 56. % Curva Hidrometría S1(M3).....	112
Figura 57. % Curva Hidrometría S2(M3).....	113
Figura 58. % Tabla resumen de resultados.....	114
Figura 59. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Sumapaz. Escala 1:5000.....	124
Figura 60. Clasificación de los suelos .....	126
Figura 61. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo .....	127
Figura 62. Planta y perfil Angulo $\beta$ .....	132
Figura 63. Método del Talud Infinito .....	133
Figura 64. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento .....	136

## TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo .....	18
Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica .....	28
Tabla 3. Estado y diagnóstico de la malla vial e inventario de infraestructura .....	34
Tabla 4. Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales .....	39
Tabla 5. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales .....	40
Tabla 6 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Sumapaz .....	51
Tabla 7 Coberturas de la tierra nodo Sumapaz.....	56
Tabla 8. Uso del suelo Nodo Sumapaz.....	60
Tabla 9. Estaciones empleadas Nodo 8 – Sumapaz.....	63
Tabla 10. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PM Los Taques.....	65
Tabla 11. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PM Los Taques.....	65
Tabla 12. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PM Los Taques.....	66
Tabla 13. Valores Parámetros de Regresión en Colombia .....	68
Tabla 14. Relaciones IDF – Estación PM Los Taques .....	70
Tabla 15. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 1 .....	74
Tabla 16. Elementos de equipamientos de la alcantarilla 2.....	75
Tabla 17. Período de retorno según tipo de obra.....	79
Tabla 18. Coberturas de la tierra nodo Sumapaz.....	81
Tabla 19. Evaluación de caudales.....	84
Tabla 20. Evaluación Obras de Drenaje .....	85
Tabla 21. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo.....	86
Tabla 22. Resultados de pruebas de permeabilidad .....	87
Tabla 23. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo .....	88
Tabla 24. Exploración del subsuelo propuesta .....	93
Tabla 25. Resultados de $\phi$ y $c'$ S-1 .....	102
Tabla 26. Resultados de $\phi$ y $c'$ S-2 .....	103
Tabla 27 – Cantidades de ensayos realizados para el nodo Sumapaz .....	106
Tabla 28 – Resultados de ensayos de corte directo .....	111
Tabla 29. Parámetros estimados para cada sondeo.....	115
Tabla 30. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio .....	116
Tabla 31. Análisis estadístico (Ángulo de fricción) .....	119
Tabla 32. Análisis estadístico (cohesión) .....	119
Tabla 33. Análisis estadístico de parámetros .....	120
Tabla 34. Análisis estadístico (Peso Unitario) .....	121



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
AMBIENTE  
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos  
y Cambio Climático

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  
**CONTRATO No 278 DE 2022**

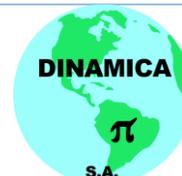


Tabla 35. Parámetros Geotécnicos (Stg) .....	121
Tabla 36. Parámetros Geotécnicos (Sta).....	122
Tabla 37 Características zonas geotécnicas.....	125
Tabla 38 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT .....	125
Tabla 39. Tabla resumen de nivel freático .....	126
Tabla 40. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años .....	129

## TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Adelante pastos limpios (A), en el medio arbustal y sigue pastos limpios (B)	59
Fotografía 2 Adelante pastos limpios (A), seguido de arbustal, pastos limpios y al fondo vegetación secundaria (B).	59
Fotografía 3 Cultivo de papa.	59
Fotografía 4 Tierras desnudas y degradadas.	59
Fotografía 5. Se evidencia muro de acompañamiento, muro cabezal, guarda ruedas y solado. Se tienen dos tuberías en concreto con un diámetro de 24"	74
Fotografía 6. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural.	75
Fotografía 7. Descole insuficiente para la entrega de aguas recogidas por esta obra.	75
Fotografía 8. Se evidencia muro de acompañamiento, muro cabezal, guarda ruedas y solado	76
Fotografía 9. Se tienen dos tuberías en concreto con un diámetro de 24"	76
Fotografía 10. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural	77
Fotografía 11. En la salida de agua de alcantarillado se evidencian aletas.	77
Fotografía 12. Nacimiento de agua, nodo Sumapaz	78
Fotografía 13. Alcantarilla #3 diámetro 24", nodo Sumapaz	78
Fotografía 14. Casa construida al lado de un cuerpo de agua	91
Fotografía 15. Pendientes pronunciadas a lo largo del polígono.	91
Fotografía 16. Nacimiento de agua.	92
Fotografía 17. Alcantarilla sin descole	92
Fotografía 18. Ineficiencia en el descole de alcantarillas	92
Fotografía 19. Deslizamiento en ladera inferior	92

## 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.

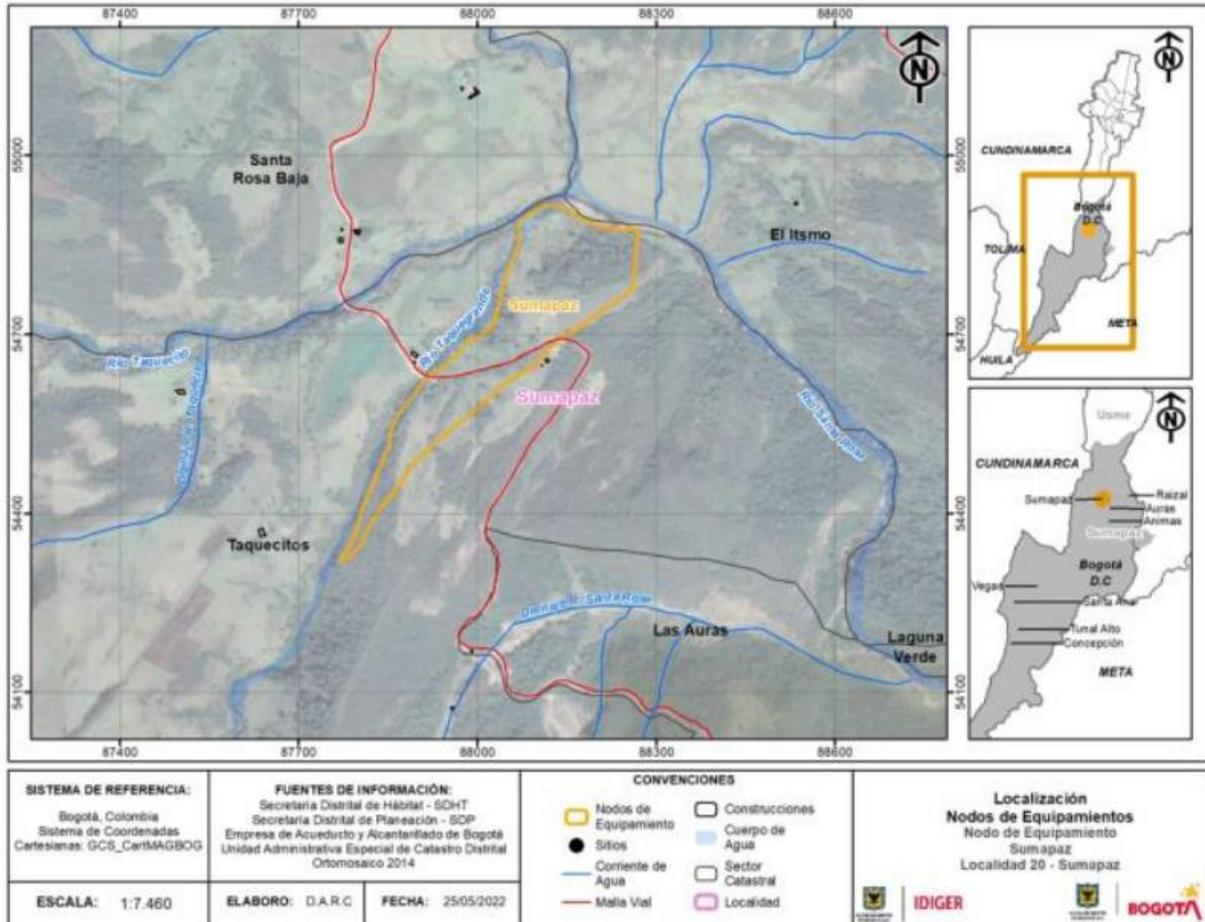
Adicionalmente, se muestra el plan de exploración del subsuelo para el Nodo 8 denominado Sumapaz, el cual está justificado a partir de la visita de reconocimiento realizada el día 24 de enero de 2023, la revisión de información previa, y el anexo técnico de los términos de referencia. La zona objeto de intervención del presente informe se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 6,864532 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 hidrológico como primera actividad se 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 Sumapaz, este se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 6,864532 Ha.



**Figura 1 Localización y área Nodo Sumapaz.**  
**Fuente: IDIGER**

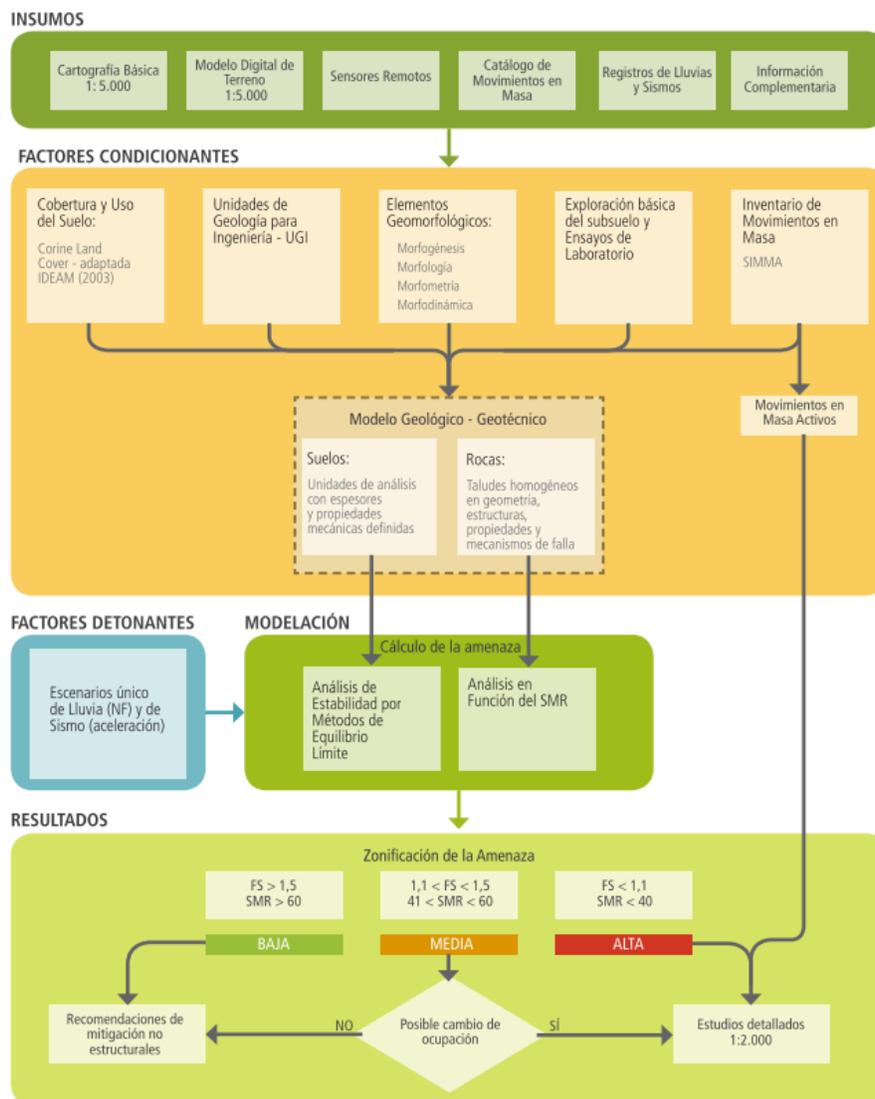
### 3 VERIFICACIÓN DEL POLIGONO

Para este polígono según la visita realizada el 24 de enero se puede identificar que no hay fenómenos de remoción en masa que puedan incidir hacia el polígono sin desconocer que, en inmediaciones del polígono Sumapaz se evidenciaron zonas inestables, las cuales hasta el momento no afectan el nodo de estudio.

## 4 METODOLOGIA 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 2. 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**

<b>ESPESOR DE SUELO (m)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
>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:

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

Donde

$c'$  y  $\Phi'$  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.

$\gamma_w$  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.

$\alpha$  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  $\tan(\Phi')$  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  $\alpha$  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, se empleara la metodología correspondiente al SMR

## 5 RECOPIACIÓN 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 morfológico, los elementos geomorfológicos encontradas 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 – Periglacial:

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 fluvio-glaciares (que se forman debido al descongelamiento de los

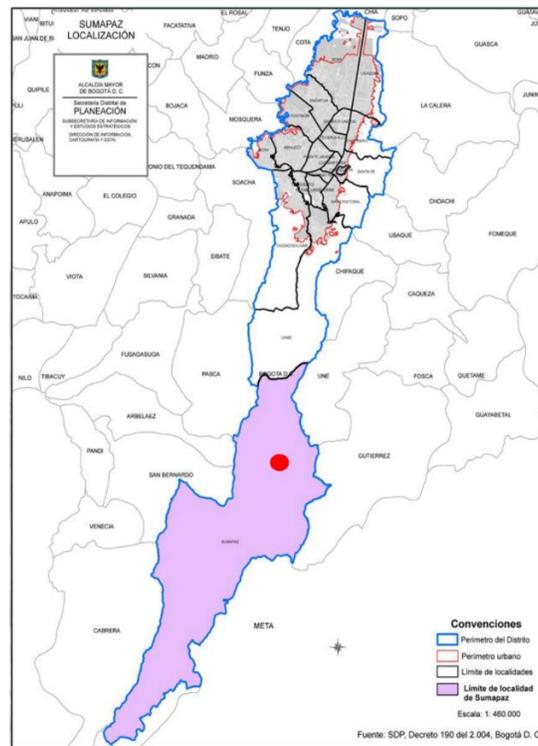
glaciares que fueron transportados y acumulados por el acción del agua). En algunos puntos específicos de la localidad, es posible encontrar procesos de intervención antrópica, los cuales generan que las áreas presenten un alto grado de susceptibilidad a la formación de surcos y a la remisión de masas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

### 5.1.1.3 Unidades de origen estructural-denudacional

Para el nodo Sumapaz, 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 siguiente figura, se ilustra en color morado la extensión estructural para la localidad de Sumapaz y para el nodo Sumapaz.



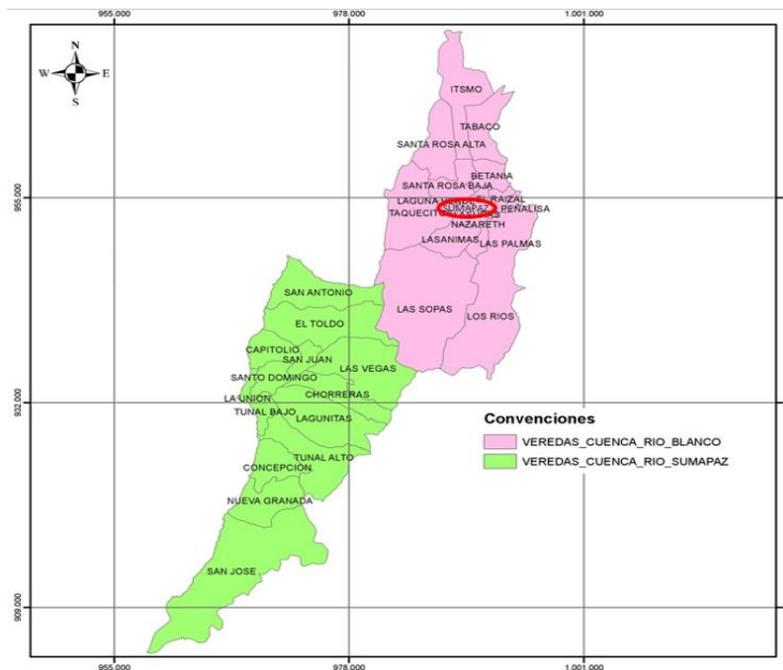
**Figura 3. Localización área Sumapaz.**  
**Fuente: IDIGER**

De acuerdo con la información suministrada por el IDECA, para el nodo el Raizal la geología encontrada corresponde a Rb5(K2E1g) Y Qal, 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 Gle (Ladera estructural glaciada) Y Fpi (Planicies o llanuras de inundación), 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 Sumapaz 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 Sumapaz existe la presencia de una microcuenca llamada rio Tanque Grande, en el numeral 3.3.7 del presente informe se relaciona y delimita esta cuenca, así mismo en la tabla 1 se muestra a detalle las subcuencas y microcuencas que conforman la cuenca rio Blanco.



**Figura 4. Ubicación del Nodo Sumapaz.**  
**Fuente: IDIGER**

Tal como se menciona anteriormente, el nodo Sumapaz se ubica a lo largo de la Cuenca del río 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 estas, 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 río 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 5. Pendientes de la localidad de Sumapaz- Cuenca Río Blanco.**  
Fuente IDIGER

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 frío, 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

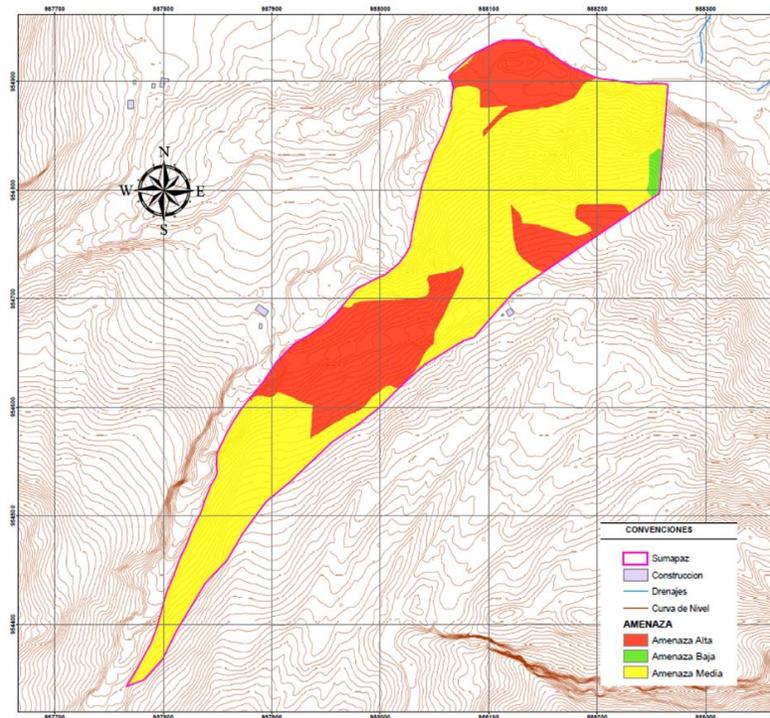
Figura 6. Clima localidad Sumapaz.  
Fuente: IDIGER

## 5.3 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO SUMAPAZ:

### 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 para la zona de estudio es en su mayor parte intermedia, hay presencia de amenaza alta en la parte norte y central del nodo.

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 7. Amenaza del polígono Sumapaz. 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 Sumapaz

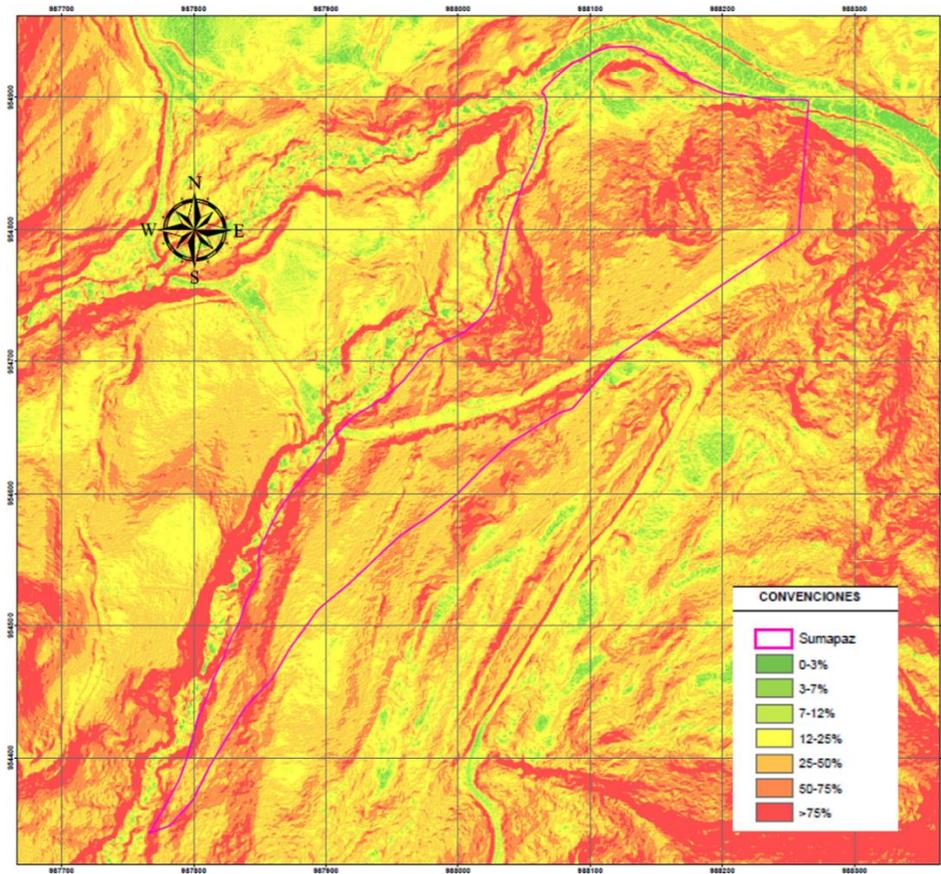
Las pendientes para el polígono de estudio, se analizan de acuerdo con la información Ráster de pixel 0.5x0.5 suministrada por el IDIGER, donde de acuerdo con la resolución 471 de 2020 del IGAC el tamaño de pixel es equivalente a una escala de trabajo 1:5.000. Teniendo en cuenta lo indicado anteriormente, 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 8. Niveles de detalle**

**Fuente: IGAC**

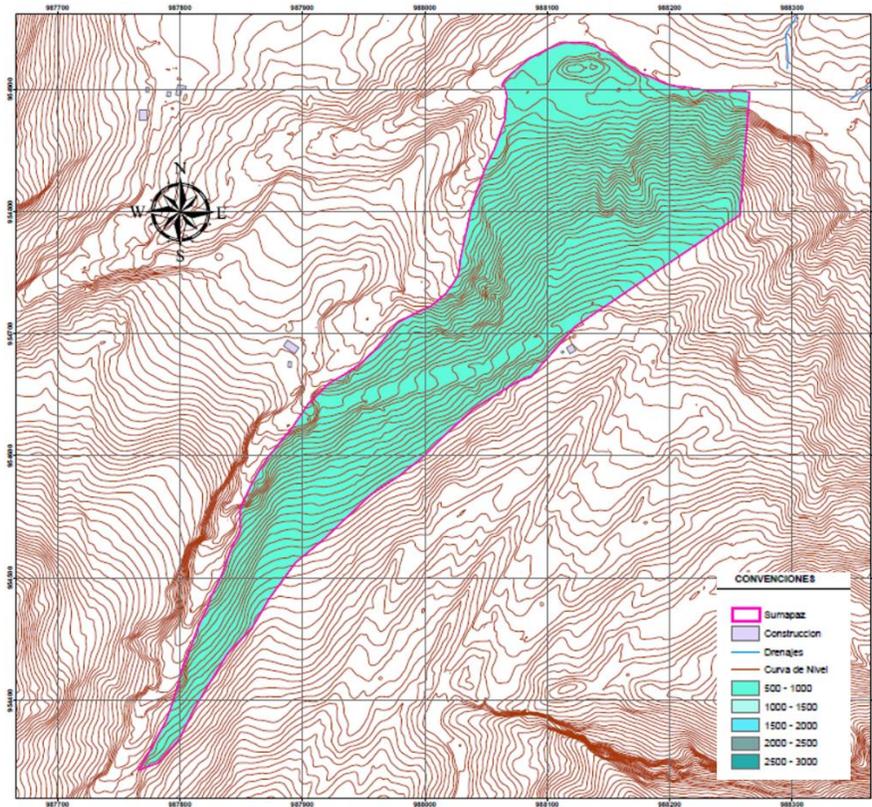


**Figura 9. Pendientes del polígono, Sumapaz. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000**

**Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos proporcionados por el IDECA**

### 5.3.3 Precipitaciones

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



**Figura 10. Precipitación del polígono Sumapaz. 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.

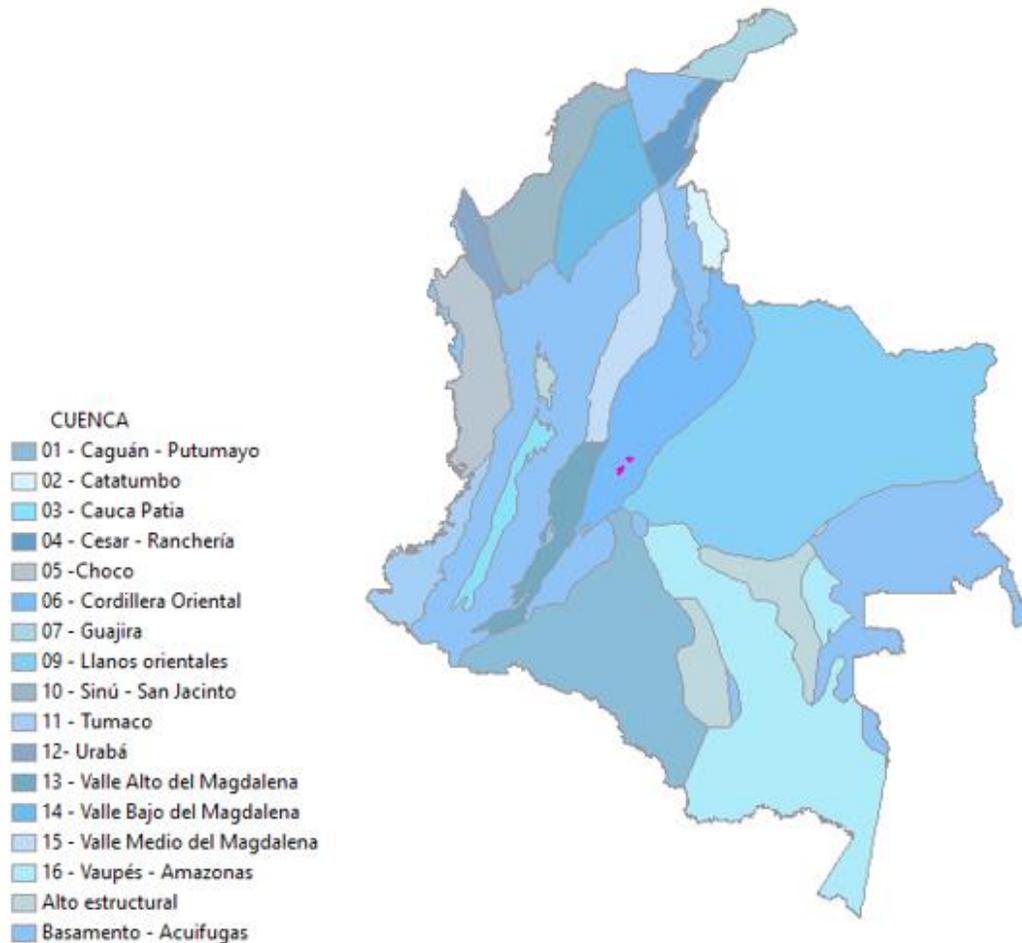
Con la identificación de zona hidrogeológica del nodo Raizal, se consultan las características de dicha zona, donde es posible encontrar afloramientos de rocas del Cretáceo y del Terciario, además de depósitos del cuaternario de origen glacial, aluvial y coluvial; las rocas se caracterizan por ser permeables, 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 deleznales.	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 deleznales.	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 confinados.

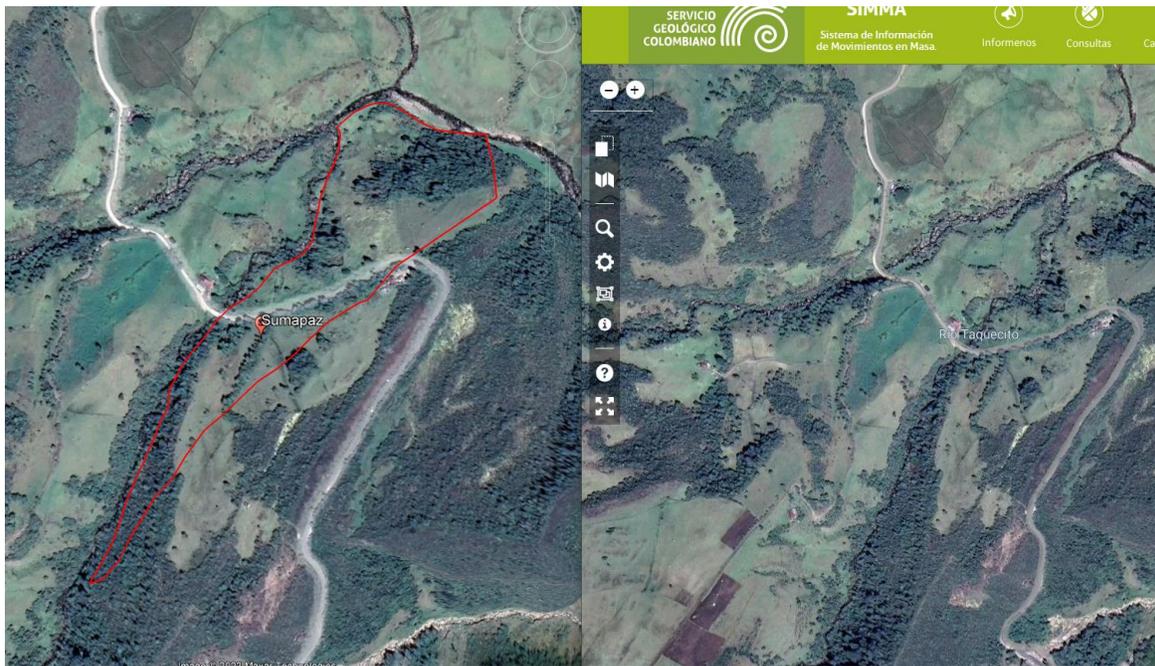
**Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica**  
Fuente: (CAR, 2003)



**Figura 11. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Sumapaz**  
**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.

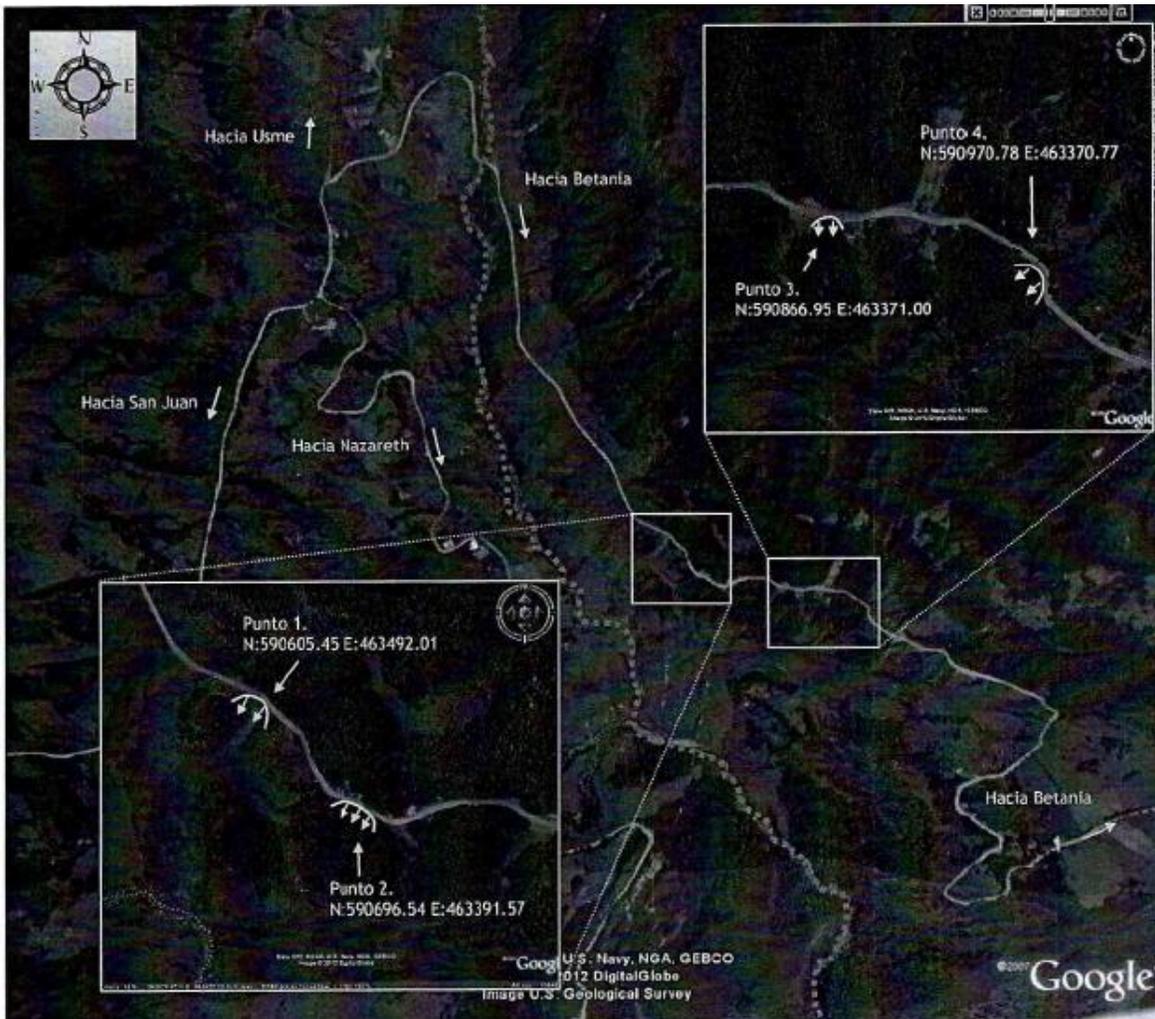


**Figura 12. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Sumapaz**  
 Fuente: SIMMA

- **Diagnostico Técnico**

- 1. Diagnostico Técnico No 6799**

La Subdirección de Emergencias en atención a la solicitud de la Alcaldía local de Sumapaz realiza visita en los puntos con coordenadas: Punto 1 N-590605.45 E-463492.01, Punto 2 N-590696.54 E-463391.57, Punto 3 N-590866.95 E-46337100 y Punto 4 N-590970.78 E-463370.77, en la vía que conduce al centro poblado de Betania en la localidad de Sumapaz.



**Figura 13. Sector evaluado ubicado en el Km 1.5 y Km 2.5 desde la vía Usme- San Juan al centro poblado de Betania en la localidad de Sumapaz**  
**Fuente: IDIGER**

Se evidencio 4 procesos de remoción en masa, en el tramo vial Usme- San Juan al centro poblado de Betania, los cuales están generando la perdida parcial de la banca vial hacia el talud de relleno en un tramo longitudinal hasta 25m en un ancho de hasta 2m aproximadamente.

Así mismo se observa que los tramos viales evaluados se ubican hacia la parte media de una ladera natural de pendiente cercana al 30°, la vía está compuesta por un pavimento asfaltico en un 90% con un ancho de calzada de 5m aproximadamente y circulación vehicular en ambos sentidos.

Se destaca que la masa inestable en los 4 puntos evaluados, involucra un volumen cercano a los 45000m<sup>3</sup>, el cual este compuesto por suelos residuales y coberturas vegetales el cual se ha ido depositando ladera abajo sin generar afectaciones adicionales, dado que no se observan viviendas o alguna infraestructura adicional a la evaluación.

Se recomienda a la alcaldía de Sumapaz, al Instituto de Desarrollo Urbano y a la Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento vial la implementación de medidas de estabilización, protección y manejo de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial de la ladera evaluada.

## 2. Diagnostico Técnico No 8761

El 02 de septiembre d 2015 la Subdirección de Análisis de Riesgo y Efectos de Cambio Climático, realiza verificación con base en la inspección visual, aplicando la metodología establecida para este tipo de procedimientos, con el objeto de valorar el grado de afectación de las viviendas que permita establecer el compromiso de estabilidad y habitabilidad de las mismas, a fin de identificar las viviendas inseguras, para realizar las acciones pertinentes.

Como antecedentes se tiene que, el mes de agosto del 2010 se identificó que el proceso de inestabilidad intervenido al sector del K19+600 de la vía Troncal Bolivariana de la localidad de Usme, la falla de las obras de estabilización se asocia con el colapso del trincho de manera el cual falla hacia el flanco derecho con el consecuente desconfinamiento y deslizamiento del relleno de contención y el desplome de la carpeta asfáltica.

Así mismo para el mes de marzo de 2012 se identificó varios procesos de remoción en masa, en la troncal Bolivariana de la localidad de Usme, dentro de los cuales se encuentra el proceso de inestabilidad a la altura d la Finca San Mateo, el cual, según lo descrito, corresponde a un deslizamiento rotacional, cuya corona se localiza hacia la calzada externa de la vía. El mes de diciembre del mismo año se evidenciaron 4 procesos de remoción en masa identificados con los puntos de coordenadas: N-590605.45 E-463492.01, Punto 2 N-590696.54 E-463391.57, Punto 3 N-590866.95 E-463371.00 y el Punto 4 N590970.78 E-463370.77, en el tramo vial localizado entre el Km 1.5 y el 2.5 de la vía Usme- San Juan al centro poblado de Betania, los cuales están generando perdida parcial de la banca de la vía hacia su talud de relleno en un tramo longitudinal de hasta 25m y un ancho de hasta 2m aproximadamente.

Para el 02 de septiembre del 2015 se identificaron 6 puntos con coordenadas, Punto 1 N-4.22199 O-74.1112, Punto 2 N-4.22524 O-74.112365, Punto 3 N-4.22260 O-74.112458. Punto 4 N-4.21529 O-74.11271, Punto 5 N-4.11311 O-74.10583, Punto 6 N-4.22260 O-74.112458, en los cuales se presenta la perdida parcial de la banca de la vía, situación que ha

generado un proceso de remoción en masa, el cual se depositó hacia la parte baja de la ladera. Debido a la afectación, se encuentra restringido el paso vehicular a un solo carril.

En los puntos anteriormente relacionados, no se identifican obras para el manejo de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial, al igual que obras de protección y/o contención, lo cual se puede establecer como causa principal de las afectaciones que se presentan.

### 3. Diagnostico Técnico No 10264

El Instituto Distrital de Gestión del Riesgo y Cambio Climático- IDIGER, en cumplimiento de sus funciones, realiza verificación basa en la inspección visual el 28 de febrero de 2017 para la valoración cualitativa de las afectaciones de las viviendas a nivel urbano y rural, con el objeto de establecer el compromiso en la estabilidad y habitabilidad de las mismas, a fin de identificar edificaciones y/o viviendas inseguras para realizar acciones pertinentes.

Una vez consultados los antecedentes para la zona, se evidencio que el 06 de julio del 2011, la habitabilidad y estabilidad de las viviendas emplazadas en el denominado predio finca la Victoria, Vereda la Unión, pueden verse seriamente comprometidas ante un avance retrogresivo del proceso de inestabilidad del terreno ubicado hacia el costado oriental de la vivienda. Para el 23 de enero del 2012, la estabilidad y habitabilidad de la vivienda emplazada en la finca el Tesoro, Ubicada en la vereda las Auras, se encuentra comprometida por el posible desprendimiento d bloques rocosos desde la ladera evaluada, la cual se encuentra ubicada en el costado occidental de la vivienda en mención.

El 02 de octubre del 2014, la estabilidad y habitabilidad de la vivienda de la finca la Cascada, donde habita el señor José Rivera, con coordenadas X:88285 Y:54039, la cual se encuentra comprometida por el proceso de remoción en masa identificado en la vivienda que conduce del colegio Jaime Garzón hacia el centro poblado de Nazareth, dado que se encuentra dentro de la zona de influencia del mismo. Se recomendó evacuar e incluir con prioridad técnica un 1 en el programa de Reasentamiento de Familias Ubicadas en la zona.

Para el 28 de febrero del 2017 la inspección visual identifica que el terreno y la vivienda emplazada en el mismo, mantienen las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo identificado en el diagnostico dado el 13 de noviembre de 2012. Por lo cual se sugirió que se realizara el asentamiento como se dejó en la anterior vista, adicionalmente se plantea que, se deben realizar mejoras en la estabilidad y drenaje de la ladera, ya que existe la carencia de estas obras de estabilidad, lo cual hace que el fenómeno de remoción en masa siga presente.

#### 4. Diagnostico Técnico No 12084

El 29 de Julio de 2018, personal del Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático IDIGER, realizo visita técnica al sector La pica de la vereda Santa Rosa, y se observó que en los alrededores afloran rocas de la formación Chipaque, compuesta por gruesos niveles de lutitas grises oscuras a negras, fosilíferas, con intercalaciones menores de limolitas silíceas. Estructuralmente se aprecia una estructura de anticlinorio donde fácilmente se pueden ver los pliegues anticlinales en los afloramientos del norte del centro poblado.

En el sector se presenta el desconfinamiento de la banca de la vía que conduce al municipio Nazareth, dicha vía corresponde a una estructura en afirmado de doble carril y una calzada, en la cual se observa desconfinamiento de la banca hacia el talud inferior de la vía lo que genera la restricción del paso vehicular.

Las posibles causas por las cuales se presenta la pérdida de la banca de la vía, están las altas precipitaciones referidas por la comunidad, sumado al deficiente manejo de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial.

#### 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	SUMAPAZ	20076339	91062537	PCI	Malla Vial Principal Rural	39	MUY POBRE

**Fuente:** (IDU, 2023)

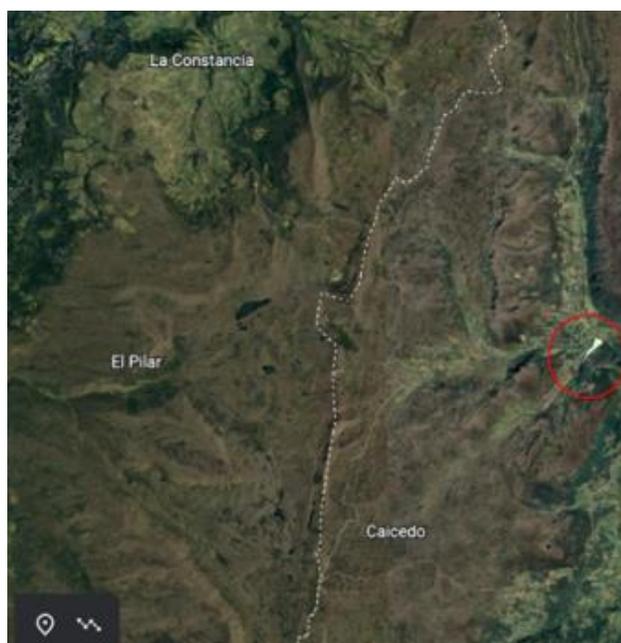
- **Futura Ejecución De Proyectos Dentro Del Polígono:**

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.



**Figura 14. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM**  
Fuente: (EPM, s.f.)

- ✓ **Secretaria del Hábitat**

En atención a las solicitudes realizadas a la secretaria del hábitat, 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 planea 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 Sumapaz.

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

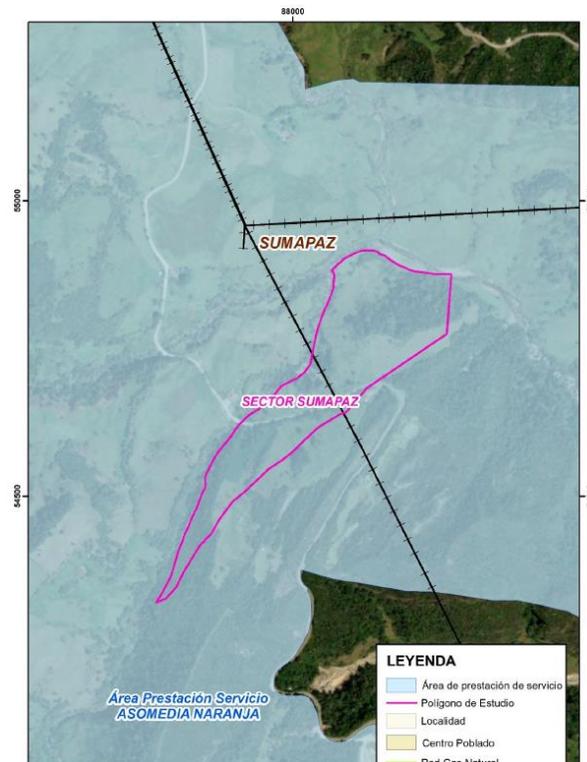
SDOperaciones			
Radicado	Polígono	Competencia o no de Proyecto (Si sí aplica, Indicar No. de Proyecto. Si no aplica, poner N.A)	Si sí aplica, poner objetivo del proyecto
1-2022-52466	Sumapáz	Proyecto No. 7659 Mejoramiento integral rural Líneas de acción: *Vivienda Nueva Rural *Mejoramiento de vivienda 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 15. 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.

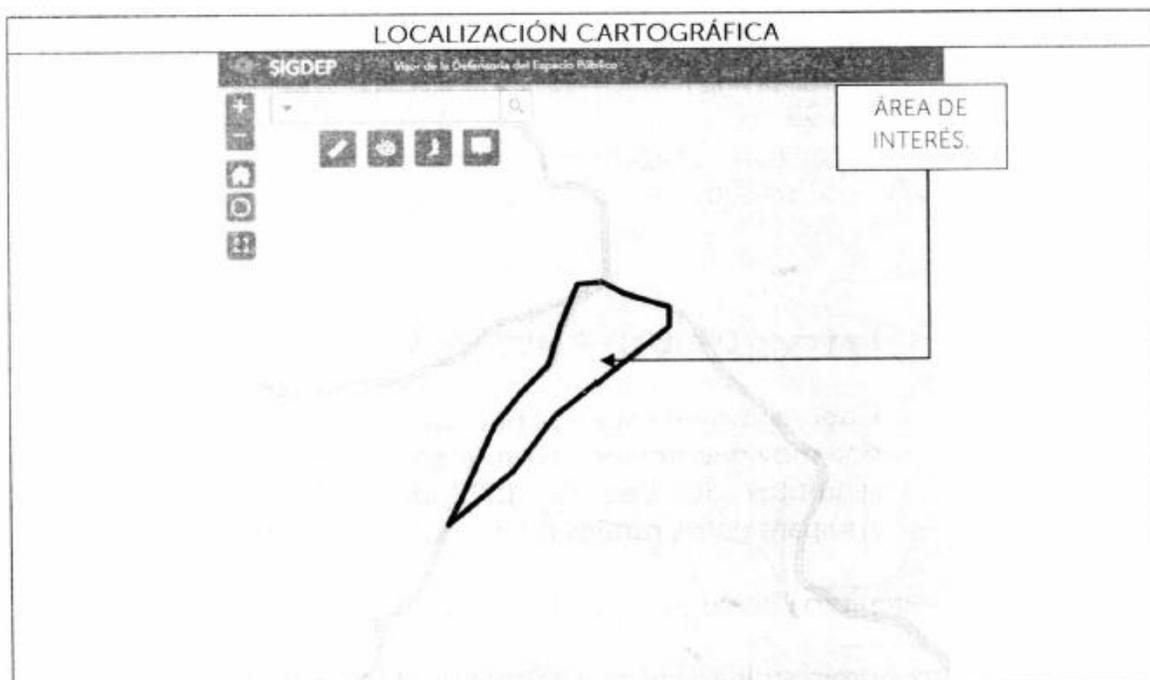
Es importante señalar que la información en formato \*.shp de las empresas de servicios públicos, cuenta con restricciones de uso y confidencialidad, por lo que esta información solo es usada para consulta. Sin embargo, se envían algunas imágenes anexas de la consulta realizada a continuación:



**Figura 16. Prestación de Servicios ASOMEDIA NARANJA**  
**Fuente: secretaria del Hábitat**

✓ **Departamento Administrativo De La Defensoría Del Espacio Público (DADEP)**

En respuesta al radicado No. 2022-400-031088-2 de 27-12-2022, el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público informa que luego de revisada la zona de estudio relacionada en la comunicación y objeto de consulta en nuestros sistemas de información SIGDEP y SIDEPE, a la fecha, esta área no se encuentra incorporada como bien de uso público o fiscal en el inventario general de Espacio Público y Bienes Fiscales del sector central del Distrito Capital, a cargo del Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público y presenta la siguiente localización geográfica:

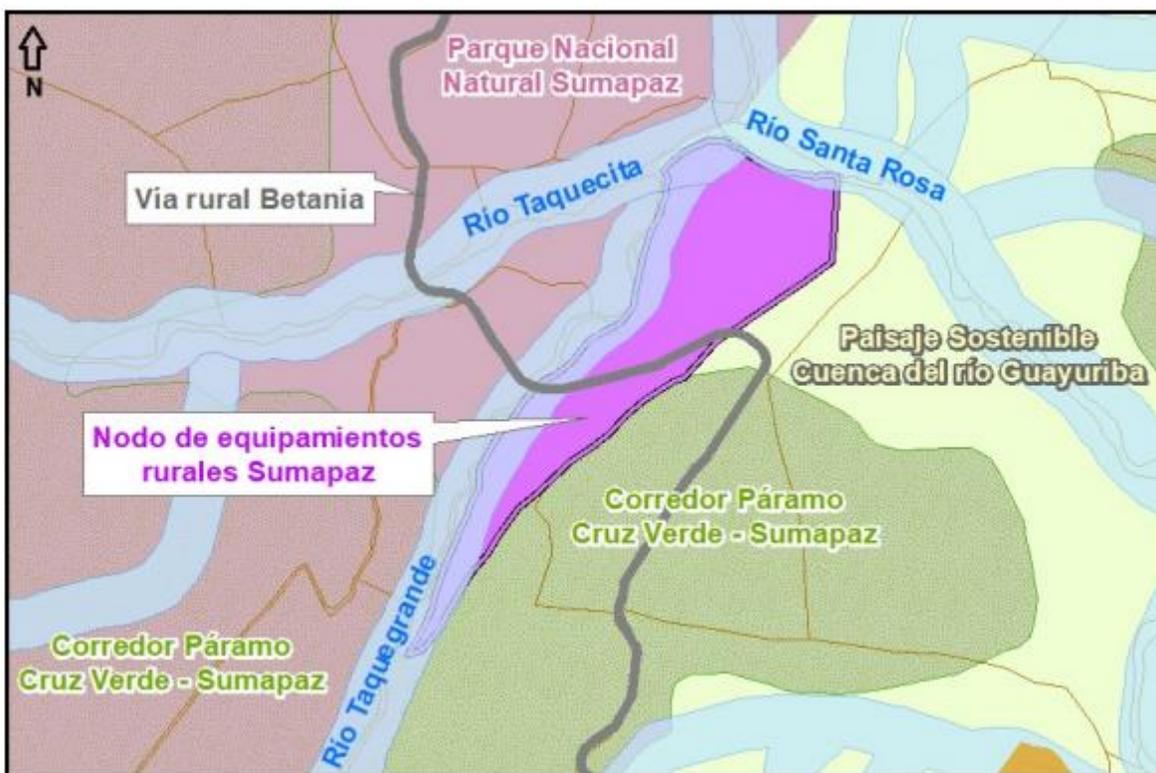


**Figura 17. Comprobación de predios públicos en el polígono de estudio.**  
**Fuente: SIGDEP**

Vale la pena mencionar que, este Departamento Administrativo no es una entidad ejecutora o urbanística y, por lo tanto, no está dentro de sus funciones ejecutar proyectos o la intervención física de los espacios públicos para la construcción, mejoramiento y/o mantenimiento, ni realizar programas sociales o comunitarios. Por tal razón, no se cuenta con esta información.

✓ **Secretaría De Planeación**

En atención a la solicitud realizada a la secretaria de Planeación, por medio del radicado 2-2023-12883, el área de estudio coincide con el nodo de equipamientos rurales Sumapaz, 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 18. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Sumapaz.**  
Fuente: SDP, Decreto Distrital 555 de 2021, BDGC

Así mismo, aclara mediante el artículo 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 4. Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales**

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

Fuente: secretaria de Planeación

**Tabla 5. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales**

<b>Altura</b>	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.
<b>Antejardín</b>	Se exige mínimo 5 m de antejardín a los predios con frente sobre vía.
<b>Voladizos</b>	Se permiten voladizos de 0,60 m. Aplica también sobre elementos del espacio público rural.
<b>Sótanos</b>	No se permiten.
<b>Cubiertas</b>	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 202317000008622, 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 Sumapaz

**Figura 19. Viviendas localizadas para el polígono Sumapaz**  
Fuente. Caja De La Vivienda Popular

## 6 GEOLOGÍA

### 6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área estudiada se localiza al sur de Bogotá en la parte central de La Cordillera Oriental, se identificaron rocas sedimentarias de edad Cretácico-Paleógeno. En la definición del modelo geológico se utilizó como base la información geológica elaborada por INGEOMINAS para la cartografía de la plancha 265 Icononzo (1999) a escala 1:100.000 y 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.

#### 6.1.1 ESTRATIGRAFÍA

En el polígono Sumapaz afloran rocas sedimentarias de edad de edad Cretáceo-Paleógeno que hacen parte de la Formación Guaduas, unidad que se muestra en la siguiente figura y se describirá a continuación:

##### 6.1.1.1 Formación Guaduas (KPgg)

Hettner, (1892) denominó Guaduas a todos los materiales que, en la región de Bogotá, se encuentran por encima de la Formación Guadalupe. Posteriormente Hubach (1931, 1945, 1957) restringe el sentido del término, limitándolo en su parte superior por la Arenisca del Cacho y en la parte inferior por la primera arenisca del Grupo Guadalupe.

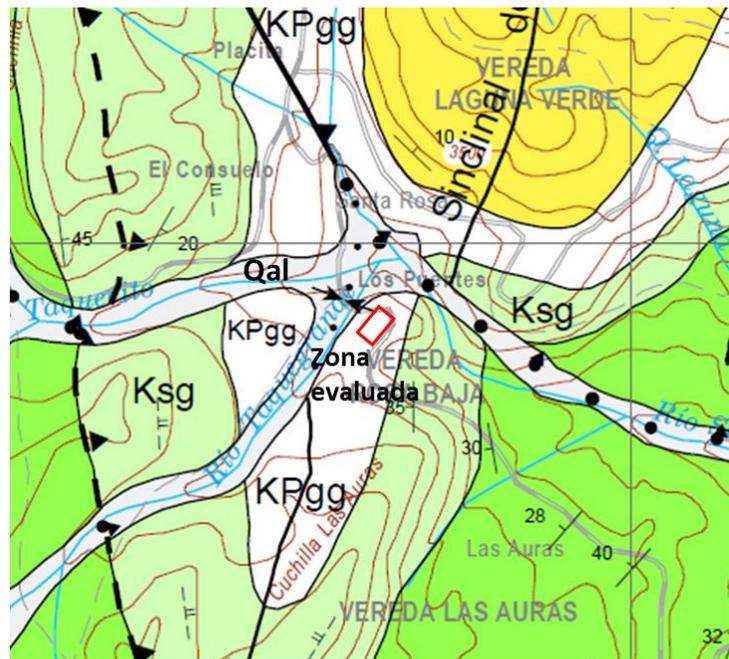
En el sector del Sumapaz la Formación Guaduas aflora en el Sinclinal de Usme y en el flanco occidental del Sinclinal de San Juan, la Formación Guaduas medida en la carretera a la vereda El Raizal (municipio de Nazareth) alcanza un espesor de 303 m.

Hacia la base consta de una sucesión de capas delgadas a muy gruesas de arcillolitas grises claras a oscuras en roca fresca y amarillentas o rojizas en roca meteorizada; intercaladas con capas delgadas y gruesas de arenitas de grano muy fino a fino de cuarzo de color gris claro. La parte media consiste en capas delgadas a medias de arcillolitas gris clara a oscura, a veces negras, físilas y muy carbonosas. La parte superior se encuentra cubierta, pero su morfología suave supone una composición predominantemente arcillosa.

El contacto superior es neto y concordante con la Formación Bogotá y se puede observar en el sinclinal de Usme; El contacto inferior se presenta en forma neta y concordante, el cual ha

sido marcado en el tope de la última arenita de cuarzo perteneciente al Grupo Guadalupe y se observa en la vereda El Raizal.

La edad de la Formación Guaduas ha sido considerada por Hubach (1957) como Maastrichtiano-Paleoceno en el área de la Sabana de Bogotá. La interpretación paleoambiental considera ambientes de depósito contiguos, empezando por mar somero e isla de barrera a laguna costera, llanura intermareal y pantanos costeros.



**Leyenda**

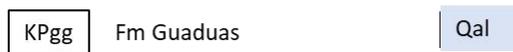


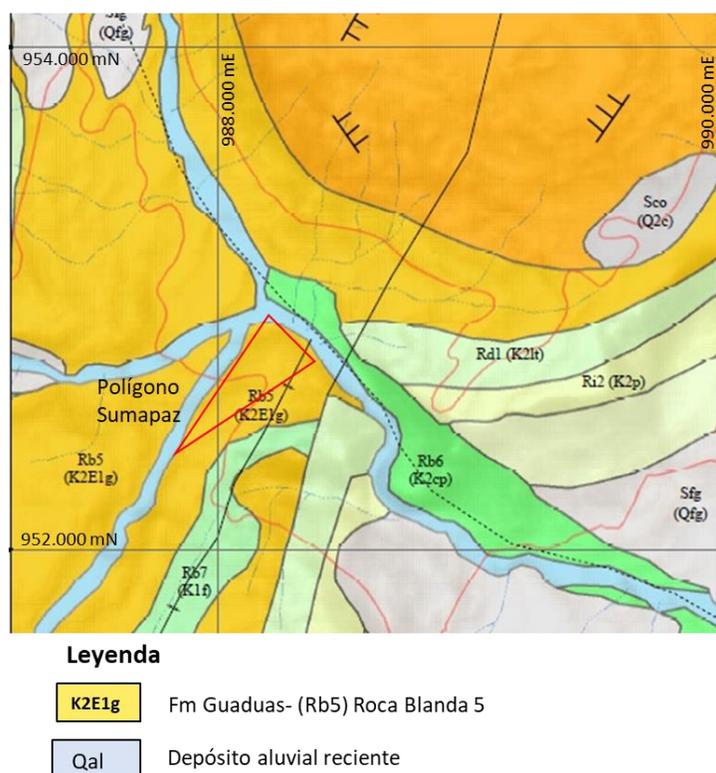
Figura 20. Mapa geológico regional modificado plancha 265 Icononzo INGEOMINAS 1999.

### 6.1.2 UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES

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 y unidades de suelo. Ver siguiente figura.

La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y geotécnicas, se clasificó en la unidad Roca de resistencia blanda (Rb 5). La unidad de suelo corresponde a un depósito aluvial reciente (Qal). En la siguiente figura se muestra el mapa de unidades geológicas superficiales, modificado de FOPAE-UNAL (2013).



**Figura 21. Mapa Unidades Geológicas para ingeniería, modificado FOPAE-UNAL 2013.**

Las unidades geológicas superficiales se describen a continuación:

### 6.1.2.1 Roca blanda: (Rb5):

Secuencia predominante de arcillolitas gris claras y abigarradas, en estratificación gruesa, con intercalaciones en la parte intermedia de niveles de cuarzoarenitas, de colores grises de grano fino a medio, en capas delgadas, y limolitas con esporádicos mantos de carbón. Esta unidad aflora, en el flanco oeste del sinclinal de Usme-Tunjuelito, y otras estructuras menores.

Morfológicamente, las rocas de la Formación Guaduas generan laderas principalmente de naturaleza estructural, con algunos sectores de laderas en contrapendiente con pendientes suaves a altas. Son rocas de resistencia blanda que hacen parte de una estructura sinclinal estrecha, en general moderadamente fracturadas.

### 6.1.2.2 Depósito aluvial reciente (Qal):

Un depósito aluvial reciente integrado por niveles de gravas gruesas en matriz arenosa con presencia de bloques redondeados de arenisca cuarzosa, se ubica en el sector norte del polígono cerca la margen derecha del río Taquegrande.

## 6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Zona ubicada en la vereda Rosa baja, al occidente del Sinclinal Usme (estructura estrecha de poca longitud que se encuentra afectada por una falla de cabalgamiento que pone en contacto las dos estructuras sinclinales, conformado principalmente por rocas de la Formación Bogotá).

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 al sinclinal Usme, en la figura se referencia el mapa de geología a escala 1:100.000 correspondiente a de la plancha 265 de Ingeominas.

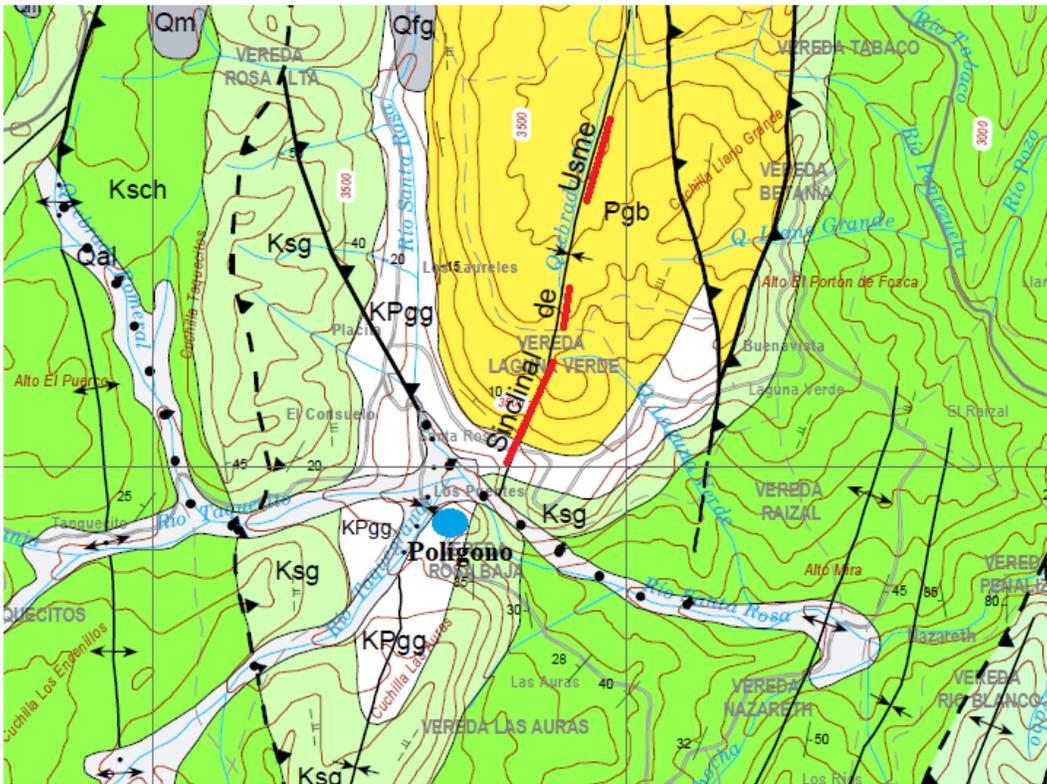


Figura 22. Geología estructural Sumapaz, modificado de la plancha 265 Ingeominas, 1999.

### 6.3 GEOLOGIA 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 dividieron en unidades de Suelo y unidades de Roca.

Los materiales clasificados como suelo se dividieron según su origen en suelo transportado glaciar y suelo transportado aluvial.

La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, se clasificó como Roca de resistencia blanda (Rb). La unidad de roca no se registró en el subsuelo en la perforación realizada, la información regional indica que se encuentra infrayaciendo a la unidad de suelo presente en el polígono.

Las unidades geológicas para ingeniería presentes corresponden:

### 6.3.1 Roca Blanda (Rb).

Secuencia predominante de arcillolitas gris claras y abigarradas, en capas de estratificación gruesa, con intercalaciones de cuarzoarenitas, de colores grises de grano fino a medio, en capas delgadas, y limolitas con esporádicos mantos de carbón.

Son rocas de resistencia blanda para los niveles arcillolíticos, mientras que para los de composición arenácea son de resistencia intermedia, en general moderadamente fracturadas. En el polígono no aflora la unidad, las labores de exploración realizadas no la detectaron 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.

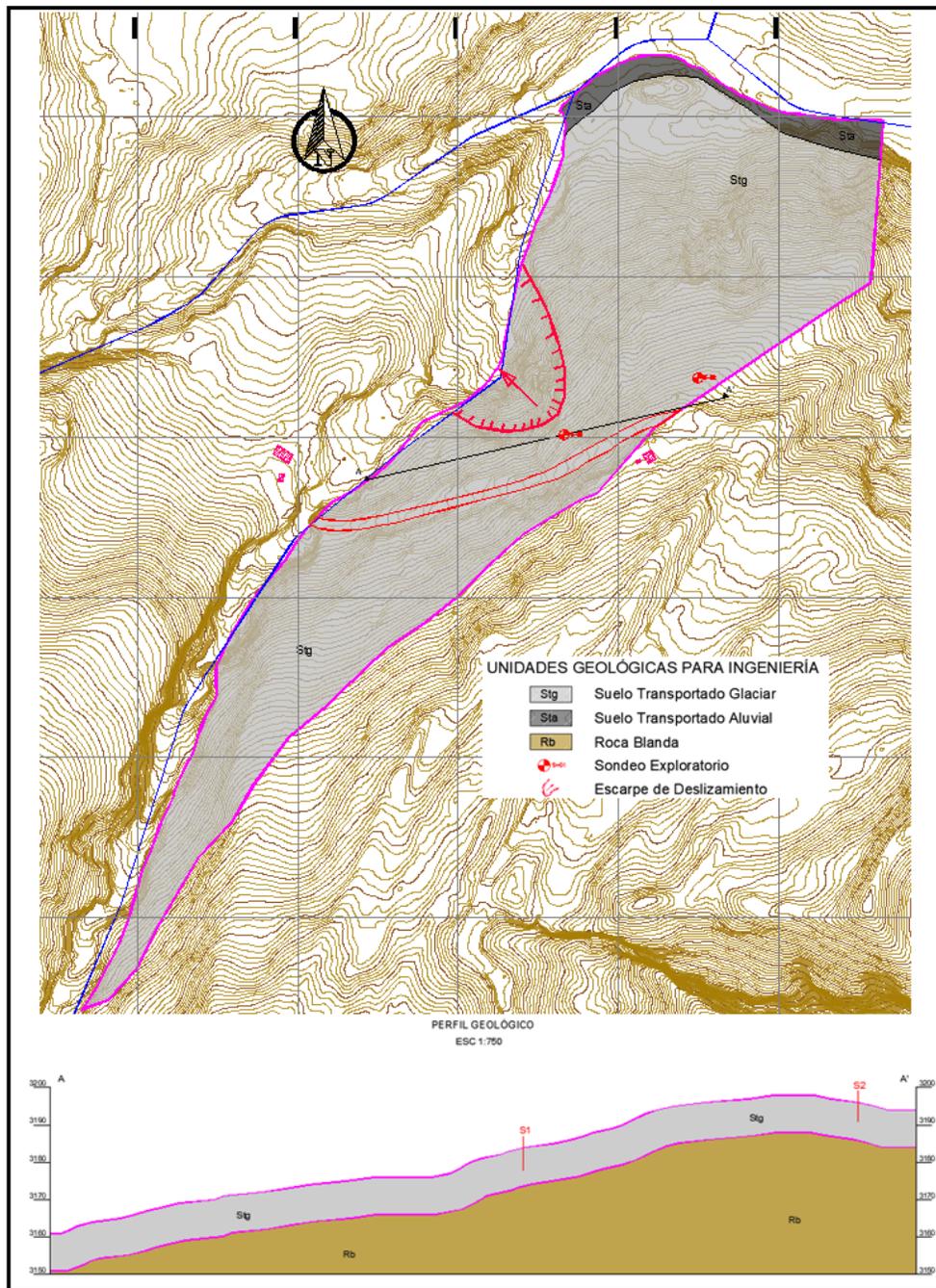
### 6.3.2 Suelo transportado aluvión (Sta)

Corresponde al depósito reciente no consolidado, que conforma el cauce y orillas del río Taquegrande que pasa en el sector norte del área de estudio. Conformado por cantos a bloques de areniscas cuarzosas, en general de forma subredondeada a redondeada, en una matriz de grava, arena y ocasionalmente limo. Esta unidad se localiza en el sector norte paralela a la margen derecha del río Taquegrande.

### 6.3.3 Suelo transportado Glaciar (Stg).

Suelo integrado por horizontes de arcillas y limos con intercalaciones de arenas, y arcillas orgánicas; los niveles de arcilla y limo presentan consistencia media a alta, se presentan horizontes donde predominan los fragmentos a bloques de arenisca; la exploración realizada mostro que hay un predominio de la armazón sobre la matriz fina que integra el depósito.

En superficie algunos sectores del polígono se observan bloques redondeados de arenisca, que en algunos casos están agrupados, condición característica de los depósitos glaciares. El depósito fluvioglaciar ocupa toda el área del polígono, recubre en forma discordante a roca blanda, de acuerdo con los resultados obtenidos de la exploración, no es posible definir el espesor de esta unidad, por lo cual se estima como posible espesor entre 10 y 15 m.



**Figura 23. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Sumapaz. Escala 1:5000**  
 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.

En la siguiente figura, es posible conocer las características presentadas en la zona de estudio.



**Figura 24. Características presentadas en el polígono Sumapaz**  
Fuente: Geodinámica

## 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 aluvial que conforman laderas de relieve suave a ondulado.

Los elementos geomorfológicos reconocidos

### 7.1 ELEMENTO 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 muy bajo, suavemente inclinada, con pendientes entre 6° y 18°; 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 que excavaron valles aluviales jóvenes en forma de “V”.

Este elemento fue modelado por el avance de masas de hielo que modificaron la superficie original originando laderas continuas con una pendiente suave.

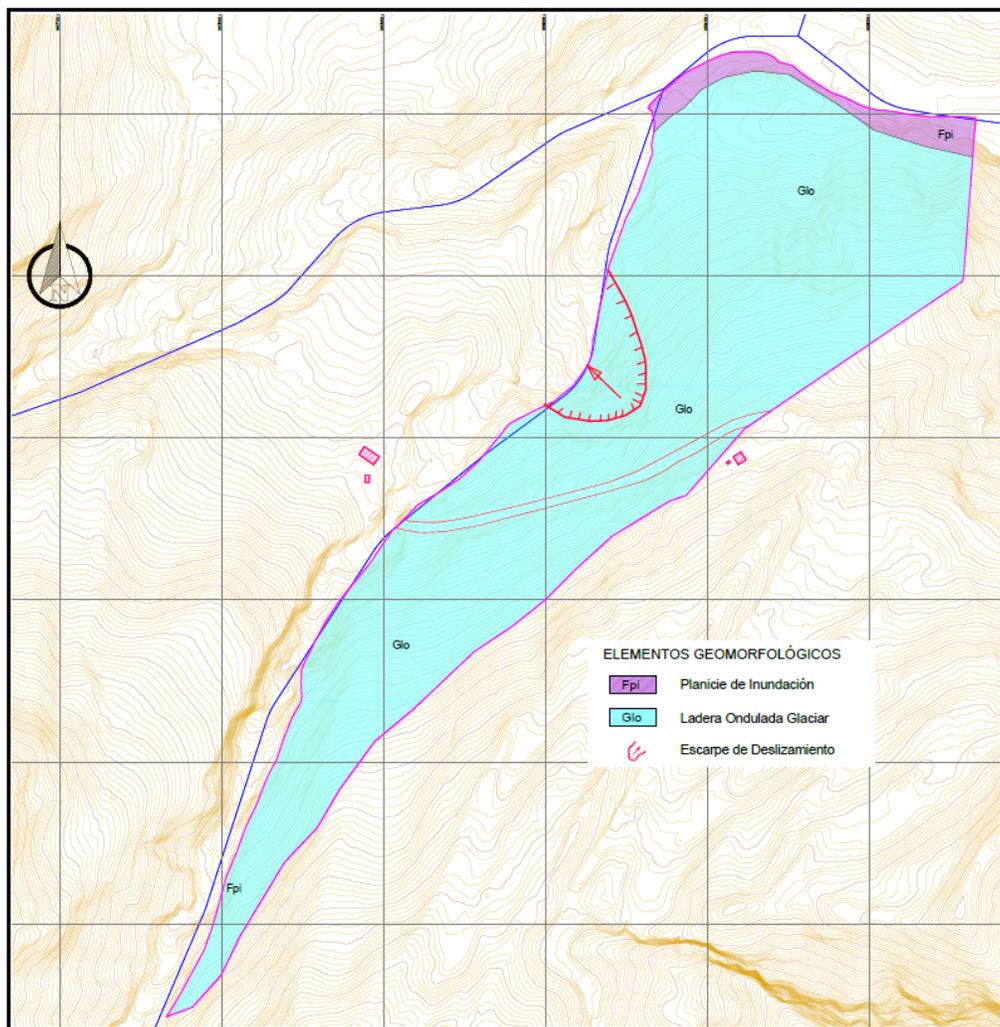
### 7.2 ELEMENTO DE ORIGEN FLUVIAL

Geoforma que se origina por procesos de erosión de corrientes de agua y por sedimentación de materiales en las áreas aledañas a dichas corrientes; es posible encontrar elementos aledaños a ríos, quebradas y en el fondo de los cauces, donde los depósitos son transportados y acumulados:

### 7.2.1 Planicie de inundación (Fpi)

Franjas del terreno de relieve plano y eventualmente inundable, se presenta por lo general bordeando los cauces fluviales y se limita localmente por escarpes de terraza. Presenta elementos geomorfológicos tales como formas en “V” y conos coluviales menores, localizados en los flancos de los valles intramontanos.

En la siguiente figura se muestra el mapa de los elementos geomorfológicos reconocidos para el polígono Sumapaz.



**Figura 25. Elementos Geomorfológicos polígono Sumapaz. 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 Sumapaz es posible encontrar en cada elemento geomorfológico, los siguientes rangos de pendientes:

**Tabla 6 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Sumapaz**

<b>CUADRO DE ÁREAS-NODO SUMAPAZ</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PENDIENTE</b>	<b>ÁREA Ha</b>	<b>PORCENTAJE %</b>
<b>Glo</b>	Inclinado	0.29	4.18
	Moderadamente Abrupto	0.64	9.31
	Abrupto	5.66	82.48
<b>Fpi</b>	Inclinado	0.10	1.44
	Moderadamente Abrupto	0.04	0.52
	Abrupto	0.14	2.07
<b>TOTAL</b>		<b>6.86</b>	<b>100</b>

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

## 8 PROCESOS MORFODINAMICOS

En una ladera cercana a la margen izquierda del río Taquegrande se presenta un proceso de remoción en masa, corresponde a un deslizamiento rotacional que transportó material hasta la parte media de la ladera, dicho proceso presenta una distribución retrogresiva, lo cual para condiciones futuras puede afectar la vía que pasa sobre el polígono de estudio. Ver siguiente figura.

En el límite del polígono en la zona donde se evidencio el proceso se encuentra el río Taquegrande, por lo cual, la zona de depositación de dicho proceso se generaría sobre el cuerpo de agua mencionado anteriormente.

Adicionalmente, En el sitio del polígono se presenta erosión leve manifestada como erosión laminar en algunos sectores desprovistos de vegetación, la poca área que presentan estos procesos hace que no sean cartografiables en una escala 1:5.000. Dentro del polígono se encuentra una escorrentía superficial identificada como un nacimiento de agua, lo cual por ser focalizados no cumplen criterios de escala 1:5.000 para ser cartografiado dentro de los planos generados. No se presenta localización de trazas de fallas activas e inactivas en la zona.

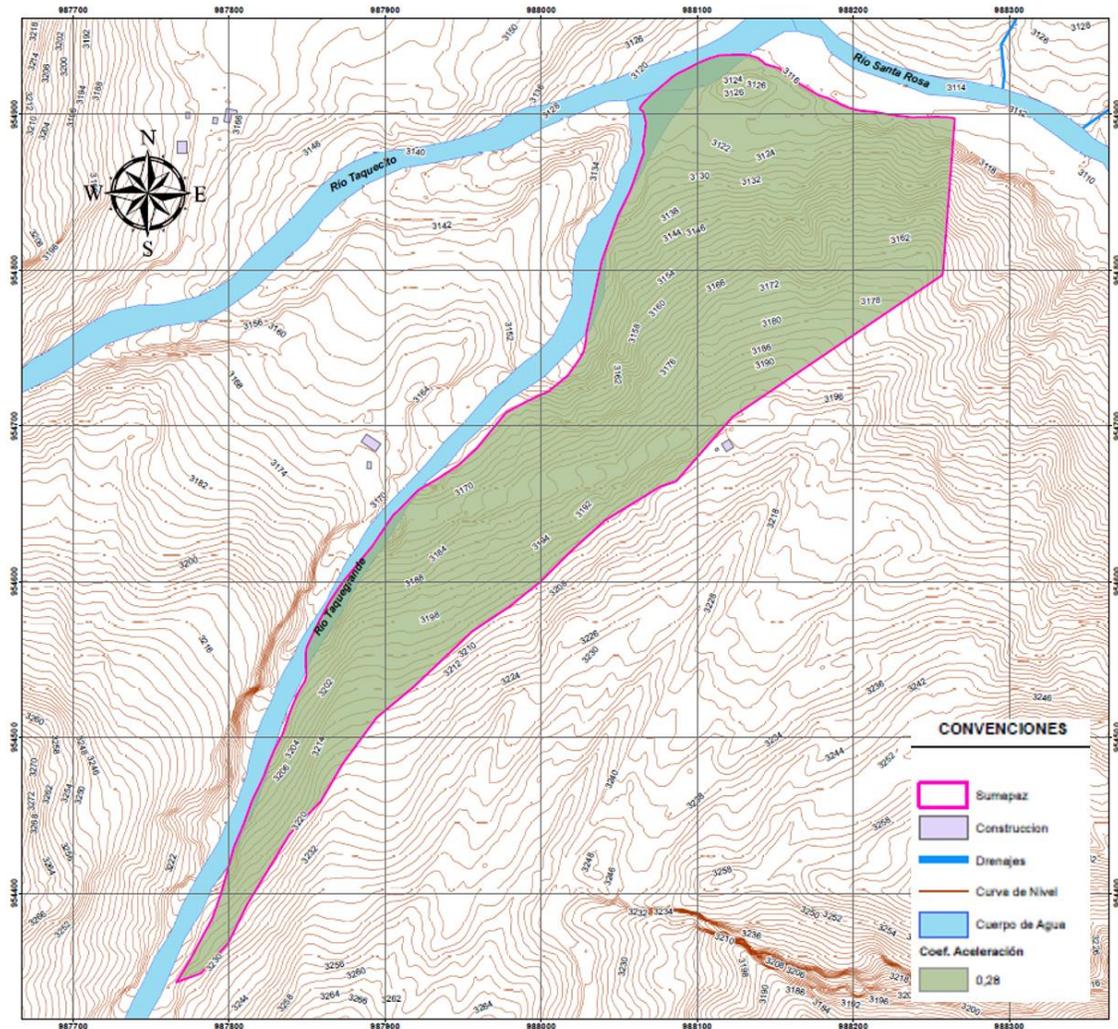


**Figura 26. Ladera donde se observa un proceso de remoción en masa.**

Por condiciones de seguridad no fue posible acceder a la zona para evaluar exhaustivamente dicho proceso, en los archivos anexados, se encuentra evaluado dicho proceso morfodinámico, donde se indican 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  $A_0$  de 0.28 para una tasa de retorno (TR) de 475 años. En la siguiente figura, es posible verificar el coeficiente analizado para el polígono.



**Figura 27. Geomorfología del polígono Sumapaz. Escala Base cartográfica 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

### 10.1 INFORMACIÓN ACTUAL DE COBERTURAS Y USO DEL SUELO NODO SUMAPAZ

La cobertura vegetal puede ser definida como la capa de vegetación que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas 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.

### 10.2 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<sup>1</sup> la Cobertura de la Tierra, junto con la ortofoto. No 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 7 Coberturas de la tierra nodo Sumapaz**

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
<b>Sumapaz</b>	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,15
	2151	Papa	0,32
	231	Pastos Limpios	3,53
	3222	Arbustal Abierto	1,12
	3232	Vegetación Secundaria baja	1,69
	333	Tierras desnudas y degradadas	0,05

Fuente: Geodinámica, 2023

<sup>1</sup> Restitución fotogramétrica: consiste en la vectorización de la información capturada con la digitalización de una orto fotografía.

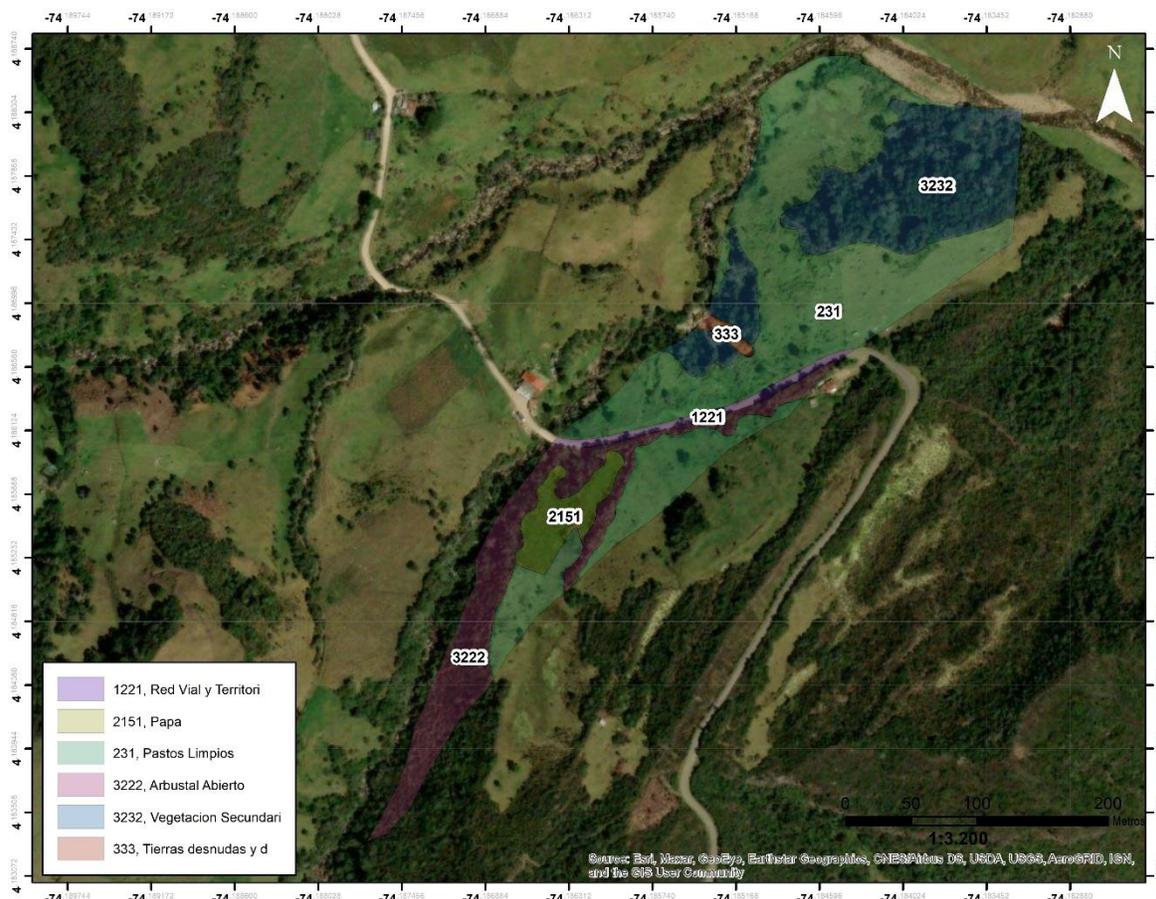
- Red Vial, Ferroviarias y Terrenos Asociados (1.2.2.1): Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas tales como estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.
- Papa (2.1.5.1): Cobertura terrestre propia de regiones frías, es una planta rastrera cultivada por su alto valor alimentario.
- 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, enclamiento 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 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
- Tierras desnudas y degradadas (3.3.3): Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema.

En el nodo Sumapaz, se presenta dominancia de la cobertura de pastos limpios en un área de 3,53ha correspondiente a 51,4%, seguido de la vegetación secundaria baja y el arbustal abierto, en este nodo se evidencia la mayor presencia de áreas naturales en el sector sur. La Tabla anterior y figura siguiente, permiten identificar las coberturas clasificadas.

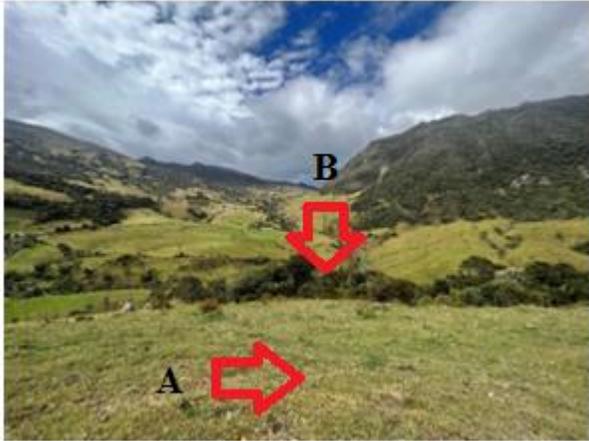
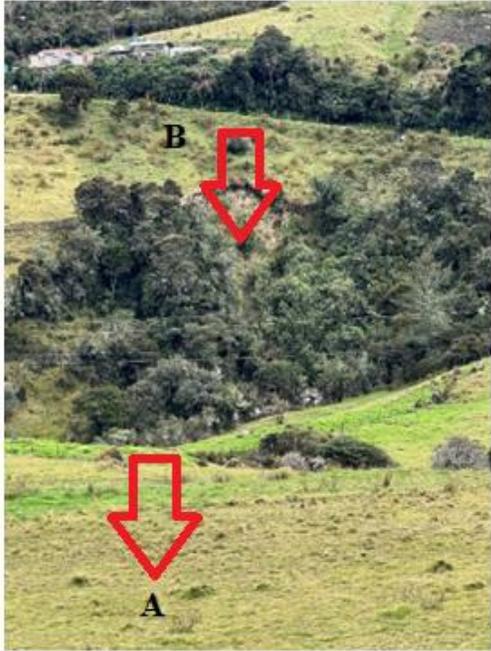


ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.  
AMBIENTE  
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos  
y Cambio Climático

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  
**CONTRATO No 278 DE 2022**



**Figura 28. Coberturas Nodo Sumapaz**  
Fuente: Geodinámica, 2023

	
<p><b>Fotografía 1</b> Adelante pastos limpios (A), en el medio arbustal y sigue pastos limpios (B)</p>	<p><b>Fotografía 2</b> Adelante pastos limpios (A), seguido de arbustal, pastos limpios y al fondo vegetación secundaria (B).</p>
	
<p><b>Fotografía 3</b> Cultivo de papa.</p>	<p><b>Fotografía 4</b> Tierras desnudas y degradadas.</p>

### 10.3 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 transitorios, vía, pasturas manejadas, y recuperación.

Los usos agrícolas, corresponden a aquellos asociados a actividades de producción de material vegetal de consumo humano, estos se clasifican cultivos transitorios, los cuales son tierras dedicadas a cultivos que deben ser replantados después de cada cosecha, como es el caso de la papa.

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.

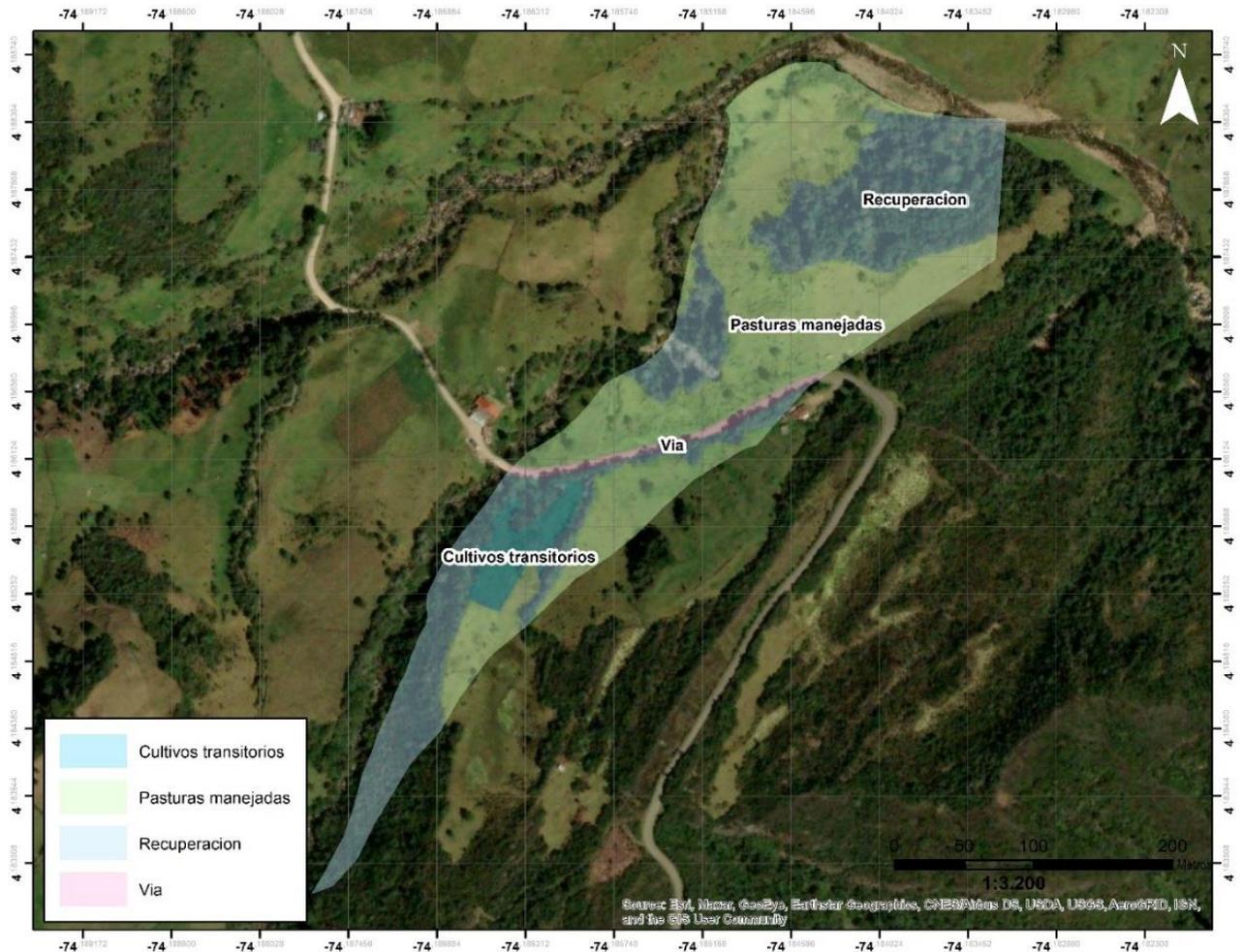
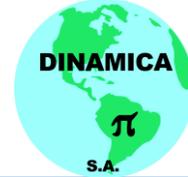
En el uso de infraestructura, se identificaron varios tipos de uso como el uso vía que se asocia a las estructuras relacionadas al desplazamiento de personas y/o vehículos.

También se identificó el uso de conservación, entre los cuales se detectaron usos de recuperación, que 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 Sumapaz se presenta una franja central donde dominan los pastos manejados el cual es el uso más dominante de este nodo (ver siguiente tabla), seguido por el uso de conservación que se ubica en los extremos norte y sur del polígono (ver siguiente figura), de la vía hacia el sur se presenta un cultivo de tipo transitorio con un área de 0,32 ha.

**Tabla 8. Uso del suelo Nodo Sumapaz**

Uso Actual	Tipo de Uso	Área (ha)
Agrícola	Cultivos transitorios	0,32
Conservación	Recuperación	2,86
Infraestructura	Vía	0,15
Pecuario	Pasturas manejadas	3,53



**Figura 29. Tipo Uso del suelo nodo Sumapaz**

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-Sumapaz (PLANOS SUMAPAZ).

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.

#### 10.4 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 detallado.

## 11 HIDROLOGIA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

### 11.1 INFORMACIÓN HIDROGRÁFICA ACTUAL DEL NODO SUMAPAZ

### 11.2 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 9. Estaciones empleadas Nodo 8 – Sumapaz**

Entidad	Código	Tipo	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Elevación msnm
IDEAM	3502507	PM	Los Taques	Bogotá D.C	4.20	-74.19	3150

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 30. Localización Estaciones Nodo 8 - Sumapaz**

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 PM Los Taques. 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.

### 11.3 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

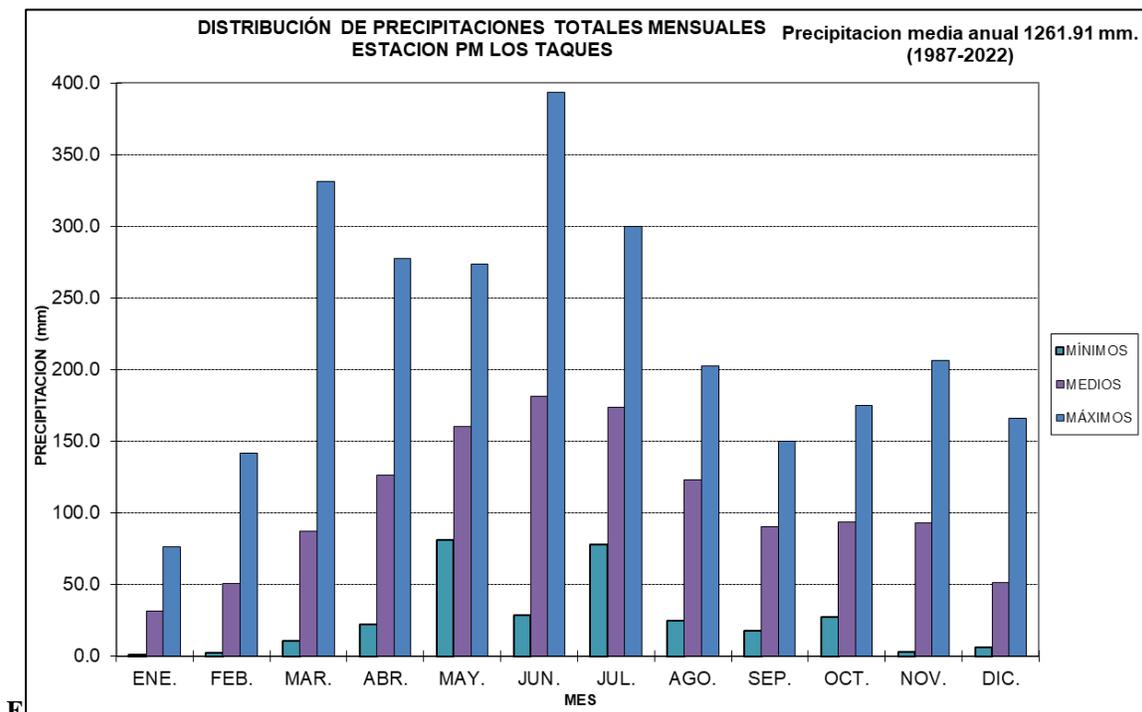
Para el proyecto objeto de estudio se cuenta con cartografía oficial del IGAC, disponible en escala 1:25.000 para todo el predio, que corresponde a la plancha 265-II-A y 265-II-B. Con esta cartografía se cubre todo el Polígono del Nodo 8 - Sumapaz y los cauces aferentes a este polígono.

### 11.4 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 siguiente tabla. La información empleada se encuentra en el **Anexo 1. Información Pluviométrica**.

### 11.5 PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES

El ciclo anual de precipitación de la Estación PM Los Taques presenta un promedio anual del orden de 1261.91mm. 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 – agosto, se presenta un periodo seco o de menores precipitaciones entre los meses de septiembre – marzo, siendo junio el mes más lluvioso y enero el mes con menores lluvias (Véase la siguiente figura).



**Figura 31. Distribución Mensual de Precipitación Estación PM Los Taques**

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 10. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PM Los Taques.**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pmedia anual
P media (mm)	31.49	50.48	87.26	126.31	160.16	181.48	173.86	123.10	90.17	93.35	92.91	51.35	1261.91

Fuente: Elaboración Propia.

## 11.6 NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN

Para la estación PM Los Taques el número promedio de días de precipitación al año es de 232, presentándose en los meses de mayo, junio y julio el mayor número de días promedio (25 días) y en el mes de enero el menor número de días de precipitación (10 días).

**Tabla 11. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PM Los Taques.**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	No. Días de lluvia
No. días	10	12	17	21	25	25	25	24	20	21	18	13	232

Fuente: Elaboración Propia.

## 11.7 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 12. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PM Los Taques.**

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
13.90	1987
78.80	1988
20.00	1989
30.00	1990
28.50	1991
30.50	1992
35.60	1993
27.50	1994
43.00	1995
46.00	1996
43.00	1997
81.00	1998
37.10	1999
38.00	2000
42.00	2001
58.00	2002
35.50	2003
60.00	2004
45.00	2005
55.00	2006
49.00	2007

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
33.00	2008
30.40	2009
56.00	2010
63.20	2011
31.00	2013
39.00	2014
85.00	2015
14.50	2016
18.00	2017
59.00	2018
44.20	2019
94.00	2020
16.40	2021
28.00	2022
43.98	<b>Promedio</b>

Fuente: Elaboración Propia.

## 11.8 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  $I = P / T_d$  (Ven Te Chow, 1994), donde P = Lámina de agua lluvia (mm) y  $T_d$  = 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 PM Los Taques: 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:**

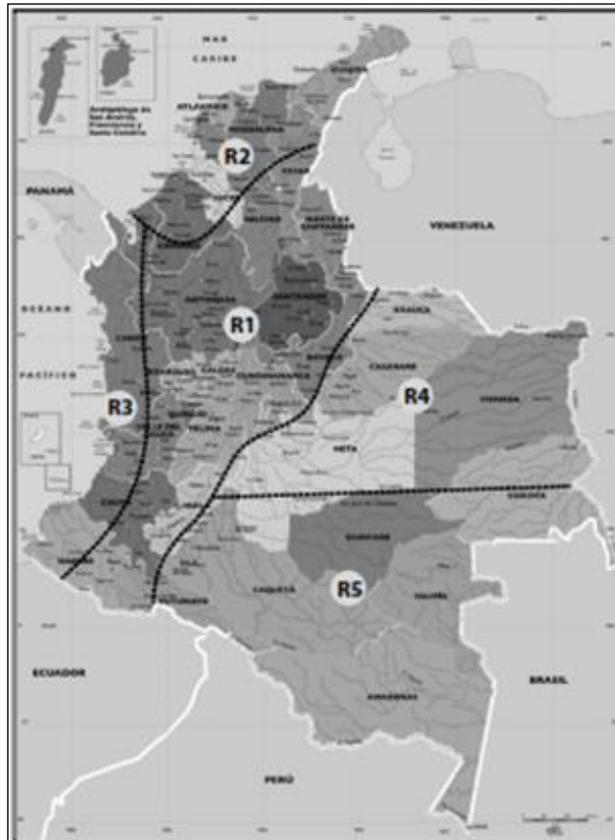
- I: Intensidad media en mm/hr.
- T: Periodo de retorno en años.
- t: duración de la lluvia en horas.
- N: promedio del número de días con lluvia al año.
- PT: Precipitación Media anual en mm.
- M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria en mm.

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 siguiente figura.

**Tabla 13. 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 32. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión**  
**Fuente: Curvas Sintéticas de IDF para Colombia – Vargas Rodrigo 1998.**

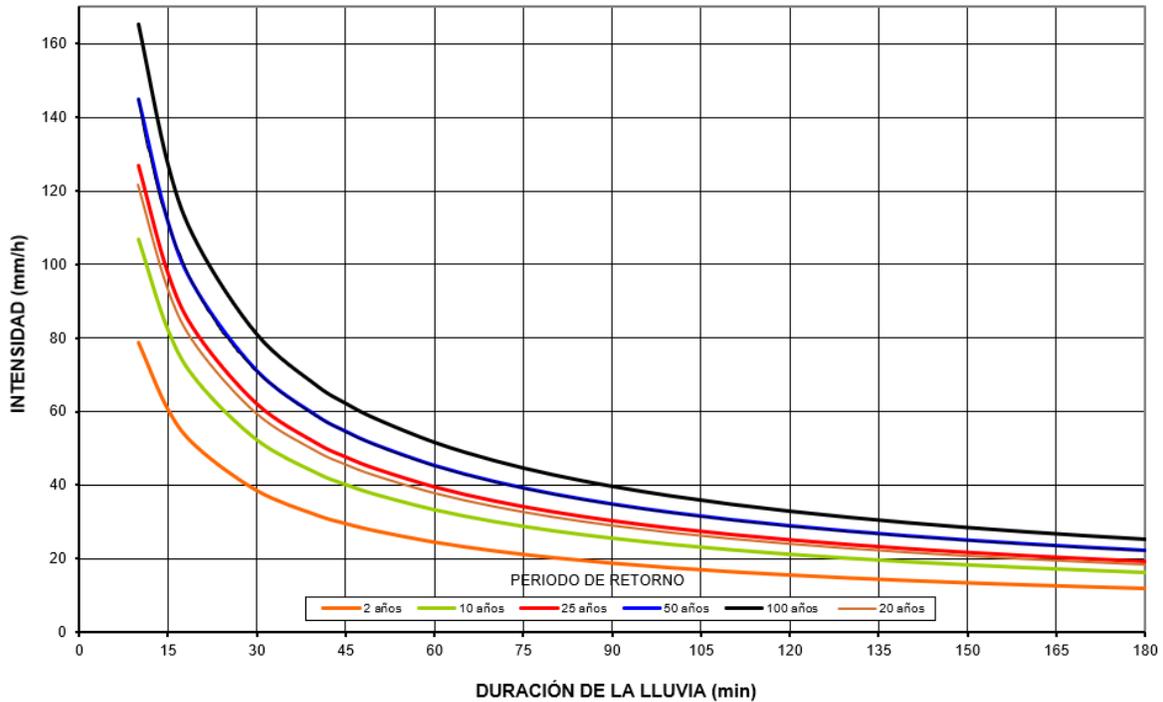
La zona de proyecto se encuentra en la Región 1 (Andina), cuyos parámetros a, b, c, d, e y f son iguales respectivamente a: 1.61, 0.19, 0.65, 0.75, -0.15 y 0.08.

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 PM Los Taques es de 43.98mm y el número de días de lluvia es 232. La precipitación promedio anual es de 1261.91mm. A continuación, se presentan las curvas IDF obtenidas.

**ESTACION PM LOS TAQUES**  
**CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA**



**Figura 33. Curvas IDF Estación PM Los Taques.**  
**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 14. Relaciones IDF – Estación PM Los Taques**

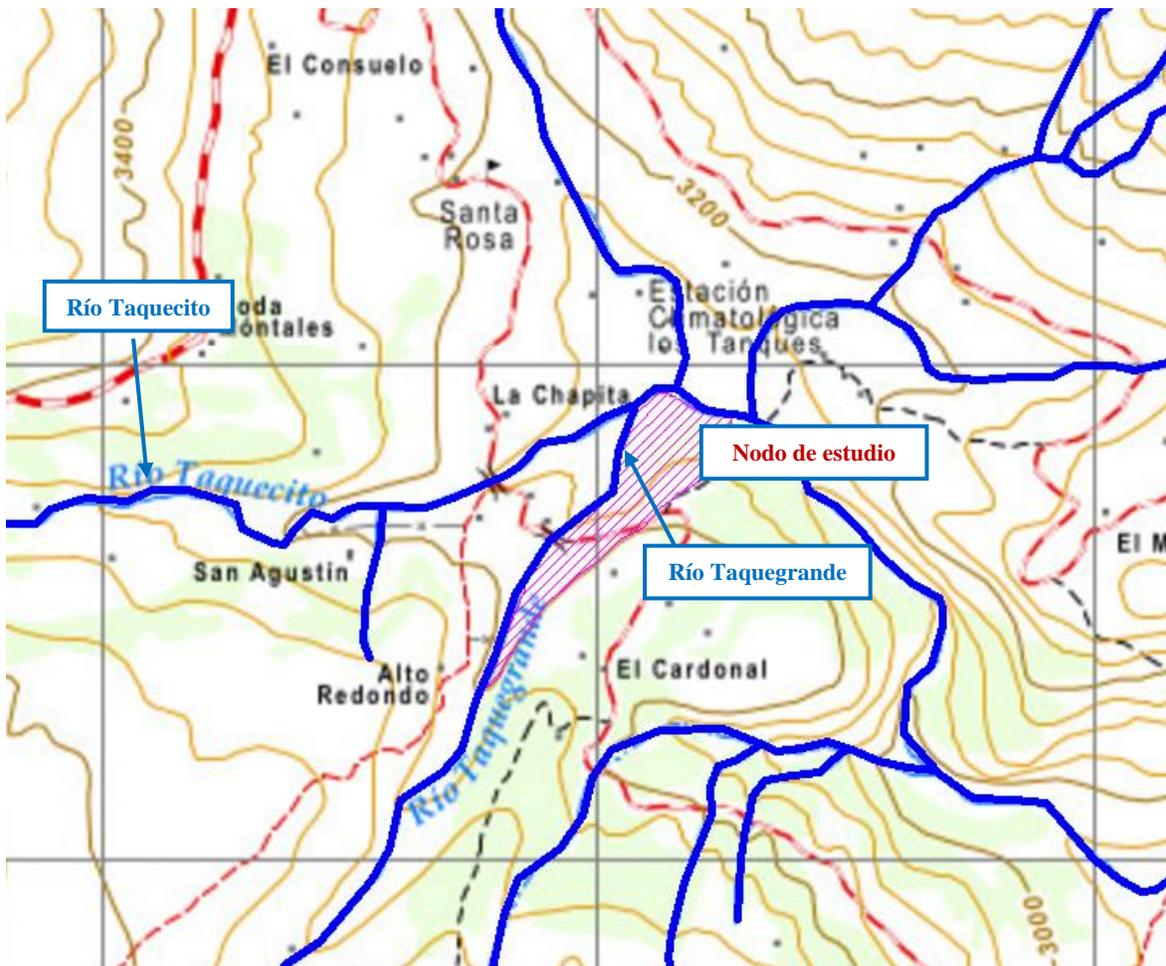
TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)						
	2	5	10	20	25	50	100
10	78.6	93.6	106.7	121.8	127.0	144.9	165.3
15	60.4	71.9	82.0	93.6	97.6	111.3	127.0
20	50.1	59.6	68.0	77.6	81.0	92.4	105.4
30	38.5	45.8	52.3	59.6	62.2	71.0	80.9

40	31.9	38.0	43.3	49.5	51.6	58.9	67.1
45	29.6	35.2	40.2	45.8	47.8	54.5	62.2
50	27.6	32.9	37.5	42.8	44.6	50.9	58.1
60	24.5	29.2	33.3	38.0	39.6	45.2	51.6
70	22.2	26.4	30.1	34.4	35.9	40.9	46.7
80	20.3	24.2	27.6	31.5	32.9	37.5	42.8
90	18.8	22.4	25.6	29.2	30.5	34.7	39.6
100	17.6	20.9	23.9	27.3	28.4	32.4	37.0
110	16.5	19.7	22.5	25.6	26.7	30.5	34.8
120	15.6	18.6	21.2	24.2	25.3	28.8	32.9
130	14.8	17.7	20.1	23.0	24.0	27.4	31.2
140	14.1	16.8	19.2	21.9	22.9	26.1	29.7
150	13.5	16.1	18.4	20.9	21.9	24.9	28.4
160	13.0	15.4	17.6	20.1	21.0	23.9	27.3
170	12.5	14.8	16.9	19.3	20.1	23.0	26.2
180	12.0	14.3	16.3	18.6	19.4	22.1	25.3
1440	3.1	3.7	4.2	4.8	5.0	5.7	6.5

Fuente: Elaboración Propia.

## 11.9 IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA

El sector donde se encuentra ubicado el Nodo 8 - Sumapaz corresponde a una zona en general en una altitud importante. En efecto, la cota del terreno sobre el nivel del mar varía entre los 3200msnm y 3150 msnm. El predio analizado se encuentra en un sector alrededor del cual, se identificaron importantes cuerpos de agua, como lo son la Quebrada Taquecito y el más importante que corresponde al Río Taquegrande y sus demás quebradas afluentes. El Río Taquegrande se encuentra en el perímetro, a lo largo del costado noroccidental del polígono del Nodo 8 - Sumapaz. En la siguiente figura se presenta la identificación de los principales drenajes naturales dentro y fuera del área del Nodo 8:



**Figura 34. Descripción Red de Drenaje Nodo 8 - Sumapaz**  
Fuente: Elaboración Propia.

En el anexo Planos Sumapaz, archivo *Drenajes\_Sumapaz* se relaciona plano en el cual se puede visualizar que no se evidencia el cruce de cauces naturales.

### **11.10 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES:**

En el sector donde se encuentra ubicado el Nodo 8 - Sumapaz se identificaron dos 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 24 de enero del 2023, se apreciaron dos alcantarillas ubicadas en las siguientes coordenadas:

- **Alcantarilla 1:**  
 N → 954671,937  
 E → 988054,861
- **Alcantarilla 2**  
 N → 954650,167  
 E → 987951,938

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 presentan intervenciones de mantenimiento, haciendo que estas presenten colmatación y empozamiento de agua.



**Figura 35. Alcantarillas existentes en el nodo Sumapaz**  
**Fuente: Geodinámica**

✓ **Obra de Drenaje No. 1 - Alcantarilla 1**

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro  $\phi$  24" (0.60m) y una longitud de 5.30m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, sin embargo, por la falta de mantenimiento se presenta acumulación del flujo". En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

**Tabla 15. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 1**

	ENTRADA		SALIDA	
	<b>MURO CABEZAL</b>	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)
	Altura (m)	2	Altura (m)	2
<b>GUARDARUEDAS</b>	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	0.8	Altura (m)	0.35
<b>ALETAS</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.65
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.75
<b>MURO DE ACOMPAÑAMINETO</b>	Longitud (m)	0.7	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	-
<b>SOLADO</b>	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

**Fuente: Geodinámica**

Por la ausencia de sistema de descole para esta alcantarilla, las aguas de escorrentía superficial y subsuperficiales recogidas son vertidas a la ladera y al terreno natural. A continuación, se presenta el registro fotográfico tomado para esta alcantarilla.



**Fotografía 5.** Se evidencia muro de acompañamiento, muro cabezal, guarda ruedas y solado. Se tienen dos tuberías en concreto con un diámetro de 24"



**Fotografía 6.** No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural



**Fotografía 7.** Descole insuficiente para la entrega de aguas recogidas por esta obra

✓ **Obra de Drenaje No. 2 - Alcantarilla 2**

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro  $\phi$  24" (0.60m) y una longitud de 5.40m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, sin embargo, por la falta de mantenimiento se presenta acumulación del flujo, adicionalmente cuenta con los elementos mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 16. Elementos de equipamientos de la alcantarilla 2**

	ENTRADA		SALIDA	
	<b>MURO CABEZAL</b>	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)
	Altura (m)	2	Altura (m)	2
<b>GUARDARUEDAS</b>	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	0.8	Altura (m)	0.35
<b>ALETAS</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.5
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.2
<b>MURO DE ACOMPAÑAMINETO</b>	Longitud (m)	0.7	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	-

<b>SOLADO</b>	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.

	
<p><b>Fotografía 8.</b> Se evidencia muro de acompañamiento, muro cabezal, guarda ruedas y solado</p>	<p><b>Fotografía 9.</b> Se tienen dos tuberías en concreto con un diámetro de 24"</p>



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



**Fotografía 11.** En la salida de agua de alcantarillado se evidencian aletas.

Adicionalmente se encuentra presente una cañada artificial, elaborada por la comunidad en la cual se puede evidenciar mediante la siguiente fotografía que, este presenta un flujo lento, el cual se debe aumentar, con el fin de evitar empozamiento de agua y está localizado a un costado de la vía.

Para este polígono se tiene un nacimiento de agua. En la siguiente fotografía se puede visualizar con mejor detalle este y su zanja artificial



**Fotografía 12. Nacimiento de agua, nodo Sumapaz**



**Fotografía 13. Alcantarilla #3 diámetro 24", nodo Sumapaz**

## 11.11 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 17. 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 km<sup>2</sup>. 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:

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

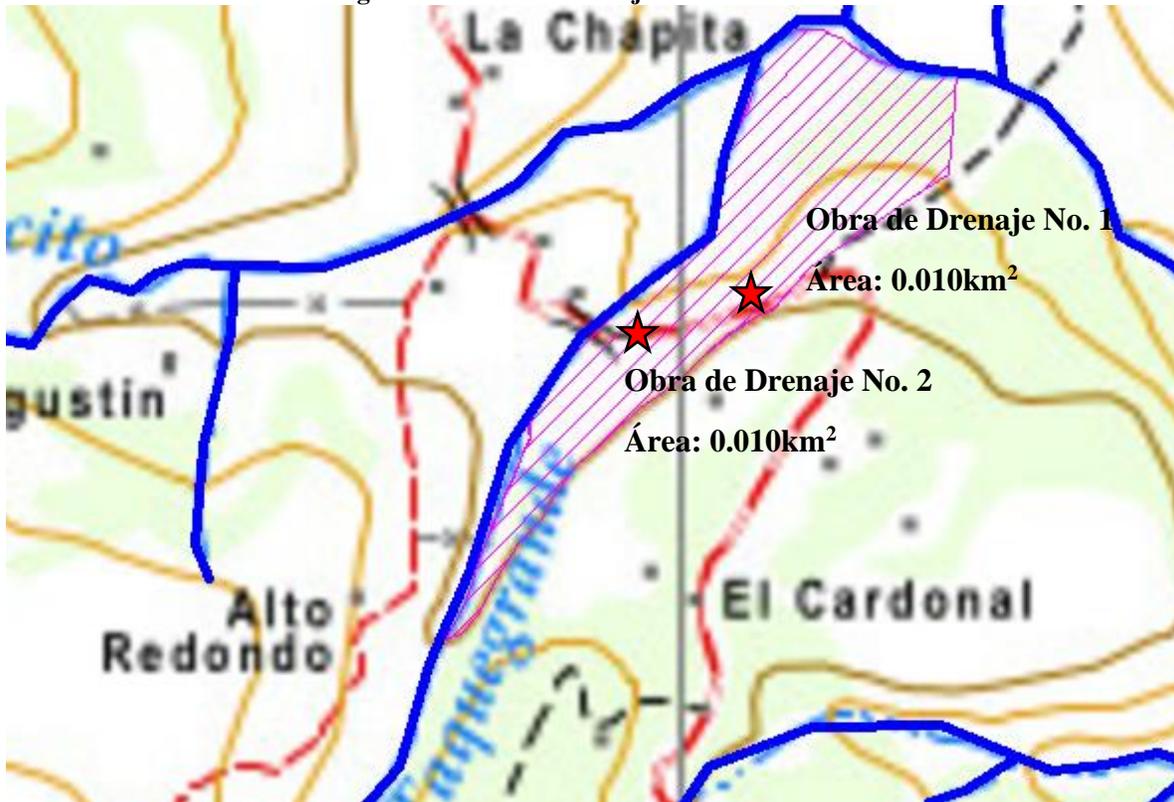
**Dónde:**

- ✓ Q: Caudal máximo, (m<sup>3</sup>/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, (Km<sup>2</sup>)

**- Áreas de Drenaje:**

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

**Figura 36. 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<sup>2</sup>.

**- 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 18. Coberturas de la tierra nodo Sumapaz**

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Sumapaz	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,15
	2151	Papa	0,32
	231	Pastos Limpios	3,53
	3222	Arbustal Abierto	1,12
	3232	Vegetación Secundaria baja	1,69
	333	Tierras desnudas y d	0,05

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 37. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Áreas desarrolladas</b>							
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.)							
<i>Condición pobre</i> (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
<i>Condición promedio</i> (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
<i>Condición buena</i> (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
<b>Áreas no desarrolladas</b>							
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:**

- ✓ T<sub>c</sub>: 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<sup>2</sup> que corresponde a la siguiente ecuación:

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

**Dónde:**

- ✓ T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración en minutos
- ✓ L: Longitud máxima de la corriente en km
- ✓ A: Área de la cuenca en km<sup>2</sup>.
- ✓ 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:**

- ✓ T<sub>c</sub>: 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:**

- ✓ T<sub>c</sub>: Tiempo de concentración en minutos
- ✓ L: Longitud máxima de la corriente en km
- ✓ S: Pendiente de la corriente principal en m/m

<sup>2</sup> 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 19. Evaluación de caudales**

No	Área (Km <sup>2</sup> )	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 m <sup>3</sup> /s)		
					10 años	25 años	50 años				Tr=10 años	Tr=25 años	Tr=50 años
1	0.010	0.100	0.10000	15.0	0.44	0.48	0.51	82.0	97.6	111.3	0.10	0.13	0.16
2	0.010	0.100	0.10000	15.0	0.44	0.48	0.51	82.0	97.6	111.3	0.10	0.13	0.16

Fuente: Elaboración Propia.

## 11.12 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 ( $S_o > S_c$ ) establecen un control hidráulico de entrada; en el caso contrario ( $S_o < S_c$ ) 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:

$$H_w = \frac{v_c^2}{2g} + \frac{KV_c^2}{2g} + Y_c$$

**Dónde:**

- ✓ H<sub>w</sub>: Nivel de agua a la entrada; parámetro que establece las dimensiones de la obra de drenaje, en metros.
- ✓ Y<sub>c</sub>: Profundidad crítica que se forma inmediatamente aguas abajo de la entrada+ del conducto, en metros.
- ✓ V<sub>c</sub>: 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:

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

**Dónde:**

- ✓ Q: Caudal, en pies<sup>3</sup>/s.
- ✓ D: Diámetro de la alcantarilla, en pies.

En todos los casos, las alcantarillas, 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 20. Evaluación Obras de Drenaje**

No.	Área (Km <sup>2</sup> )	Caudal Máximo Instantáneo (m <sup>3</sup> /s)	OBRA EXISTENTE						OBSERVACIONES
			Cant	b (m)	f (m)	h (m)	Capacidad (m <sup>3</sup> /s)	Longitud(m)	
1	0.01	0.10	1		0.60		0.34	5.30	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente de diámetro ϕ 24" (0.60 m), presenta insuficiencia hidráulica y se recomienda



**Tabla 22. Resultados de pruebas de permeabilidad <sup>4</sup>**

Suelo	Tamaño $D_{10}$ (cm)	Permeabilidad ( $\mu$ /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

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.

### 11.14 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

<sup>4</sup> 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).

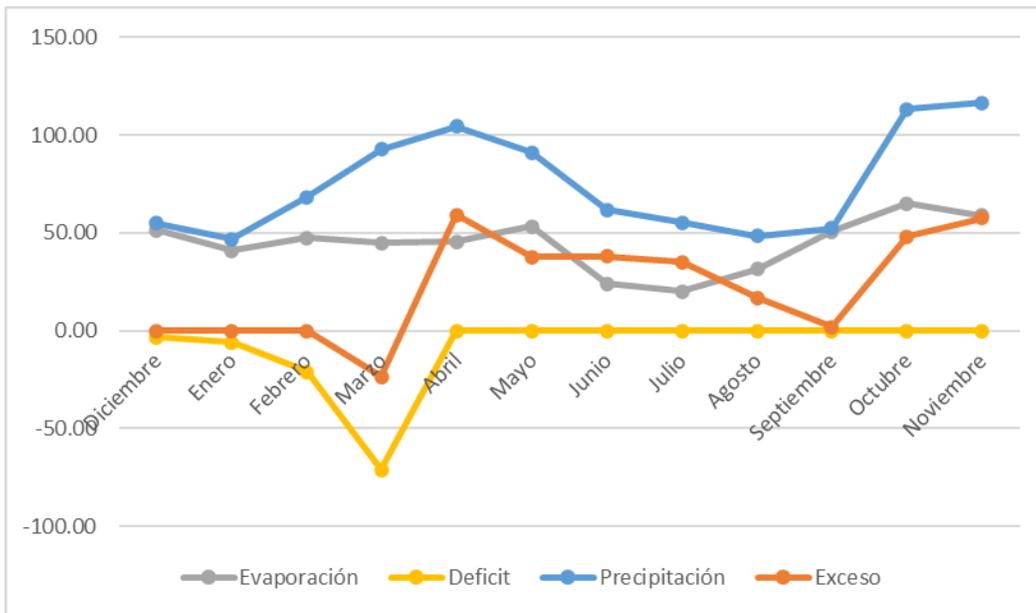
A, Temperatura y precipitaciones mensuales. El método empleado fue el de Thornwaithe, utilizando como estimación de la Evapotranspiración potencial, una relación comúnmente usada en Colombia, que es  $EVP = 0.7 * \text{Evaporación en tanque clase A}$ .

**Tabla 23. 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
<b>Total, Anual</b>	<b>905.89</b>	<b>15.44</b>	<b>533.39</b>	<b>-172.78</b>	<b>270.92</b>

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 38. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

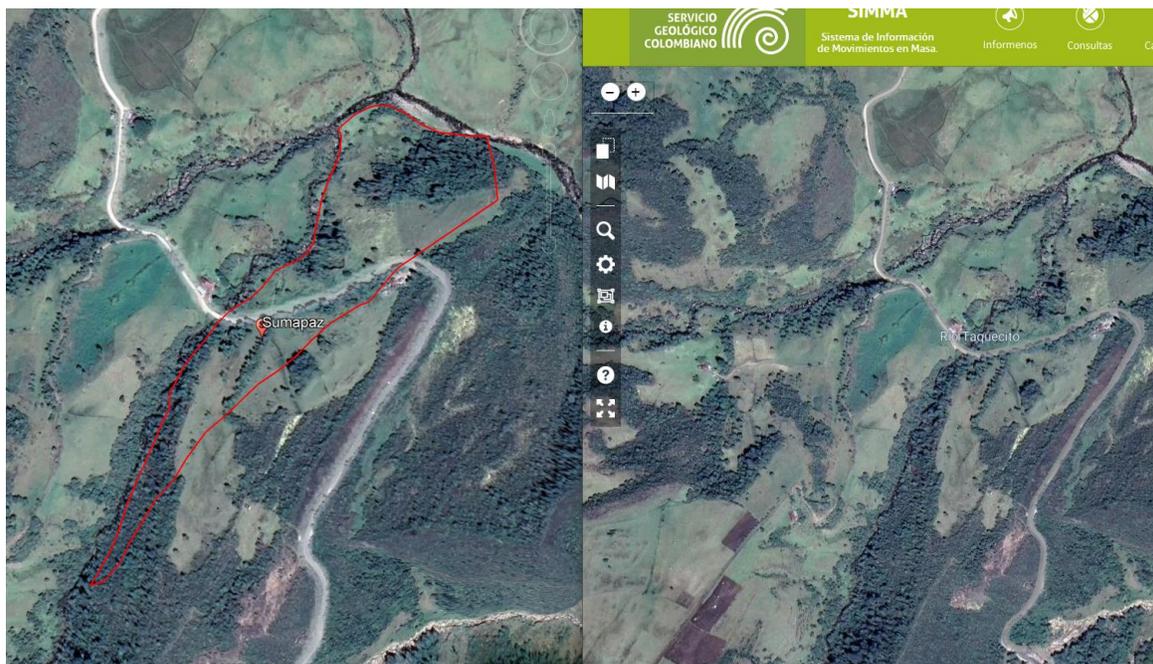
## 12 INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

### 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 39. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Sumapaz**  
Fuente: SIMMA

## 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 8 denominado Sumapaz, 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 el inicio del polígono se encuentra una vivienda la cual colinda con un cuerpo de agua. (Ver fotografía 14)
- A lo largo del polígono se encuentran pendientes pronunciadas. (Ver fotografía 15)
- Se presenta nacimiento de agua sobre el polígono. (Ver fotografía 16)
- A lo largo del polígono se encuentran alcantarillas las cuales presentan un descole ineficiente lo que ocasiona que las aguas recogidas por estas sean vertidas al terreno. (Ver fotografía 17 y 18)
- Se evidencia deslizamiento en la parte inferior de la ladera. (Ver fotografía 19)

En general, se puede mencionar que el ancho promedio del polígono es de 201 m, y la longitud del mismo es de 740 m, para un área aproximada de 6,86 Ha. El terreno presenta una cobertura vegetal consistente en pastos y arbustos.



**Fotografía 14.** Casa construida al lado de un cuerpo de agua



**Fotografía 15.** Pendientes pronunciadas a lo largo del polígono



<p><b>Fotografía 16.</b> Nacimiento de agua</p>	<p><b>Fotografía 17.</b> Alcantarilla sin descole</p>
<p><b>Fotografía 18.</b> Ineficiencia en el descole de alcantarillas</p>	<p><b>Fotografía 19.</b> Deslizamiento en ladera inferior</p>

### 12.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para la caracterización geotécnica del área de estudio se ejecutaron dos (2) sondeo mecánico de 5.80 m y 5.05 m de profundidad y dos (2) apique de 2.5 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, toda vez que durante la visita se identificaron rellenos los cuales, por la falta de obras de drenaje y control de infiltración, son susceptibles a presentar problemas de inestabilidad en la zona. A esto se suma que en una zona del polígono se encontró una remoción en masa. 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 24. Exploración del subsuelo propuesta**

<b>SUMAPAZ</b>			
<b>Sondeo/Apique</b>	<b>Norte (m)</b>	<b>Este (m)</b>	<b>Prof. (m)</b>
S-1	954701.572	988065.857	5.80
S-2	954737.067	988149.578	5.05
AP-1	954735,067	988144,578	2.05
AP-2	954629.263	987983.022	2.05



**Figura 40. Localización de la perforación ejecutada**  
Fuente: Geodinámica

- Los valores de la investigación de campo - exploración geotécnica, se estiman a partir de las observaciones realizadas en campo, donde es importante considerar que los ensayos se ejecutan a partir de las muestras recolectadas en cada uno de los sitios. Además, es importante mencionar que los valores estimados de perforación, se ajustaran de acuerdo a lo encontrado mediante las perforaciones realizadas en el nodo de estudio.
- En caso de no tener muestras suficientes para realizar los ensayos determinados en cada nodo, este será trasladado a un nodo que presente la muestra adecuada para realizar el ensayo requerido.
- Para la aplicación de la metodología planteada, en lo referente al talud infinito resulta importante (en la medida de las posibilidades) contar con la información de espesor de suelo y la profundidad al contacto con la roca, es por esto que los sondeos propuestos deberán procurar llegar hasta la roca firme.
- Los sondeos se realizarán en las zonas de fácil acceso, ya que en este polígono se presentan áreas donde no es posible llegar.

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 al costado norte de la vía que actualmente pasa por el polígono. Se obtuvo 5 muestras en las cuales se encuentran los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.20 m** → Capa de pasto con raíces.
- **0.20 m – 0.50 m** → Capa vegetal limo arenosa de grano fino, gravas finas, raíces, color de la muestra gris con manchas verde oliva. La muestra 1 es tipo Shelby.
- **0.50 m – 4.90 m** → Arcilla limo arenosa de grano fino, gravas finas, trazas de oxido, consistencia dura, color de la muestra habano con manchas de color gris oscuro. En este estrato se realizaron 4 muestras, la muestra 2 es de tipo SPT (N=28

golpes), la muestra 3 es de tipo SPT (N=40 golpes), la muestra 5 es de tipo SPT (N=59 golpes)

- **4.90 m – 5.80 m** → Conglomerado de arenisca, gravas, fragmentos sub redondeada, arena fina intercalada en matriz arcilla plástica gris, trazas de oxido, consistencia dura, color de la muestra café claro con manchas de color amarillo oscuro. La muestra 6 es de tipo SPT (rechazo).



**Figura 41. Muestras sondeo # 1**

## 2. SONDEO 2

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte noroccidente del polígono. Se obtuvo 5 muestras en las cuales se encuentran los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.20 m** → Capa de pasto con raíces
- **0.20 m – 0.70 m** → Capa vegetal limo Orgánico con arena fina intercalada, gravas finas arenisca, raíces, color de la muestra café oscuro. Se realiza la muestra 1 la cual fue tipo SPT (N=25 golpes).

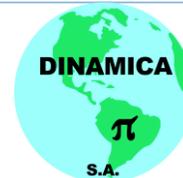
- **0.70 m – 1.30 m** → Limo arcillo arenoso de grano fino, con gravas y fragmentos de arenisca, trazas de oxido, humedad media, consistencia media, color de la muestra café claro.
- **1.30 m – 2.40 m** → Arcilla limo arenosa de grano fino, plástica, con gravas finas, trazas de oxido, humedad media, color de la muestra gris oscuro Se toma la muestra 2 en este estrato y esta muestra es de tipo Shelby
- **2.40 m – 5.05 m** → Arcilla plástica con gravas finas medias, trazas de color ocre, trazas cafés con arena fina intercalada, humedad alta, consistencia dura, color de la muestra gris oscuro. Para este estrato se obtuvo la muestra 3 la cual es tipo SPT (N=22 golpes), la muestra 4 la cual es de tipo Shelby y la muestra 5 la cual es de tipo SPT (N=44 golpes).



Figura 42. Muestras sondeo # 2

### 3. APIQUE 1

Este apique se encuentra ubicado en la parte nororiental 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 43. Muestras apique # 1**

#### **4. APIQUE 2**

Este apique se encuentra ubicado en la parte central 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 44. Muestras sondeo # 2

### 12.3.2 Resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT)

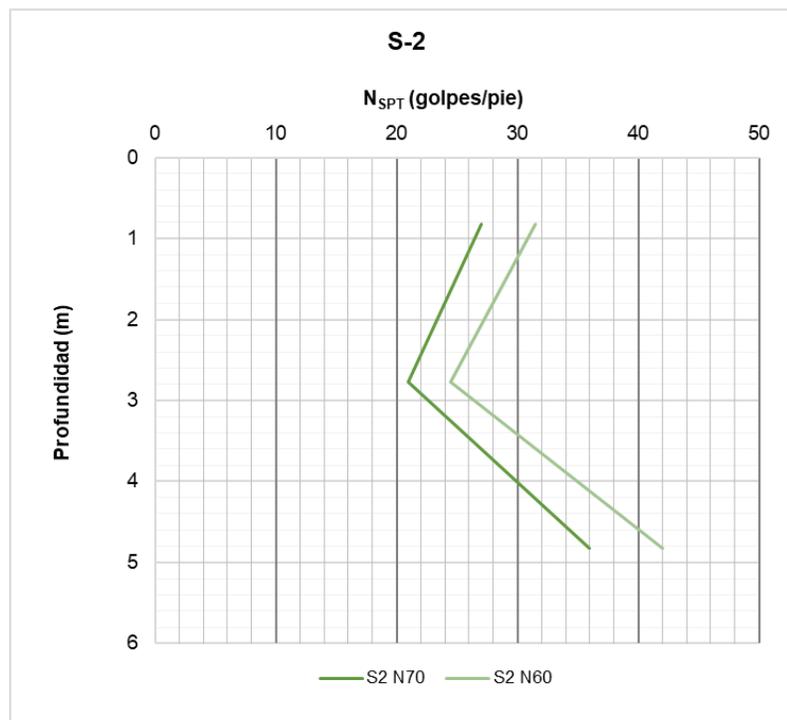
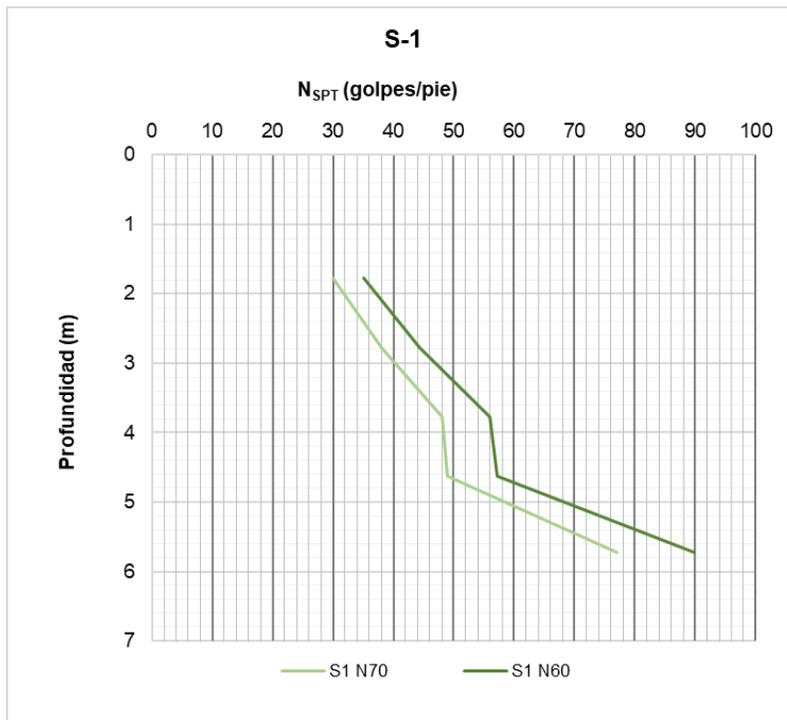
Durante la ejecución de los sondeos se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar SPT del cual se obtuvo valores de N (golpes) que permiten correlacionar con la consistencia de los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares. De esta manera se obtuvo la variación en profundidad 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 para el sondeo S-1 hasta alcanzar valores entre (N70=77 Golpes) y (N60=90 Golpes), el rechazo se obtuvo a 5.50 m de profundidad en el contacto con la capa de conglomerado de areniscas y gravas. Para el caso del S-2 se observa una variación en la resistencia a la penetración a una profundidad de 2.55 m en el contacto con la capa de arcilla plástica, se observaron valores de (N70=21 Golpes) y (N60=25 Golpes) los cuales se asocian a una consistencia suave. En la siguiente Figura se muestra la variación de N70 y 60 con la profundidad para cada uno de los sondeos ejecutados.

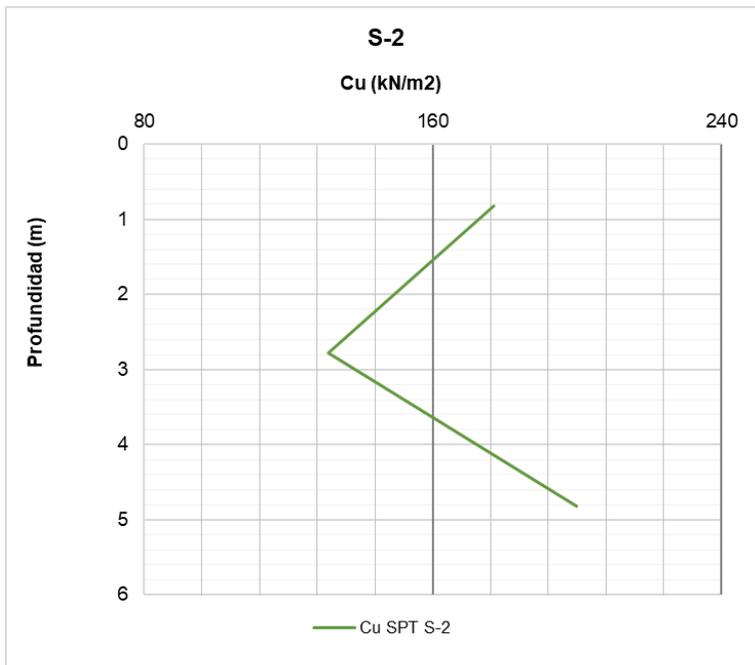
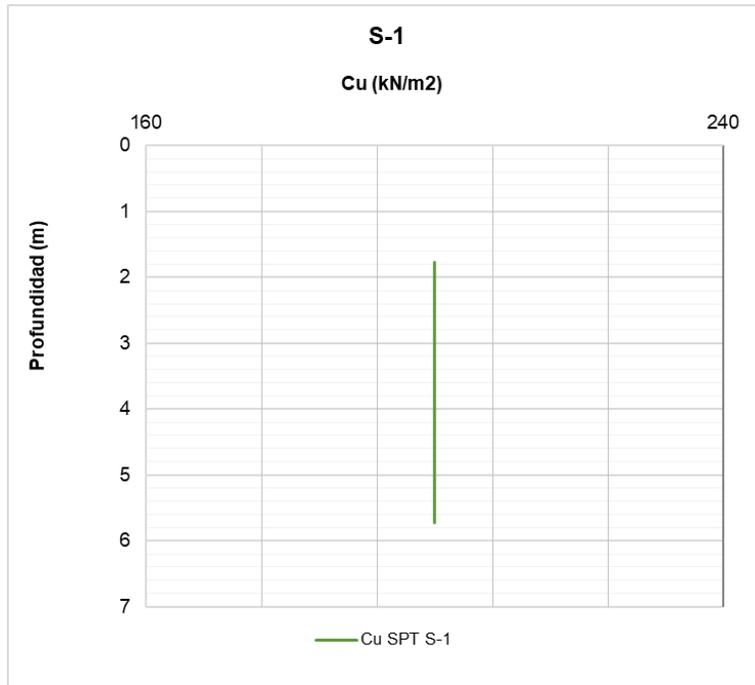
Los resultados obtenidos de la correlación de N70 con la resistencia al corte no drenado<sup>5</sup> se incluyen en las figuras que se presentan a continuación, en la cual se observan valores de En la siguiente figura se muestra la variación de  $c_u$  con la profundidad para cada uno de los

<sup>5</sup> Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

sondeos, de haberse obtenido este parámetro por ensayo de corte directo se dará total prelación a este.



**Figura 45. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT**



**Figura 46. 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  $\phi'^7$  de manera aproximada por tipo de material. Este método consiste en graficar puntos ( $\sigma_v'$ ,  $\tau$ ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicos 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

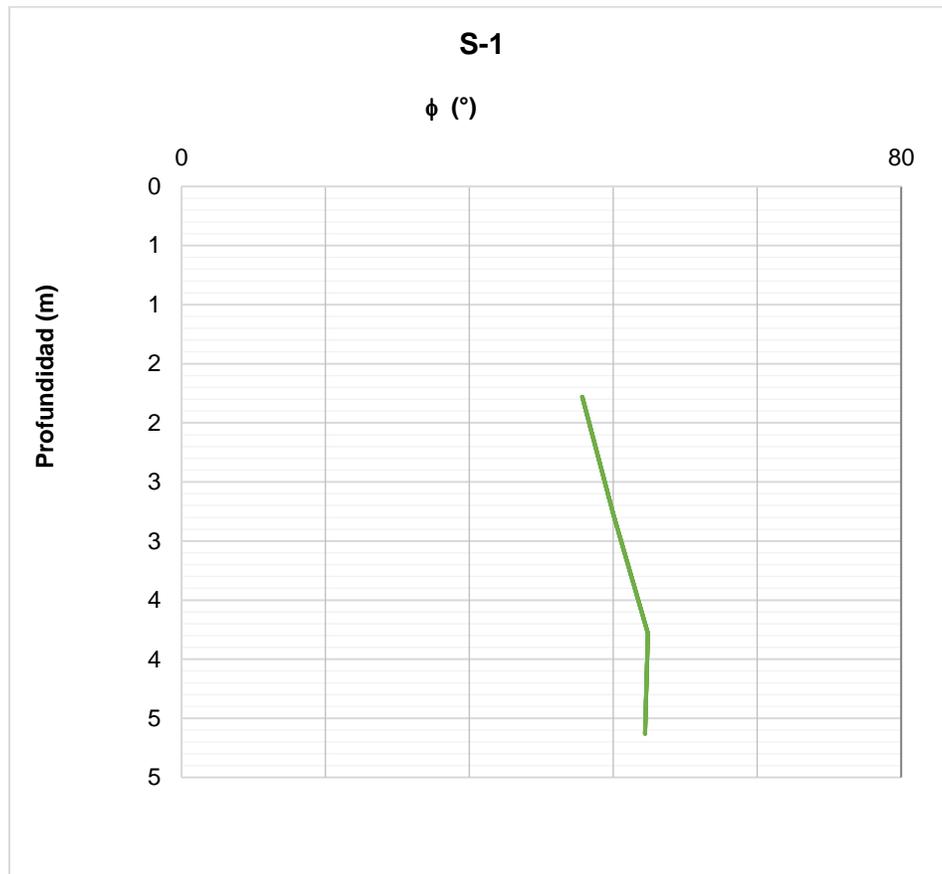
Tabla 25. Resultados de  $\phi$  y  $c'$  S-1

Profundidad media	$\phi$	$c'$
1.8	44.5	200
2.8	48.0	200
3.8	51.9	200
4.6	51.5	200
5.73	60.8	200

Fuente Geodinámica (2023)

<sup>6</sup> Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

<sup>7</sup> (Montenegro Padilla, 2014) . Calibración del método de parámetro de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana



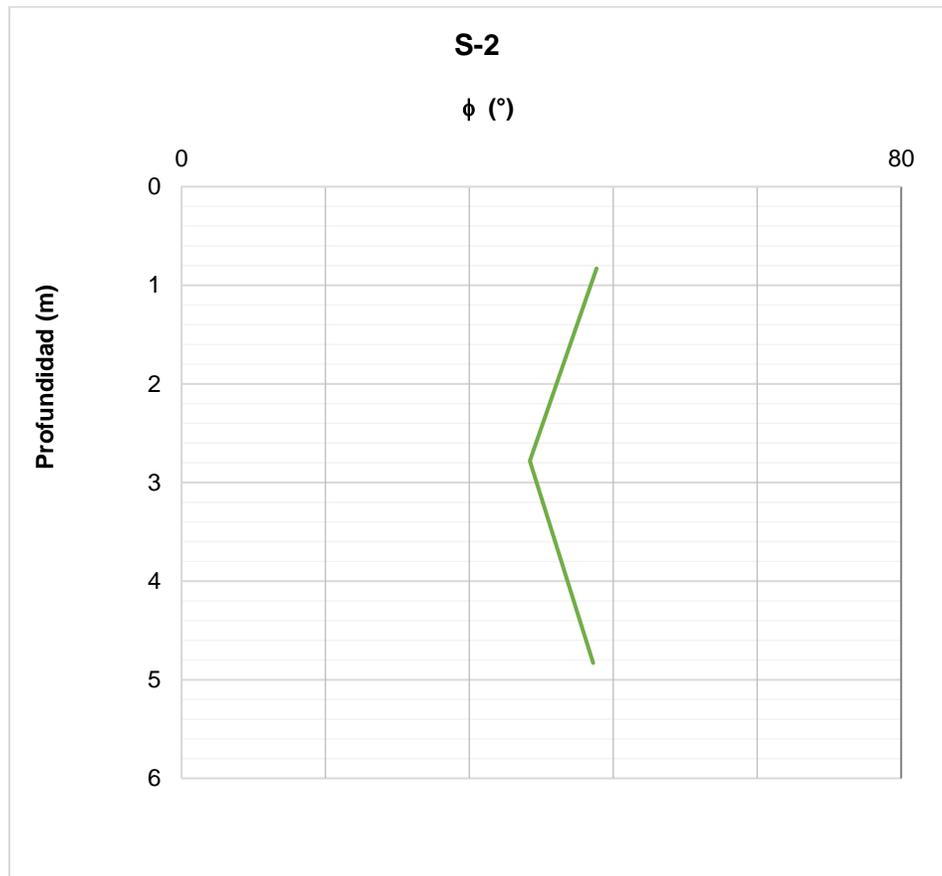
**Figura 47. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1**

- SONDEO 2**

**Tabla 26. Resultados de  $\phi$  y  $c'$  S-2**

<b>Profundidad media</b>	<b><math>\phi</math></b>	<b><math>c'</math></b>
0.83	46.1	177
2.78	38.7	131
4.83	45.7	200

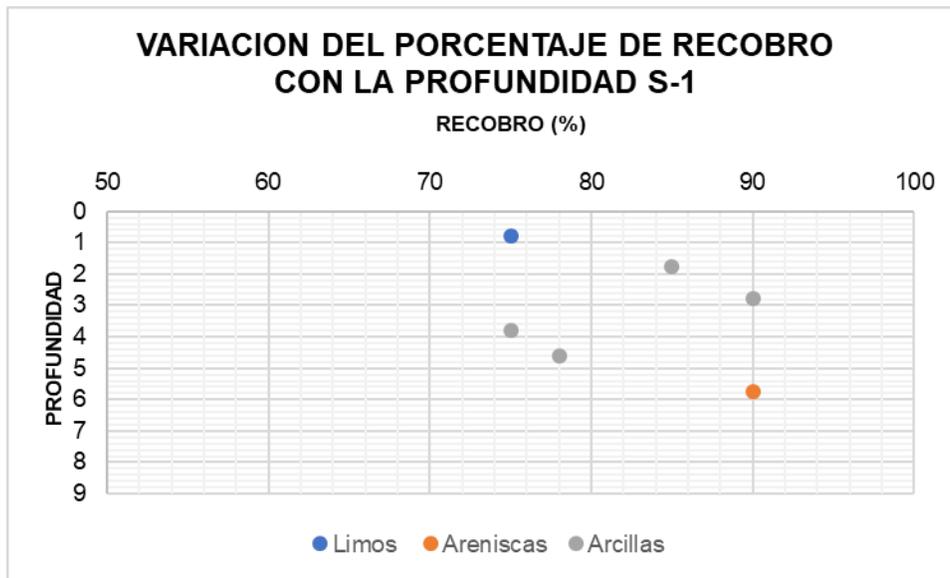
Fuente Geodinámica (2023)



**Figura 48. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2**

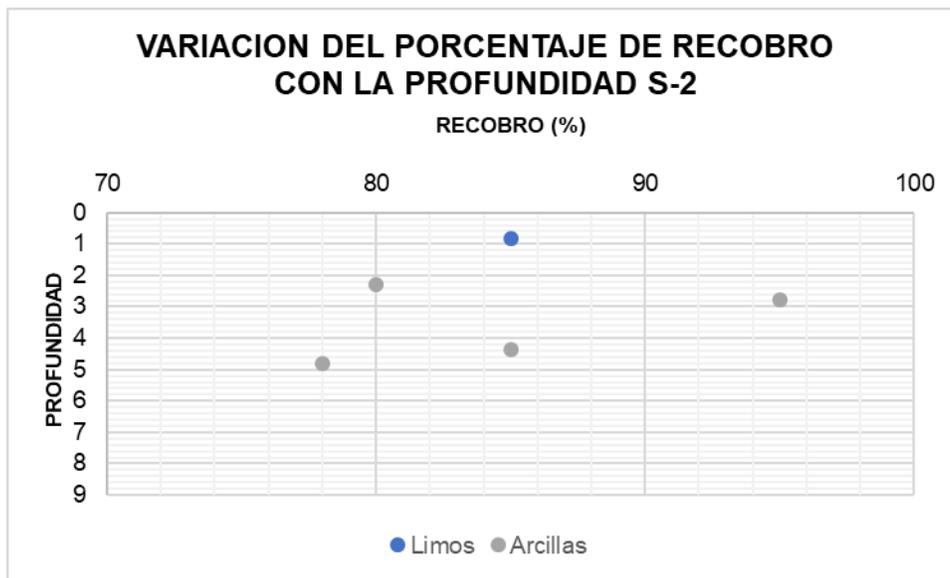
### 12.3.2.2 PORCENTAJE DE RECOBRO

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 49. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1**  
 Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

Para el sondeo S-2 se observa que el porcentaje de recobro de las muestras está en una variación entre el 70 y el 100 %, tal como se indica en la siguiente Figura.



**Figura 50. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2**

## 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 límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, determinación de contenido de agua, compresión inconfínada, hidrometrías, corte directo en condición CD y determinación del contenido orgánico. Las cantidades de ensayos se muestran en la siguiente tabla.

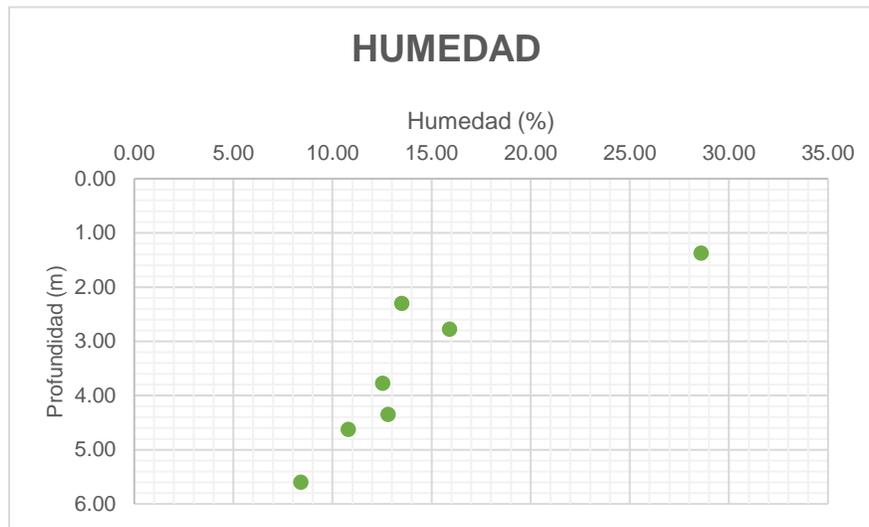
**Tabla 27 – Cantidades de ensayos realizados para el nodo Sumapaz**

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANTIDAD
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	5
Determinación de la densidad (peso unitario) de muestras de suelo.	6
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	1
Determinación límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	2
Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo - agregado	6
Compresión inconfínada en muestras de suelo	1
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (granulometría por tamizado e hidrometría)	2
Corte directo en condición CD, consolidada - drenada (3 puntos)	1
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición	1

(\*) Se toma un resultado de peso unitario de los ensayos de compresión inconfínada

### 12.4.1 HUMEDAD NATURAL Y LIMITES DE ATTERBERG

La humedad natural a lo largo del perfil del subsuelo presenta una variación entre 8.40 % a 28.60 %, 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 51. % Humedad Vs Profundidad**

### 12.4.2 LIMITES DE ATTERBERG

Para este nodo, se realizaron dos ensayos de límites de Atterberg para la muestra 4 del sondeo 2 y para el cubo del apique 1, a continuación es posible observar el límite líquido el cual permite determinar el porcentaje de humedad con que un suelo cambia, 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.

- **S2(M4):**
  - El límite líquido → 27%
  - Límite plástico → 12%
  - Índice de plasticidad → 15%.
  
- **AP-1 (CUBO):**
  - El límite líquido → 46%
  - Límite plástico → 29%

- Índice de plasticidad  $\rightarrow$  17%.

De acuerdo con la carta de plasticidad los materiales clasifican como Arenas limosas, mezcla de arena y limo (SM), tal como se incluye en la siguiente Figura.

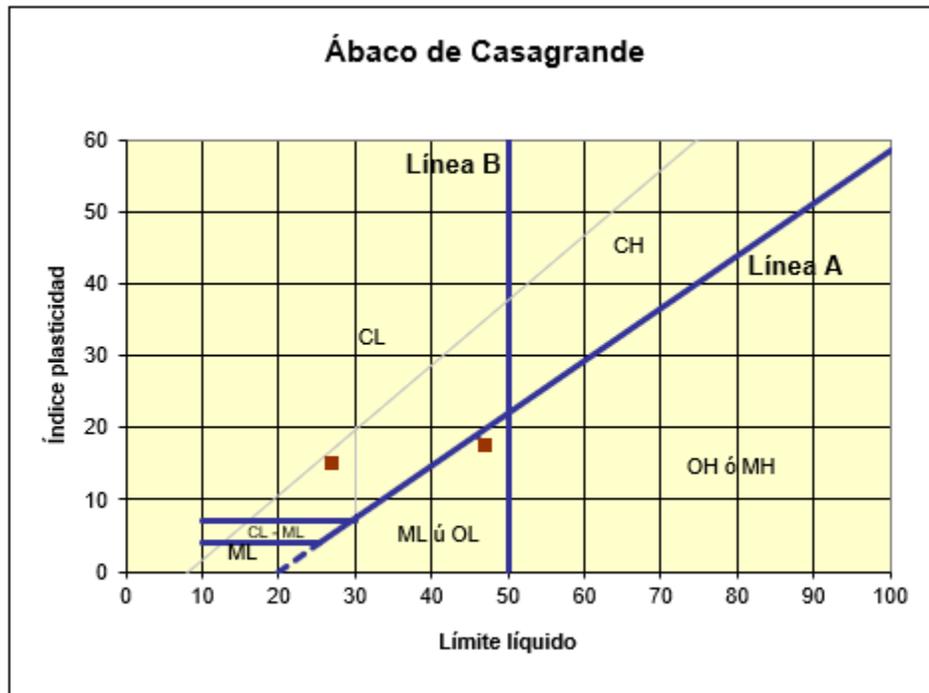


Figura 52. % Carta de plasticidad de Casagrande

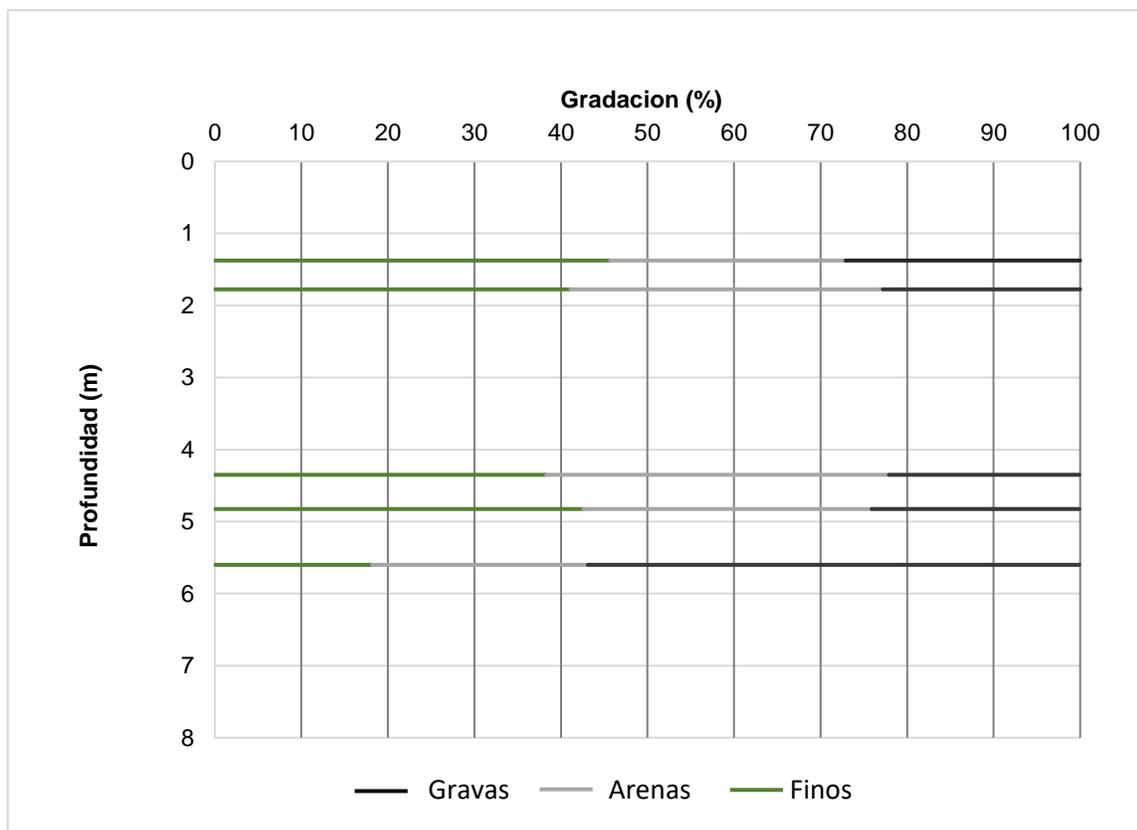
### 12.4.3 GRANULOMETRÍA

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados, para una profundidad entre 1.25 m y 1.50 m, es posible encontrar una composición granulométrica de 45.70% finos, 27.20% arenas y 27.10% de gravas. A 1.55 m y 2.00 m de profundidad, se presenta una composición granulométrica promedio de 41.10% de finos, 36.1% de arenas y 22.8% de gravas.

La composición granulométrica promedio para el material identificado como Arcilla plástica con gravas finas medias a los 4.10 m hasta 4.60 m de profundidad, es de 38.30% de finos, 39.60% de arenas y 22.0% de gravas.

A 4.6 hasta 5.05 m de profundidad, la composición granulométrica promedio es de 42.60% de finos, 33.30% de arenas y 24.00% de gravas. Para el material Conglomerado de arenisca, gravas, fragmentos sub redondeada, arena fina intercalada en matriz arcilla plástica entre 5.40 m y 5.80 m de profundidad, la composición granulométrica promedio es de 18.20% de finos, 24.90% de arenas y 56.80% de gravas.

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



**Figura 53. Distribución granulométrica Vs profundidad**  
 Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

#### 12.4.4 PESO UNITARIO:

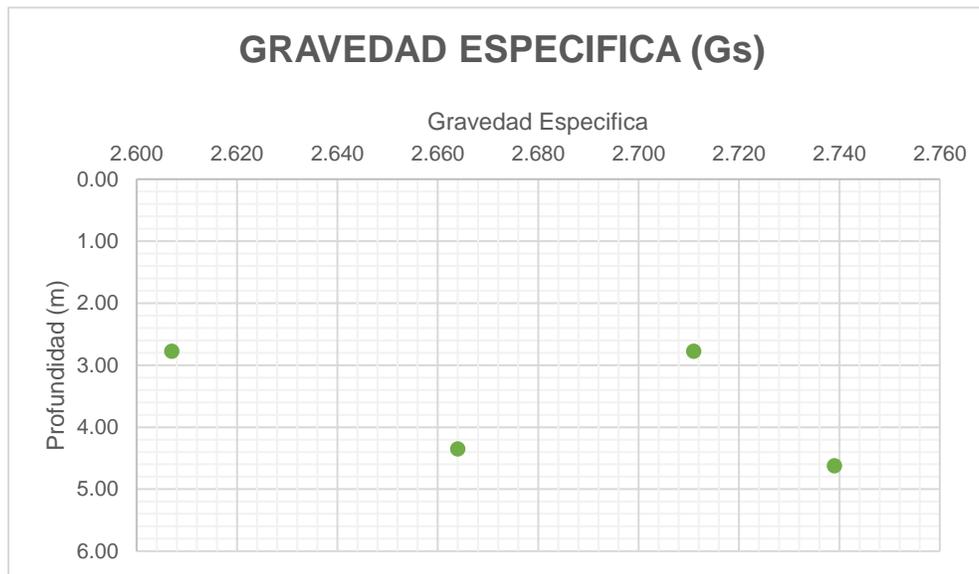
El peso unitario total presenta una variación entre 20.03 kN/m<sup>3</sup> a 21.54 kN/m<sup>3</sup>, con un valor promedio de 20.81 kN/m<sup>3</sup>.



**Figura 54. Peso unitario Vs. Profundidad**

#### 12.4.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA:

Para este nodo, el valor de gravedad específica ( $G_s$ ) obtenido se encuentra entre de 2.607 a 2.739.



**Figura 55. % Gravedad específica Vs Profundidad**

## 12.4.6 CORTE DIRECTO

Este ensayo se realizó sobre 1 muestra extraída del presente estudio, permitiendo determinar las condiciones o parámetros de resistencia de los materiales más superficiales o rellenos, junto con el material identificado del S2 (M4) sobre el cual se extrajo una muestra representativa por medio de barrena. El valor obtenido para ángulo de fricción es de 34.8° y de 6.87 kPa para cohesión.

Tabla 28 – Resultados de ensayos de corte directo

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Cohesión c' kPa	Ángulo de fricción ( $\phi'$ )
S2	4	2.55 – 5.05	Arcilla plástica con gravas finas medias, trazas de color ocre, trazas cafés con arena fina intercalada, humedad alta, consistencia dura, color de la muestra gris oscuro.	6.87	34.8

## 12.4.7 HIDROMETRIAS:

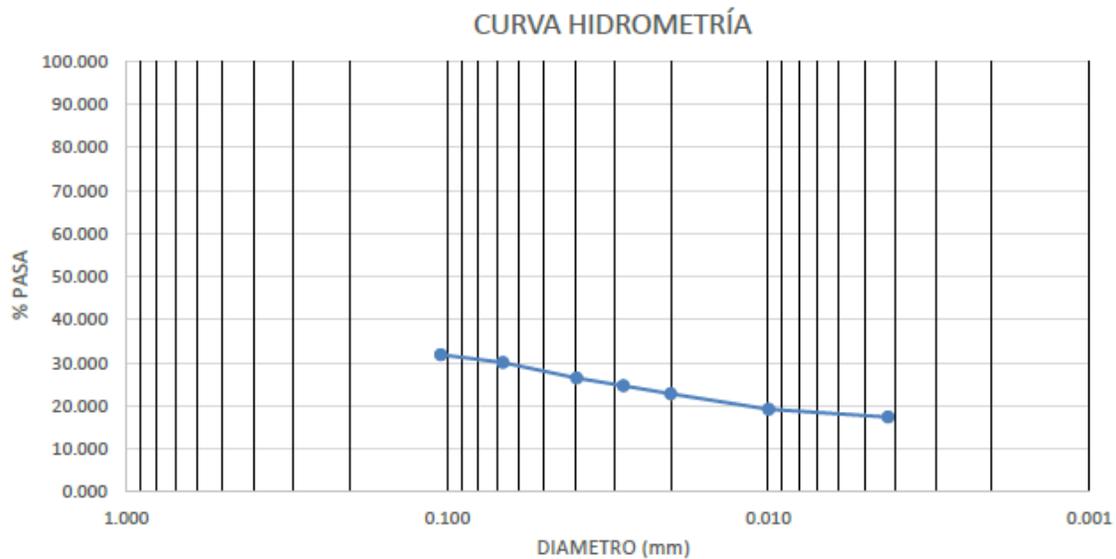
Este ensayo se realizó en dos muestras extraídas del presente estudio, en los materiales identificados del S1 (M3) y S2 (M3), en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

### - S1 (M3):

En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

- % de gravas → 33.8%
- % de arena gruesa → 10.0%
- % de arena media → 11.8%
- % de arena fina → 13.9%
- **% de finos → 30.4%**
- ✓ % de Limos → 3.9%
- ✓ % de arcillas → 26.5%

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



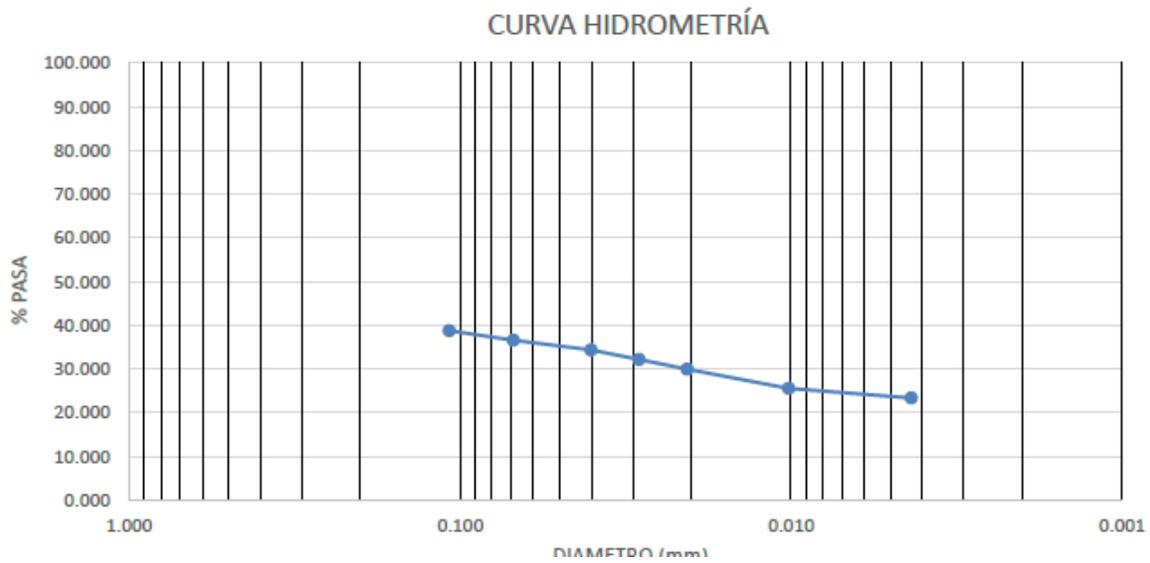
**Figura 56. % Curva Hidrometría S1(M3)**  
**Fuente: Bateman Ingeniería S.A.S. (2023)**

- **S2 (M3):**

En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

- % de gravas → 19.0%
- % de arena gruesa → 13.9%
- % de arena media → 15.3%
- % de arena fina → 13.0%
- **% de finos → 38.8%**
- ✓ % de Limos → 5.2%
- ✓ % de arcillas → 33.7%

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



**Figura 57. % Curva Hidrometría S2(M3)**  
**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:



## 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 29. Parámetros estimados para cada sondeo**

Profundidad media	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)
<b>Sondeo 1</b>		
1.8	44.5	200
2.8	48.0	200
3.8	51.9	200
4.6	51.5	200
5.73	60.8	200
<b>Sondeo 2</b>		
0.83	46.1	177
2.78	38.7	131
4.83	45.7	200

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

**Tabla 30. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio**

Profundidad media	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)
<b>S2 (M4)</b>		
4.35	34.8	6.86

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

### 12.5.2 SUELO TRANSPORTADO GLACIAR (Stg).

#### 12.5.2.1 Sondeo 1:

##### 12.5.2.1.1 Muestra 2:

Profundidad media	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)
1.8	44.5	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 30$ , donde para la profundidad media de 1.8 m, se encuentra una arcilla limo arenosa, la cual presenta teóricamente un valor de  $44.5^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, ya que el material presenta una consistencia dura.

##### 12.5.2.1.2 Muestra 3:

Profundidad media	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)
2.8	48.0	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 38$ , donde para la profundidad media de 2.8 m, se encuentra un material idéntico al anterior, la cual presenta teóricamente un valor de  $48.0^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, ya que el material presenta una consistencia dura.

#### 12.5.2.1.3 Muestra 4:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
3.8	51.9	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 48$ , donde para la profundidad media de 3.8 m, se encuentra un material idéntico al anterior, la cual presenta teóricamente un valor de  $51.9^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, ya que el material presenta una consistencia dura.

#### 12.5.2.1.4 Muestra 5:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
4.6	51.5	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 48$ , donde para la profundidad media de 4.6 m, se encuentra un material idéntico al anterior, la cual presenta teóricamente un valor de  $51.5^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, ya que el material presenta una consistencia dura.

#### 12.5.2.1.5 Muestra 6:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
5.73	60.8	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 48$ , donde para la profundidad media de 5.73 m, se encuentra un material Conglomerado de arenisca, gravas, fragmentos sub redondeada, arena fina, donde se presenta rechazo, el cual presenta teóricamente un valor de  $60.8^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, ya que en este punto se encuentra roca.

### 12.5.2.2 Sondeo 2:

#### 12.5.2.2.1 Muestra 1:

Profundidad media	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)
0.83	46.1	177

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 27$ , donde para la profundidad media de 0.83 m, se encuentra un limo orgánico, el cual presenta teóricamente un valor de  $46.1^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 177 kPa, es importante tener en cuenta que, aunque el material encontrado a esta profundidad presenta características diferentes al material al que se le realizó el ensayo de laboratorio, dicho parámetro se toma para el análisis estadístico considerando la presencia de materiales finos.

#### 12.5.2.2.2 Muestra 3:

Profundidad media	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)
2.78	38.7	131

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 21$ , donde para la profundidad media de 2.78 m, se encuentra una arcilla plástica, el cual presenta teóricamente un valor de  $38.7^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 131 kPa, es importante tener en cuenta que, aunque el material encontrado a esta profundidad presenta características diferentes al material al que se le realizó el ensayo de laboratorio, dicho parámetro se toma para el análisis estadístico considerando la presencia de materiales finos.

#### 12.5.2.2.3 Muestra 5:

Profundidad media	$\phi$ (°)	$c'$ (kPa)
4.83	45.7	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 36$ , donde para la profundidad media de 4.83 m, se encuentra una arcilla plástica, la cual presenta teóricamente un valor de  $45.7^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando las características del material.

### 12.5.3 Ángulo de fricción ( $\phi$ ):

Para el ángulo de fricción, se obtiene:

**Tabla 31. Análisis estadístico (Ángulo de fricción)**

$\phi$ ( $^\circ$ )	
Media	42.42813482
Error típico	3.708229302
Mediana	42.42813482
Moda	#N/D
Desviación estándar	5.244228172
Varianza de la muestra	27.50192912
Curtosis	#¡DIV/0!
Coefficiente de asimetría	#¡DIV/0!
Rango	7.416458605
Mínimo	38.71990551
Máximo	46.13636412
Suma	84.85626963
Cuenta	2

Teniendo en cuenta los valores teóricos del ángulo de fricción, se obtienen como medio un valor de  $42.43^\circ$ , 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 5.24.

### 12.5.4 Cohesión ( $c'$ ):

Para la cohesión, se obtiene:

**Tabla 32. Análisis estadístico (cohesión)**

$c'$	
Media	154
Error típico	23

Mediana	154
Moda	#N/D
Desviación estándar	32.5269119
Varianza de la muestra	1058
Curtosis	#¡DIV/0!
Coefficiente de asimetría	#¡DIV/0!
Rango	46
Mínimo	131
Máximo	177
Suma	308
Cuenta	2

Teniendo en cuenta los valores teóricos de la cohesión, se obtienen como media un valor de 154 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 32.5.

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 33. Análisis estadístico de parámetros**

Porcentaje (%)	$\phi$	$c'$
40%	42.4	154.0
60%	34.8	6.9
100%	37.85	65.72

### 12.5.5 PESO UNITARIO:

Para el peso unitario, se obtiene:

**Tabla 34. Análisis estadístico (Peso Unitario)**

<b><i>Peso Unitario (kN/m<sup>3</sup>)</i></b>	
Media	20.8133333
Error típico	0.26335865
Mediana	20.73
Moda	#N/D
Desviación estándar	0.64509431
Varianza de la muestra	0.41614667
Curtosis	2.26500339
Coefficiente de asimetría	0.1048498
Rango	1.51
Mínimo	20.03
Máximo	21.54
Suma	124.88
Cuenta	6

Teniendo en cuenta los resultados de los pesos unitarios obtenidos en el laboratorio, se tiene como media un valor de 20.8 kN/m<sup>3</sup>, 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 0.65.

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

**Tabla 35. Parámetros Geotécnicos (Stg)**

$\phi$ (°)	C' (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
37.85	65.72	20.8

### 12.5.6 SUELO TRANSPORTADO ALUVIÓN (Sta)

Los parámetros geotécnicos para este suelo, se toman de un proyecto realizado a la quebrada Chiguaza denominado “Realizar La Consultoría Técnica Para Adquirir, Procesar Y Presentar Información Topográfica, Batimétrica, Exploración Geotécnica Y Ensayos Para La Cuenca De La Quebrada Chiguaza, Como Insumos De La Evaluación Detallada De Amenaza Y Riesgo Por Avenidas Torrenciales Y/O Crecientes Súbitas (Grupo 2) en la ciudad de Bogotá,

dichos parámetros se toman de este estudio considerando el área del proyecto y que el material encontrado allí es un aluvión.

**Tabla 36. Parámetros Geotécnicos (Sta)**

$\phi$ (°)	C' (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
12.60	44.13	20.54

## 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 aluvión 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).

Secuencia predominante de arcillolitas gris claras y abigarradas, en capas de estratificación gruesa, con intercalaciones de cuarzoarenitas, de colores grises de grano fino a medio, en capas delgadas, y limolitas con esporádicos mantos de carbón.

Son rocas de resistencia blanda para los niveles arcillolíticos, mientras que para los de composición arenácea son de resistencia intermedia, en general moderadamente fracturadas. En el polígono no aflora la unidad, las labores de exploración realizadas no la detectaron 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.

### 12.6.2 Suelo transportado Glaciar (Stg).

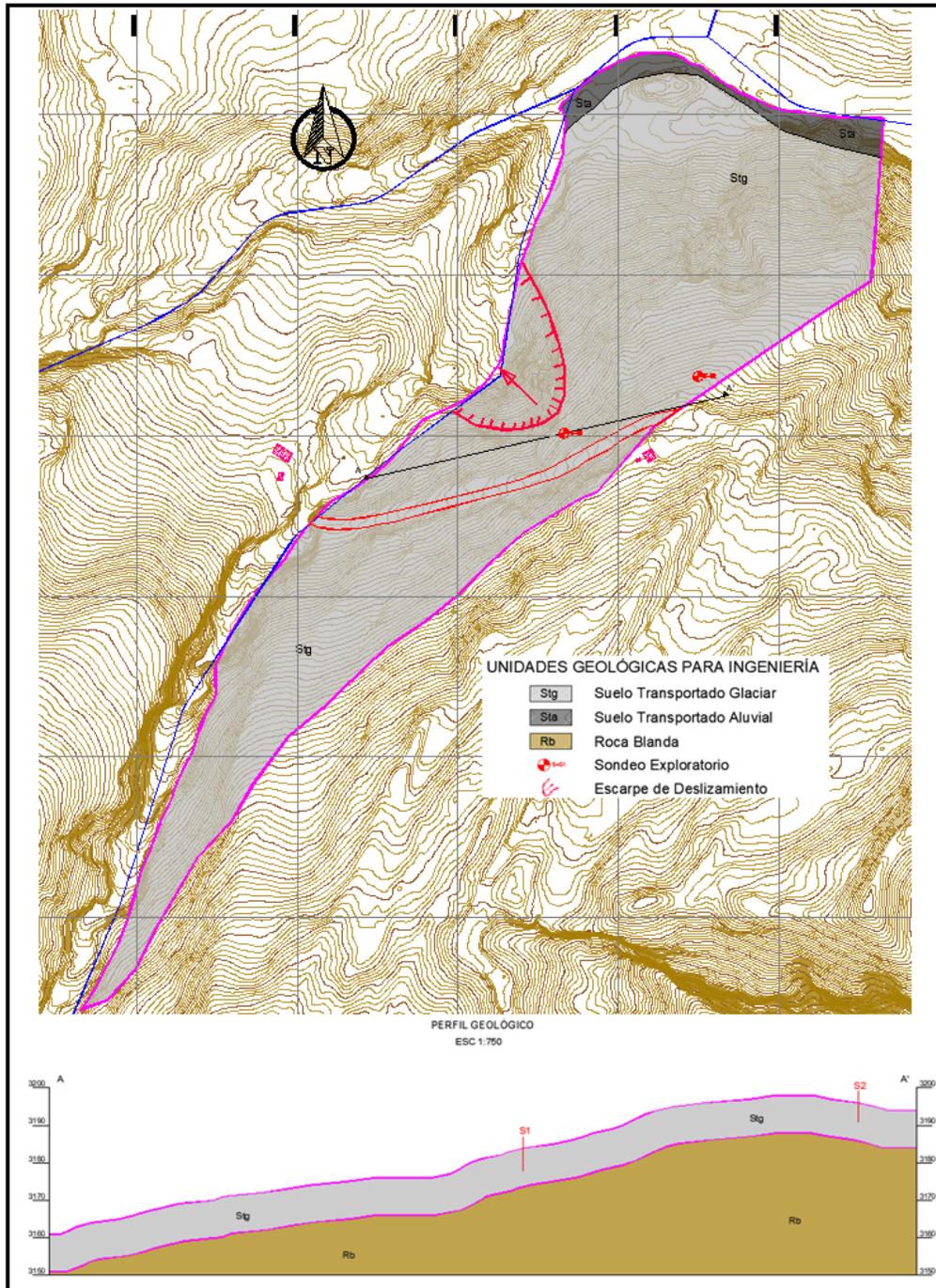
Suelo integrado por horizontes de arcillas y limos con intercalaciones de arenas, y arcillas orgánicas; los niveles de arcilla y limo presentan consistencia media a alta, se presentan horizontes donde predominan los fragmentos a bloques de arenisca; la exploración realizada mostro que hay un predominio de la armazón sobre la matriz fina que integra el depósito.

En superficie algunos sectores del polígono se observan bloques redondeados de arenisca, que en algunos casos están agrupados, condición característica de los depósitos glaciares. El depósito fluvio-glaciar ocupa toda el área del polígono, recubre en forma discordante a roca blanda, de acuerdo con los resultados obtenidos de la exploración, no es posible definir el espesor de esta unidad, por lo cual se estima como posible espesor entre 10 y 15 m.

### 12.6.3 Suelo transportado aluvión (Sta)

Corresponde al depósito reciente no consolidado, que conforma el cauce y orillas del río Taquegrande que atraviesa el área de estudio en el sector norte. Conformado por cantos a bloques de areniscas cuarzosas, en general de forma subredondeada a redondeada, en una

matriz de grava, arena y ocasionalmente limo. Esta unidad se localiza en el sector norte paralela a la margen derecha del río Taquegrande.



**Figura 59. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Sumapaz. Escala 1:5000**

**Tabla 37 Características zonas geotécnicas**

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

Humedad:	8.4 – 26.6 %
Peso Unitario:	20.80 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	37.85°
Gravedad específica	2.451 - 2.77
Cohesión	65.72 kPa

**Material 2: Suelo transportado aluvión (Sta).**

Peso Unitario:	22.54 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	12.60°
Cohesión	44.13 kPa <sup>8</sup>

**Material 3: Roca blanda (Rb).**

Peso Unitario:	22.9 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	45°
Carga puntual	58 MPa <sup>9</sup>

**Tabla 38 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT**

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)
Stg	20.80	65.72	37.85
Sta	22.54	44.13	12.60
Rb	22.9	200	45

Fuente Geodinámica (2023)

<sup>8</sup> Datos de roca cercana no se alcanzó la roca\*

<sup>9</sup> Datos de roca cercana no se alcanzó la roca\*

## 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 39. Tabla resumen de nivel freático**

Sondeo	Nivel Freático (m)
S-1	2.35
S-2	2.25
AP-1	1.60

### 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 60. 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 61. 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:

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

$$P = \text{Precipitación diaria}$$

Con los datos de precipitación infiltrada en 24 horas, se procedió a calcular 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 fórmula:

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

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

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

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

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

$$\bar{p}_f = \frac{p_{f_1} + p_{f_2} + \dots + x_n}{n}$$

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:

$$P_{f20} = (\bar{P}_f - 1.65CVP_f) - (I_{i20} * 24)$$

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:

- **Cubierta de pasto (50% al 75%)** → % Pastos Limpios
- **Cubierta de pasto (75% o más)** → % Arbustal Abierto + % Vegetación Secundaria
- **Cultivos sin tratamiento de conservación** → % Papa + % Tierras Desnudas
- **Calles y carreteras** → % Red vial

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

**Tabla 40. 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	Cubierta de pasto (50% al 75%)	79.00	2.34	15.00	12.66
	Cubierta de pasto (75% o más)	74.00	2.24	15.00	12.76
	Cultivos sin tratamiento de conservación	88.00	1.59	15.00	13.41
	Calles y carreteras	89.00	2.34	15.00	12.66
Sta	Cubierta de pasto (50% al 75%)	79.00	2.34	15.00	12.66
	Cubierta de pasto (75% o más)	74.00	2.24	15.00	12.76

## 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  $\beta$
- Peso específico del suelo  $\gamma$
- Presión de poros  $\mu$
- Cohesión  $c$
- Tensión vertical efectiva sobre el plano de deslizamiento  $\sigma$
- Resistencia al corte sobre el plano de deslizamiento  $\sigma_n$
- Resistencia al esfuerzo cortante  $\tau_f$
- Angulo de rozamiento del terreno  $\phi$

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

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

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

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:

$$Tensión\ perturbadora = \frac{\gamma Z}{2} * \text{sen}2\beta$$

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

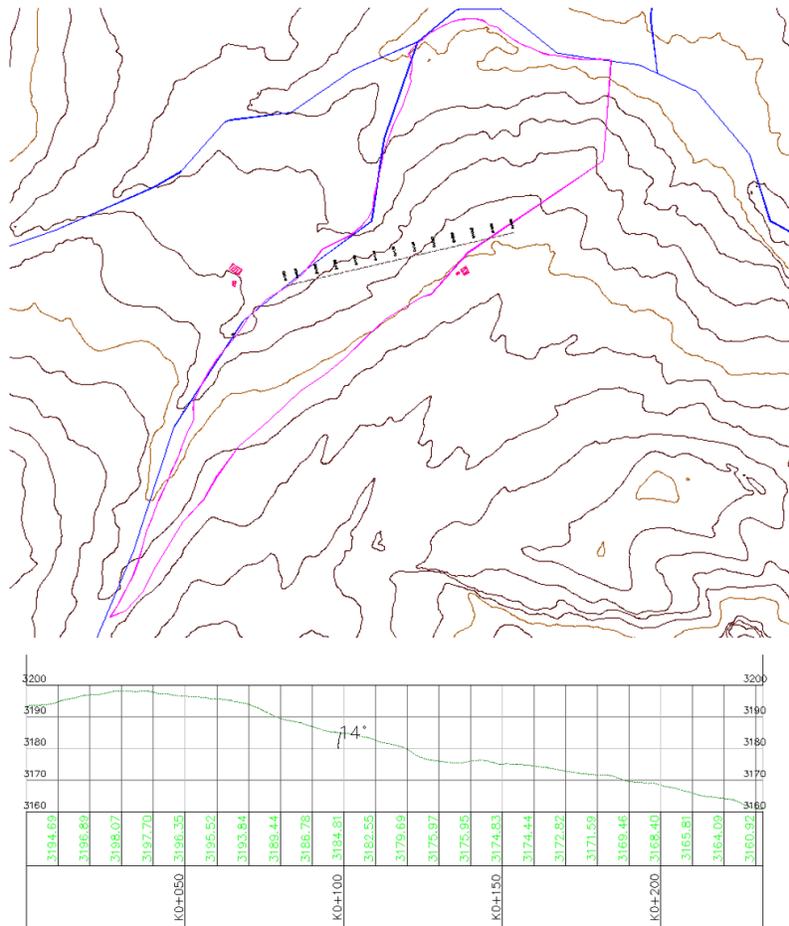
$$r_u = \frac{\mu}{Z}$$

Como se menciona anteriormente el factor de seguridad varia 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:

$$F = \frac{c + (z * \cos\beta^2 * \gamma - \mu) * \tan\phi}{\frac{\gamma Z}{2} * \text{sen}2\beta}$$

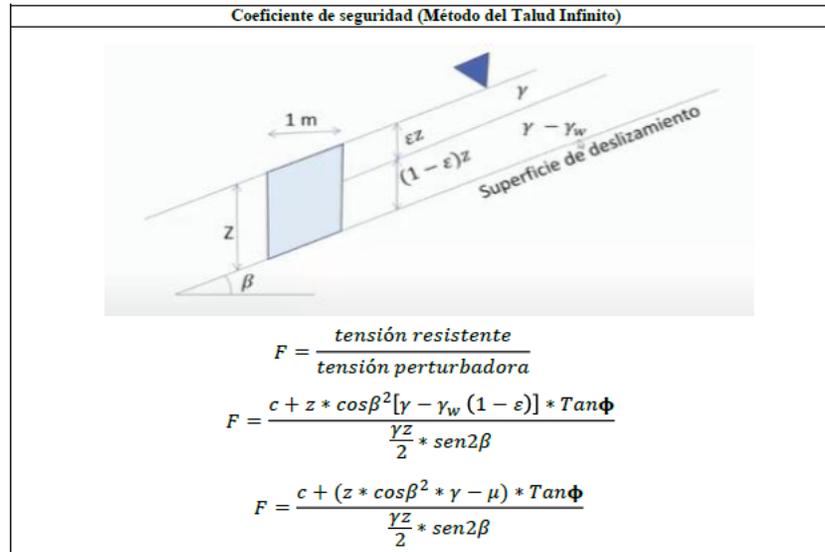
### 12.8.1.1 Angulo de inclinación de la horizontal $\beta$

El valor del Angulo beta para el polígono de estudio es de  $\beta = 14^\circ$



**Figura 62. Planta y perfil Angulo  $\beta$**

<b>GEODINAMICA INGENIERIA</b> 	<b>METODO DEL TALUD INFINITO SUMAPAZ</b>	 Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
<b>No. DEL PROYECTO:</b>	188 Zonificación Sumapaz	



DATOS ENTRADA		
c	65.72	kN/m <sup>2</sup>
z	12	m
z <sub>w</sub>	1.6	m
γ	20.8	kN/m <sup>3</sup>
γ <sub>w</sub>	9.81	kN/m <sup>3</sup>
β	4	°
Φ	37.85	°

DATOS SALIDA		
β	0.0698132	Rad
Φ	0.6606071	Rad
μ	15.696	kN/m <sup>2</sup>
<b>F<sub>s</sub></b>	<b>14.194</b>	

RESULTADO	
<b>F<sub>s</sub></b>	14.194
¿ALTA?	NO
¿MEDIA?	NO
¿BAJA?	SI

**Figura 63. 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 largo del presente informe, 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 64. 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 fluvio-glaciares 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:

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

- ✓ Altura de la masa deslizante  $\rightarrow z$
- ✓ Angulo de inclinación de la horizontal  $\rightarrow \beta$
- ✓ Peso específico del suelo  $\rightarrow \gamma$
- ✓ Presión de poros  $\rightarrow \mu$
- ✓ Cohesión  $\rightarrow c$
- ✓ Angulo de rozamiento del terreno  $\rightarrow \phi$
- ✓ Presión de poros  $\rightarrow \mu$

### 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  $\Phi'$   $\rightarrow$  Son los parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en término de esfuerzos efectivos.

$\gamma$   $\rightarrow$  Es el peso unitario del suelo.

$b$   $\rightarrow$  Es el ancho de la tajada (ancho de la celda).

$h$   $\rightarrow$  Es la altura de suelo por encima de la superficie potencial de deslizamiento.

$\gamma_w$   $\rightarrow$  Es el peso unitario del agua.

$h_w$   $\rightarrow$  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.

$\alpha$   $\rightarrow$  Es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

$k$   $\rightarrow$  Es el coeficiente de aceleración horizontal para un periodo de retorno de 100 años.

Los parámetros  $c'$  y  $\tan(\phi')$  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 aluvión 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 fluvial, donde se determina a partir de un análisis de pendientes que sobre la zona se presentan Laderas Onduladas Glaciares y planicies de inundación Inclinadas, moderadamente abruptas y abruptas.

Dentro del nodo de estudio se evidencio un proceso morfodinámico en una ladera cercana a la margen izquierda del rio Taquecito se presenta un proceso de remoción en masa, corresponde a un deslizamiento rotacional que transportó material hasta la parte media de la ladera, dicho proceso presenta una distribución retrogresiva, a dicho proceso se le realizo un inventario, teniendo en cuenta el formato del Servicio Geológico Colombiano (2016).

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  $A_0 = 0.28$  para una tasa de retorno (TR) de 475 años

Mediante la metodología Corinne Land Cover, las coberturas del nodo de estudio se clasifican en red vial, cultivos, pastos, vegetación y tierras desnudas. 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 Los Tanques, 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 los ensayos realizados en 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, anexo en la carpeta PLANOS SUMAPAZ denominados Amenaza-Actual y Amenaza-Futura

## 12.10.1 AMENAZA ACTUAL:

### 12.10.1.1 Nivel de amenaza alto:

Corresponde al 23.48% 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 27.28 mm desde el año 1981 al 2023 y la precipitación media anual presenta un valor promedio de 918.54 mm, el coeficiente de aceleración máximo horizontal es de 0.24 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 alta, dentro del polígono se observa un proceso morfodinámico en una ladera cercana a la margen izquierda del río Taquecito se presenta un proceso de remoción en masa, corresponde a un deslizamiento rotacional que transportó material hasta la parte media de la ladera, dicho proceso presenta una distribución retrogresiva. 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 67.11% 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.

### 12.10.1.3 **Nivel de amenaza bajo:**

Este nivel de amenaza, se presenta en zonas muy puntuales del nodo, específicamente en un área de 9.41% considerando que de acuerdo al análisis realizado y a los parámetros empleados son zonas que presentan pendientes bajas, y no presentan problemas en un evento de sismo o lluvias fuertes.

## 12.10.2 AMENAZA FUTURA:

### 12.10.2.1 **Nivel de amenaza alto:**

Corresponde al 90.59 % 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 27.28 mm desde el año 1981 al 2023 y la precipitación media anual presenta un valor promedio de 918.54 mm, el coeficiente de aceleración máximo horizontal es de 0.24 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 alta, dentro del polígono se observa un proceso morfodinámico en una ladera cercana a la margen izquierda del río Taquecito se presenta un proceso de remoción en masa, corresponde a un deslizamiento rotacional que transportó material hasta la parte media de la ladera, dicho proceso presenta una distribución retrogresiva. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son severas, ya que pueden generar pérdidas humanas, de viviendas y cultivos.

### 12.10.2.2 **Nivel de amenaza medio:**

Corresponde al 9.41% del área total de estudio, principalmente en zonas muy puntuales del nodo, 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. Para este nivel existe una posibilidad en que se generen movimientos en masa como deslizamientos, reptaciones y flujos. Es necesario que la comunidad haga uso y manejo adecuado del suelo, además, se recomienda generar políticas ambientales donde se hallan extinto las coberturas.

## 12.11 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](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 por este movimiento, se depositaría directamente sobre el río Taquegrande. Para el análisis de amenaza, la zona de afectación se deja en nivel alto (color rojo), considerando que dicho fenómeno presenta una distribución retrogresiva, que para condiciones futuras puede afectar la vía que pasa sobre el polígono de estudio.

### 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 Guaduas (KPgg), depósito de aluvión (Qal) y roca blanda (Rb5).
- B. El polígono evaluado, una estructura sinclinal que corresponde a la continuación del Sinclinal de Usme, es una estructura estrecha de poca longitud que se encuentra afectada por una falla de cabalgamiento que pone en contacto las dos estructuras sinclinales, dentro del polígono no se evidencian unidades geológicas de superficie.
- C. En la geología local del nodo Sumapaz, fue posible encontrar material clasificado como suelo transportado glaciar, suelo transportado aluvión 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 elemento de origen fluvial denominado Planicie de inundación (Fpi), 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 de los procesos morfodinámicos encontrados dentro del polígono, donde se generó el inventario de aquellos procesos que son cartografiables a escala 1:5.000.
- F. El coeficiente de aceleración para este nodo de estudio, es de  $A_0 = 0.28$  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 red vial, cultivos, pastos, vegetación y tierras desnudas, donde se presenta dominancia de la cobertura de pastos limpios en un área de 3,53ha correspondiente a 51,4%, seguido de la vegetación secundaria baja y el arbustal abierto, en este nodo se evidencia la mayor presencia de áreas naturales en el sector sur.
- 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 Los tanques, 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 no 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  $\phi$ , donde se grafican puntos ( $\sigma_v$ ,  $\tau$ ) 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  $\phi$ .

- 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 inconfiada, hidrometrías, corte directo en condición CD, consolidación rápida, 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  $\phi$  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 23.48% 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 67.11% del área de estudio presenta un nivel de amenaza medio, mientras que el 9.41% del área representa nivel de amenaza bajo.

- V. En la zonificación futura se caracterizan dos niveles de amenaza, en lo cual el 90.59% 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. El 9.41% del área total del polígono se encuentra en amenaza media.
- 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. Dentro del nodo de estudio se presenta un movimiento activo, el material transportado por este movimiento, se depositaría directamente sobre el río Taquegrande. Para el análisis de amenaza, la zona de afectación se deja en nivel alto (color rojo), considerando que dicho fenómeno presenta una distribución retrogresiva, que para condiciones futuras puede afectar la vía que pasa sobre el polígono de estudio.

## 14 BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldesa Local de Sumapaz, A. d. (29 de 12 de 2022). *Identificación y Priorización de 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). *Hidrología aplicada*. Bogotá.
- Colombiano, S. G. (s.f.). [http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado\\_Cartografia\\_Geologica/](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 solicitud de activos o contenido de estos en la zona*.
- EPM. (s.f.). *Respuesta a solicitud 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](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 Civi* .
- 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 GEOLOGICO, C. (2016). *GUIA METODOLOGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA*. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Guia-Metodologica-27-07-2016.pdf>
- 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](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 analysis. In: Brunsden, D., Prior, D.B (ed.) Slope Instability. 523-602. Wiley & Sons, New York.
- VAN WESTEN, C. 2003. GISSIZ: training package for Geographic Information Systems in Slope Instability Zonation. Handout Conferences, 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.
- Geodinámica Ingeniería. 2021. Realizar La Consultoría Técnica Para Adquirir, Procesar Y Presentar Información Topográfica, Batimétrica, Exploración Geotécnica Y Ensayos Para La Cuenca De La Quebrada Chiguaza, Como Insumos De La Evaluación Detallada De Amenaza Y Riesgo Por Avenidas Torrenciales Y/O Crecientes Súbitas (Grupo 2). Parámetros geotécnicos de un aluvión.
- 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). Calibración del método de parámetro de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana.

## 15 ANEXOS

- 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 SUMAPAZ
- RASTER
- INFORME EJECUTIVO
- INFORME FINAL
- PRESENTACIÓN NODO SUMAPAZ