



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

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 TUNAL ALTO

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.

 <p>ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C. AMBIENTE Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático</p>	<p>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</p>	
--	---	---

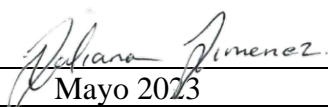
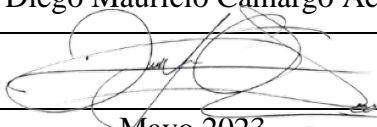
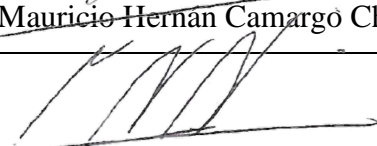
HOJA DE CONTROL

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:	

AUTOR: GEODINÁMICA INGENIERÍA S. A	CONTRATO 278 DE 2022	Página 2
------------------------------------	-----------------------------	------------

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

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN DE INTERVENTORÍA

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

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	12
2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS.....	13
3	VERIFICACIÓN DEL POLIGONO	14
4	METODOLOGIA EMPLEADA Y PLAN DE TRABAJO.....	15
4.1	METODOLOGIA.....	15
5	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	19
5.1	GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ:.....	19
5.1.1	GEOMORFOLOGIA	19
5.2	CUENCA RIO SUMAPAZ:.....	21
5.2.1	Suelos:	22
5.2.2	Pendientes de la localidad Sumapaz, Cuenca Rio Sumapaz:	23
5.2.3	Clima:	23
5.3	DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO TUNAL ALTO:.....	23
5.3.1	Amenaza:	23
5.3.2	Pendientes Polígono Tunal Alto.....	24
5.3.3	Precipitaciones:.....	25
5.3.4	Hidrogeología.....	26
5.3.5	Estudios previos.....	28
5.3.6	Información secundaria	29
6	GEOLOGÍA	38
6.1	GEOLOGÍA REGIONAL	38
6.1.1	ESTRATIGRAFÍA.....	38
6.1.2	UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES	39
6.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	41
6.3	GEOLOGÍA LOCAL	43
6.3.1	Suelo residual arcilloso (Sra).....	43
6.3.2	Roca Blanda arcillosa (Rba).....	43
7	GEOMORFOLOGÍA	45
7.1	ELEMENTO DE ORIGEN GLACIAR.....	45
7.1.1	Ladera ondulada glaciar (Glo).....	45
7.2	ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS:.....	47

8	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	48
9	SISMOLOGÍA	49
10	COBERTURA Y USOS DEL SUELO	50
10.1	COBERTURA DE LA TIERRA	50
10.2	USO ACTUAL DEL SUELO.....	56
10.3	RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO: 58	
11	HIDROLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL	60
11.1	INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	60
11.2	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	61
11.3	ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.....	61
11.4	PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES.	61
11.5	NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN	62
11.6	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.	63
11.6.1	ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF.	64
11.6.2	IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA	68
11.7	OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES: 69	
11.8	CAUDALES DE DISEÑO	77
11.9	EVALUACIÓN HIDRÁULICA	82
11.10	EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN	84
11.11	BALANCE HÍDRICO.....	85
12	INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA.....	88
12.1	PROGRAMA DE EXPLORACIÓN	88
12.1.1	ANTECEDENTES	88
12.2	DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	89
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	105
12.4.1	HUMEDAD NATURAL Y LIMITES DE ATTERBERG	106
12.4.2	LIMITES DE ATTERBERG	106
12.4.3	GRANULOMETRÍA	107
12.4.4	PESO UNITARIO:.....	108

12.4.5	GRAVEDAD ESPECÍFICA:	109
12.4.6	CORTE DIRECTO.....	110
12.4.7	CONSOLIDACIÓN RÁPIDA:	110
12.4.8	HIDROMETRIAS:.....	111
12.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DETALLADO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS:.....	114
12.5.1	ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN:	114
12.5.2	Angulo de fricción (ϕ):.....	119
12.5.3	Cohesión (c'):.....	119
12.5.4	PESO UNITARIO:.....	120
12.6	MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	122
12.6.1	Suelo residual arcilloso (Sra).....	122
12.6.2	Roca Blanda arcillosa (Rba).....	122
12.7	NIVEL FREÁTICO.....	125
12.7.1	NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO	125
12.7.2	ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO:	125
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:	141
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	143
	BIBLIOGRAFÍA	147
14	ANEXOS.....	150

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Localización y área Nodo Tunal Alto	13
Figura 2. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000	15
Figura 3. Localización área Sumapaz.....	20
Figura 4. Ubicación del Nodo Tunal Alto.....	21
Figura 5. Asociación del suelo Cuenca Rio Sumapaz.....	22
Figura 6. Pendientes de la localidad Sumpaz.....	23
Figura 7. Clima de localidad.....	23
Figura 8. Amenaza del polígono Tunal Alto. Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750	24
Figura 9. Niveles de detalle.....	25
Figura 10. Pendientes del polígono Tunal Alto. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750	25
Figura 11. Precipitaciones del polígono Tunal Alto. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750	26
Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Tunal Alto.....	28
Figura 13. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Tunal Alto.....	29
Figura 14. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM	30
Figura 15. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat	31
Figura 16. Prestación de Servicios ACUEDUCTO TUNALES	32
Figura 17. Comprobación de predios públicos en el polígono de estudio.....	33
Figura 18. Localización del predio con RUPI 2-1824.....	34
Figura 19. Certificación de bienes dl patrimonio inmobiliario distrital	34
Figura 20. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Tunal Alto.....	35
Figura 21. Viviendas localizadas para el polígono Tunal Alto	37
Figura 22. Mapa geológico regional modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.....	39
Figura 23. Mapa de unidades geológicas de superficie modificado de FOPAE-UNAL 2013.	40
Figura 24. Geología estructural Tunal Alto, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.	42
Figura 25. Características del sector del polígono Tunal alto.....	42
Figura 26. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Tunal Alto. Escala 1:5.000.44	44
Figura 27. Geomorfología del polígono Tunal Alto. Escala 1:5.000	46
Figura 28. Sismología del polígono Tunal Alto. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750	49
Figura 29. Coberturas Nodo Tunal Alto.....	54
Figura 30. Tipo de uso del suelo nodo Tunal Alto	58
Figura 31. Distribución Mensual de Precipitación Estación PM San Juan	62

Figura 32. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión	66
Figura 33. Curvas IDF Estación PM San Juan.	67
Figura 34. Descripción Red de Drenaje Nodo 4 - Tunal Alto.....	69
Figura 35. Alcantarillas existentes en el nodo Tunal Alto	70
Figura 36. Áreas de Drenaje Obras Existentes	78
Figura 37. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow	80
Figura 38. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas	87
Figura 39. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Tunal Alto.....	88
Figura 40- Localización de sondeos ejecutados	93
Figura 41. Muestra sondeo # 1	95
Figura 42. Muestra sondeo # 2	96
Figura 43. Muestra apique # 1	96
Figura 44. Muestra apique # 2.....	97
Figura 45. Muestra apique #3.....	97
Figura 46. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT99	
Figura 47. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT.....	100
Figura 48. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1.....	102
Figura 49. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2.....	103
Figura 50. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1.....	104
Figura 51. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2.....	104
Figura 52. % Humedad Vs Profundidad.....	106
Figura 53. % Carta de plasticidad de Casagrande	107
Figura 54. Distribución granulométrica Vs profundidad.....	108
Figura 55. Peso unitario Vs. Profundidad	109
Figura 56. % Gravedad específica Vs Profundidad.....	109
Figura 57. % Curva Hidrometría S2(M4).....	111
Figura 58. % Curva Hidrometría AP-1(CUBO).....	112
Figura 59. % Tabla resumen de resultado	113
Figura 60. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Tunal Alto. Escala 1:5.000.	123
Figura 61. Clasificación de los suelos	125
Figura 62. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo	126
Figura 63. Planta y perfil Angulo β	132
Figura 64. Método del Talud Infinito	133
Figura 65. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento	136

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo	17
Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica	27
Tabla 3. Estado y diagnóstico de la malla vial e inventario de infraestructura	29
Tabla 4. Reserva de CIV para Tunal Alto	30
Tabla 5. Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales	36
Tabla 6. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales	36
Tabla 7 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Tunal Alto	47
Tabla 8 Coberturas de la tierra Tunal Alto	52
Tabla 9. Uso del suelo Nodo Tunal Alto	57
Tabla 10. Estaciones empleadas Nodo 4 – Tunal Alto	60
Tabla 11. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PM San Juan.	62
Tabla 12. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PM San Juan.	62
Tabla 13. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PM San Juan.	63
Tabla 14. Valores Parámetros de Regresión en Colombia	65
Tabla 15. Relaciones IDF – Estación PM San Juan	67
Tabla 16. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 1	70
Tabla 17. Elementos de equipamientos de la alcantarilla 2	72
Tabla 18. Período de retorno según tipo de obra.	77
Tabla 19 Coberturas de la tierra nodo Tunal Alto	79
Tabla 20. Evaluación de caudales	82
Tabla 21. Evaluación Obras de Drenaje	83
Tabla 22. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo	84
Tabla 23. Resultados de pruebas de permeabilidad	85
Tabla 24. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo	86
Tabla 25 – Exploración del subsuelo	92
Tabla 26. Resultados de ϕ y c' S-1	101
Tabla 27. Resultados de ϕ y c' S-2	102
Tabla 28 – Cantidades de ensayos realizados para el proyecto	105
Tabla 29 – Resultados de ensayos de corte directo	110
Tabla 30 – Resultados de ensayos de corte directo	110
Tabla 31. Parámetros estimados para cada sondeo	114
Tabla 32. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio	115
Tabla 33. Análisis estadístico (Ángulo de fricción)	119
Tabla 34. Análisis estadístico (cohesión)	119

Tabla 35. Análisis estadístico de parámetros	120
Tabla 36. Análisis estadístico (Peso Unitario)	120
Tabla 37. Parámetros Geotécnicos	121
Tabla 38 Características zonas geotécnicas.....	124
Tabla 39 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT	124
Tabla 40. Tabla resumen nivel freático	125
Tabla 41. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años	128

TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Derecha red vial (A), izquierda pastos limpios (B).	55
Fotografía 2. Pastos limpios	55
Fotografía 3. Cultivos	55
Fotografía 4. Mancha de suelo con nivel freático alto que en la imagen se interpretó como pantano	55
Fotografía 5. Red vial (A) y entrada a institución educativa (áreas culturales) (B).	55
Fotografía 6. Tejido urbano discontinuo (A), otros sitios de disposición (B)	55
Fotografía 7. Tejido urbano discontinuo	56
Fotografía 8. se observa que el alcantarillado presenta muro de acompañamiento, zanja, guardarruedas y solado,	71
Fotografía 9. se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 6.1 m y un diámetro de 24"	71
Fotografía 10. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural	72
Fotografía 11. Se evidencia la presencia de aletas	72
Fotografía 12. Se observa que el alcantarillado presenta muro de acompañamiento, zanja, guardarruedas y sol	73
Fotografía 13. Se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 6.1 m y un diámetro de 24"	73
Fotografía 14. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural	74
Fotografía 15. Se evidencia la presencia de aletas	74
Fotografía 16. manejo inadecuado de aguas lluvias y residuales, nodo Tunal Alto	75
Fotografía 17. Encharcamiento por mal manejo de aguas. nodo Tunal Alto	75
Fotografía 18. Recolección de aguas lluvias, colegio Tunal Alto	76
Fotografía 19. Encharcamiento de agua, Nodo Tunal Alto	76
Fotografía 20. Encharcamiento por mal manejo de aguas. nodo Tunal Alto	90
Fotografía 21. Encharcamiento de agua, Nodo Tunal Alto	90
Fotografía 22. Alcantarilla de 24" con obstaculización por basuras y sedimentos	90
Fotografía 23. Las alcantarillas presentan descole deficiente	90
Fotografía 24. Zanja vial, mal manejo de aguas	91
Fotografía 25. Mal manejo de aguas residuales y lluvias	91
Fotografía 26. Encharcamiento y mal manejo de aguas residuales y lluvias	91

1 INTRODUCCIÓN

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

Así mismo, se muestra el plan de exploración del subsuelo para el Nodo 4 denominado Tunal Alto, el cual está justificado a partir de la visita de reconocimiento realizada el día 19 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 será el nodo Tunal Alto, este se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 6,377827 Ha, en la figura 3 del presente informe se puede ver con mejor detalle la localización del polígono a intervenir.

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

2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS

En el presente informe, se muestran las condiciones técnicas específicas para el desarrollo de los estudios básicos de zonificación de Amenaza por movimiento en masa en el Tunal Alto.

El nodo Tunal Alto, se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y el nodo de estudio comprende un área de 6,377827 Ha.

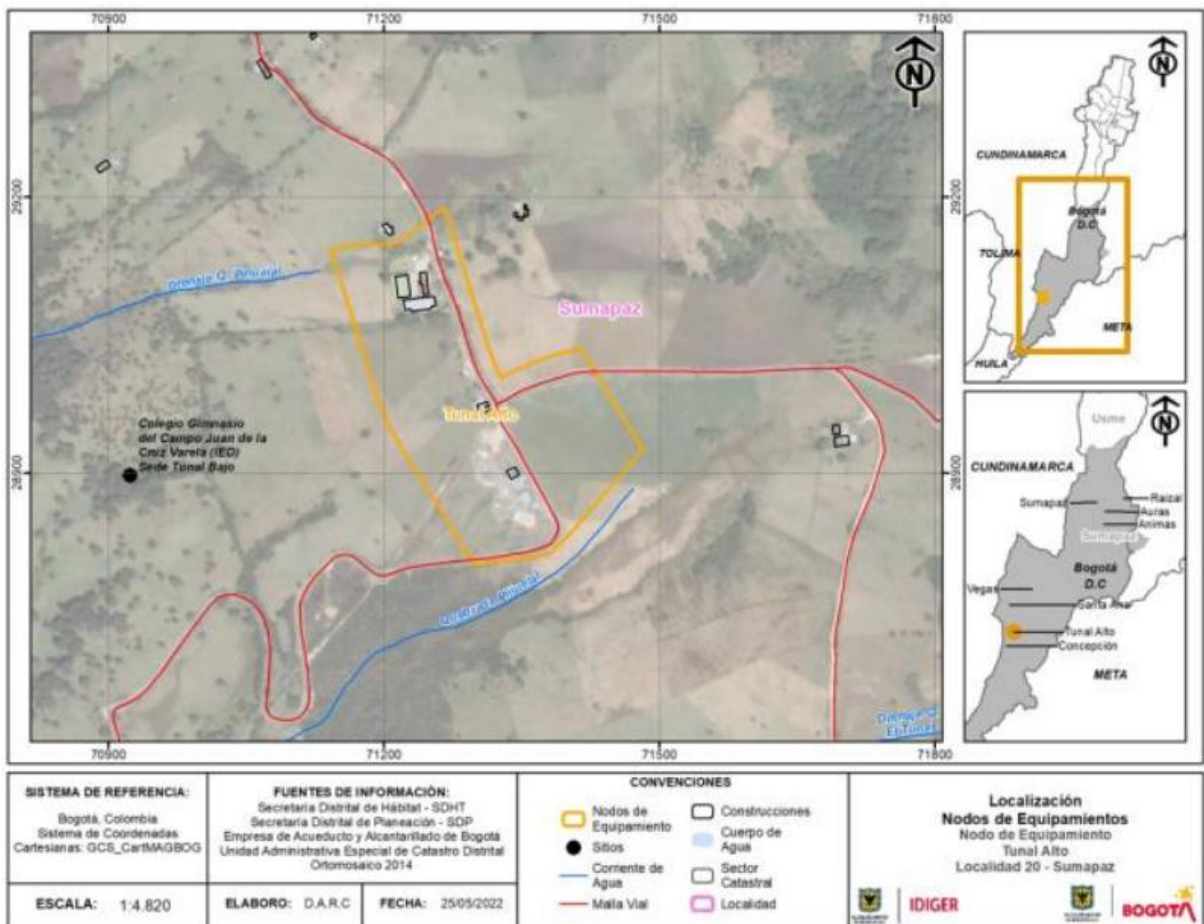


Figura 1 Localización y área Nodo Tunal Alto
Fuente: IDIGER

3 VERIFICACIÓN DEL POLIGONO

Para este polígono según la visita realizada el 19 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 Tunal Alto 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.

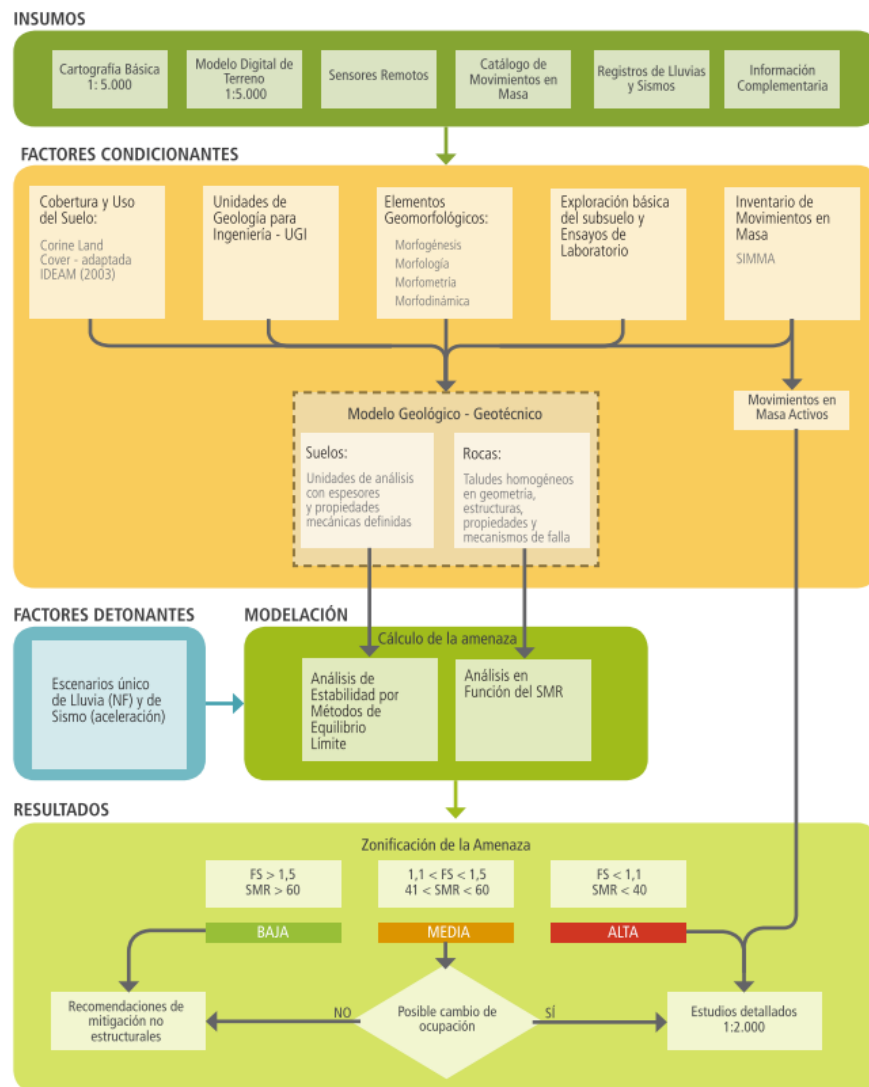


Figura 2. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000

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

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

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

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

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

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

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

Donde

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

γ es el peso unitario del suelo.

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

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

γ_w es el peso unitario del agua.

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

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

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

Los parámetros c' y $\tan(\Phi')$ 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 α se puede asumir como el ángulo de la superficie del terreno en la celda. Seguidamente se ilustran los parámetros antes indicados (figura 3-4).

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

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

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

5 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 GEOMORFOLOGIA

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 – Periglaciar:

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

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

5.1.1.2 Unidades de Origen Fluvial:

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

5.1.1.3 Unidades de origen estructural-denudacional

Para el nodo Tunal Alto, 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 Tunal Alto.

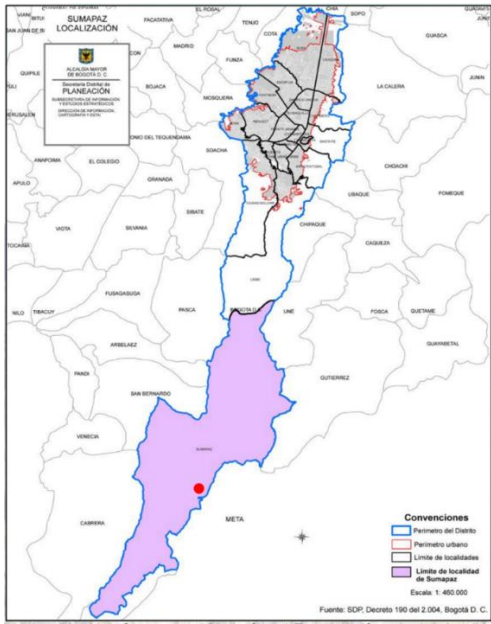


Figura 3. Localización área Sumapaz.
Fuente: IDIGER¹

¹ IDIGER 2019
(<https://www.idiger.gov.co/documents/220605/494708/PLAN+LOCAL+DE+GESTI%C3%93N+DEL+RIESGO+COMPI+LADO-SUMAPAZ.pdf/328381c6-8c49-4415-acc0-87335808df07>)

De acuerdo con la información suministrada por el IDECA, para el nodo el Tunal Alto la geología encontrada corresponde a Sfg (Qfg), a 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 Glb (Conos y lóbulos de gelifración) en el numeral 3.2.7 del presente informe se presenta información más amplia para esta geomorfología.

5.2 CUENCA RIO SUMAPAZ:

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 Tunal Alto se encuentra ubicado en la cuenca del rio Sumapaz, 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 Tunal Alto no existe la presencia subcuenca, microcuenca o lagunas, tal como se puede evidenciar en los anexos.

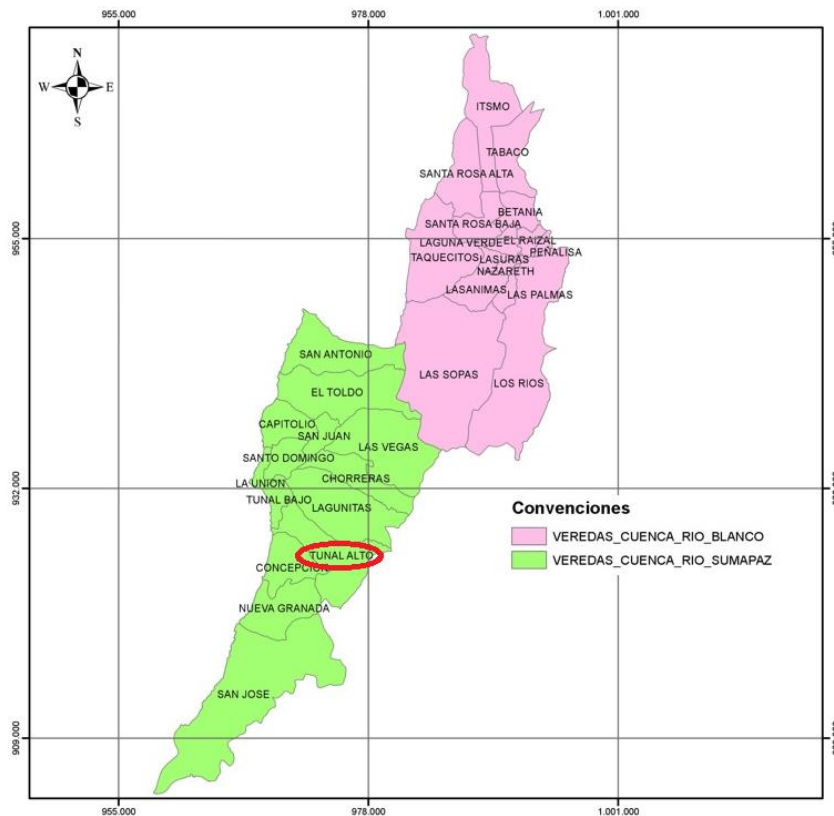


Figura 4. Ubicación del Nodo Tunal Alto.
Fuente: IDIGER

Tal como se menciona anteriormente, el nodo Tunal Alto se ubica a lo largo de la Cuenca del Rio Sumapaz, por lo cual se puede destacar:

5.2.1 Suelos:

Sobre la zona, es posible encontrar amplios valles y sectores fuertemente quebrados, casi formados en su totalidad por glaciares y movimientos de los mismos a lo largo del tiempo. En algunas zonas de la localidad, se presentan problemas de remoción en masas, por medio del plan local de gestión del riesgo y cambio climático CLGR-CC los suelos se encuentran agrupados así:

SUELO	CÓDIGO	ÁREA (HA)	%	GRUPO AGROLÓGICO
Asociación Alban	ALef	40,91	0,10	
Asociación Bolívar (Conjunto Bijoacales)	BLbc, BLcd	6244,2	14,81	VII
Asociación Frailejon	FJef, FJejr, FJefp, Fjde	11817,84	28,04	VIII
Asociación Robles	RLde, RLcd	94,84	0,23	IV
Asociación San Juan	SUde, SHCD	5283,62	12,54	VIII
Asociación Santa Rosa	ASde, AScd, ASc	4145,27	9,84	VII
Asociación Soatama	STde, STef, STf, STfr, S	8911,7	21,14	VII
Miscelaneo Rocoso	MR	3044,28	7,22	VIII
Sin Información	No Tiene	2553,78	6,06	
Zona Urbana	No Tiene	10,1	0,02	
	TOTAL	42.146,54	100	

Fuente: DAPD. Guía Territorial Localidad de Sumapaz. Bogotá 2001

Figura 5. Asociación del suelo Cuenca Rio Sumapaz.
Fuente: IDIGER

El material de estos suelos está constituido por:

- Lutitas
- Lutitas calcáreas
- Arcillas
- Areniscas
- Cenizas Volcánicas

Cabe destacar que el clima que se presenta en la zona es húmedo y frio, con temperaturas bajas, lo cual trae como consecuencia una pobre mineralización del suelo.

5.2.2 Pendientes de la localidad Sumapaz, Cuenca Rio Sumapaz:

El 81% del territorio de la localidad de Sumapaz, representa pendientes menores al 25%, otras zonas alcanzan una inclinación hasta del 75%, las cuales son susceptibles a deslizamientos.

PENDIENTE	ÁREA	PORCENTAJE
Menor A 25 %	34.138,71 ha	81%
Mayor A 25%	3.739,19 ha	9%
Pendientes Mayores a 25 % Hasta 75 %	4.214,65 ha	10%
TOTAL	42.146,55 ha	100%

Fuente: DAPD, 2001, IGAC, 2003

Figura 6. Pendientes de la localidad Sumpaz.
Fuente: IDIGER

5.2.3 Clima:

Como se mencionaba anteriormente, el clima para la zona es frio, para la zona de las lagunas se encuentra entre un 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 mm²

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

Figura 7. Clima de localidad.
Fuente: IDIGER

5.3 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO TUNAL ALTO:

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 presentada sobre el polígono de estudio es intermedia en un gran porcentaje del área, y en una mínima parte es baja, amenaza que se puede evidenciar en la siguiente figura, la escala

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

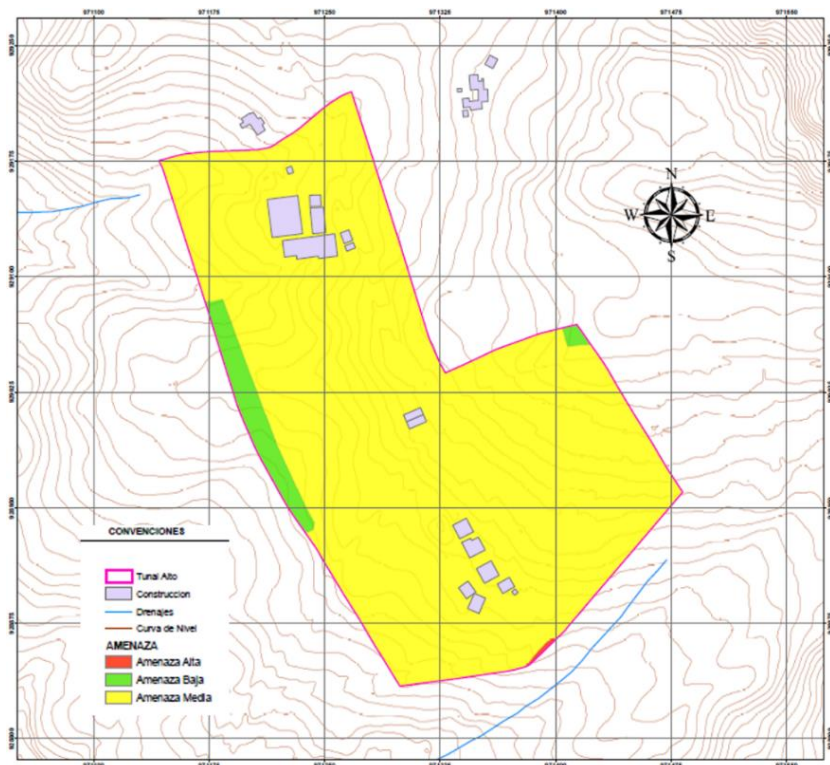


Figura 8. Amenaza del polígono Tunal Alto. Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750

Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos proporcionados por el IDIGER

5.3.2 Pendientes Polígono Tunal Alto

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 75%, tal como se observar en la siguiente figura.

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

Figura 9. Niveles de detalle.

Fuente: IGAC

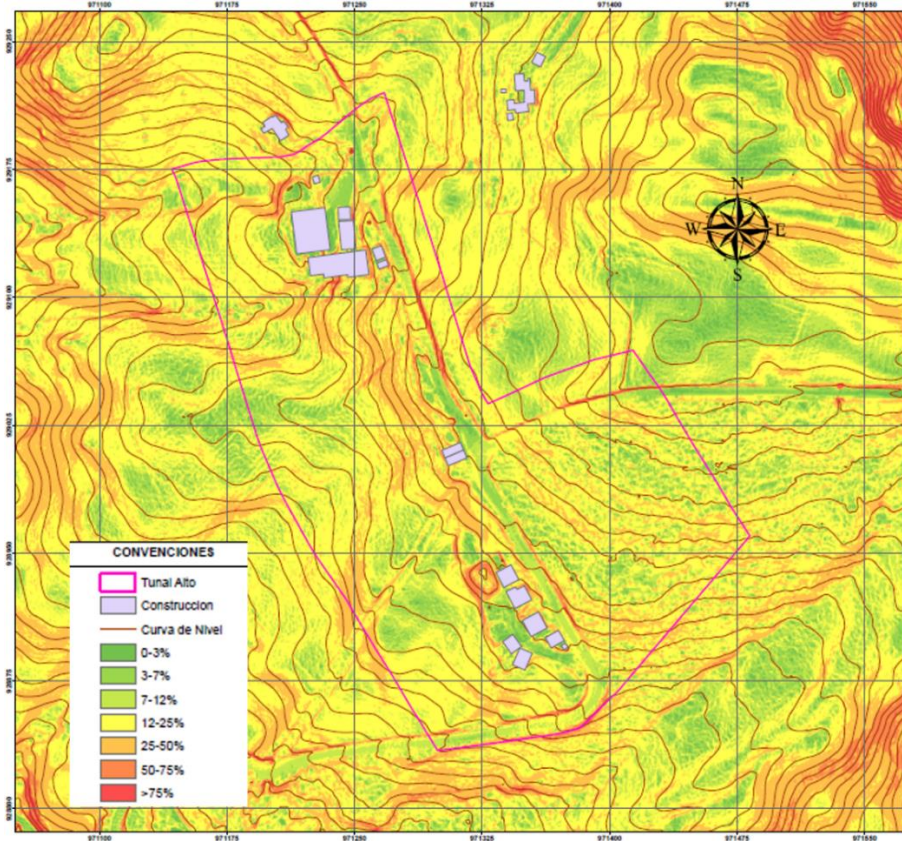


Figura 10. Pendientes del polígono Tunal Alto. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750

Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos suministrados por el IDIGER

5.3.3 Precipitaciones:

Teniendo en cuenta la información suministrada por el IDEAM, en el mapa Coberturas del suelo y Precipitaciones anuales para Colombia, escala 1:100.000, las precipitaciones para el polígono de estudio se encuentran en promedio entre 1000 y 1500 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. En la siguiente figura se muestra de manera gráfica lo anteriormente mencionado.

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

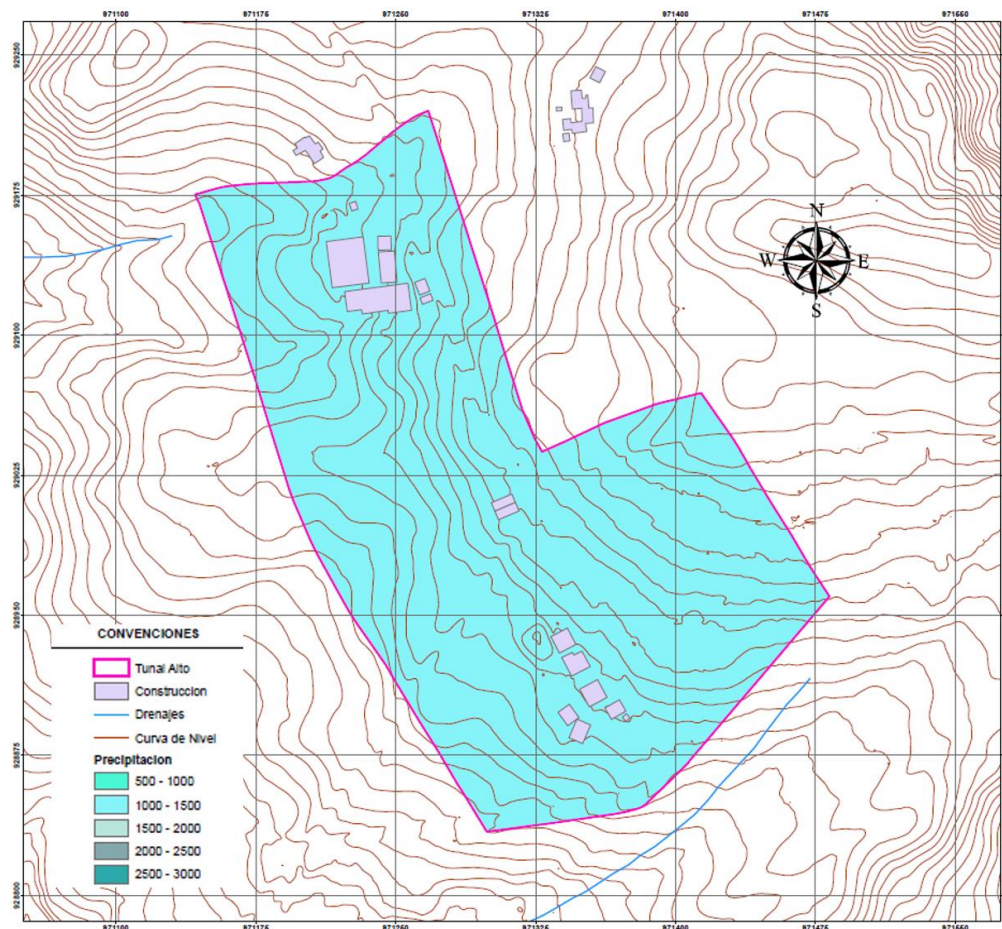


Figura 11. Precipitaciones del polígono Tunal Alto. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750

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 Tunal alto, 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	LITOLÓGIA	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 in confinados.

Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica

Fuente: (CAR, 2003)

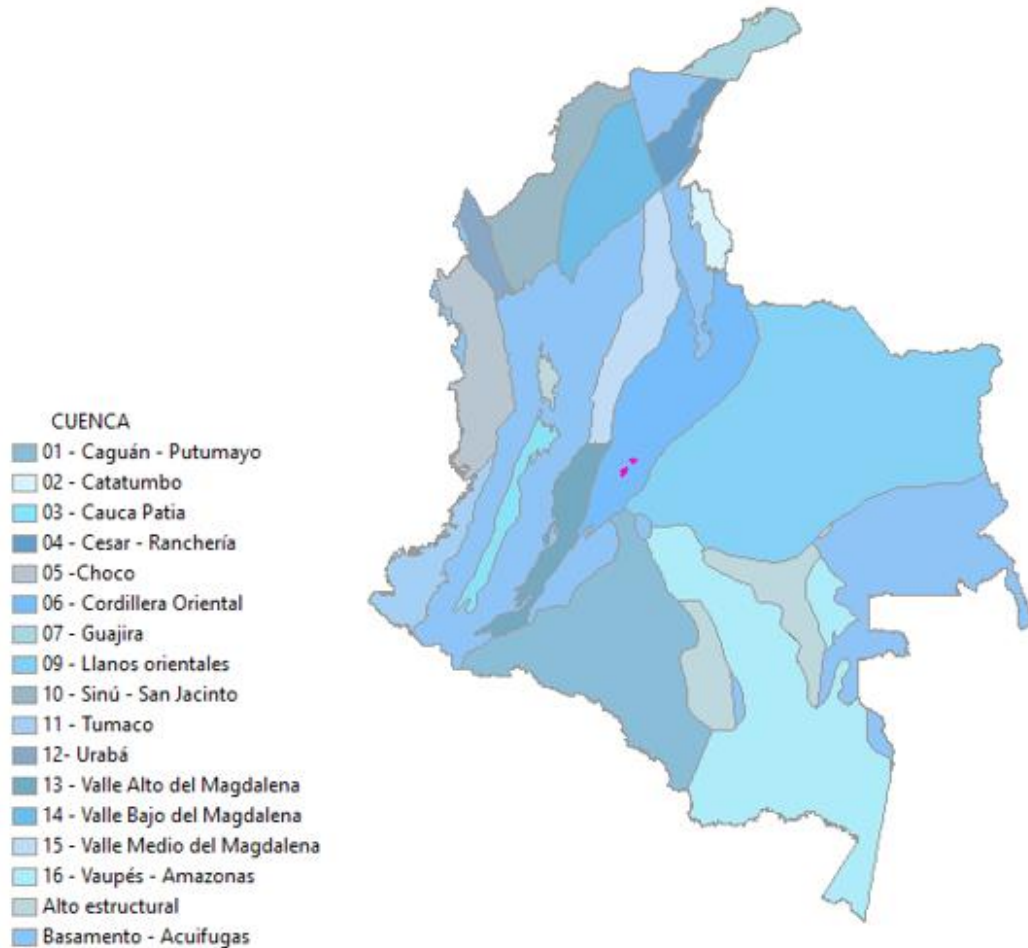


Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Tunal Alto
Fuente: IDEAM

5.3.5 Estudios previos

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



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

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	TUNAL ALTO	20069001	91027605	URCI	Malla Vial Principal Rural	96	BUENO
20	TUNAL ALTO	20025003	91027709	URCI	Malla Vial Rural	88	BUENO
20	TUNAL ALTO	20026001	91027710	URCI	Malla Vial Principal Rural	95	BUENO

Fuente: (IDU, 2023)

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

Tabla 4. Reserva de CIV para Tunal Alto

Loc	Sector	CIV	Elemento	Tipo Elemento	Contrato	Estado	Intervención	Entidad
20	TUNAL ALTO	20069001	91027605	Calzada	COP-95-2016	Terminado	Mantenimiento Rutinario	FDL SUMAPAZ
20	TUNAL ALTO	20025003	91027709	Calzada	Sin Dato	Reservado	Mantenimiento Periódico	UAERMV
20	TUNAL ALTO	20026001	91027710	Calzada	COP-95-2016	Terminado	Mantenimiento Rutinario	FDL SUMAPAZ

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.

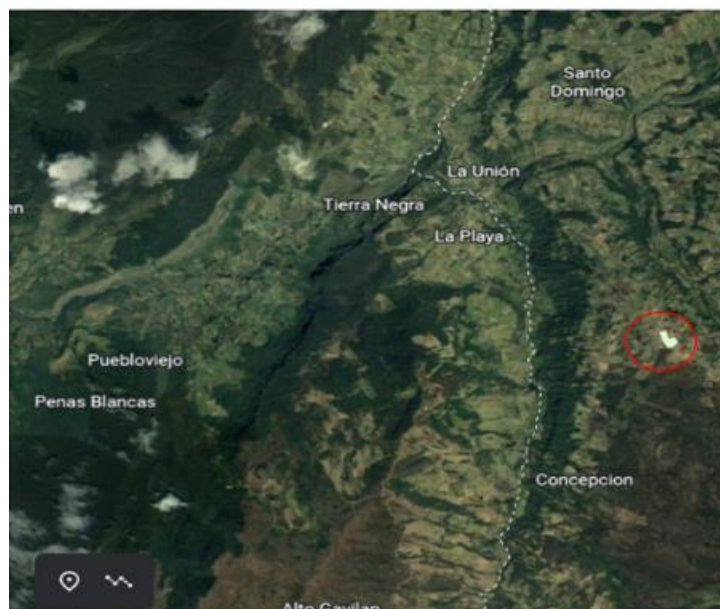


Figura 14. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM

Fuente: (EMP, 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 planee su ejecución, información sobre el estado de servicios públicos domiciliarios, información sobre reasentamiento de los predios en el polígono de estudio y Shapes y planos con información recopilada por la Secretaria Distrital Del Habitar, se obtiene como respuesta, lo siguiente para el nodo Tunal Alto.

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

SDOperaciones			
Radicado	Polígono	Competencia o no de Proyecto (Si sí aplica, Indicar No. de Proyecto. Si no aplica, poner N.A)	Si sí aplica, poner objetivo del proyecto
1-2022-52467	Tunal Alto	NA	NA

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 Tensión I 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:

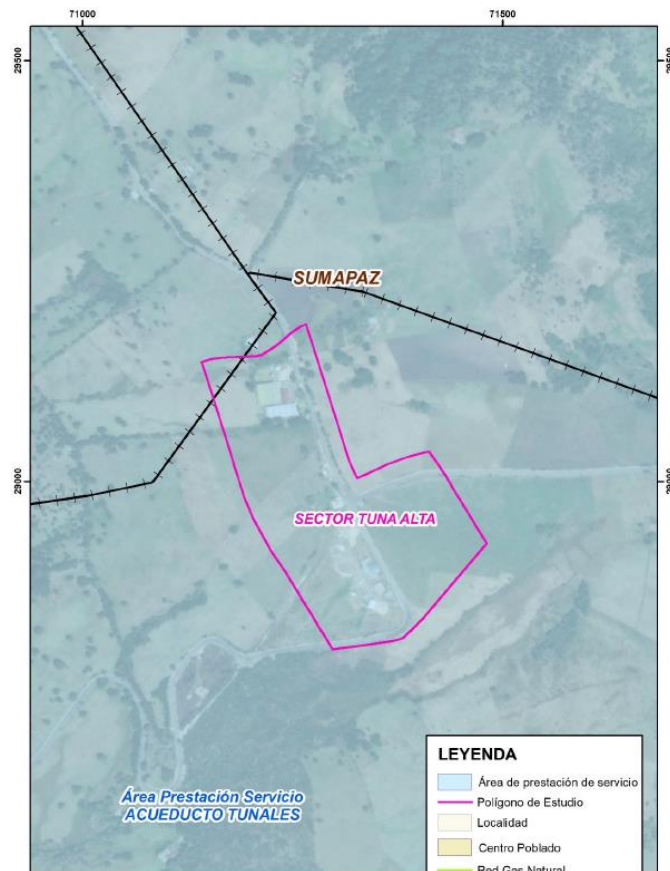


Figura 16. Prestación de Servicios ACUEDUCTO TUNALES

Fuente: secretaria del Hábitat

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

En respuesta al radicado No. 2022-400-031090-2 de 27-12-202, el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público informa que al interior del polígono se ubica un predio fiscal de propiedad del Distrito Capital identificado con RUPI (Registro Único del Patrimonio Inmobiliario)



Figura 17. Comprobación de predios públicos en el polígono de estudio.
Fuente: Montaje realizado por el grupo de Cartografía de la SRI

El predio fiscal con RUPI 2-1824, tiene como uso específico el de ESCUELA MARIA AUXILIADORA, cuyo terreno fue adjudicado al Distrito Capital por el Instituto Colombiano de Desarrollo Rural - INCODER - mediante Resolución No. 1942 del 12 de julio de 2010, registrada en el folio de matrícula inmobiliaria No. 505-40553196 con un área superficial de 3916.00 M2. Catastralmente, el predio se encuentra incorporado con el Chip AAA0257CWMS, cedula catastral 109109006300000000, nomenclatura ESCUELA MARIA AUXILIADORA de la localidad de Sumapaz.



Figura 18. Localización del predio con RUPI 2-1824
 Fuente: SIGDEP 2023


INFORMACIÓN CATASTRAL				LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA		
<small>(Fuente: Sistema de Información Catastral - Dirección Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD)</small>						
NOMENCLATURA	ESCUELA MARIA AUXILIADORA					
LOCALIDAD	Sumapaz					
BARRIO CATASTRAL	109109 Tunal Alto					
CÓDIGO DE SECTOR	109109006300000000					
CÓDIGO CHIP	AAA0257CVMS					
INFORMACIÓN URBANÍSTICA						
<small>(Fuente: Secretaría Distrital de Planeación - SDP - Caracterización Urbana)</small>						
URBANIZACIÓN	FISCALES - No Aplica					
PLANO No	Predio Fiscal - No Aplica					
DOCUMENTO DE APROBACIÓN	FISCALES - No Aplica			Fuente: Mapa Digital -UAECD		
INFORMACIÓN DEL REGISTRO ÚNICO DEL PATRIMONIO INMOBILIARIO - RUPI				DESTINACIÓN	USO FISCAL	
<small>(Fuente: Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público - DADEP)</small>						
CÓDIGO RUPI	No. URB.	2	PREDIO	1824	USO	Terrenos - Rurales - Escuela Maria Auxiliadora.
UBICACIÓN	ESCUELA MARIA AUXILIADORA			ÁREA (m2)	3916.0 según Folio No. 505-40553196	
ACTA	Acta de Entrega Número 62-13 del 20 de septiembre de 2013			MOJONES	1,2,7,21,20,19,18,17,1	
DOCUMENTO DE TRANSFERENCIA	Resoluciones de Adjudicación Número 1942 del 12 de julio de 2010 de la ciudad de Bogotá emitidas por Instituto Colombiano de Desarrollo Rural - Incoder			MATRÍCULA INMOBILIARIA	505-40553196	
OBSERVACIONES						
<p>Se advierte que con ocasión de la expedición del Decreto Distrital 555 de 2021, actualícese el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público, se encuentra realizando el proceso de revisión, validación y ajuste de la información; en consecuencia, los datos contenidos en este reporte son meramente informativos y su aplicación debe ser corroborada con la autoridad competente.</p> <p>1. El predio descrito se certifica como un BIEN FISCAL, PROPIEDAD DEL DISTRITO CAPITAL.</p> <p>2. Los datos consignados son los que actualmente reposan en el Sistema de Información de la Defensoría del Espacio Público -SIDEP y son meramente informativos, por lo que para todos los efectos de carácter legal y administrativo, se debe verificar con los documentos legales y cartográficos originales expedidos por las autoridades competentes (fotos de matrícula inmobiliaria, decretos, resoluciones, acuerdos, escrituras públicas, planos, actas de recibo o de toma de posesión y licencias de urbanismo, construcción, ocupación e intervención del espacio público y demás documentos que para tal efecto determine la ley).</p> <p>PARAGRAFO 1: Con ocasión de la expedición del Decreto Distrital 555 de 2021, actualmente el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público se encuentra realizando el proceso de revisión, validación y ajuste de la información de la Defensoría del Espacio Público -SIDEP, no constituye título de dominio ni sana los vicios que tengan la titulación o posesión, inscripción en el Sistema de Información de la Defensoría del Espacio Público -SIDEP, no constituye título de dominio ni sana los vicios que tengan la titulación o posesión.</p> <p>3. La información consignada puede estar sujeta a cambios, ya que el DADEP en el marco de un proceso de diagnóstico, saneamiento y titulación de la propiedad inmueble del Distrito Capital puede concretar ajustes, precisiones y modificaciones.</p> <p>4. El interesado debe comunicar al DADEP cualquier omisión o error que observe en el registro de los documentos anotados.</p> <p>5. La respuesta emitida se realiza con base en los datos de localización suministrados por el interesado.</p> <p>6. El presente documento no es una autorización o licencia para intervenir en el predio descrito, ni para ejecutar construcciones, ampliaciones o remodelaciones, ni tampoco constituye permiso para obtener aprovechamiento económico del mismo, las cuales se deben adelantar ante las autoridades Distritales competentes.</p> <p>El presente certificado tiene vigencia de Ceró (0) meses a partir de la fecha de su expedición.</p>						
Cordialmente,						

Figura 19. Certificación de bienes dl patrimonio inmobiliario distrital
 Fuente. Sistema de Información Catastral- UEACD

Secretaría De Planeación

En atención a la solicitud realizada a la secretaria de Planeación, por medio del radicado 1-2022158213, el área de estudio coincide con el nodo de equipamientos rurales Tunal Alto, 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.

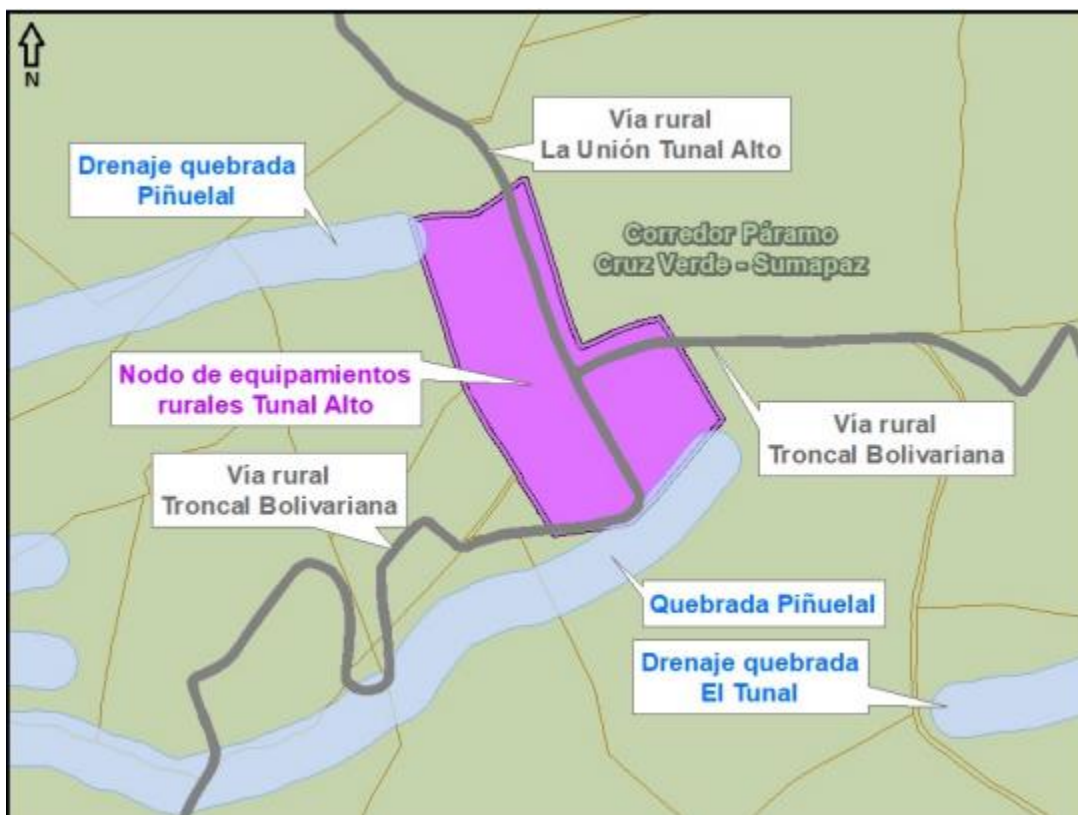


Figura 20. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Tunal Alto.
Fuente: SDP, Decreto Distrital 555 de 2021, BDGC

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 5. 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 m2	0,29	1,3	2 pisos	10	No se exige	Igual o mayor a 3,0 m

Fuente: secretaria de Planeación

Tabla 6. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales

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

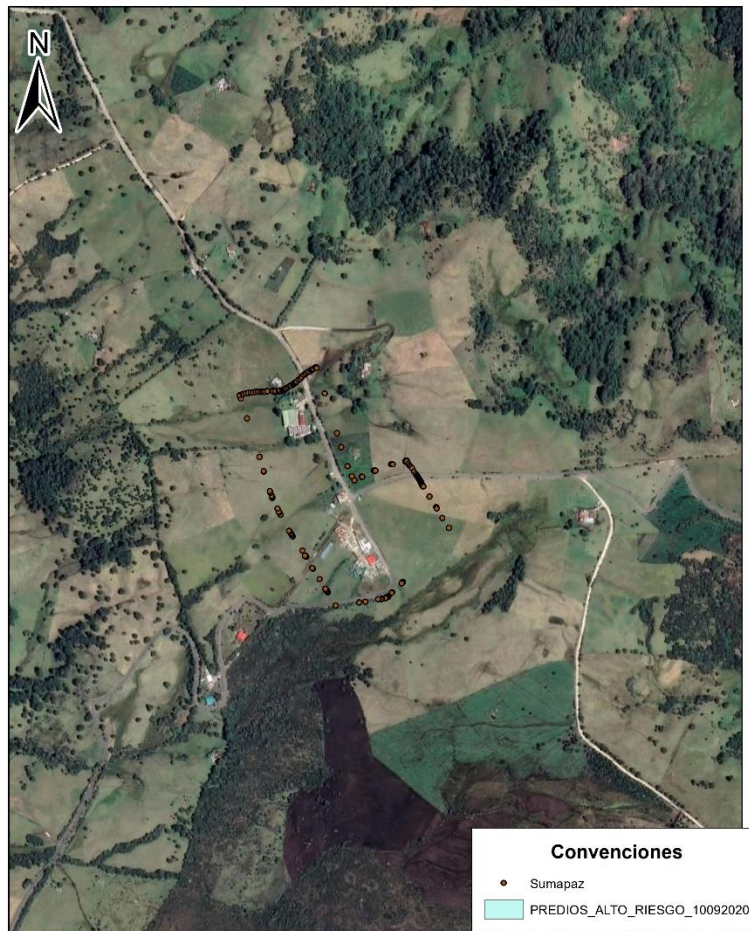
Fuente: secretaria de Planeación

✓ **VANTI**

En respuesta al comunicado 286-22GDING-IDIGER-CM-0072022, La empresa Vanti responde que no cuenta con una infraestructura de red construida y/o proyectada en polietileno y/o acero en este sector.

✓ **Caja De La Vivienda Popular**

En atención al radicado No 202317000013782, 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 y los predios de alto riesgo.



Polígono Tunal Alto

**Figura 21. Viviendas localizadas para el polígono Tunal Alto
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 Paleógeno y depósitos fluvio-glaciares. 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, donde se evidencia la formación Lodolita de Fusagasugá; 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, donde es posible observar la formación Lodolita de Fusagasugá y depósitos fluvio-glaciares; 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 Tunal Alto afloran rocas sedimentarias de edad Paleógena que hacen parte de la Formación Lodolitas de Fusagasugá; la unidad mencionada se muestra en la siguiente figura y se describe a continuación:

6.1.1.1 Lodolitas de Fusagasugá (Pglf)

La referencia original proviene Stutzer (1934) al utilizar el nombre de “piso de Fusagasugá” para referirse a una secuencia de lodolitas intercaladas con arenitas cuarzo feldespáticas aflorantes al occidente de la población de Fusagasugá, en el eje de la estructura sinclinal del mismo nombre.

Aflora principalmente en los Sinclinales de Cabrera y San Juan, además de otros sinclinales menores, se extiende al norte formando el Sinclinal de Fusagasugá y hacia el sur occidente formando el Sinclinal de Prado.

La unidad Lodolitas de Fusagasugá está constituida principalmente por lodolitas con niveles de arenitas, en una relación de 3:1 aproximadamente. Para la descripción de la sección de Valencia se dividió la unidad en 3 segmentos. Los niveles blandos poco afloran y son predominantemente lodolitas de color pardo rojizo y gris, algunas veces con arenita muy fina con las cuales presenta contactos erosivos, claramente reconocibles por los valles suaves que generan que contrastan con los escarpes producidos por las arenitas.

Los niveles duros corresponden a arenitas líticas con tamaño de grano que varía entre arena fina a gruesa, predominantemente con mala selección y granos subredondeados a subangulares.

El contacto inferior es discordante con la Formación Guaduas (flanco oeste del Sinclinal de San Juan), la Formación Seca y la Formación La Tabla, mientras que el contacto superior en la Plancha se trata de discordancia infrayaciendo depósitos coluviales del Cuaternario. Su edad ha sido estimada como Eoceno con base en muestras de polen, su ambiente de depositación es de ríos meandriformes.

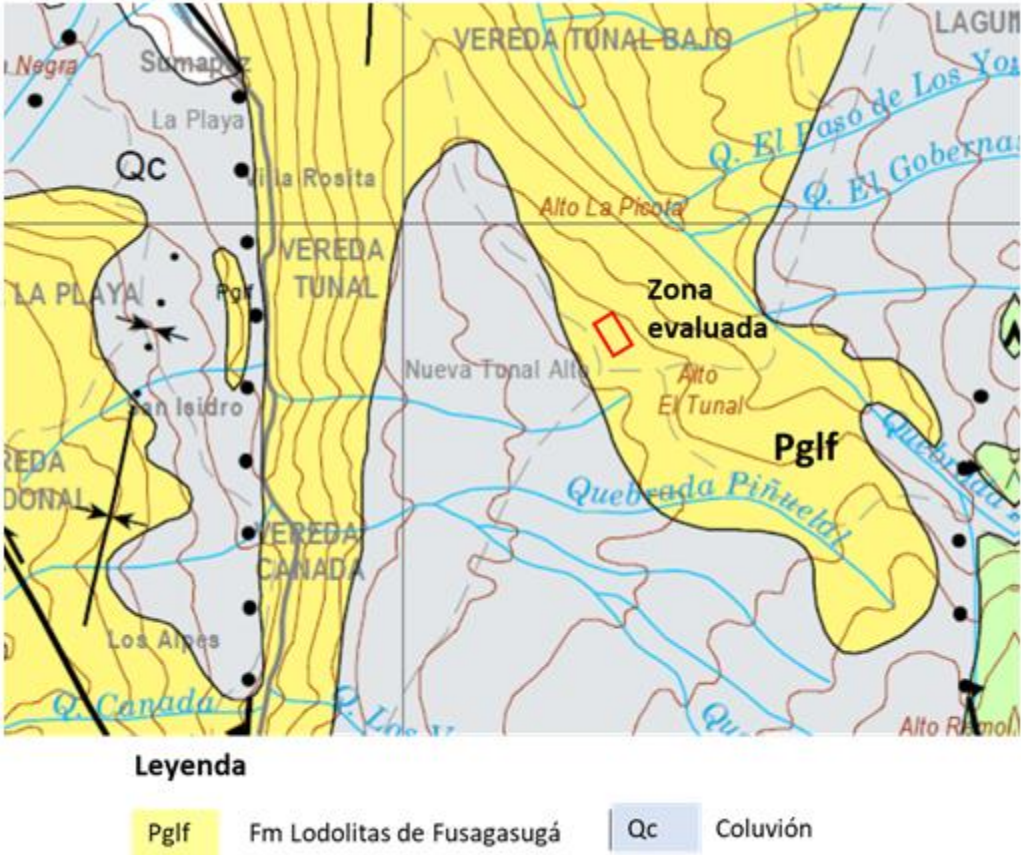


Figura 22. Mapa geológico regional modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.

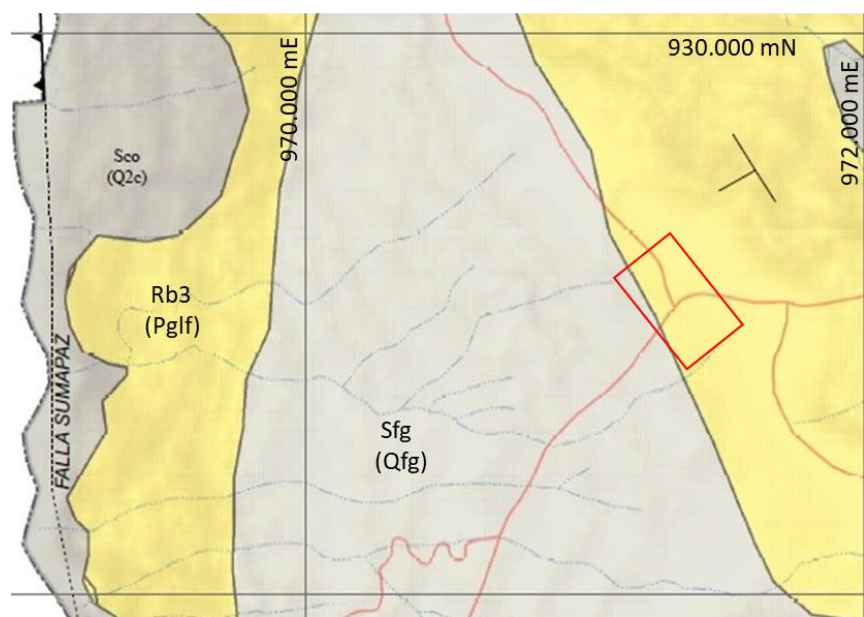
6.1.2 UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES

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), ver siguiente figura.

Las unidades geológicas para superficiales presentadas en la siguiente figura, se categorizan en Unidad de Suelo y unidad de Roca.

La unidad de suelo se divide según su origen depósito fluvioglacial. La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y geotécnicas, corresponde a roca de resistencia blanda (Rb3). A continuación, se muestra el mapa de las unidades geológicas superficiales, modificado de FOPAE-UNAL 2013 y su descripción:



Leyenda

- Pglf Fm Lodolitas de Fusagasugá - (Rb3) Roca Blanda 3
- Qfg Depósito Fluvioglacial - (Sfg) Depósito Fluvioglacial

Figura 23. Mapa de unidades geológicas de superficie modificado de FOPAE-UNAL 2013.

Las unidades de suelo y roca se describen a continuación:

6.1.2.1 Depósito fluvioglacial (Sfg)

Depósito de gravas, con intercalaciones de arenas, arcillas orgánicas y paleosuelos; dentro del área de estudio, aflora como parches en las partes altas de los flancos del sinclinal de San

Juan. Los depósitos Fluvioglaciares se observan cubriendo rocas del sustrato rocoso; morfológicamente estos depósitos se disponen como abanicos con pendientes moderadamente inclinadas; son materiales de baja consolidación y alta permeabilidad.

6.1.2.2 Roca blanda 3

Corresponde a una secuencia de lodolitas y limolitas, grises rojizas y blancas, intercaladas con arenitas líticas en capas gruesas. Esta subunidad aflora principalmente en la parte oriental y occidental del área, y hace parte del flanco oriental del sinclinal de San Juan.

Morfológicamente conforma laderas principalmente de naturaleza estructural con pendientes de moderadas a escarpadas; son rocas de resistencia blanda y poco fracturada.

6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El sector evaluado se ubica al oriente de la falla Sumapaz, y en cercanías a una zona con rocas sedimentarias plegadas del Paleógeno, donde probablemente se presente una estructura sinclinal que corresponda a la continuación hacia el sur del sinclinal de San Juan.

El polígono se ubica al SE del cierre sur del mencionado Sinclinal; las rocas sedimentarias de la Formación Lodolitas de Fusagasugá presentan un rumbo N30W y una inclinación de unos 15 hacia el SW.

A partir de las imágenes satelitales no se observan fallas ni lineamientos estructurales que afecten los materiales identificados en el área de estudio. En superficie predomina un suelo residual, no se observan afloramientos de roca sedimentaria.

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

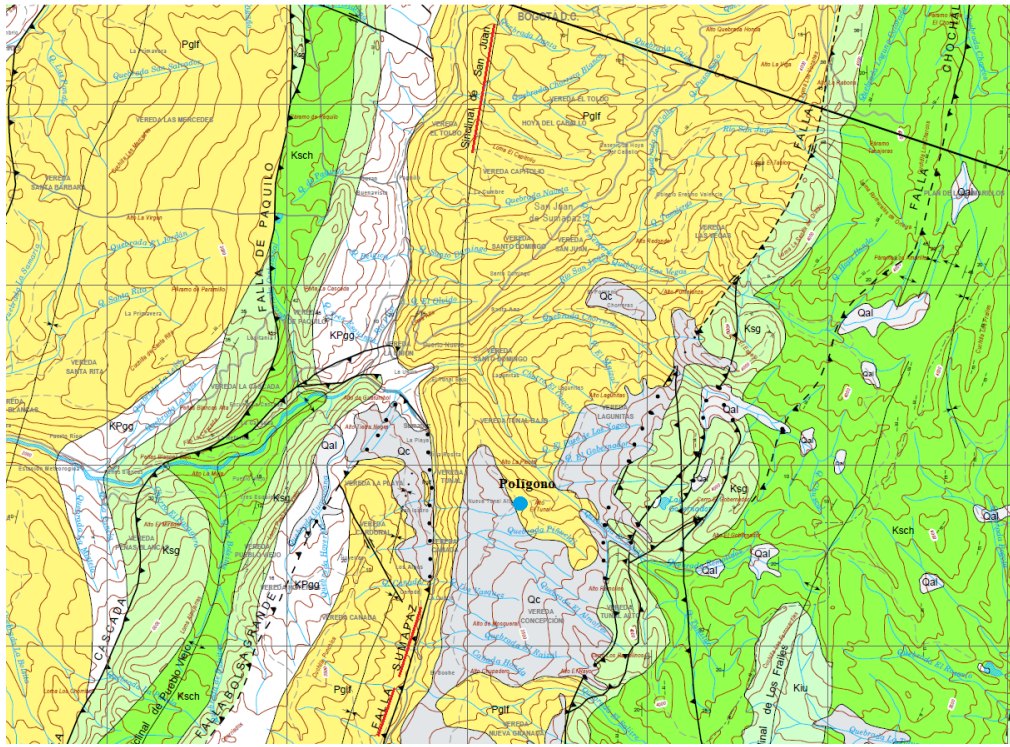


Figura 24. Geología estructural Tunal Alto, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.

En la siguiente figura se muestran las características del nodo de estudio.



Figura 25. Características del sector del polígono Tunal alto.

6.3 GEOLOGÍA LOCAL

Para la geología local se definieron unidades geológicas para ingeniería UGI, siguiendo las recomendaciones de la publicación “Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa” SGC, (2016). Los materiales presentes se clasificaron en UGI de Suelo y de Roca.

Los materiales clasificados como suelo se dividieron según su origen en suelo residual. La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, se clasificó en roca de resistencia blanda (Rb). La unidad de roca se registró en el subsuelo en el sondeo exploratorio 1, la información regional indica que se encuentra infrayaciendo a la unidad de suelo presente en el polígono.

Las unidades geológicas para ingeniería presentes en el área de estudio corresponden:

6.3.1 Suelo residual arcilloso (Sra)

Unidad generada por la meteorización de la unidad roca blanda, está integrada por arcilla orgánica con raíces, limo arcilloso marrón con arena fina intercalada, arcilla limosa de color marrón con arena fina intercalada y limo arenoso gris con vetas de color café de consistencia media.

Esta unidad se reconoció mediante los sondeos exploratorios y los apiques realizados, en los registros exploratorios su espesor alcanzo 6 m en el sondeo exploratorio S1, en el sondeo exploratorio S2 no se alcanzó a establecer el espesor del suelo residual debido a la poca profundidad perforada, sin embargo, se estima un espesor entre 6 y 8 m para el suelo residual.

6.3.2 Roca Blanda arcillosa (Rba)

Corresponde a una secuencia de arcillolita de color café oscuro con niveles delgados de areniscas de grano fino, arcillolitas de color amarillo oscuro, y areniscas cuarzosas de grano fino a medio de color gris claro, intercaladas con arcillolitas rojizas.

Esta unidad fue reconocida en el sector donde se realizó el sondeo exploratorio S1, y fue detectada a partir de 6 m, en la parte suroeste del polígono de estudio; en el sondeo 2 no se detectó, pero se estima que la roca se encuentra a partir de 8 m de profundidad.

La roca blanda se detectó mediante la perforación exploratoria 1, donde se detectó entre 6 y 10.1 m, está integrada en mayor proporción por arcillolita con algún nivel delgado de areniscas cuarzosas de gano fino a medio.

En la siguiente figura se muestra la distribución de las unidades geológicas para ingeniería del polígono.

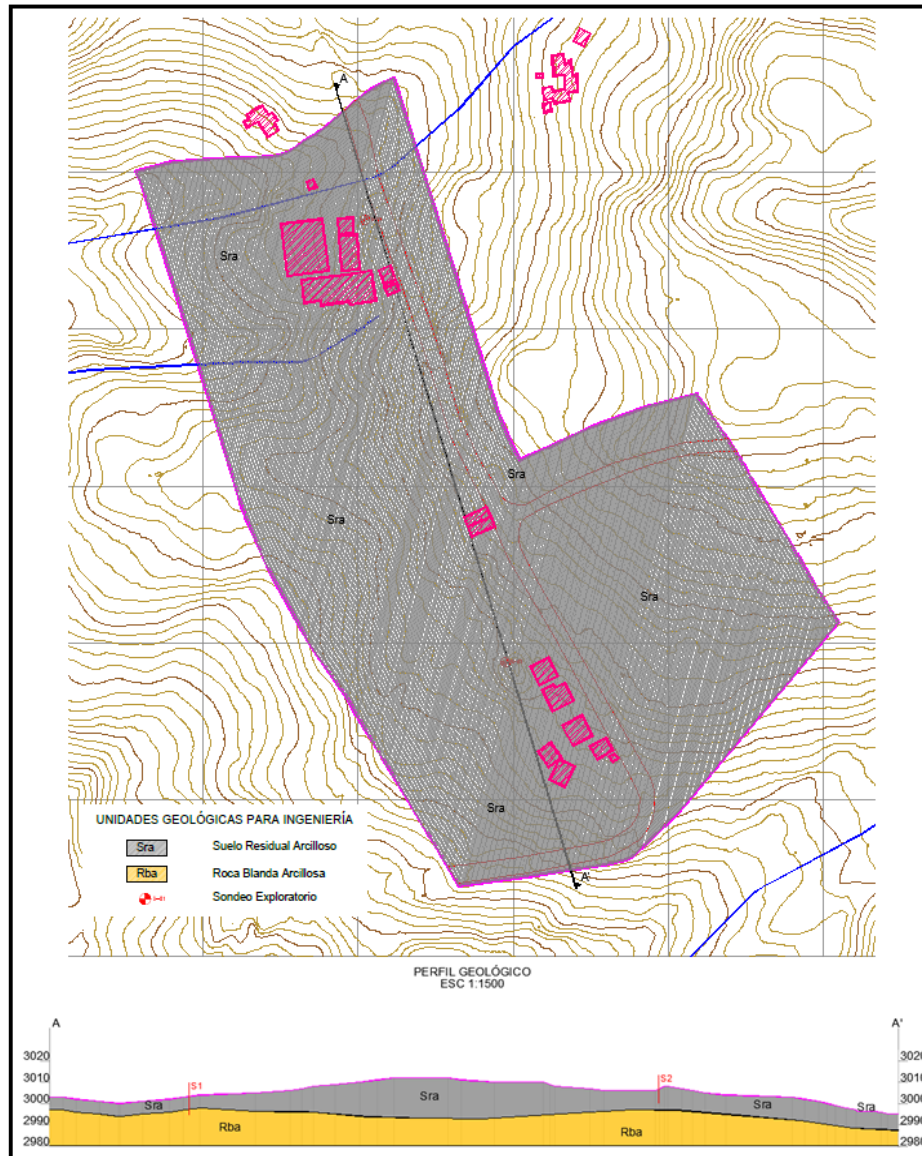


Figura 26. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Tunal Alto. Escala 1:5.000

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

7 GEOMORFOLOGÍA

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

En el área de estudio se reconocen geoformas de ambiente glaciár que conforman laderas de relieve suave a ondulado, donde se observa en superficie un suelo residual. La intervención antrópica modificó localmente la geoforma original.

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

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 glaciár (Glo)

Ladera con relieve muy bajo, suavemente inclinada, con pendientes entre 4° y 8°, 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 glaciár de montaña; el valle glaciár fue modificado posteriormente por procesos denudativos.

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

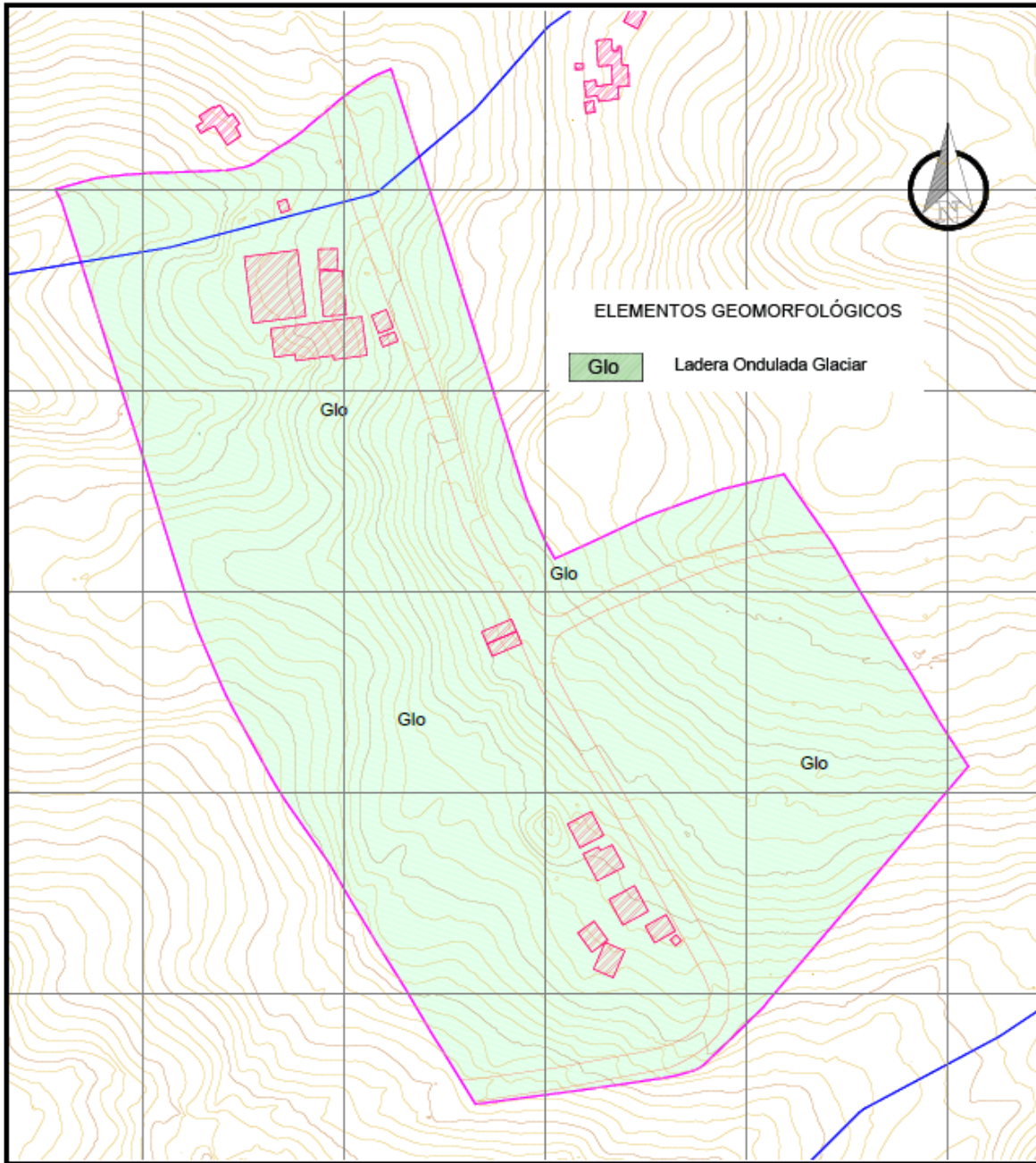


Figura 27. Geomorfología del polígono Tunal Alto. Escala 1:5.000

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.

7.2 ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS:

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

Tabla 7 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Tunal Alto

CUADRO DE ÁREAS-NODO TUNAL ALTO			
ELEMENTO	PENDIENTE	ÁREA Ha	PORCENTAJE %
Glo	Inclinado	2.44	38.24
	Moderadamente Abrupto	3.06	47.93
	Abrupto	0.88	13.83
TOTAL		6.38	100

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

8 PROCESOS MORFODINÁMICOS

En el sitio del polígono se presenta erosión leve manifiesta como erosión laminar en un sector desprovisto de vegetación que es propio del corte para la vía, la poca área que presentan estos procesos hace que no sean cartografiables en una escala 1:5.000, por lo cual se ubica como un punto en el plano. También se encuentra una escorrentía superficial, la cual corresponde a aguas residuales y lluvias que no presentan un control adecuado, debido a la falta de obras hidráulicas lo cual por ser focalizados no cumplen criterios de escala 1:5.000. Dentro del polígono no se encuentran cauces de cañadas, ríos o quebradas. No se presenta localización de trazas de fallas activas e inactivas.



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 0.22 para una tasa de retorno (TR) de 475 años. En la siguiente figura, es posible verificar el coeficiente analizado para el polígono.

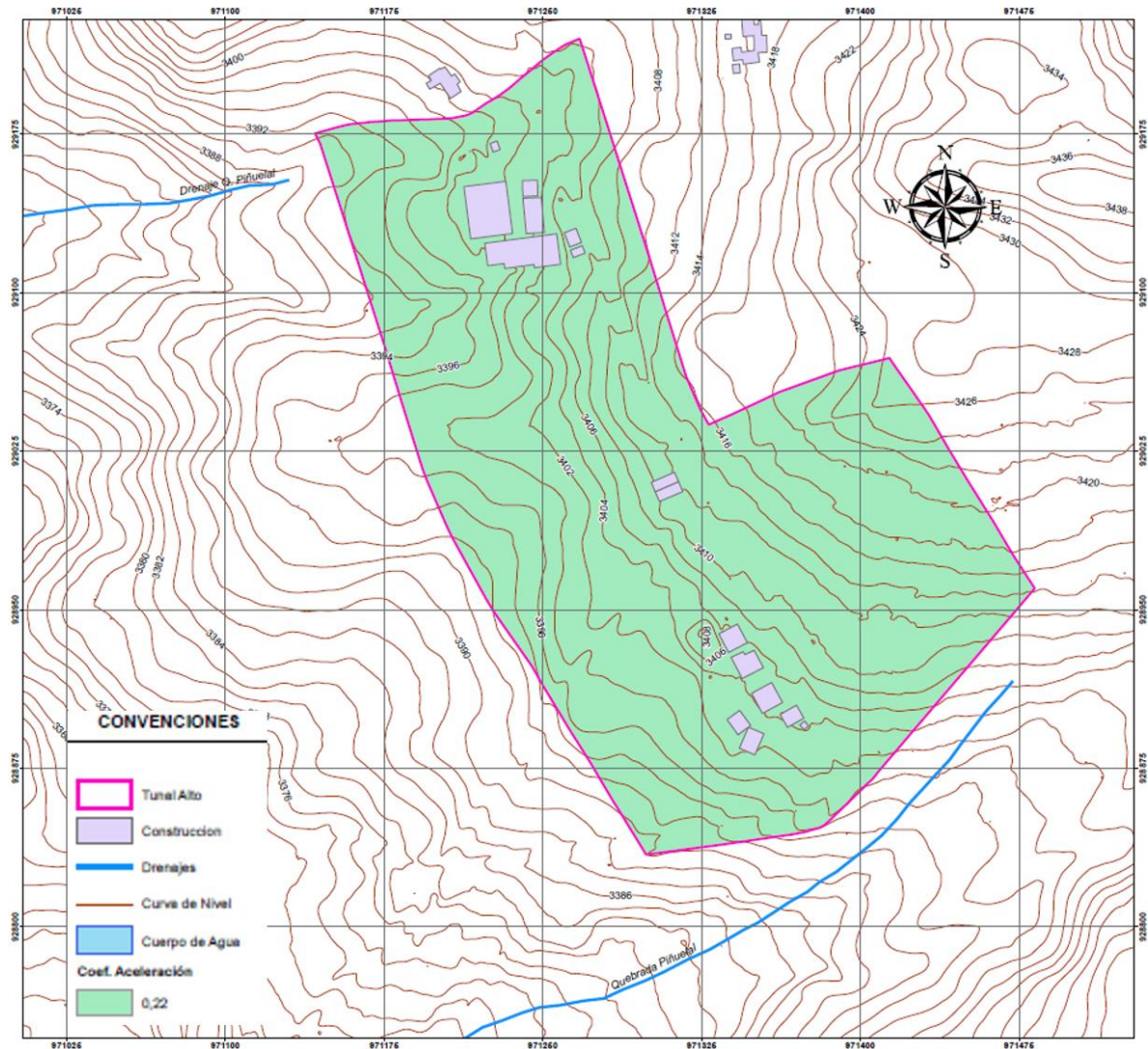


Figura 28. Sismología del polígono Tunal Alto. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:750

Fuente: Adaptado por Geodinámica, Según datos proporcionados por el IDIGER

10 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

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

10.1 COBERTURA DE LA TIERRA

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

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

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

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

Una particularidad importante de la metodología CLC es el uso de una leyenda jerárquica, basada en clases de cobertura y discriminadas principalmente por atributos físicos y fisionómicos (Nunes de Lima, 2005; Perdigo 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 restituir³ la Cobertura de la Tierra, junto con la ortofoto. No

³ Restitución fotogramétrica: consiste en la vectorización de la información capturada con la digitalización de una orto fotografía.

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

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

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

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

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

Tabla 8 Coberturas de la tierra Tunal Alto

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Tunal alto	112	Tejido urbano Discontinuo	0,29
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,44
	1321	Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto	0,23
	1421	Áreas Culturales	0,38
	2151	Papa	0,06
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,08
	231	Pastos Limpios	4,80
	411	Zonas Pantanosas	0,10

Fuente: Geodinámica, 2023

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

- Tejido Urbano Discontinuo (1.1.2): Son espacios formados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren artificialmente la superficie del terreno de manera dispersa y discontinua, ya que el resto del área está cubierto por vegetación. Esta unidad puede presentar dificultad para su delimitación cuando otras coberturas se mezclan con áreas clasificadas como zonas urbanas.
- 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 conexas y las instalaciones asociadas tales como estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.
- Otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto (1.3.2.1): Son espacios artificiales para la construcción de viviendas.
- Áreas culturales (1.4.2.1): Terrenos dedicados a las Instalaciones de servicios públicos (escuelas, hospitales), con su infraestructura de áreas asfaltadas y verdes.
- Papa (2.1.5.1): Cobertura terrestre propia de regiones frías, es una planta rastrera cultivada por su alto valor alimentario.
- Otros cultivos permanentes arbóreos (2.2.3.1): Cobertura donde predominan los cultivos permanentes arbóreos diferentes de la palma de aceite, cítricos, mango, aguacate, guanábana, macadamia, mangostino y guayaba.
- 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.
- Zonas Pantanosas (4.1.1): Esta cobertura las tierras que generalmente permanecen inundadas durante la mayor parte del año, pueden estar constituidas por zonas de divagación de cursos de agua, llanuras de inundación, antiguas vegas de divagación y depresiones naturales donde la capa freática aflora de manera permanente o estacional.

En el nodo Tunal alto, se presenta rastros de la presencia de una zona húmeda, sin embargo, debido a la dinámica de uso de la zona la cobertura que más domina son los pastos limpios la cual ocupa 4,79ha correspondientes a 75,2% de todo el nodo. La Tabla anterior y la siguiente figura, 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

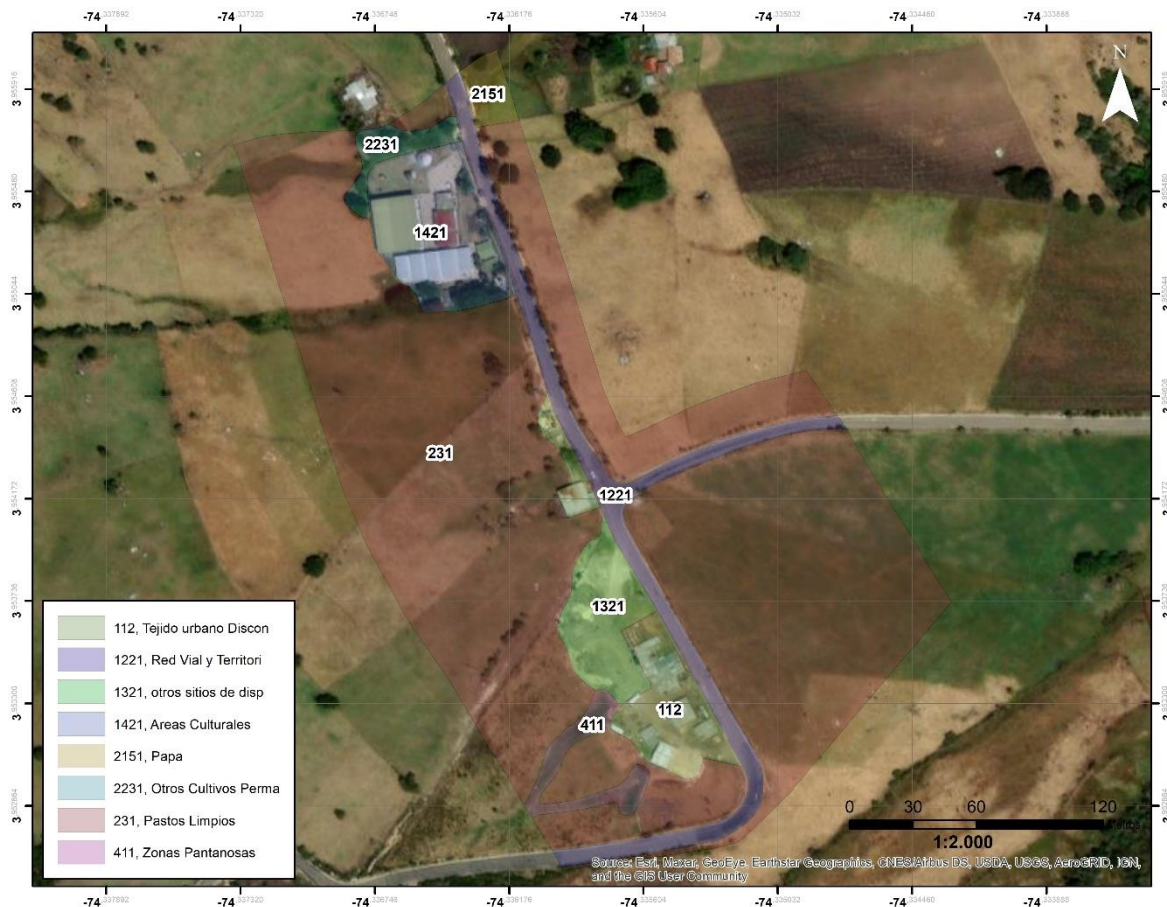
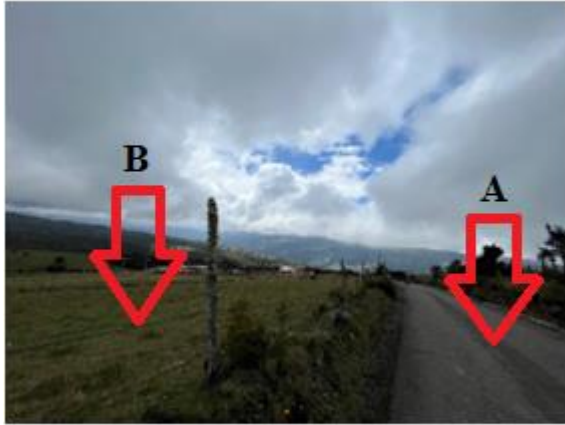


Figura 29. Coberturas Nodo Tunal Alto
Fuente: Geodinámica, 2023



Fotografía 1. Derecha red vial (A), izquierda pastos limpios (B).



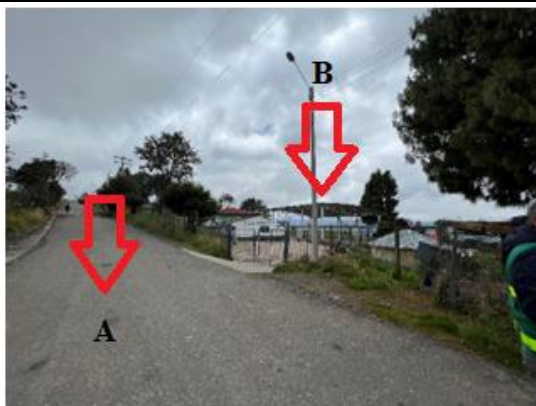
Fotografía 2. Pastos limpios



Fotografía 3. Cultivos



Fotografía 4. Mancha de suelo con nivel freático alto que en la imagen se interpretó como pantano



Fotografía 5. Red vial (A) y entrada a institución educativa (áreas culturales) (B).



Fotografía 6. Tejido urbano discontinuo (A), otros sitios de disposición (B)



Fotografía 7. Tejido urbano discontinuo

10.2 USO ACTUAL DEL SUELO

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

Los usos agrícolas, corresponden a aquellos asociados a actividades de producción de material vegetal de consumo humano, estos se clasifican en permanentes entre los cuales se identifican los cultivos que no requieren después de cada cosecha ser replantados para obtener una nueva cosecha. También se identificaron 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; las viviendas dispersas, que son las casas de la comunidad asentada en cada nodo; en cuanto al tipo de uso dotacional se relaciona a la infraestructura dedicada a la prestación de servicios a la comunidad, en el caso específico de los nodos objeto de este estudio, se refiere a las escuelas y colegios; también se identificó un relleno para construcción de viviendas.

También se identificó el uso de conservación, entre los cuales se detectaron usos de protección, que se refiere a aquellas unidades que por su carácter de naturalidad y la presión ejercida por las actividades agropecuarias del entorno se destinan a ser protegidas para garantizar su permanencia.

Este nodo presenta variedad de usos, entre los cuales se destacan las pasturas manejadas, la vía y el uso dotacional asociado a la institución educativa que se encuentra en el costado norte del polígono. En el sector sur se destaca la presencia de un área donde se hace explotación y disposición de materiales de construcción justo al lado de un área de protección identificada en la imagen como una zona húmeda.

Tabla 9. Uso del suelo Nodo Tunal Alto

Uso Actual	Tipo de Uso	Área (ha)
Agrícola	Cultivos permanentes	0,08
	Cultivos transitorios	0,06
Conservación	Protección	0,10
Infraestructura	Dotacional	0,38
	Relleno para construcción de viviendas	0,23
	Vía	0,44
	Vivienda dispersa	0,29
Pecuario	Pasturas manejadas	4,80

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

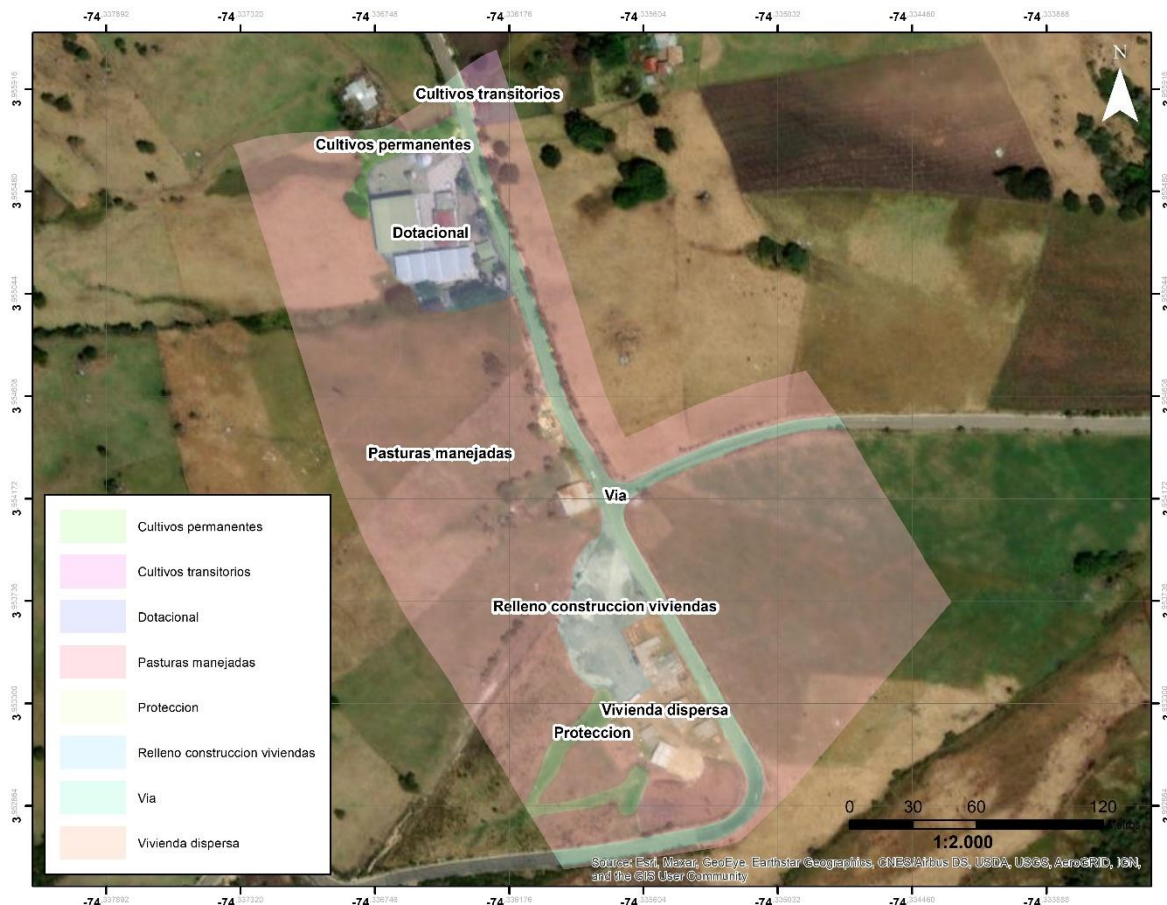


Figura 30. Tipo de uso del suelo nodo Tunal Alto

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-Vegas (PLANOS TUNAL ALTO).

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

10.3 RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO:

Se recomienda que las coberturas y los usos del suelo generadas por acciones antrópicas, deben realizarse de manera controlada, considerando que, al realizar talas no controladas, deforestación u otros cambios en los suelos, se generan cambios en las propiedades analizadas para la amenaza del estudio, es importante tener en cuenta que se deberá cumplir con la normatividad vigente (NSR-10) para el caso de construcción de edificaciones de

equipamientos; se deberá prestar especial atención a los taludes generados y se deberá verificar si requieren análisis de Amenaza detallados.

11 HIDROLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

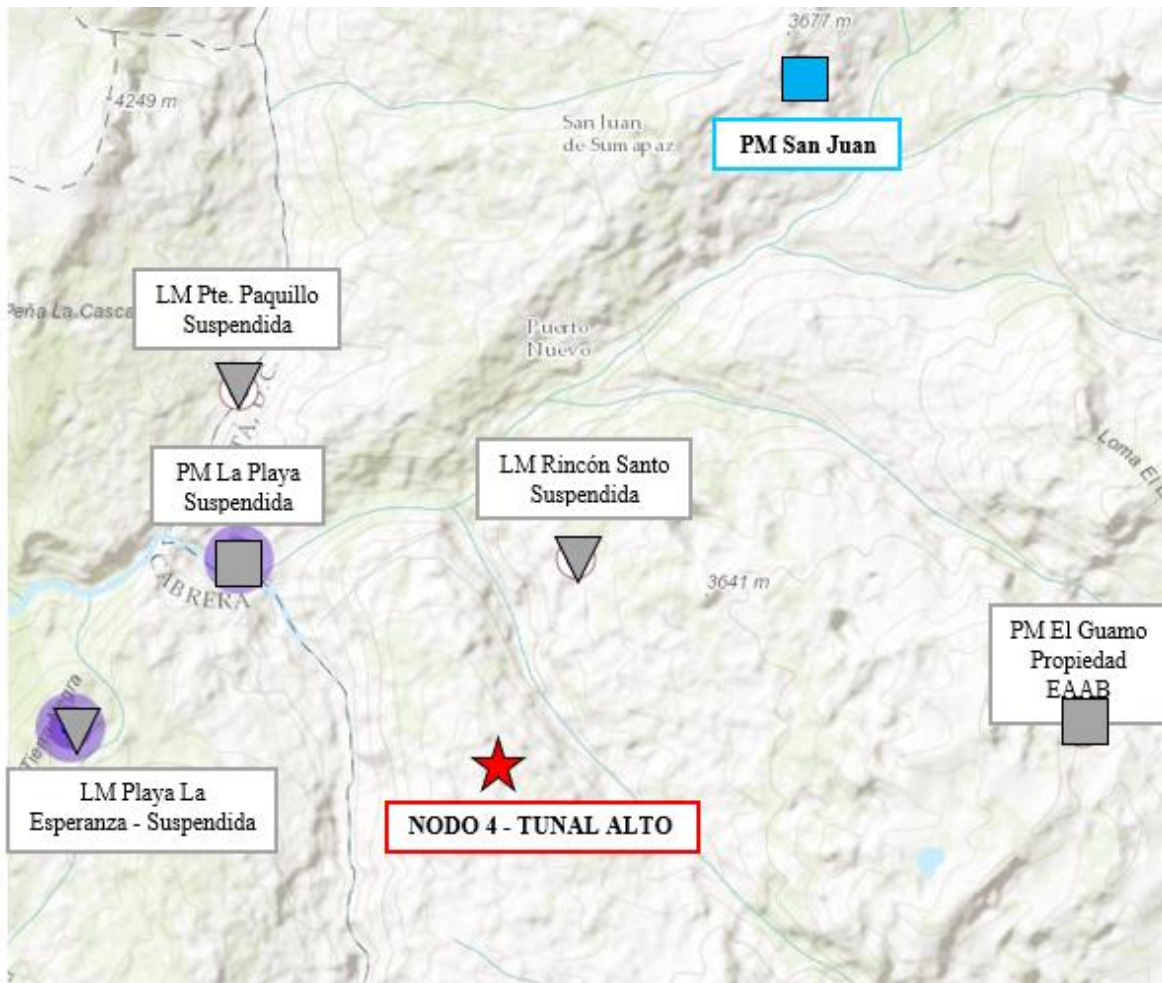
11.1 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

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

Tabla 10. Estaciones empleadas Nodo 4 – Tunal Alto

Entidad	Código	Tipo	Nombre	Municipio	Latitud	Longitud	Elevación msnm
IDEAM	2119027	PG	San Juan	Bogotá D.C	4.03	-74.31	2900

Fuente: Elaboración Propia



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 San Juan. En la anterior figura Localización Estaciones empleadas, se presenta la ubicación del sitio objeto del presente estudio, la red de estaciones en el sector y de la estación empleada, señalada en color azul.

11.2 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Para el proyecto objeto de estudio se cuenta con cartografía oficial del IGAC, disponible en escala 1:25.000 para todo el predio, que corresponde a la plancha 265-III-D y 265-IV-C. Con esta cartografía se cubre todo el Polígono del Nodo 4 - Tunal Alto y los cauces aferentes a este polígono.

11.3 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

Para el análisis del comportamiento de las lluvias en la zona en estudio, se utilizó la información de las estaciones registradoras de precipitación mencionadas en la siguiente tabla. La información empleada se encuentra en la carpeta 5 HIDROLOGÍA, **Anexo 1.** Información Pluviométrica.

11.4 PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES.

El ciclo anual de precipitación de la Estación PM San Juan presenta un promedio anual del orden de 918.54mm. El régimen de lluvias es bimodal. Se tiene un periodo de lluvias entre los meses de abril – mayo y octubre y noviembre, se presenta un periodo seco o de menores precipitaciones entre los meses de diciembre – marzo y junio - septiembre, siendo abril el mes más lluvioso y enero el mes con menores lluvias (Véase la siguiente figura).

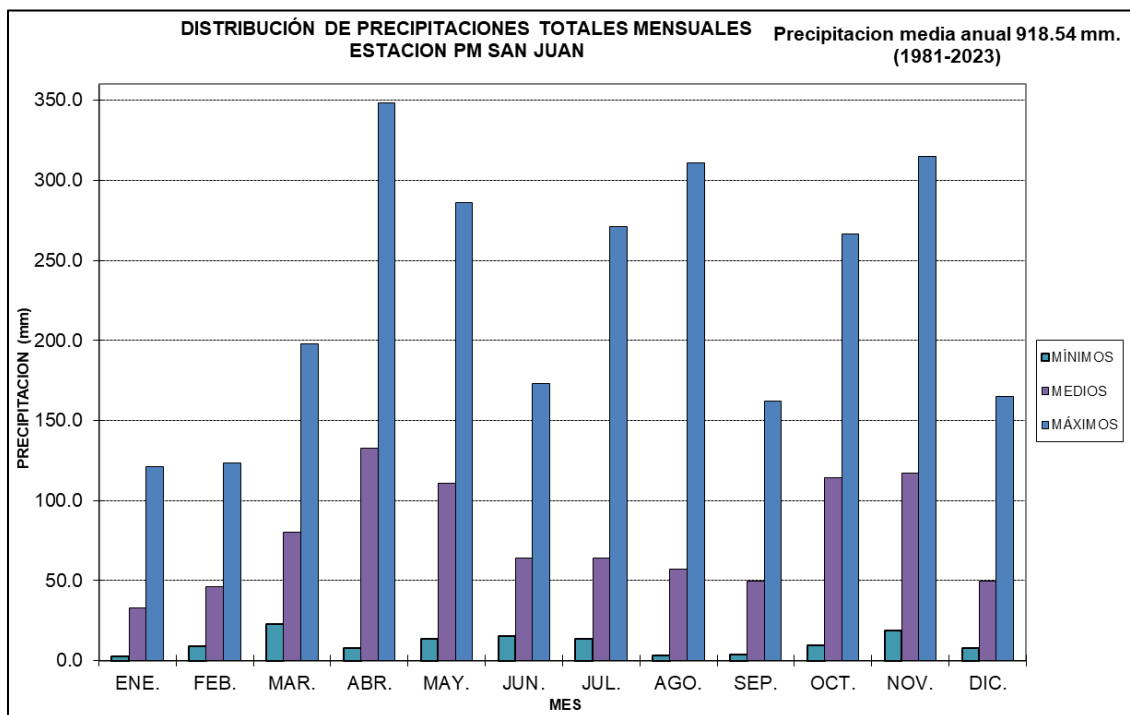


Figura 31. Distribución Mensual de Precipitación Estación PM San Juan
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PM San Juan.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Pmedia anual
P media (mm)	33.06	46.30	80.20	132.86	110.50	64.08	64.12	56.87	49.58	114.32	116.87	49.79	918.54

Fuente: Elaboración Propia.

11.5 NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN

Para la estación PM San Juan el número promedio de días de precipitación al año es de 187, presentándose en el mes de mayo el mayor número de días promedio (20 días) y en el mes de enero el menor número de días de precipitación (9 días).

Tabla 12. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PM San Juan.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	No. Días de lluvia
No. días	9	11	16	19	20	17	17	15	12	19	19	13	187

Fuente: Elaboración Propia.

11.6 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.

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

Tabla 13. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PM San Juan.

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
42.00	1981
39.50	1982
25.20	1983
20.00	1988
32.00	1989
52.00	1990
80.00	1991
17.30	1992
65.00	1993
32.50	1994
42.60	1995
26.00	1996
35.00	1997
31.20	1998
4.50	1999
23.20	2003
31.00	2004
47.00	2005
22.20	2006
28.20	2007
37.90	2008

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
30.20	2009
20.60	2010
19.80	2011
11.10	2012
13.50	2013
10.90	2014
6.90	2015
6.80	2016
6.90	2017
24.30	2018
6.20	2019
6.80	2020
6.60	2021
4.90	2022
3.90	2023
27.28	Promedio

Fuente: Elaboración Propia.

11.6.1 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 San Juan: la ecuación definida como Número 11 es la empleada para la elaboración de las curvas IDF y se presenta a continuación:

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

En donde:

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

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

Tabla 14. 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.

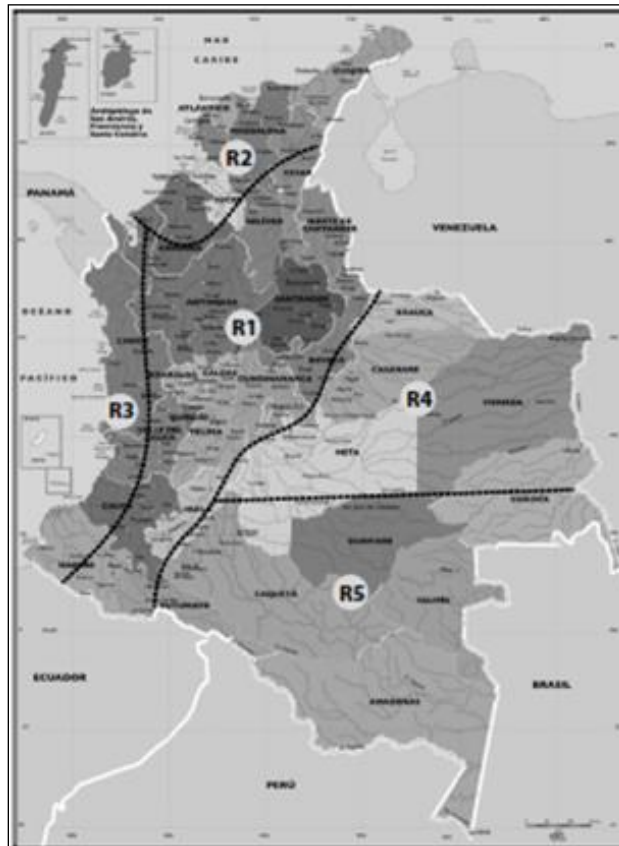


Figura 32. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión
 Fuente: Curvas Sintéticas de IDF para Colombia – Vargas Rodrigo 1998.

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 San Juan es de 27.28mm y el número de días de lluvia es 187. La precipitación promedio anual es de 918.54mm. A continuación, se presentan las curvas IDF obtenidas.

ESTACION PM SAN JUAN
CURVAS INTENSIDAD - DURACION - FRECUENCIA

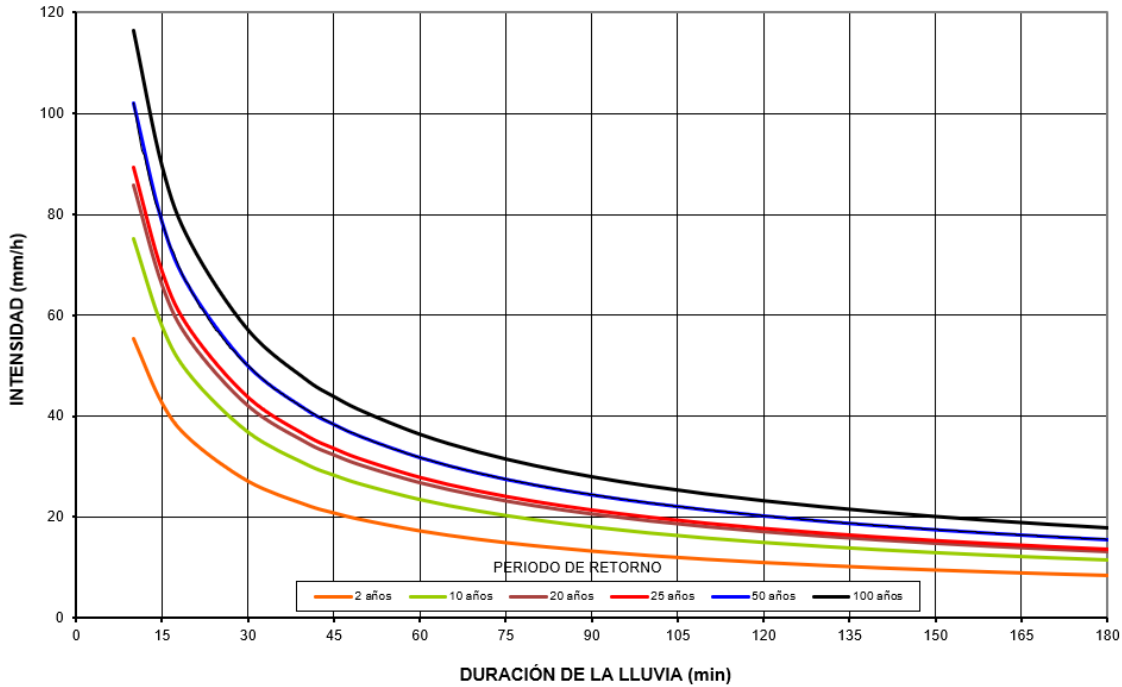


Figura 33. Curvas IDF Estación PM San Juan.
Fuente: Elaboración Propia.

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

Tabla 15. Relaciones IDF – Estación PM San Juan

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)						
	2	5	10	20	25	50	100
10	55.3	65.9	75.1	85.7	89.4	102.0	116.4
15	42.5	50.6	57.7	65.8	68.7	78.4	89.4
20	35.3	42.0	47.9	54.6	57.0	65.0	74.1
30	27.1	32.2	36.8	42.0	43.8	49.9	57.0
40	22.5	26.7	30.5	34.8	36.3	41.4	47.3

45	20.8	24.8	28.3	32.2	33.6	38.4	43.8
50	19.4	23.1	26.4	30.1	31.4	35.8	40.9
60	17.3	20.5	23.4	26.7	27.9	31.8	36.3
70	15.6	18.6	21.2	24.2	25.2	28.8	32.8
80	14.3	17.0	19.4	22.2	23.1	26.4	30.1
90	13.3	15.8	18.0	20.5	21.4	24.5	27.9
100	12.4	14.7	16.8	19.2	20.0	22.8	26.0
110	11.6	13.9	15.8	18.0	18.8	21.5	24.5
120	11.0	13.1	14.9	17.0	17.8	20.3	23.1
130	10.4	12.4	14.2	16.2	16.9	19.3	22.0
140	10.0	11.8	13.5	15.4	16.1	18.3	20.9
150	9.5	11.3	12.9	14.7	15.4	17.5	20.0
160	9.1	10.9	12.4	14.1	14.7	16.8	19.2
170	8.8	10.4	11.9	13.6	14.2	16.2	18.4
180	8.5	10.1	11.5	13.1	13.7	15.6	17.8
1440.0	2.2	2.6	3.0	3.4	3.5	4.0	4.6

Fuente: Elaboración Propia.

11.6.2 IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA

El sector donde se encuentra ubicado el Nodo 4 - Tunal Alto corresponde a una zona en general en una altitud importante. En efecto, la cota del terreno sobre el nivel del mar varía entre los 3400msnm y 3425 msnm. El predio analizado se encuentra en un sector alrededor del cual se identificaron importantes cuerpos de agua, como lo es el Río Sumapaz y sus demás quebradas afluentes. Sobre el polígono se encuentra un flujo de agua intermitente. En la siguiente figura se presenta la identificación de los principales drenajes naturales dentro y fuera del área del Nodo 4:

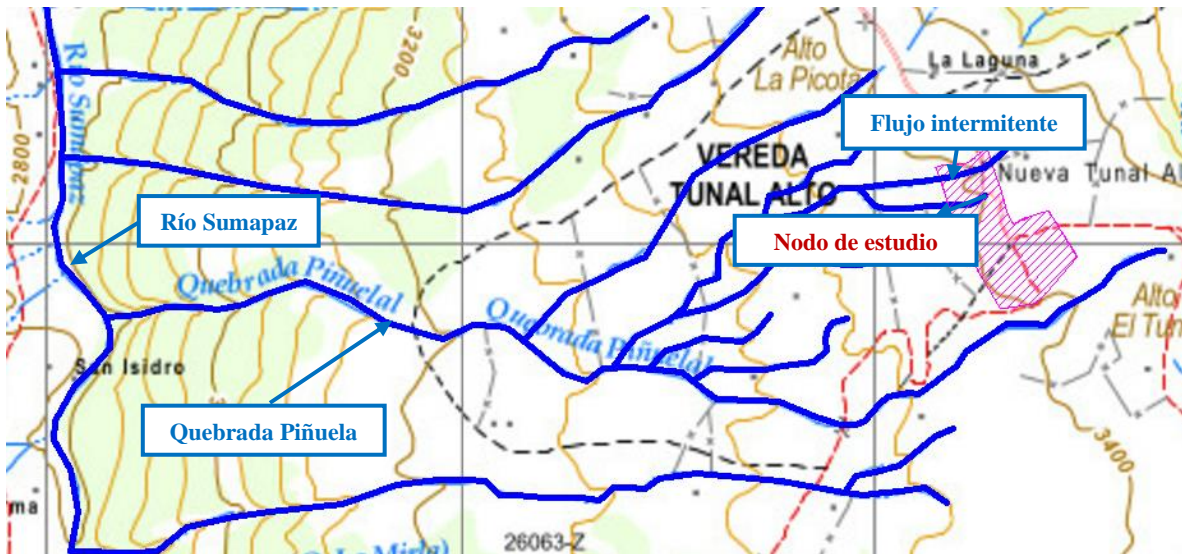


Figura 34. Descripción Red de Drenaje Nodo 4 - Tunal Alto
Fuente: Elaboración Propia.

A nivel de detalle del Polígono del Nodo 4 - Tunal Alto, como se mencionó anteriormente, se identificó el cruce de Quebrada Afluente al Río Sumapaz. En el anexo Planos Tunal Alto, archivo *Drenajes_Tunal-Alto* se relaciona plano en el cual se puede visualizar los puntos específicos donde se presentan pasos de los cauces naturales de agua, para este nodo.

11.7 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES:

En el sector donde se encuentra ubicado el Nodo 4 – Tunal Alto 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 19 de enero de 2023, se apreciaron dos alcantarillas ubicadas en las siguientes coordenadas

- **Alcantarilla 1:**
 N → 929184.949
 E → 971246.148
- **Alcantarilla 2**
 N → 929023.703
 E → 971308.623

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.

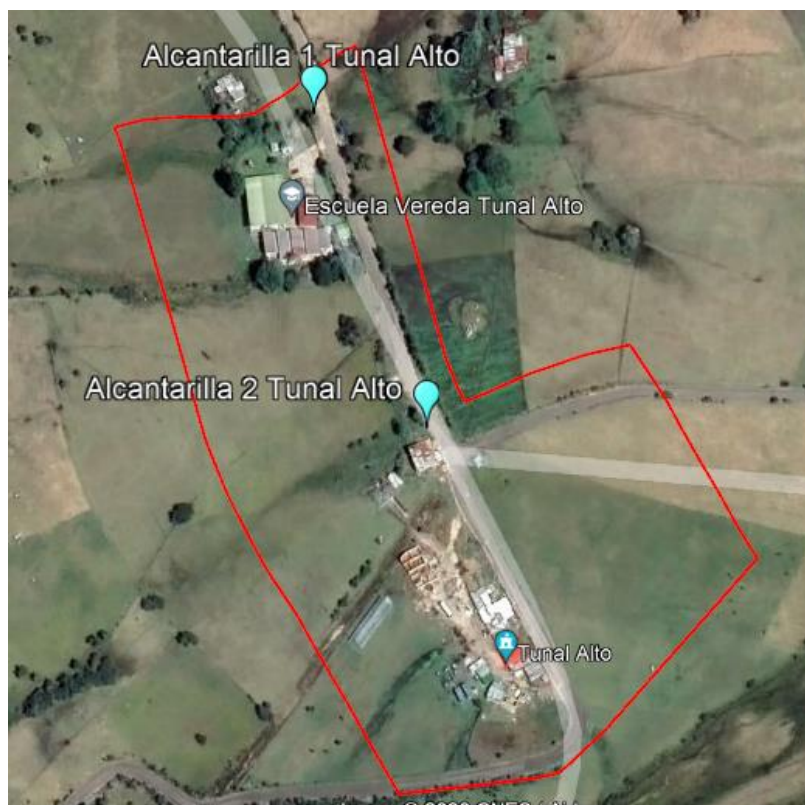


Figura 35. Alcantarillas existentes en el nodo Tunal Alto

✓ Obra de Drenaje No. 1 - Alcantarilla 1

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro ϕ 24" (0.60m) y una longitud de 6.10m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, permite la descarga de cunetas y el cruce de escorrentía superficial. En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.



Tabla 16. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 1



	ENTRADA		SALIDA	
	MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)
Altura (m)		1.6	Altura (m)	1.6
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2

	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.5
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.8
MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Longitud (m)	1.1	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	-
SOLADO	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

Fuente: Geodinámica

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>Fotografía 8. se observa que el alcantarillado presenta muro de acompañamiento, zanja, guardarruedas y solado,</p>	<p>Fotografía 9. se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 6.1 m y un diámetro de 24"</p>

	
<p>Fotografía 10. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural</p>	<p>Fotografía 11. Se evidencia la presencia de aletas</p>

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

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro ϕ 24" (0.60m) y una longitud de 6.10m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado estructural aceptable, permite la descarga de cunetas y el cruce de escorrentía superficial. En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

Tabla 17. Elementos de equipamientos de la alcantarilla 2

	ENTRADA		SALIDA	
ENCOLE-DESCOLE	Longitud (m)	-	Longitud (m)	
MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Altura (m)	1.6	Altura (m)	1.6
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
ALETAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.5

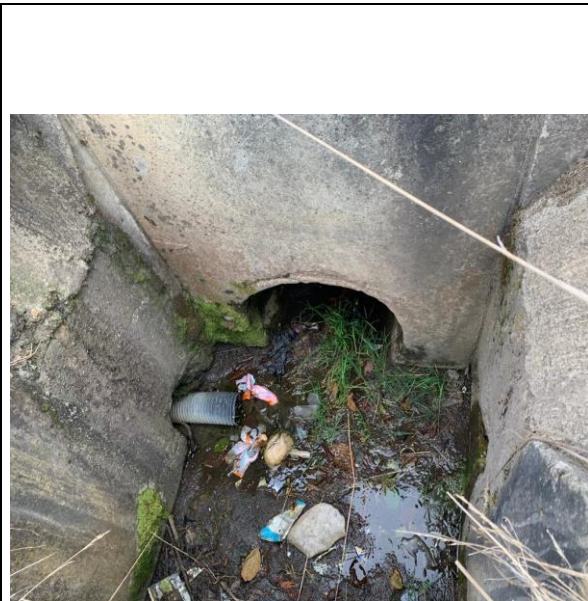
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.6
MURO DE ACOMPAÑAMINETO	Longitud (m)	-	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	-	Espesor (m)	-
SOLADO	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

Fuente: Geodinámica

Esta alcantarilla no posee un descole adecuado provocando que, estas aguas recolectadas sean vertidas al terreno natural, lo que afecta la estabilidad del talud, también se resalta que existe la presencia de sedimentos y basura lo que obstruye el paso del agua y genera encharcamientos. A continuación, se presenta fotografías tomadas en la visita, en las cuales se puede evidenciar el estado actual de esta obra hidráulica.



Fotografía 12. Se observa que el alcantarillado presenta muro de acompañamiento, zanja, guardarruedas y sol



Fotografía 13. Se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 6.1 m y un diámetro de 24"



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



Fotografía 14. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural



Fotografía 15. Se evidencia la presencia de aletas

En la zona de viviendas no se presenta un control de aguas residuales y lluvias ni tampoco se encuentran obras hidráulicas, canales, zanjias, cajas de recolección de agua etc., ocasionando que estas aguas se distribuyan a lo largo el terreno, provocando encharcamientos y socavaciones en la vía existente.



Fotografía 16. manejo inadecuado de aguas lluvias y residuales, nodo Tunal Alto
Fuente: Geodinámica

En un sector del polígono, existe una zanja vial que vierte las aguas recolectadas a el terreno, lo que, ocasionando un encharcamiento, en la siguiente fotografía se puede observar la afectación de que esto genera.



Fotografía 17. Encharcamiento por mal manejo de aguas. nodo Tunal Alto
Fuente: Geodinámica

La recolección de aguas lluvias en el sector del colegio se hace por medio de canales y tubería de 2", que llega a una caja de recolección, a la siguiente fotografía se observa con más detalle el funcionamiento de esta.



Fotografía 18. Recolección de aguas lluvias, colegio Tunal Alto
Fuente: Geodinámica

Se presenta una zona de encharcamiento y humedad, se desconoce la procedencia de estas aguas. Ver siguiente fotografía



Fotografía 19. Encharcamiento de agua, Nodo Tunal Alto
Fuente: Geodinámica

11.8 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 18. Período de retorno según tipo de obra.

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

Fuente: Manual de drenaje de carreteras de INVIAS.

En los estudios del tramo de vía que corresponden a este informe, se utiliza el método racional para estimar el caudal de diseño para las obras de drenaje, el cual aplica para cuencas con un área menor o igual a 2.5 km². Este criterio está de acuerdo con lo estipulado en el Manual de Drenaje de Carreteras de INVIAS.

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

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

Dónde:

Q: Caudal máximo, (m³/s)

F: Factor de reducción de la lluvia puntual por área de drenaje, valor adimensional.

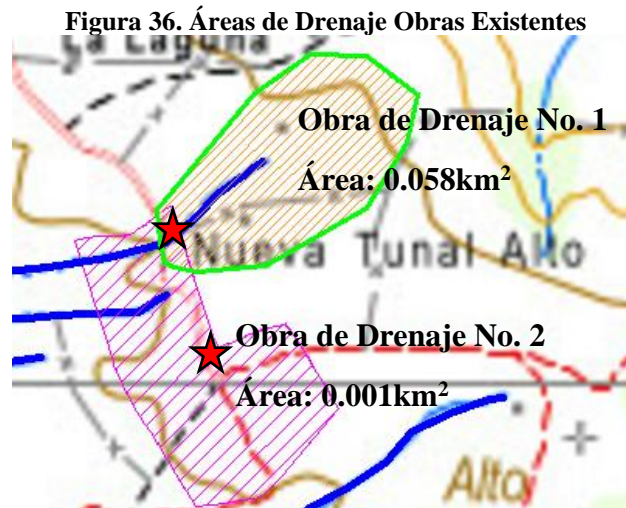
C: Coeficiente de escorrentía.

i: Intensidad de la lluvia, (mm/h)

A: Área de Drenaje, (Km²)

- **Áreas de Drenaje:**

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



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 km².

- **Coefficiente 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 19 Coberturas de la tierra nodo Tunal Alto

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Tunal alto	112	Tejido urbano Discontinuo	0,29
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,44
	1311	Otras Explotaciones	0,23
	1421	Áreas Culturales	0,38
	2151	Papa	0,06
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,08
	231	Pastos Limpios	4,79
	411	Zonas Pantanosas	0,10

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:

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

Figura 37. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow

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_c : 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-Williams⁴ que corresponde a la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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

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

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

Dónde:

- ✓ T_c: 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_c: 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 Temez, corresponde a la siguiente ecuación:

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

Dónde:

⁴ Pilgrim y Cordery, 1993, p.9-16

- ✓ 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 20. Evaluación de caudales

No	Área (Km ²)	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 ³ /s)		
					10 años	25 años	50 años				Tr=10 años	Tr=25 años	Tr=50 años
1	0.058	0.350	0.02857	15.0	0.44	0.48	0.51	57.7	62.8	71.6	0.41	0.49	0.59
2	0.010	0.100	0.10000	15.0	0.44	0.48	0.51	57.7	68.7	78.4	0.07	0.09	0.11

Fuente: Elaboración Propia.

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

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

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

Dónde:

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

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 21. Evaluación Obras de Drenaje

No.	Área (Km ²)	Caudal Máximo Instantáneo (m ³ /s)	OBRA EXISTENTE					OBSERVACIONES	
			Cant	b (m)	f (m)	h (m)	Capacidad (m ³ /s)		Longitud(m)
1	0.058	0.41	1		0.60		0.34	6.10	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente de diámetro ϕ 24" (0.60 m), la obra es insuficiente hidráulicamente, se recomienda reemplazo por Alcantarilla de diámetro ϕ 36" (0.90 m).
2	0.01	0.07	1		0.60		0.34	6.10	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente de diámetro ϕ 24" (0.60 m), aunque la obra es suficiente hidráulicamente, se recomienda reemplazo por Alcantarilla de diámetro ϕ 36" (0.90 m) para permitir de manera adecuada las actividades de limpieza y mantenimiento.

11.10 EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN

Los resultados de capacidad de filtración de los diferentes depósitos se tomaron a partir de la literatura aportada por el doctor Lambe en su libro *Mecánica de suelos*⁵. En su libro describe los coeficientes de permeabilidad de la siguiente forma:

Tabla 22. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo

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

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

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

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

⁵ Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1972). *Mecánica de suelos* (No. 624.151 LAM).

Tabla 23. Resultados de pruebas de permeabilidad ⁶

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

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.

11.11 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 está descrito mediante la siguiente ecuación:

$$P = E_s + ETR + I$$

Donde,

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

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

⁶ 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).

Tabla 24. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo

MES	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA	EVP	DEF	EXC
Enero	54.93	15.4	51.47	-3.46	0.00
Febrero	46.79	15.3	40.87	-5.92	0.00
Marzo	68.45	15.3	47.48	-20.97	0.00
Abril	92.59	15.6	44.77	-71.22	-23.40
Mayo	104.52	15.6	45.36	0.00	59.16
Junio	91.09	15.6	53.30	0.00	37.79
Julio	61.83	15.5	23.90	0.00	37.94
Agosto	55.18	15.3	19.99	0.00	35.18
Septiembre	48.44	15.3	31.54	0.00	16.91
Octubre	52.48	15.6	50.74	0.00	1.74
Noviembre	113.12	15.5	65.04	0.00	48.08
Diciembre	116.46	15.4	58.93	0.00	57.53
Total, Anual	905.89	15.44	533.39	-172.78	270.92

Fuente: Elaboración Propia.

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

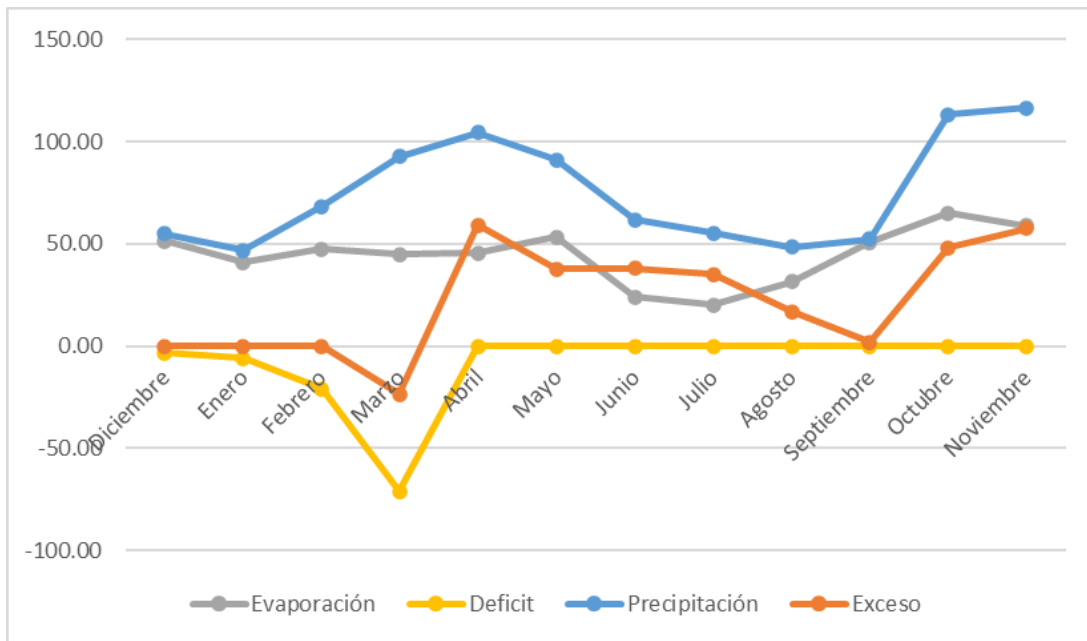


Figura 38. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas
Fuente: Elaboración Propia.

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 Tunal Alto

Fuente: SIMMA

12.2 DIAGNOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El día 19 de enero de 2023 se llevó a cabo la visita de reconocimiento inicial del área de estudio del Nodo 4 denominado Tunal Alto, 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 el área de estudio.

- Debido al mal manejo de aguas en la zona se pueden evidenciar que a lo largo del polígono existe presencia de áreas húmedas. (Ver fotografía 20 y 21)
- Se encuentran alcantarillas de 24" donde algunas presentan descole eficiente y otras no, ya que las aguas se vierten directamente al terreno, tal como se puede detallar en las fotografías 22 y 23.
- Existe una cuneta vial pendiente al terreno natural, ocasionando un encharcamiento. (Ver fotografía 24)
- Para el nodo Tunal alto se evidencia que, en la zona de viviendas no se presenta un control de aguas residuales y lluvias ni tampoco se encuentran obras hidráulicas, canales, zanjas, cajas de recolección de agua etc., ocasionando que estas aguas se distribuyan a lo largo el terreno, provocando encharcamientos y socavaciones en la vía existente. (Ver fotografía 25 y 26)

En general, se puede mencionar que el ancho promedio del polígono es de 228 m, y la longitud del mismo es de 369 m, para un área aproximada de 6,37 Ha. El terreno presenta una cobertura vegetal consistente en pastos y arbustos.



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



Fotografía 20. Encharcamiento por mal manejo de aguas.
nodo Tunal Alto



Fotografía 21. Encharcamiento de agua,
Nodo Tunal Alto



Fotografía 22. Alcantarilla de 24" con obstaculización por
basuras y sedimentos



Fotografía 23. Las alcantarillas presentan
descole deficiente



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



Fotografía 24. Zanja vial, mal manejo de aguas



Fotografía 25. Mal manejo de aguas
residuales y lluvias.



Fotografía 26. Encharcamiento y mal manejo de aguas
residuales y lluvias

12.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Para la caracterización geotécnica del área de estudio se ejecutaron dos (2) sondeos mecánicos de 5.25 m y 10.1 m de profundidad, y tres (3) apiques de 2.10, 2.10 y 2.15 m de profundidad, esto con el fin de caracterizar los materiales existentes en el área y definir su espesor, puesto que, durante las visitas realizadas, se identificaron superficies rellenas las cuales presentan problemas de inestabilidad, debido a la falta de obras de drenaje y control de infiltración. En la carpeta 6 GEOTECNIA se encuentran los registros de exploración y fotográficos con la caracterización y espesores de los materiales presentes en el polígono de estudio.

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 25 – Exploración del subsuelo

TUNAL ALTO			
Sondeo/Apique	Norte (m)	Este (m)	Prof. (m)
S-1	929152.436	971253.135	10.1
S-2	928940.985	971321.258	5.25
AP-1	928906.265	971314.917	2.10
AP-2	929156.651	971211.823	2.10
AP-3	929020.131	971418.236	2.15

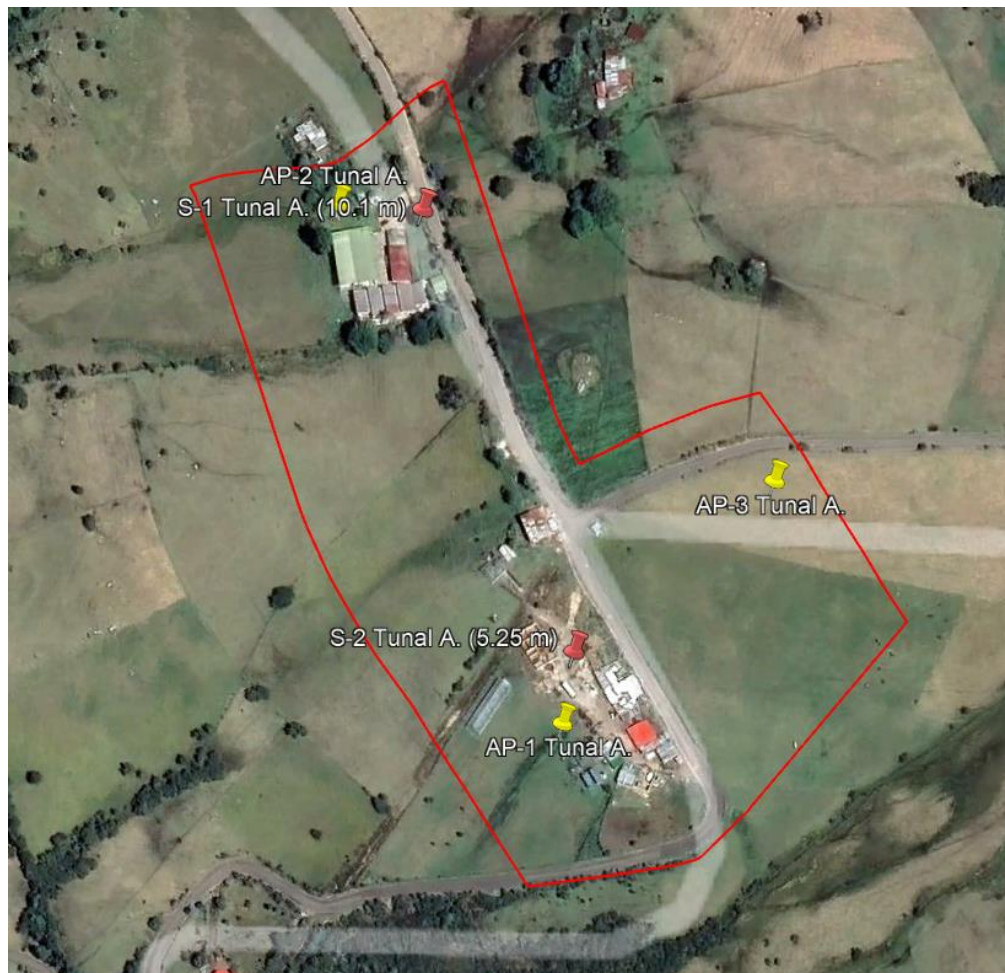


Figura 40- Localización de sondeos ejecutados

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

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

12.3.1 Perfiles de campo:

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

1. SONDEO 1:

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte norte del polígono, se obtuvieron 9 muestras en las cuales se encontraron los siguientes materiales:

- **0.00 m – 0.20 m** → Carpeta de pasto y raíces. Muestra 1 recuperada por SPT (N=7 golpes)
- **0.20 m – 0.90 m** → Capa vegetal limo con arena fina intercalada, puntos de mica, humedad media color negro. Muestra 2 SPT (N=9 golpes).
- **0.90 m – 1.60 m** → Limo arcilloso con arena fina intercalada, puntos de oxido y ocre, raíces finas, plasticidad media, humedad media alta, color de la muestra marrón.
- **1.60 m – 4.00 m** → Arcilla limosa con arena fina intercalada, plasticidad alta, lentes de arena gris fino a medio, humedad alta, vetas amarillas, zonas saturadas, consistencia media, color de la muestra gris claro. Muestra 3 tipo Shelby, Muestra 4 tipo SPT (N=7 golpes).
- **4.00 m – 5.40 m** → Arcilla limosa con arena fina intercalada, plasticidad media alta, lentes de arena gris fino a medio, humedad alta, consistencia suave, color de la muestra habano y gris claro. Muestra 5 tipo Shelby.
- **5.40 m – 6.00 m** → Limo areno arcilloso de grano fino con vetas color ocre, humedad alta, consistencia media color gris claro con manchas color habano Muestra 6 tipo Shelby.
- **6.00 m – 9.20 m** → Formación de arcillolita con arena fina fracturada, puntos ocre, consistencia dura, color de la muestra es café oscuro. Se realiza un cambio de broca a una NQ para las muestras 7, 8 y 9.
- **9.20 m – 10.10 m** → Bloques de arenisca cuarcítica de grano fino a medio, lentes de arcillolita rojiza, dureza alta y color de la muestra gris claro

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



Figura 41. Muestra sondeo # 1

2. SONDEO 2

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte sur del polígono, se obtuvieron 4 muestras en las cuales se encontraron los siguientes materiales.

- **0.00 m – 1.80 m** → Relleno compuesto de limo arenoso, gravas finas, vetas de arcilla color gris claro, raíces, color de la muestra café oscuro. Las muestras fueron de tipo SPT, muestra 1 (N=5 golpes) y muestra 2 (N=7 golpes)
- **1.80 m – 2.20 m** → Limo orgánico arenoso de grano fino, puntos de mica, presencia de raíces finas, humedad media, color de la muestra negro. Muestra 3 tipo SPT (N=10 golpes)
- **2.20 m – 4.80 m** → Arcilla plástica con arena fina intercalada y trazas de color ocre, humedad media, color de la muestra es gris con manchas color habano. Muestras 4 y 5 tipo Shelby
- **4.80 m – 5.25 m** → Arcilla plástica con vetas amarillas y arena fina intercalada, puntos de oxido, color habano con manchas de color gris, Muestra 6 SPT (N=12 golpes).



Figura 42. Muestra sondeo # 2

3. APIQUE 1

Este apique se encuentra ubicado en la parte sur 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. Muestra apique # 1

4. APIQUE 2

Este apique se encuentra ubicado en la parte noroccidente del polígono, se tomó una muestra tipo cubo a una profundidad de 1.40 m hasta 1.65 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. Muestra apique # 2

5. APIQUE 3:

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



Figura 45. Muestra apique #3

12.3.2 Resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT)

Durante la ejecución de los sondeos se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar SPT del cual se obtuvo valores de N (golpes/pie) que permiten correlacionar con la consistencia de los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares. De esta manera se obtuvo la variación en profundidad del valor N en cada sondeo. Se observa que para el sondeo S-1, S-2, los valores de N varían con la profundidad, para el sondeo S-1 el valor máximo alcanzado para $N_{\text{corregido}}$ (N70) es de 25 golpe/pie y (N60) es de 29 golpes/pie, a una profundidad promedio de 0.9 m. Para el sondeo S-2 el valor máximo alcanzado para $N_{\text{corregido}}$ (N70) es de 38 golpes y (N60) es de 44 golpes

En general se observa de los resultados de resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT que la resistencia aumenta con la profundidad en los sondeos S-2. Para el caso del S-1 se observa que el rechazo se obtuvo a 6.05 m de profundidad con la presencia de arcillolita. 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 drenado⁷ se incluyen en las figuras que se presentan a continuación, en la cual se observan valores de c_u . En la siguiente figura se muestra la variación de c_u con la profundidad para cada uno de los sondeos, de haberse obtenido este parámetro por ensayo de corte directo se dará total prelación a este.

⁷ Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

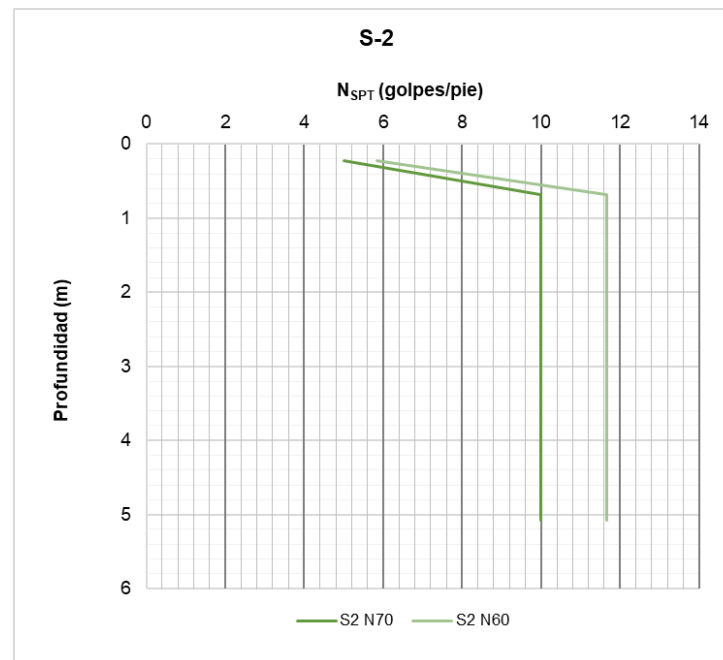
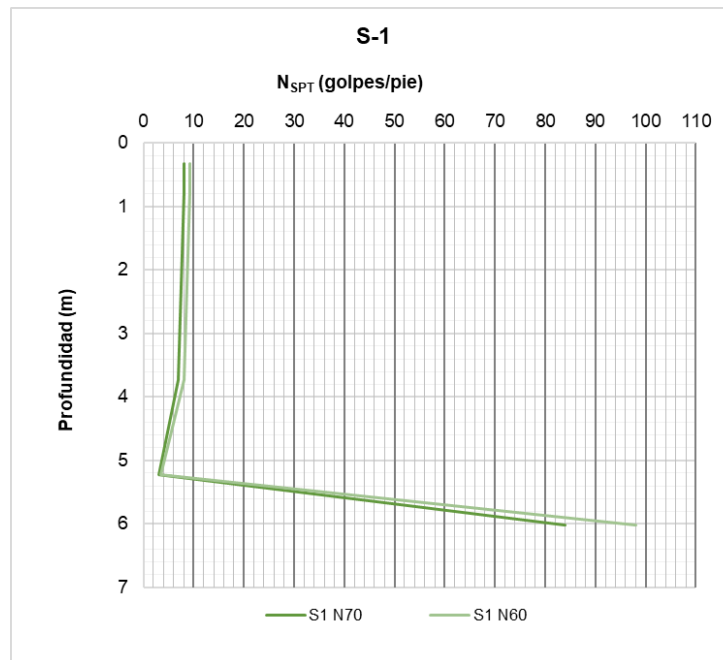


Figura 46. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT

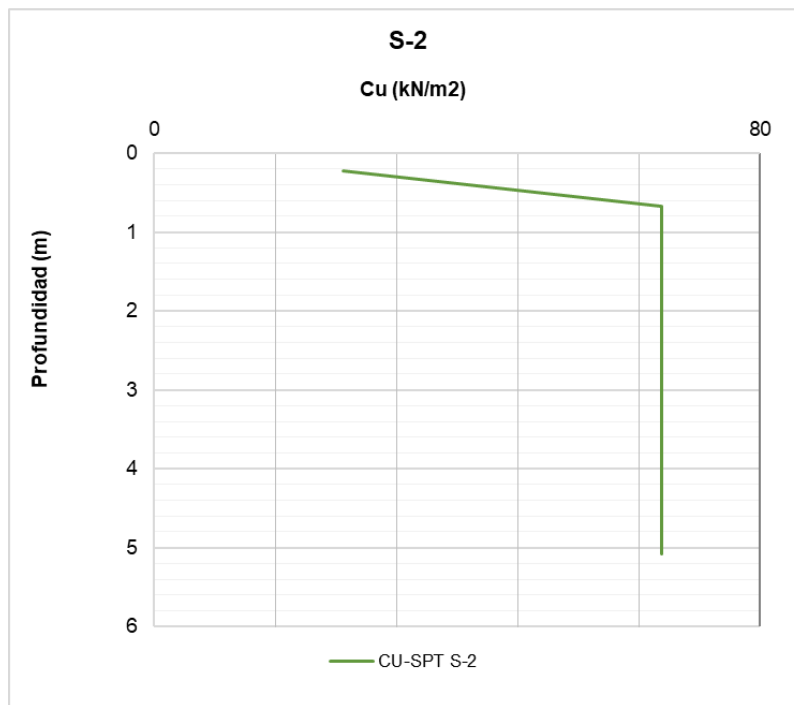
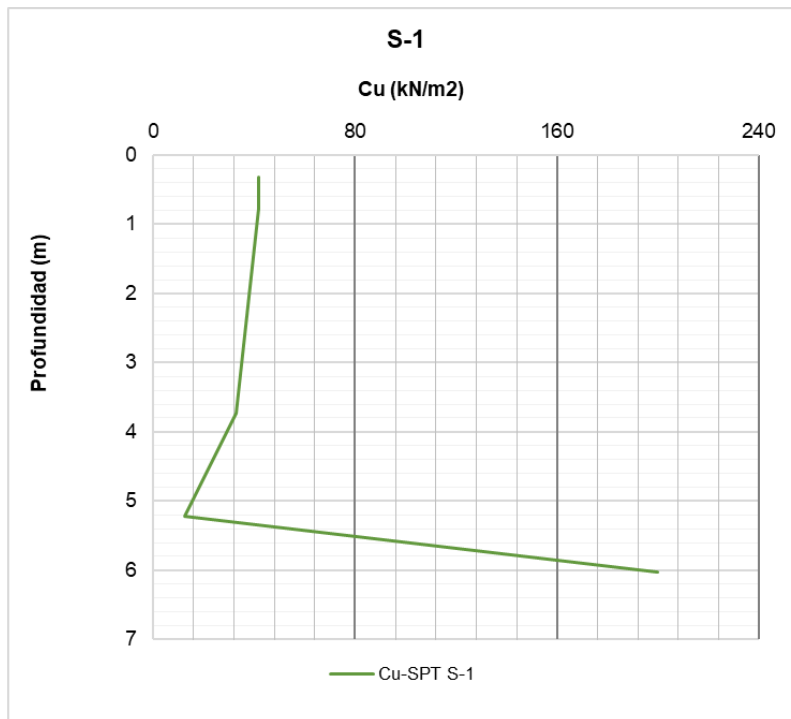


Figura 47. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT

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'^8 y con la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) se estimaron los parámetros ϕ'^9 de manera aproximada por tipo de material. Este método consiste en graficar puntos ($\sigma v'$, τ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicas efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado como se describió anteriormente.

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

- **SONDEO 1**

Tabla 26. Resultados de ϕ y c' S-1

Profundidad media	ϕ	c'
0.33	32.49	42
0.78	29.66	42
3.73	27.17	33
5.23	21.60	13
6.02	63.39	200

Fuente Geodinámica (2023)

⁸ Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

⁹ (Montenegro Padilla, 2014) . Calibración del método de parámetro de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana

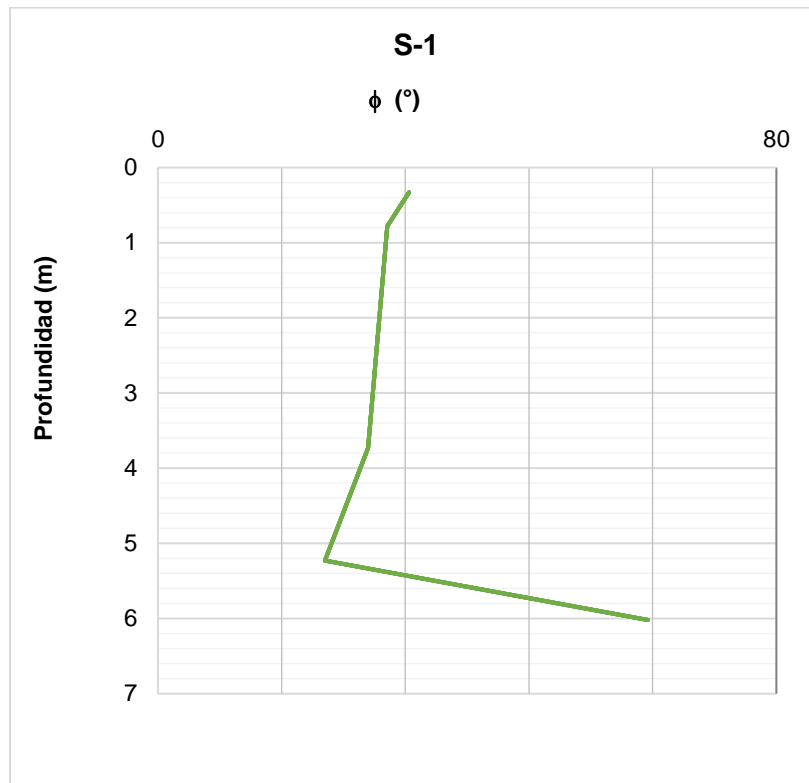


Figura 48. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1

- **SONDEO 2**

Tabla 27. Resultados de ϕ y c' S-2

Profundidad media	ϕ	c'
0.2	30.4	25.0
0.7	31.1	67.0
2.1	31.8	67.0
5.1	30.4	67.0

Fuente Geodinámica (2023)

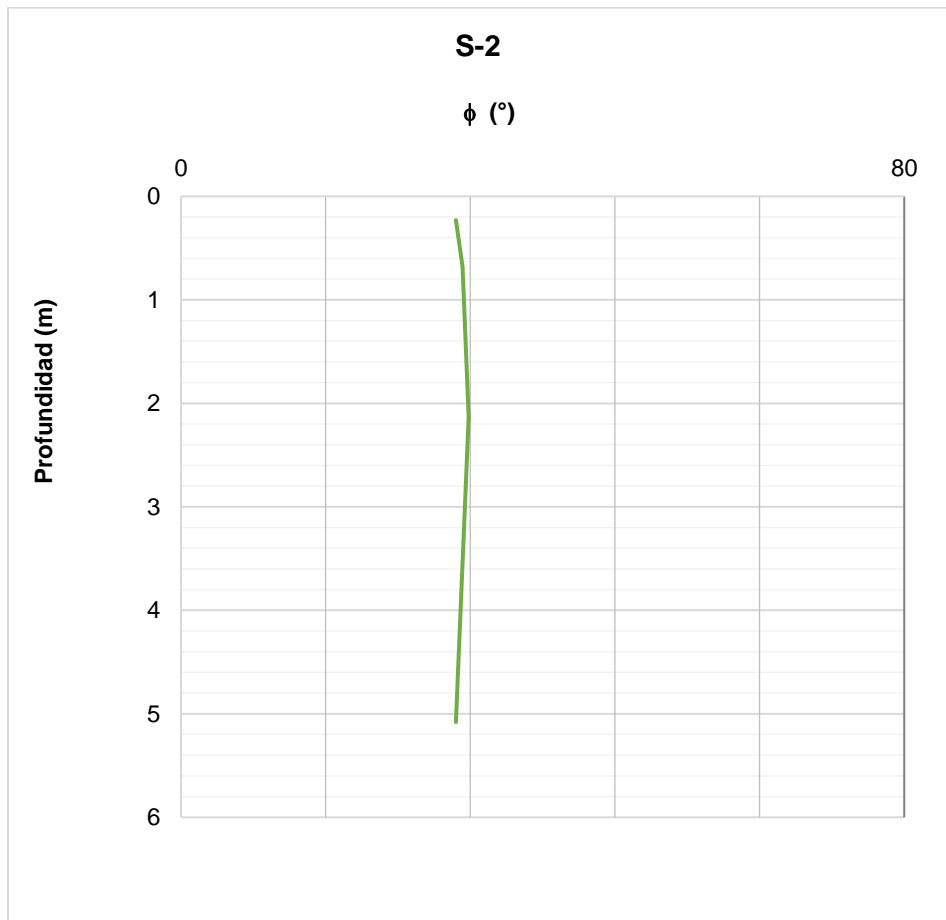


Figura 49. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2

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 40 a 90 %, tal como se indica en la siguiente Figura.

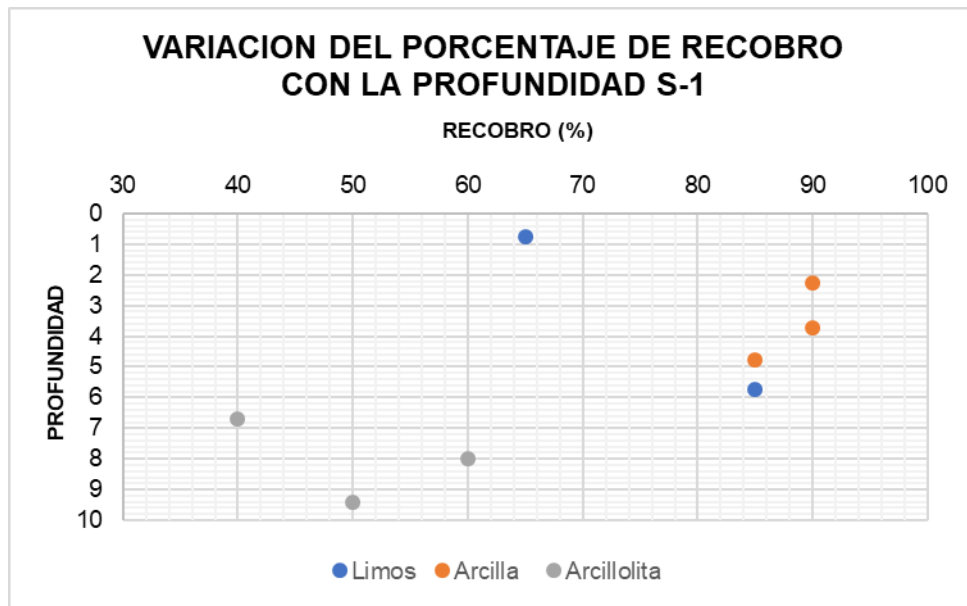


Figura 50. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1

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

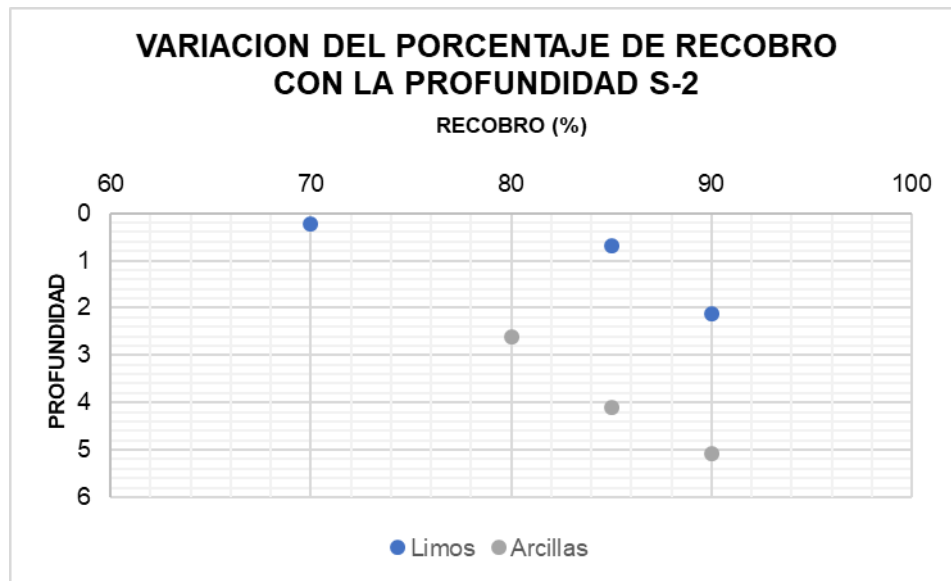


Figura 51. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2

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 inconfiada, hidrometrías, corte directo en condición CD, consolidación rápida, resistencia a la compresión, determinación del contenido orgánico y carga puntual en muestra de roca. Las cantidades de ensayos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 28 – Cantidades de ensayos realizados para el proyecto

ENSAYOS DE LABORATORIO	Tunal Alto
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	1
Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo - agregado	6
Compresión inconfiada 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
Consolidación Rápida	1
Resistencia a la compresión uniaxial de muestras de rocas intactas	1
Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición	1
Carga puntual en muestras de roca intacta	2

Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

12.4.1 HUMEDAD NATURAL Y LIMITES DE ATTERBERG

La humedad natural a lo largo del perfil del subsuelo presenta una variación entre 5.10% a 108.70 %, 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.

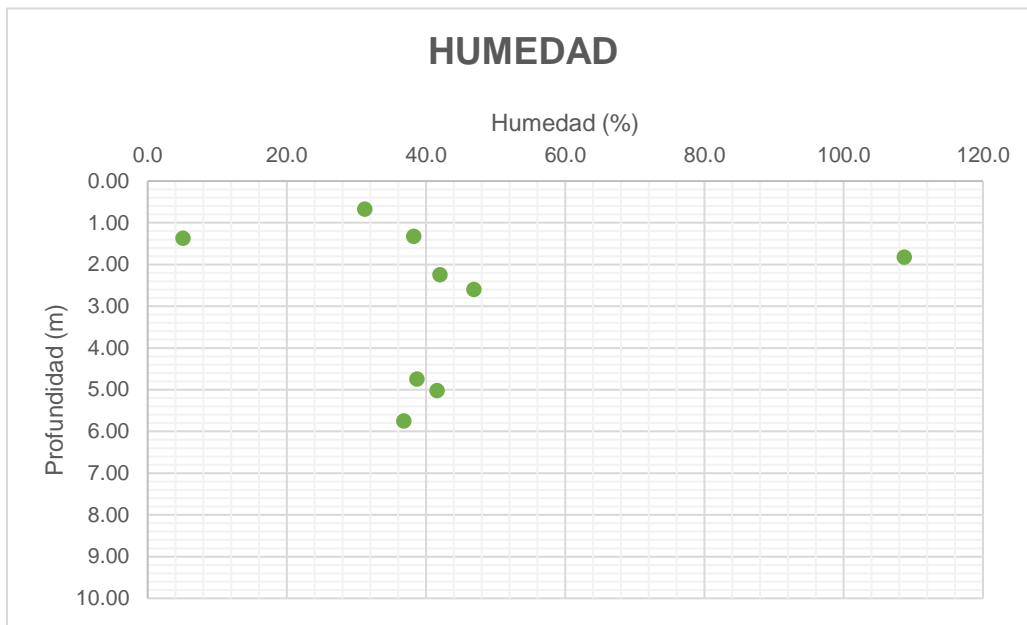


Figura 52. % Humedad Vs Profundidad

12.4.2 LIMITES DE ATTERBERG

Para este nodo, se realizó un ensayo de límites de Atterberg para la muestra 5 del sondeo 1, el límite líquido el cual permite determinar el porcentaje de humedad con que un suelo cambia es de 85%; para el caso del límite plástico, que es la humedad a la cual un pequeño cilindro de suelo comienza a desmigajarse es del 28%. Por último, 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, presenta un valor de 57%.

De acuerdo con la carta de plasticidad, para el ensayo de límites realizado, el material se clasifica como una arcilla de alta compresibilidad CH tal como se incluye en la siguiente Figura.

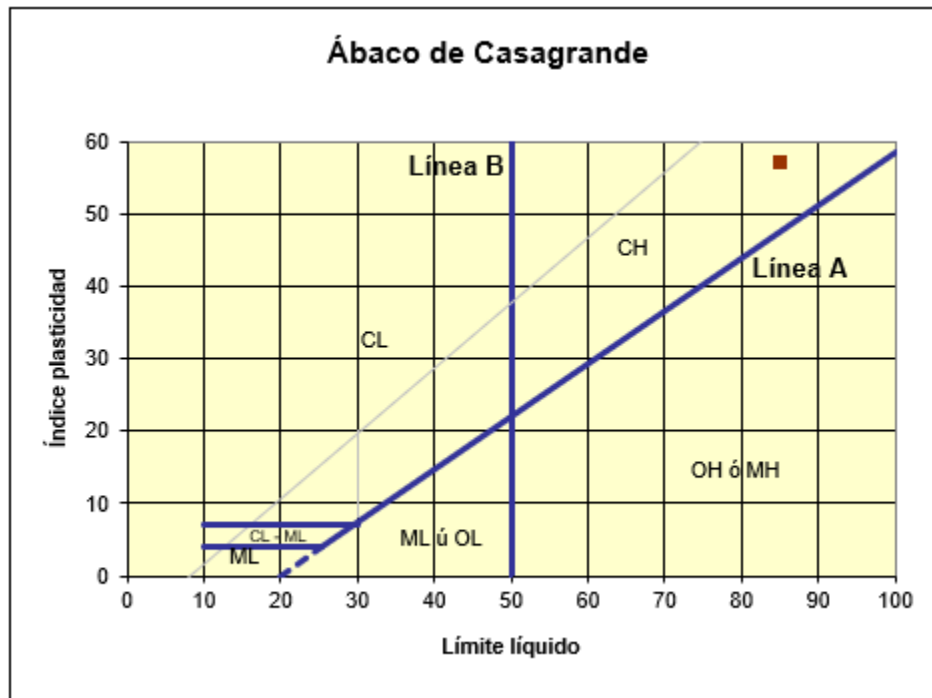


Figura 53. % Carta de plasticidad de Casagrande

12.4.3 GRANULOMETRÍA

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados, para la profundidad entre 0.45 m a 0.90 m, se encuentra una composición granulométrica conformada por 62.10% de finos, 33.4% de arenas y 4.50% de gravas.

para la profundidad entre 1.20 m y 1.65 m, se presenta un 94% de finos y un 6.00% de arenas en la composición granulométrica. A 2.00 m y 2.50 m de profundidad, se presenta una granulometría promedio de 99.5% de finos y 0.5% de arenas.

La composición granulométrica promedio del material identificado como una Arcilla plástica con vetas amarillas y arena fina intercalada, desde 4.85 m hasta 5.30 m de profundidad, es de 92.9% de finos y 7.1% de arenas, y por último para una profundidad entre 5.50 m y 6.00 m, se presenta una composición granulométrica promedio de 62.10% de finos, 33.40% de arenas y 4.50% de gravas.

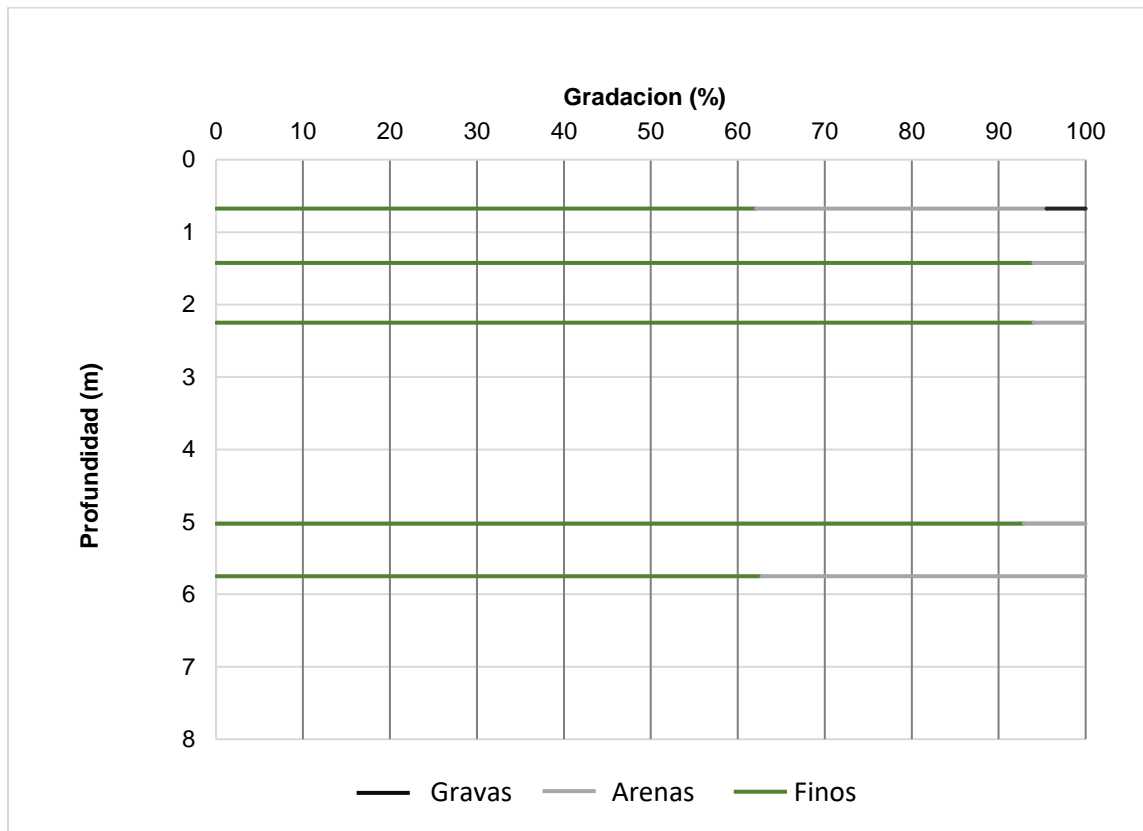


Figura 54. Distribución granulométrica Vs profundidad

12.4.4 PESO UNITARIO:

El peso unitario total presenta una variación entre 15.52 kN/m³ a 22.97 kN/m³, con un valor promedio de 18.80 kN/m³.

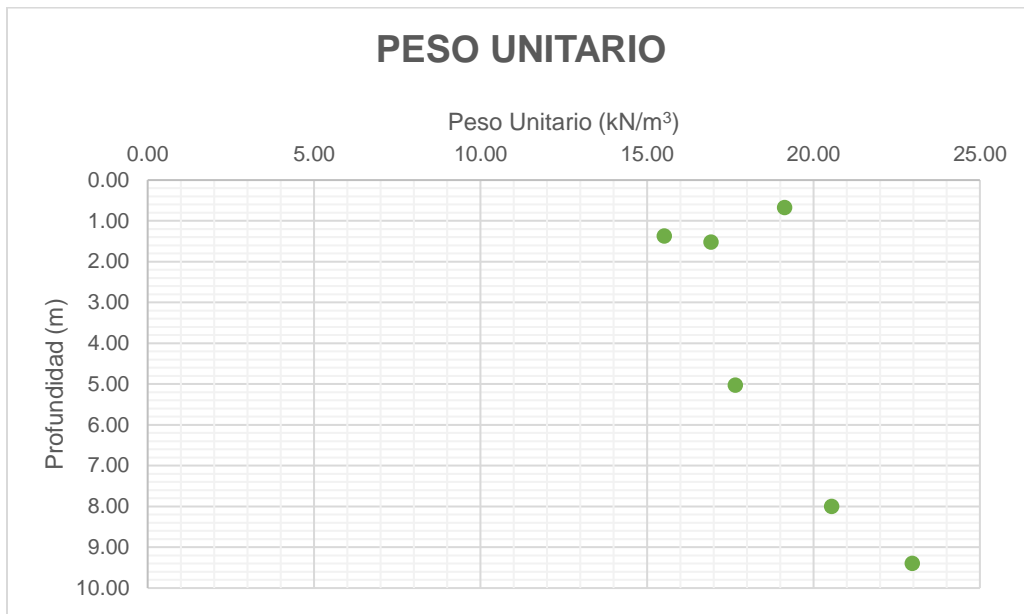


Figura 55. Peso unitario Vs. Profundidad

12.4.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA:

Para este nodo, el valor de gravedad específica (Gs) obtenido se encuentra entre de 2.52 a 2.77.

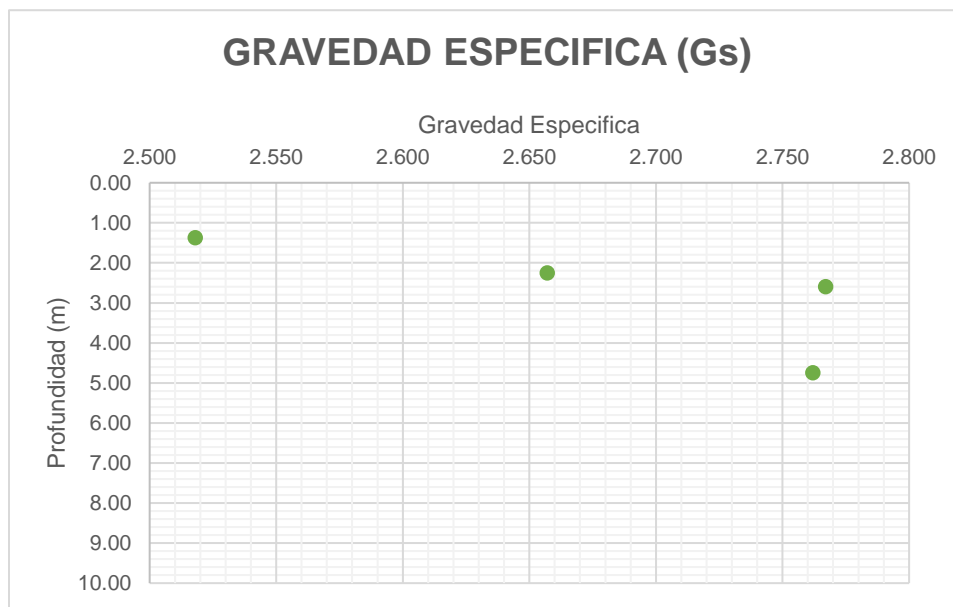


Figura 56. % Gravedad específica Vs Profundidad

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 S1 (M3) sobre el cual se extrajo una muestra representativa por medio de barrena. El valor obtenido para ángulo de fricción es de 26.5° y de 6.86 kPa para cohesión.

Tabla 29 – Resultados de ensayos de corte directo

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Cohesión c' kPa	Ángulo de fricción (ϕ')
S1	3	1.9 – 2.35	Estrato 2 (Limo arcilloso orgánico con presencia de raíces en descomposición (Turba)). Estrato 3 (Arcilla limosa con arena fina intercalada, presencia de raíces y puntos de óxido).	6.86	26.5

12.4.7 CONSOLIDACIÓN RÁPIDA:

Este ensayo se realizó sobre 1 muestra extraída del presente estudio, junto con el material identificado del S2 (M4). El esfuerzo de pre consolidación para esta muestra fue de 201 kPa.

Tabla 30 – Resultados de ensayos de corte directo

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Esfuerzo de Pre consolidación (kPa)
S2	4	2.5-5.4	Arcilla con limos y arena fina intercalada, plasticidad media, humedad alta y consistencia rígida, color de la muestra marrón 4 con manchas amarillo oscuro.	201

12.4.8 HIDROMETRIAS:

Este ensayo se realizó en dos muestras extraídas del presente estudio, en los materiales identificados del S2 (M4) y AP1 (CUBO), en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- **S2 (M4):**

En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

- % de arena fina → 0.8%
- **% de finos → 99.2%**
- ✓ % de Limos → 55.2%
- ✓ % de arcillas → 44.0%

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

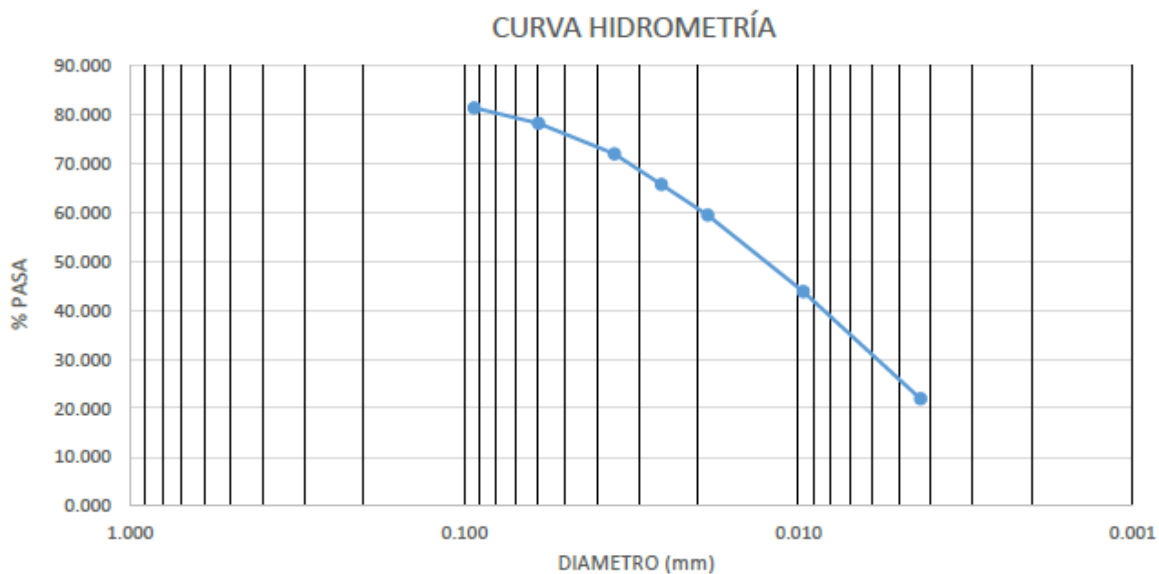


Figura 57. % Curva Hidrometría S2(M4)
Fuente: Bateman Ingeniería S.A.S. (2023)

- **AP1 (CUBO):**

En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

- % de arena fina → 4.5%
- **% de finos → 95.5%**
- ✓ % de Limos → 31.1%
- ✓ % de arcillas → 64.4%

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

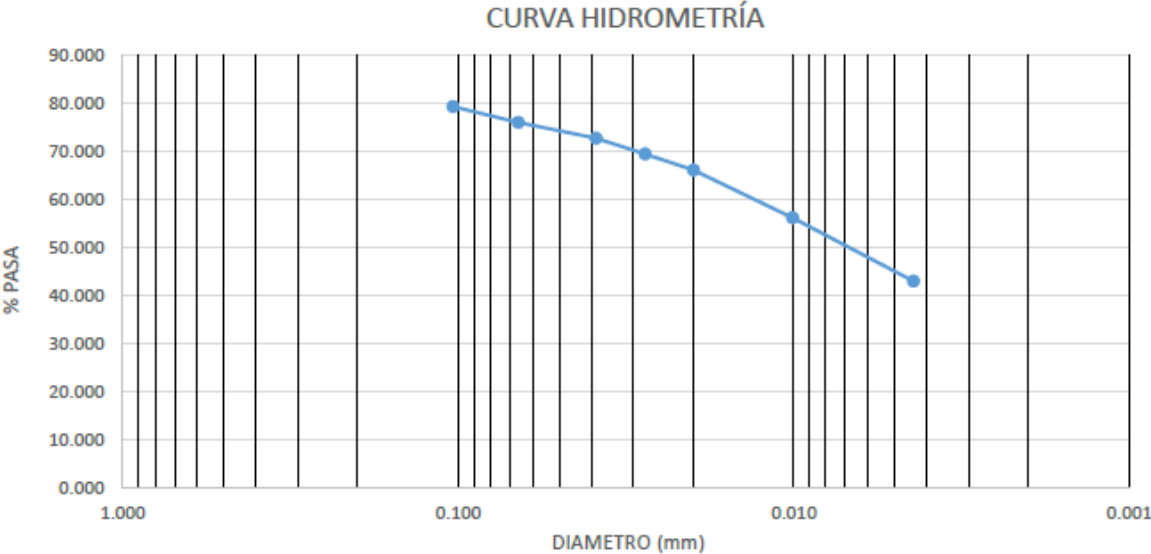


Figura 58. % Curva Hidrometría AP-1(CUBO)
Fuente: Bateman Ingeniería S.A.S. (2023)

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 31. Parámetros estimados para cada sondeo

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
Sondeo 1		
0.33	32.49	42
0.78	29.66	42
3.73	27.17	33
5.23	21.60	13
6.02	63.39	200
Sondeo 2		
0.2	30.4	25.0
0.7	31.1	67.0
2.1	31.8	67.0
5.1	30.4	67.0

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

Tabla 32. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
S1 (M3)		
2.25	26.5	6.86

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

12.5.1.1 Sondeo 1:

12.5.1.1.1 Muestra 1:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
0.33	32.49	42

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 8$, donde para la profundidad media de 0.33 m, se encuentra un limo, el cual presenta teóricamente un valor de 32.49° como ángulo de fricción y una cohesión de 42 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, ya que es un material superficial.

12.5.1.1.2 Muestra 2:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
0.78	29.66	42

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 8$, donde para la profundidad media de 0.78 m, se encuentra limo arcilloso, el cual presenta teóricamente un valor de 29.66° como ángulo de fricción y una cohesión de 42 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, ya que es un material superficial.

12.5.1.1.3 Muestra 4:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
3.73	27.17	33

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 7$, donde para la profundidad media de 3.73 m, se encuentra una arcilla limosa, la cual presenta teóricamente un valor de 27.17° como ángulo de fricción y una cohesión de 33 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 y la similitud que presenta con el material al cual se le realizó el ensayo.

12.5.1.1.4 Profundidad de 5 m a 5.45 m:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
5.23	21.60	13

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 3$, donde para la profundidad media de 5.23 m, se encuentra una arcilla limosa con presencia de grano fino, la cual presenta teóricamente un valor de 21.6° como ángulo de fricción y una cohesión de 13 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.

12.5.1.1.5 Profundidad de 6 m a 6.05 m:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
6.02	63.39	200

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 84$, donde para la profundidad media de 9.925 m, se encuentra formación de arcillolita, la cual presenta teóricamente un valor de 63.39° como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando que se encuentra roca, ya que la muestra se tomó mediante barra NQ.

12.5.1.2 Sondeo 2:

12.5.1.2.1 Muestra 1:

Profundidad media	ϕ ($^\circ$)	c' (kPa)
0.2	30.4	25.0

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 5$, donde para la profundidad media de 0.2 m, se encuentra un limo arenoso, el cual presenta teóricamente un valor de 30.4° como ángulo de fricción y una cohesión de 25 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.

12.5.1.2.2 Muestra 2:

Profundidad media	ϕ ($^\circ$)	c' (kPa)
0.7	31.1	67.0

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 10$, donde para la profundidad media de 0.7 m, se encuentra un limo arenoso, el cual presenta teóricamente un valor de 31.1° como ángulo de fricción y una cohesión de 67 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando las características del material.

12.5.1.2.3 Muestra 3:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
2.1	31.8	67.0

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 10$, donde para la profundidad media de 2.1 m, se encuentra un limo arenoso, el cual presenta teóricamente un valor de 31.8° como ángulo de fricción y una cohesión de 67 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando las características del material.

12.5.1.2.4 Muestra 6:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
5.1	30.4	67.0

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 10$, donde para la profundidad media de 5.1 m, se encuentra una arcilla, la cual presenta teóricamente un valor de 30.4° como ángulo de fricción y una cohesión de 67 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando las características del material.

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

12.5.2 Angulo de fricción (ϕ):

Para el ángulo de fricción, se obtiene:

Tabla 33. Análisis estadístico (Ángulo de fricción)

ϕ (°)	
Media	26.39239218
Error típico	2.5724431
Mediana	27.17332368
Moda	#N/D
Desviación estándar	4.455602148
Varianza de la muestra	19.8523905
Curtosis	#¡DIV/0!
Coefficiente de asimetría	- 0.764484279
Rango	8.807950954
Mínimo	21.59795095
Máximo	30.40590191
Suma	79.17717654
Cuenta	3

Teniendo en cuenta los valores teóricos del ángulo de fricción, se obtienen como medio un valor de 26.4° , 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 4.46.

12.5.3 Cohesión (c'):

Para la cohesión, se obtiene:

Tabla 34. Análisis estadístico (cohesión)

c'	
Media	23.5
Error típico	5.96517672
Mediana	25
Moda	#N/D
Desviación estándar	10.3319892
Varianza de la muestra	106.75

Curtosis	#DIV/0!
Coefficiente de asimetría	0.63954077
Rango	20.5
Mínimo	12.5
Máximo	33
Suma	70.5
Cuenta	3

Teniendo en cuenta los valores teóricos de la cohesión, se obtienen como media un valor de 23.5 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 10.33.

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 35. Análisis estadístico de parámetros

Porcentaje (%)	ϕ	c'
40%	26.4	23.5
60%	26.5	6.9
100%	26.5	13.5

12.5.4 PESO UNITARIO:

Para el peso unitario, se obtiene:

Tabla 36. Análisis estadístico (Peso Unitario)

Peso Unitario (kN/m³)	
Media	18.795
Error típico	1.09729592
Mediana	18.4
Moda	#N/D

Desviación estándar	2.6878151
Varianza de la muestra	7.22435
Curtosis	0.32013799
Coefficiente de asimetría	0.54296682
Rango	7.45
Mínimo	15.52
Máximo	22.97
Suma	112.77
Cuenta	6

Teniendo en cuenta los resultados de los pesos unitarios obtenidos en el laboratorio, se tiene como media un valor de 18.8 kN/m^3 , el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 100%, Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 2.74.

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

Tabla 37. Parámetros Geotécnicos

ϕ (°)	C' (kPa)	γ (kN/m ³)
26.5	13.5	18.8

12.6 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

Con base en el análisis geológico se logra determinar la presencia de dos UGI, correspondientes al suelo residual arcilloso y roca blanda arcillosa. Con base en los resultados de laboratorio se les asignan parámetros geotécnicos, características geomecánicas de resistencia y densidad, las unidades son:

12.6.1 Suelo residual arcilloso (Sra).

Unidad generada por la meteorización de la unidad roca blanda, está integrada por arcilla orgánica con raíces, limo arcilloso marrón con arena fina intercalada, arcilla limosa de color marrón con arena fina intercalada y limo arenoso gris con vetas de color café de consistencia media.

Esta unidad se reconoció mediante los sondeos exploratorios y los apiques realizados, en los registros exploratorios su espesor alcanzo 6 m en el sondeo exploratorio S1, en el sondeo exploratorio S2 no se alcanzó a establecer el espesor del suelo residual debido a la poca profundidad perforada, sin embargo, se estima un espesor entre 6 y 8 m para el suelo residual.

Teniendo en cuenta las UGI descritas en la guía metodológica el suelo residual encontrado en el nodo Tunal Alto corresponde a un suelo residual arcilloso, por lo cual se caracteriza con la nomenclatura Sra.

12.6.2 Roca Blanda arcillosa (Rba)

Corresponde a una secuencia de arcillolita de color café oscuro con niveles delgados de areniscas de grano fino, arcillolitas de color amarillo oscuro, y areniscas cuarzosas de grano fino a medio de color gris claro, intercaladas con arcillolitas rojizas.

Esta unidad fue reconocida en el sector donde se realizó el sondeo exploratorio S1, y fue detectada a partir de 6 m, en la parte suroeste del polígono de estudio; en el sondeo 2 no se detectó, pero se estima que la roca se encuentra a partir de 8 m de profundidad.

La roca blanda se detectó mediante la perforación exploratoria 1, donde se detectó entre 6 y 10.1 m, está integrada en mayor proporción por arcillolita con algún nivel delgado de areniscas cuarzosas de gano fino a medio.

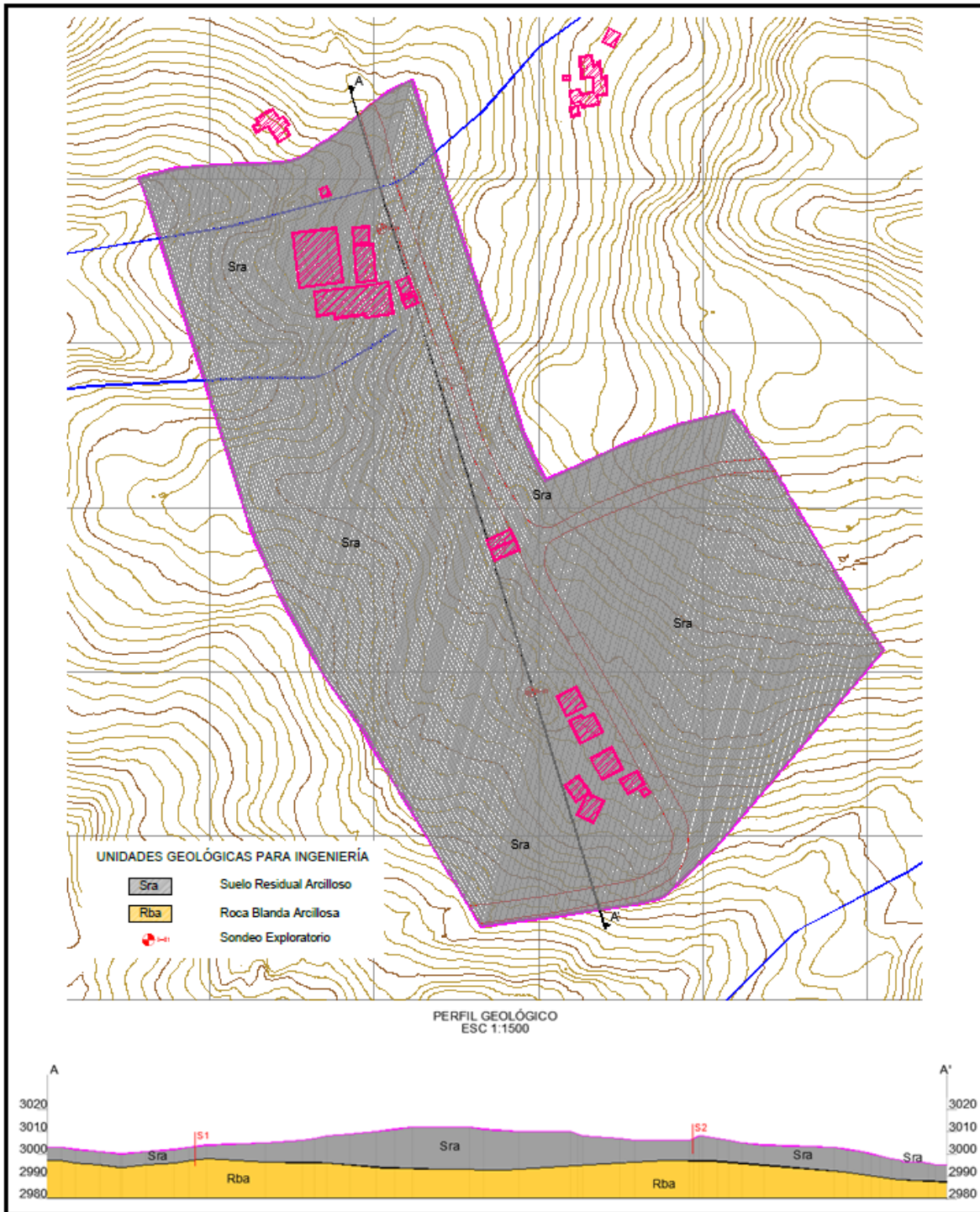


Figura 60. Unidades geológicas para ingeniería del polígono Tunal Alto. Escala 1:5.000.

Tabla 38 Características zonas geotécnicas

Suelo residual arcilloso (Sra) Entre 6 – 8 m.

Humedad:	5.1 - 46.4 %
Peso Unitario:	18.8 kN/m ³
Ángulo de fricción ¹⁰	26.5°
Gravedad específica	2.657 - 2.767
Cohesión ¹¹	13.5 kPa

Material 2: Roca Blanda arcillosa (Rba).

Roca Blanda Lutita.

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

Tabla 39 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT

Material	γ (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)
Sra	18.8	13.5	26.5
Rba	20.4	200	45

Fuente Geodinámica (2023)

¹⁰ Carmona-Álvarez, J. E., & Ruge-Cárdenas, J. C. (2015). Análisis de las correlaciones existentes del ángulo de fricción efectivo para suelos del piedemonte oriental de Bogotá usando ensayos in situ. *Tecnológicas*, 18(35), 93-104.

¹¹ Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

12.7 NIVEL FREÁTICO

12.7.1 NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO

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

Tabla 40. Tabla resumen nivel freático

Sondeo	Nivel Freático (m)
S-1	1.40
S-2	1.90

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 61. 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	77	85	90	92
1/8 de acre 65	61	75	83	87
1/4 de acre 38	57	72	81	86
1/3 de acre 30	54	70	80	85
1/2 de acre 25	51	68	79	84
1 de acre 20				
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 62. 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_1), 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 (σ) 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:

$$\bar{p}_f = \frac{p_{f1} + p_{f2} + \dots + x_n}{n}$$

Por último, se consideró una intensidad de la lluvia infiltrada diaria (I_{20}) 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:

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

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

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
- **Residencial** → % Área culturales + % Otras Explotaciones + % Tejido urbano discontinuo
- **Zonas pantanosas** → % Zonas pantanosas
- **Cultivos sin tratamiento de conservación** → % Otros cultivos permanentes + % Papa
- **Calles y carreteras** → % Red vial

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

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

Tabla 41. 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)
Sra	Cubierta de pasto (50% al 75%)	79.00	1.39	8.00	6.61
	Residencial	79.00	1.89	10.00	8.11
	Zonas Pantanosas	71.00	1.40	10.00	8.60



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



	Cultivos sin tratamiento de conservación	88.00	1.39	8.00	6.61
	Calles y carreteras	89.00	1.39	8.00	6.61

12.8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

12.8.1 TALUD INFINITO

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

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 utilizó la siguiente formula:

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

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

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

12.8.1.1 Angulo de inclinación de la horizontal β

El valor del Angulo beta para el polígono de estudio es de $\beta = 5^\circ$

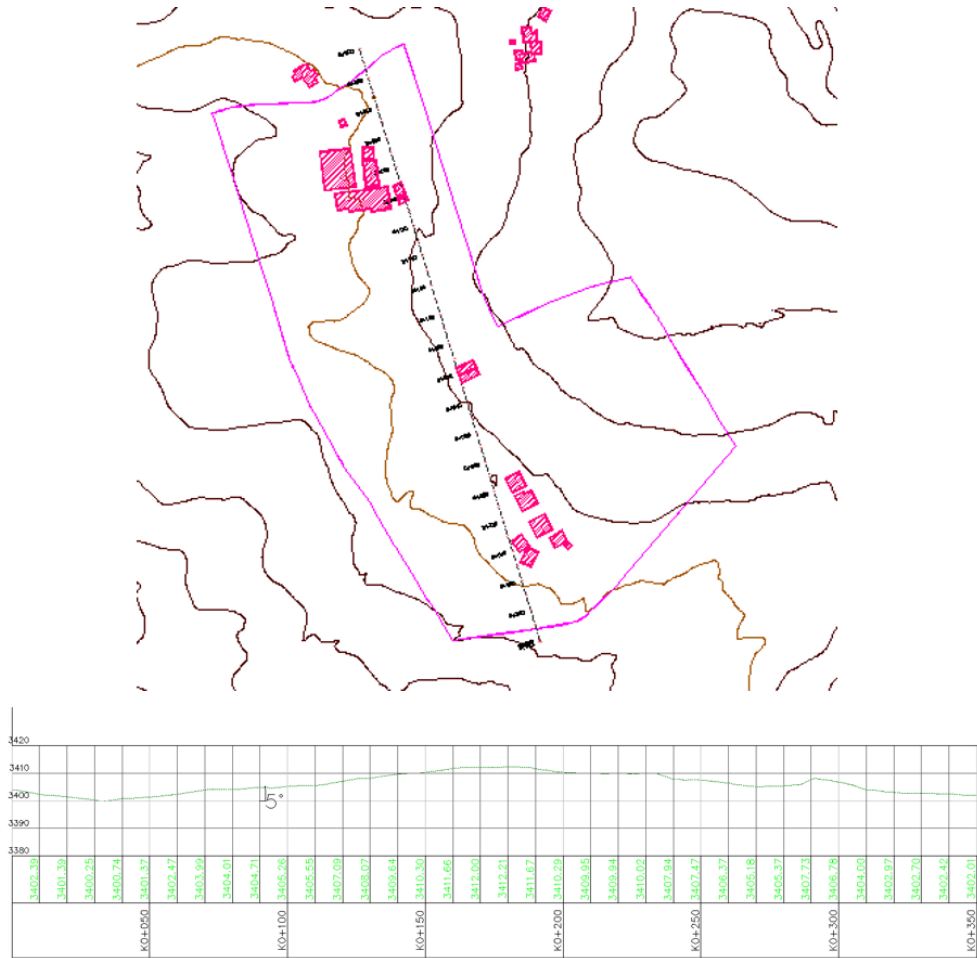




Figura 63. Planta y perfil Angulo β

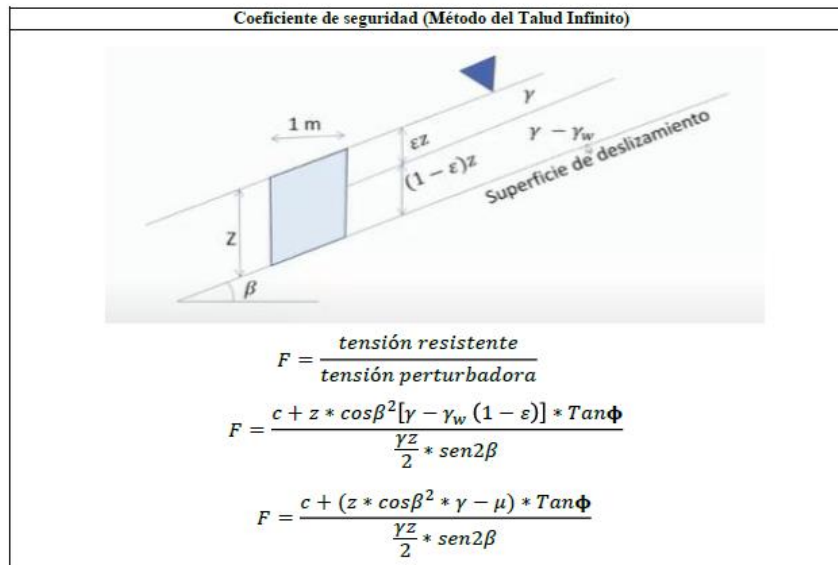


ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.
AMBIENTE
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos
y Cambio Climático

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



GEODINAMICA INGENIERIA	METODO DEL TALUD INFINITO TUNAL ALTO		
	No. DEL PROYECTO:	188 Zonificación Sumapaz	



DATOS ENTRADA		
c	13.5	kN/m ²
z	8	m
z _w	1.4	m
γ	18.8	kN/m ³
γ _w	9.81	kN/m ³
β	5	°
Φ	26.5	°

DATOS SALIDA		
β	0.0872665	Rad
Φ	0.4625123	Rad
μ	13.734	kN/m ²
F _s	6.208	

RESULTADO	
F _s	6.208
¿ALTA?	NO
¿MEDIA?	NO
¿BAJA?	SI

Figura 64. 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 65. 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:

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

- ✓ 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:

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

Donde:

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

γ \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.

γ_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.

α \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 residual arcilloso y roca blanda arcillosa que de acuerdo a sus características litológicas y geotécnicas se clasifica en roca blanda (Rba), ya que por medio de la exploración geotécnica se llegó hasta el punto que permitiera caracterizar a que roca se asocia. Para el suelo residual se define un espesor entre 6 y 8 metros.

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

Dentro del nodo de estudio no se evidencio ningún proceso morfodinámico, por lo que no se realizan levantamientos, y las erosiones encontradas no son cartografiables en la escala de estudio.

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 $A_0 = 0.22$ para una tasa de retorno (TR) de 475 años.

Mediante la metodología Corinne Land Cover, las coberturas del nodo de estudio se clasifican en tejido urbano discontinuo, red vial, pastos, cultivos y zonas pantanosas, 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 San Juan, y allí se determina el valor de Pf_{20} y hw para la UGI cartografiada.

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

análisis de zonificación de amenaza actual y futura, anexado en la carpeta PLANOS TUNAL ALTO denominados Amenaza-Actual y Amenaza-Futura.

12.10.1 AMENAZA ACTUAL:

12.10.1.1 **Nivel de amenaza alto:**

Corresponde al 8.22% 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 0.22 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. 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 67.06% 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 24.71%, 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 75.19% 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 0.22 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. 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 24.81% 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 no se presentan movimientos activos, por lo cual para este nodo no se estima un valor aproximado de distancia de viaje.

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 Lodolitas de Fusagasugá (Pglf) y roca blanda 3.
- B. El polígono evaluado se ubica cerca de la falla Sumapaz, al oriente de esta, corresponde a una zona con rocas sedimentarias plegadas del Paleógeno, donde probablemente se presente una estructura sinclinal que corresponda a la continuación hacia el sur del sinclinal de San Juan. El polígono se ubica al SE del cierre sur del mencionado Sinclinal; las rocas sedimentarias de la Formación Lodolitas de Fusagasugá presentan un rumbo N30W y una inclinación de unos 15 hacia el SW., dentro del polígono no se evidencian unidades geológicas de superficie.
- C. En la geología local del nodo Tunal Alto, fue posible encontrar material clasificado como suelo residual arcilloso y roca que de acuerdo a sus características litológicas y geotécnicas se clasifica en roca blanda arcillosa (Rba), considerando que en la exploración geotécnica se encontraron características de la roca.
- 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), 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. El coeficiente de aceleración para este nodo de estudio, es de $A_0 = 0.22$ 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.
- F. Las coberturas de tierra para este nodo de estudio, se desarrolla conforme a la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia; se clasifican en tejido urbano discontinuo, red vial, pastos, cultivos y zonas pantanosas, donde se presenta rastros de la presencia de una zona húmeda, sin embargo, debido a la dinámica de uso

de la zona la cobertura que más domina son los pastos limpios la cual ocupa 4,79ha correspondientes a 75,2% de todo el nodo

- G. 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.
- H. Se analiza la información pluviométrica del nodo de estudio, tomando como base la información de la estación PM San Juan, 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.
- I. 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.
- J. 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.
- K. Se ejecutan los sondeos y los apiques programados para el sector, evidenciando que en algunas perforaciones se encontró la roca, a partir de este análisis, se justifican las unidades geológicas regionales presentadas.
- L. 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.
- M. Se genera la estimación de parámetros de resistencia a partir del ensayo SPT, con la metodología propuesta por González, A. J. (1999) para la cohesión y la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) para ϕ , donde se grafican puntos (σ_v , τ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicas efectivos buscados, y finalmente estimar de manera aproximada los valores de c' y ϕ .

- N. Se realizan 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 inconfiada, hidrometrías, corte directo en condición CD, consolidación rápida, resistencia a la compresión, determinación del contenido orgánico, los cuales se analizaron de manera detallada.
- O. Se realiza un análisis estadístico detallado de los parámetros geotécnicos, donde se toman cada una de las muestras extraídas y se analizan de acuerdo a las características y los resultados de ϕ y c' .
- P. Se realiza el modelo geológico geotécnico con base en el análisis geológico y se logra determinar la presencia de suelo residual arcilloso y roca blanda arcillosa, 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.
- Q. 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).
- R. 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.
- S. 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. Para el polígono de estudio se obtiene que, en la parte trasera del salón comunal, presenta amenaza alta.
- T. En la zonificación actual del nodo, se evidencia que el 8.22% 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 67.06% del área de estudio presenta un nivel de amenaza medio, mientras que el 24.71% del área representa nivel de amenaza bajo.

- U. En la zonificación futura se caracterizan dos niveles de amenaza, en lo cual el 75.19% 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 24.81% del área total del polígono se encuentra en amenaza media.
- V. 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.
- W. 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.
- X. De acuerdo al análisis realizado a lo largo del estudio, Dentro del nodo de estudio no se presentan movimientos activos, por lo cual para este nodo no se estima un valor aproximado de distancia de viaje.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía Local de Sumapaz, A. d. (29 de 12 de 2022). *Identificación y Priorización Escenario de Riesgo*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/329657/Identificaci%C3%B3n+y+Priorizaci%C3%B3n.pdf/c0c0d444-dcce-4c14-9f06-a40e0f9f7777>
- Chow V.T., M. D. (1994). *Hidrología aplicada*. Bogotá. Colombiano, S. G. (s.f.). http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/
- DADEP. (01 de 2023). *Respuesta Carta entidad DADEP, consultaron la entidad SIGDEP y SIDEPA*.
- 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
- IDU. (01 de 2023). *Respuesta a informacion sobre la malla vial, inventario de la infraestructura vial y reservas de Civs*.
- Montenegro Padilla, L. F. (2014). *Calibracion del metodo de parametro de resistencia con SPT en suelos de la region llanera colombiana*.
- Nacional, U. (2013). *Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000*.
- SERVICIO 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

Trujillo Corredor, R. H. (2013). *Dinámica de la construcción por usos, Localidad de Rafael Uribe Uribe*. Obtenido de <https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/archivos/rafael%20uribe%20uribe.pdf>

- 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.
- 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.

14 ANEXOS

- 1 - ESTUDIOS DE GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGIA
- 3 – SISMOLOGIA
- 4. ANEXO COBERTURAS Y USOS DEL SUELO (GENERAL)
- 5 - HIDROLOGIA Y DRENAJE SUP
- 6 - GEOTECNIA
- ANEXO REGISTROS FOTOGRAFICOS
- GIS
- PLANOS TUNAL ALTO
- RASTER
- INFORME EJECUTIVO
- INFORME FINAL
- PRESENTACIÓN NODO TUNAL ALTO