

## CLASIFICADO

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

**Instituto Distrital De Gestión De Riesgos Y Cambio Climático  
IDIGER**

**Diagonal 47 No. 77 B – 09 Interior 11**

**PBX. (57 1) 4292800**

**[idiger@idiger.gov.co](mailto:idiger@idiger.gov.co)**

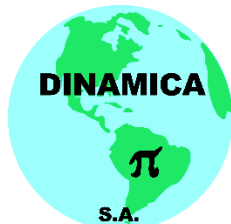
**Bogotá D.C. - Colombia.**

**Representante de la consultoría: Ing. Mauricio Hernán Camargo**

**Supervisor: Torres Ing. S.A.S.**

## ESTUDIO BÁSICO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL NODO DE EQUIPAMENTOS SANTA ANA

**GEODINÁMICA INGENIERÍA S.A**



**CONTRATO 278 DE 2022**

**ORIGINAL INFORME FINAL**

**MAYO DE 2023**

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

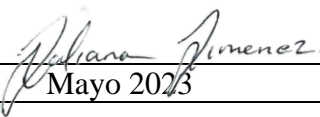
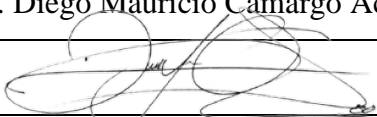
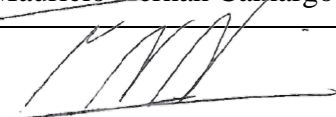
## HOJA DE CONTROL


ENTIDAD	RESPONSABLE	EJEMPLARES
IDIGER	SUPERVISOR	
INTERVENTORÍA	DIRECTOR	

## ÍNDICE DE MODIFICACIONES


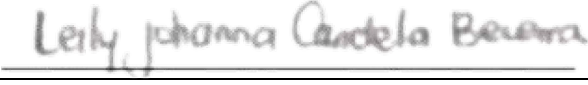
VERSIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
Entrega 1	Entrega 1	30 diciembre 2022	Se realiza entrega
Entrega 2	Entrega 2	27 enero 2023	Se realiza entrega
Entrega 3 - 1	Entrega (3 nodos)	6 de marzo 2023	Se realiza entrega de los 3 nodos acordados.
Entrega 3 - 2	Entrega (5 nodos)	5 de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

## ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN DE CONSULTORÍA

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

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

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN DE INTERVENTORÍA

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

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN .....	14
2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS.....	15
3	VERIFICACIÓN DEL POLIGONO .....	16
4	METODOLOGIA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA.....	17
4.1	METODOLOGÍA.....	17
5	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA .....	21
5.1	GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ:.....	21
5.1.1	GEOMORFOLOGIA .....	21
5.2	CUENCA RIO SUMAPAZ:.....	23
5.2.1	Suelos: .....	24
5.2.2	Pendientes de la localidad Sumapaz, Cuenca Rio Sumapaz: .....	25
5.2.3	Clima: .....	25
5.3	DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO SANTA ANA: .....	25
5.3.1	Amenaza: .....	25
5.3.2	Pendientes Polígono Santa Ana.....	26
5.3.3	Precipitaciones:.....	27
5.3.4	Hidrogeología.....	28
5.3.5	Análisis sísmico:.....	30
5.3.6	Estudios previos.....	31
5.3.7	Resumen Del Estudio De Riesgos Por Fenómenos De Remoción En Masa Y Evaluación De Alternativas De Mitigación Para El Asentamiento Menor De Santa Ana (Santo Domingo) De La Localidad De Sumapaz, En Bogotá D. C. ....	32
5.3.8	Información Secundaria.....	43
6	GEOLOGÍA .....	52
6.1	ESTRATIGRAFÍA .....	52
6.1.2	UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES .....	53
6.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	55
6.3	GEOLOGIA LOCAL .....	56
6.3.1	Roca Blanda arcillosa (Rba).....	57



6.3.2	Suelo residual arcilloso (Sra).....	57
6.3.3	Suelo transportado coluvión (Stc) .....	57
7	GEOMORFOLOGÍA .....	60
7.1	ELEMENTO DE ORIGEN DENUDATIVO .....	60
7.1.1	Lomo residual (Dlr).....	60
7.1.2	Depósito coluvial (Dco).....	60
7.2	ELEMENTOS GEOMORFOLOGICOS:.....	62
8	PROCESOS MORFODINAMICOS.....	63
9	SISMOLOGÍA .....	64
10	COBERTURA Y USOS DEL SUELO .....	65
10.1	COBERTURA DE LA TIERRA. ....	65
10.2	USO ACTUAL DEL SUELO.....	70
10.3	RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO: 72	
11	HIDROLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL .....	74
11.1	INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	74
11.2	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA .....	75
11.3	ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.....	75
11.4	PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES. ....	75
11.5	NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN .....	76
11.6	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS. ....	77
11.6.1	ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF. ....	78
11.6.2	IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA .....	81
11.7	OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES: 82	
11.8	ALCANTARILLADO SANTA ANA:.....	89
11.9	CAUDALES DE DISEÑO .....	90
11.10	EVALUACIÓN HIDRÁULICA.....	95
11.11	EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN.....	97
11.12	BALANCE HÍDRICO .....	98

12	INVESTIGACIÓN GEOTECNICA.....	101
12.1	PROGRAMA DE EXPLORACIÓN .....	101
12.1.1	ANTECEDENTES .....	101
12.2	Diagnóstico Del Área De Estudio.....	101
12.3	IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO: .....	103
12.3.1	Perfiles de campo: .....	105
12.3.2	Resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT) .....	109
12.4	ENSAYOS DE LABORATORIO .....	117
12.4.1	HUMEDAD NATURAL.....	118
12.4.2	LIMITES DE ATTERBERG .....	119
12.4.3	GRANULOMETRÍA .....	120
12.4.4	PESO UNITARIO .....	121
12.4.5	GRAVEDAD ESPECIFICA .....	121
12.4.6	CORTE DIRECTO.....	122
12.4.7	CONSOLIDACIÓN RÁPIDA .....	122
12.4.8	HIDROMETRIAS:.....	123
12.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DETALLADO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS:.....	129
12.5.1	ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN: .....	129
12.5.2	SUELO RESIDUAL ARCILLOSO (Sra) .....	130
12.5.3	Angulo de fricción ( $\phi$ ):.....	134
12.5.4	Cohesión ( $c'$ ):.....	134
12.5.5	PESO UNITARIO:.....	135
12.5.6	SUELO TRANSPORTADO COLUVIÓN (Stc): .....	136
12.6	MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO .....	137
12.6.1	Roca Blanda arcillosa (Rba).....	137
12.6.2	Suelo residual arcilloso (Sra).....	137
12.6.3	Suelo transportado coluvión (Stc) .....	137
12.7	NIVEL FREÁTICO .....	141
12.7.1	NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO .....	141

12.7.2	ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO: .....	141
12.8	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	145
12.8.1	TALUD INFINITO .....	145
12.9	EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA: .....	149
12.9.1	EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA .....	151
12.9.2	CONDICIÓN ACTUAL: .....	152
12.9.3	CONDICIÓN FUTURA:.....	153
12.10	ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA: .....	154
12.10.1	AMENAZA ACTUAL: .....	155
12.10.2	AMENAZA FUTURA: .....	156
12.11	DISTANCIA DE VIAJE:.....	157
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	159
14	BIBLIOGRAFÍA.....	163
15	ANEXOS.....	166

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Localización y área Nodo Santa Ana.....	15
Figura 2. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000 .....	17
Figura 3. Localización área Sumapaz y nodo Santa Ana. ....	22
Figura 4. Ubicación del Nodo Santa Ana. ....	23
Figura 5. Asociación del suelo Cuenca Rio Sumapaz. ....	24
Figura 6. Pendientes de la localidad Sumpaz. ....	25
Figura 7. Clima de localidad.....	25
Figura 8. Amenaza del polígono Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500 .....	26
Figura 9. Niveles de detalle. ....	26
Figura 10. Pendientes del polígono Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000 .....	27
Figura 11. Precipitaciones del polígono Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500 .....	28
Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Santa Ana.....	30
Figura 13. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Santa Ana .....	31
Figura 14. Aspectos Geológicos para la zona Santa Ana.....	33
Figura 15. Perfil Geológico para la zona Santa Ana .....	33
Figura 16. Localización sondeos .....	35
Figura 17. Condición actual de la zona de estudio .....	37
Figura 18. Condiciones proyectada a 50 años .....	37
Figura 19. Localización muro de concreto reforzado.....	38
Figura 20. Alternativa 1 muro de concreto reforzado .....	39
Figura 21. Alternativa 2 muro de concreto reforzado .....	40
Figura 22. Plan de Riesgo para el sector Santa Ana.....	42
Figura 23. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM .....	44
Figura 24. Ubicación de predios para el nodo Santa Ana .....	45
Figura 25. Ubicación y área de terrenos rurales presentes en el nodo Santa Ana .....	45
Figura 26. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat .....	46
Figura 27. Prestación de Servicios ASOAGUAS CLARAS SUMAPAZ E.S.P.....	47
Figura 28. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Santa Ana. ....	49
Figura 29. Viviendas localizadas para el polígono Santa Ana .....	51
Figura 30. Mapa geológico regional modificado plancha 265 Icononzo, INGEOMINAS 1999. ....	53
Figura 31. Mapa de unidades geológicas de superficie modificado de FOPAE-UNAL 2013. ....	54

Figura 32. Geología estructural Santa Ana, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.	56
.....	
Figura 33. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Santa Ana. Escala 1:5000.....	58
Figura 34. Características del polígono Santa Ana.....	59
Figura 35, Elementos Geomorfológicos del polígono Santa Ana. Escala 1:5.000.....	61
Figura 36. Sismología del polígono Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500 .....	64
Figura 37. Coberturas Nodo Santa Rosa .....	69
Figura 38. Tipo de uso del suelo nodo Santa Ana .....	72
Figura 39. Localización Estaciones Nodo 3 - Santa Ana .....	74
Figura 40. Distribución Mensual de Precipitación Estación PM San Juan .....	76
Figura 41. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión .....	79
Figura 42. Curvas IDF Estación PM San Juan. ....	80
Figura 43. Descripción Red de Drenaje Nodo 3 - Santa Ana.....	82
Figura 44. Alcantarillas existentes en el nodo Sana Ana .....	83
Figura 45. Áreas de Drenaje Obras Existentes .....	91
Figura 46. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow.....	93
Figura 47. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas.....	100
Figura 48. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Santa Ana .....	101
Figura 49- Localización de perforación ejecutada. ....	104
Figura 50. Muestras sondeo #1.....	106
Figura 51. Muestras sondeo # 2.....	107
Figura 52. Muestra sondeo # 3 .....	108
Figura 53. Muestras apique #1 .....	108
Figura 54. Muestras apique # 2 .....	109
Figura 55. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT .....	110
Figura 56. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT.....	111
Figura 57. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1.....	113
Figura 58. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2.....	114
Figura 59. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-3.....	115
Figura 60. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1.....	116
Figura 61. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2.....	116
Figura 62. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-3.....	117
Figura 63. Porcentaje de humedad Vs profundidad .....	118
Figura 64. Carta de plasticidad de Casagrande.....	119
Figura 65. Distribución granulométrica Vs profundidad.....	120
Figura 66. Peso unitario Vs profundidad.....	121

Figura 67. Gravedad específica Vs profundidad .....	122
Figura 68. % Curva Hidrometría S1(M6).....	124
Figura 69. % Curva Hidrometría S2(M4).....	125
Figura 70. % Curva Hidrometría S3(M2).....	126
Figura 71. Tabla resumen de resultados .....	128
Figura 72. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Santa Ana. Escala 1:5000.....	138
Figura 73. Clasificación de los suelos .....	141
Figura 74. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo .....	142
Figura 75. Planta y perfil ángulo $\beta$ .....	147
Figura 76. Método del Talud Infinito .....	148
Figura 77. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento .....	151

## TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo .....	19
Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica .....	29
Tabla 3. Aceleraciones Máximas en Superficie y de Diseño .....	36
Tabla 4. Categorización de Amenaza por FRM .....	36
Tabla 5. Resumen factores de seguridad área de estudio. ....	38
Tabla 6. Clasificación de la tipología de vivienda.....	40
Tabla 7. Resumen de los resultados de vulnerabilidad.....	41
Tabla 8. Estado y diagnóstico de la malla vial e inventario de infraestructura .....	43
Tabla 9. Reserva de CIV para Santa Ana .....	43
Tabla 10. Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales .....	50
Tabla 11. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales .....	50
Tabla 12. Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Santa Ana .....	62
Tabla 13. Coberturas de la tierra nodo Santa Ana.....	67
Tabla 14. Uso del suelo Nodo Santa Ana.....	71
Tabla 15. Estaciones empleadas Nodo 3 – Santa Ana.....	74
Tabla 16. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PM San Juan. ....	76
Tabla 17. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PM San Juan. ....	76
Tabla 18. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PM San Juan. ....	77
Tabla 19. Valores Parámetros de Regresión en Colombia .....	79
Tabla 20. Relaciones IDF – Estación PM San Juan .....	81
Tabla 21. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 1 .....	83
Tabla 22. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 2 .....	85
Tabla 23. Período de retorno según tipo de obra.....	90
Tabla 24. Coberturas de la tierra Nodo Santa Ana.....	92
Tabla 25. Evaluación de caudales.....	95
Tabla 26. Evaluación Obras de Drenaje .....	97
Tabla 27. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo.....	97
Tabla 28. Resultados de pruebas de permeabilidad .....	98
Tabla 29. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo .....	99
Tabla 30 – Exploración del Subsuelo.....	104
Tabla 31. Resultados de $\phi$ y $c'$ S-1 .....	112
Tabla 32. Resultados de $\phi$ y $c'$ S-2.....	113
Tabla 33. Resultados de $\phi$ y $c'$ S-3 .....	114
Tabla 34 – Cantidades de ensayos realizados para el proyecto .....	117

Tabla 35. Resultados de ensayo de corte directo.....	122
Tabla 36. Resultado de ensayos de consolidación rápida.....	123
Tabla 37. Parámetros estimados para cada sondeo.....	129
Tabla 38. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio .....	130
Tabla 39. Análisis estadístico (Ángulo de fricción) .....	134
Tabla 40. Análisis estadístico (cohesión) .....	134
Tabla 41. Análisis estadístico de parámetros .....	135
Tabla 42. Análisis estadístico (Peso Unitario) .....	135
Tabla 43. Parámetros Geotécnicos (Sra) .....	136
Tabla 44. Parámetros Geotécnicos (Stc).....	136
Tabla 45 Características zonas geotécnicas.....	138
Tabla 46 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT .....	139
Tabla 47. Tabla resumen de nivel freático .....	141
Tabla 48. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años .....	144



## TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Derecha vegetación secundaria (A), izquierda pastos limpios (B). .....	69
Fotografía 2. Derecha vivienda rural dispersa (A), izquierda pastos limpios (B). .....	69
Fotografía 3. Pastos limpios. ....	70
Fotografía 4. Vía (A) Viviendas dispersas (B). .....	70
Fotografía 5. Pasturas manejadas .....	70
Fotografía 6. Otros cultivos permanentes .....	70
Fotografía 7. Se observa alcantarillado el cual se encuentra sellado con una tapa de concreto .....	84
Fotografía 8. Se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 7.3 m y un diámetro de 30" .....	84
Fotografía 9. Existe descole, sin embargo, este es insuficiente puesto que se vierten las aguas recolectadas al terreno natural .....	85
Fotografía 10. Se evidencia la presencia de aletas y solado, así mismo se resalta la falta de mantenimiento que se le realiza a esta obra hidráulica .....	85
Fotografía 11. Se observa que el alcantarillado presenta muro de acompañamiento, zanja, guardarruedas y solado. ....	86
Fotografía 12. Se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 5.3 m y un diámetro de 30" .....	86
Fotografía 13. Salida de alcantarilla, no presenta descole.....	87
Fotografía 14. red de Alcantarillado, nodo Santa Ana .....	87
Fotografía 15. Alcantarillas presentes en el nodo Santa Ana .....	88
Fotografía 16. Obstrucción de alcantarilla por basura y sedimentos.....	88
Fotografía 17. Recolección de aguas lluvias salón comunal, Santa Ana .....	89
Fotografía 18 Se presentan altas pendientes sobre el nodo de estudio. ....	102
Fotografía 19 Se encuentra una red de alcantarillado a lo largo del nodo de estudio. ....	102
Fotografía 20 Deficiencia en el descole de las alcantarillas encontradas a lo largo del nodo. .....	103
Fotografía 21 Escarpe encontrado en la parte trasera del salón comunal.....	103
Fotografía 22 Construcciones encontradas a lo largo del nodo de estudio, donde se encuentra el escarpe detallado anteriormente. ....	103
Fotografía 23 Acceso vial encontrado dentro del polígono, el cual presenta altas pendientes. .....	103

## 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.

Adicional a eso se muestra el plan de exploración del subsuelo para el Nodo 3 denominado Santa Ana, 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 Santa Ana, este se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 2,95206 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.”

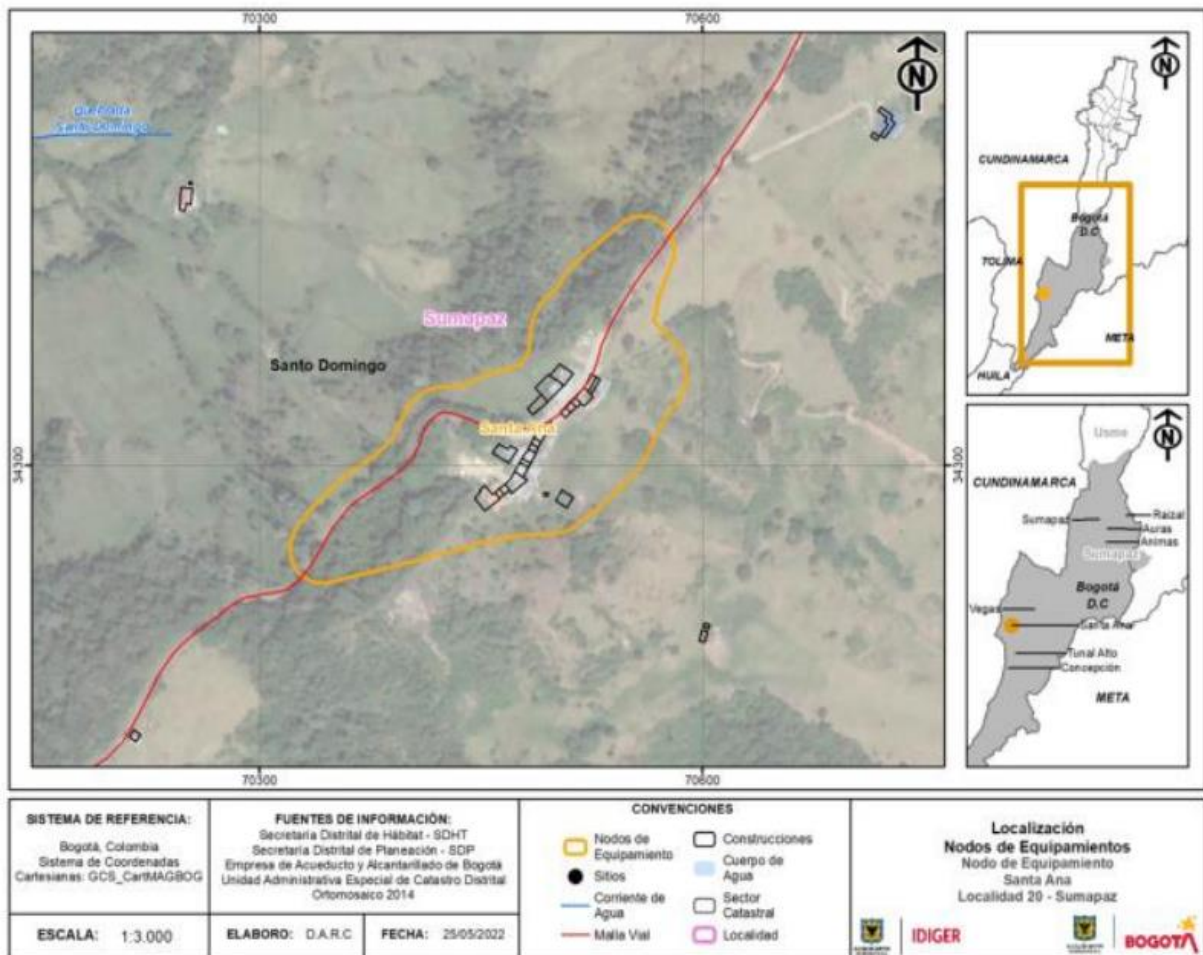
Para el análisis hidrológico como primera actividad de realizó una caracterización del terreno, basada en la cartografía disponible. A partir de la información hidrológica disponible en la zona se determinaron las condiciones pluviométricas generales en el sitio objeto de estudio y con la cartografía 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.

En el presente documento se presenta el análisis hidrológico en la zona de intervención que corresponde al Nodo 3, denominado Santa Ana. Como primera actividad de realizó una caracterización del terreno, basada en la cartografía disponible. A partir de la información hidrológica disponible en la zona se determinaron las condiciones pluviométricas generales en el sitio objeto de estudio y con la cartografía disponible, se pudieron identificar los cuerpos de agua existentes en el sitio. Así mismo se obtuvieron las Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia que permiten obtener patrones de conductas pluviométricas que registran sobre un área o región específica.

## 2 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS

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

El nodo Santa Ana, se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y el nodo de estudio comprende un área de 2,95206 Ha.



**Figura 1 Localización y área Nodo Santa Ana**  
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 Santa Ana se evidenciaron zonas inestables, las cuales hasta el momento no afectan el nodo de estudio.

## 4 METODOLOGIA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

### 4.1 METODOLOGÍA

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

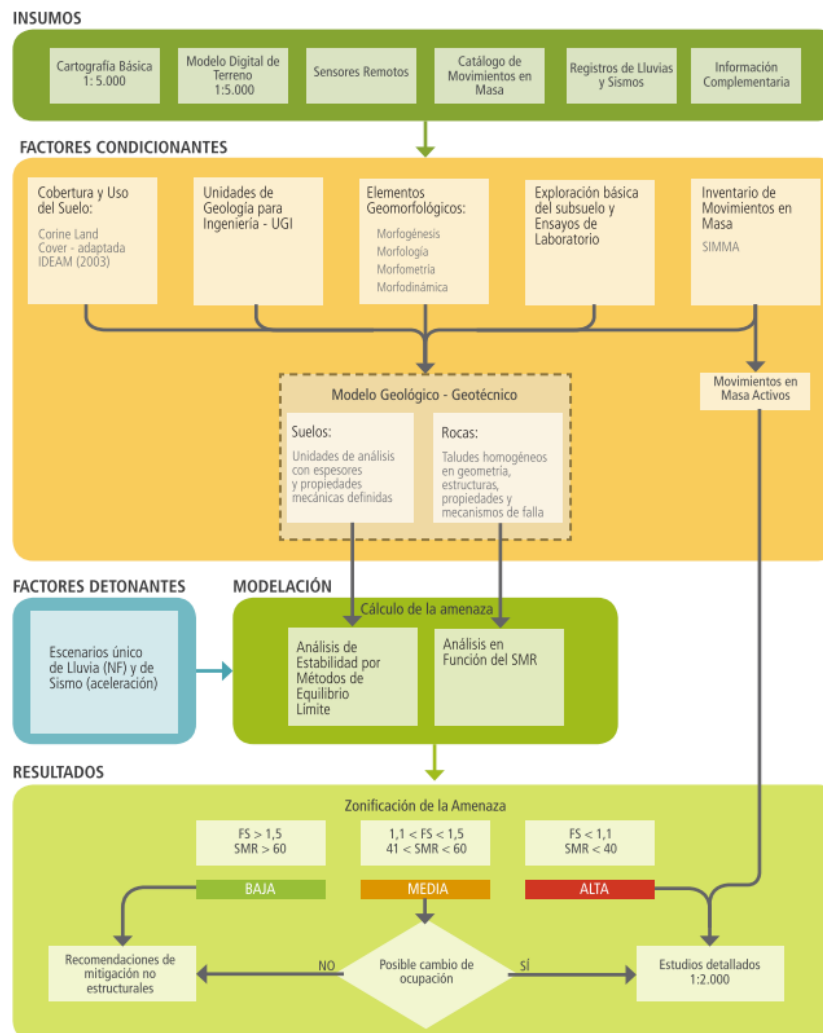


Figura 2. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000

Fuente: (SERVICIO GEOLOGICO, 2016)

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

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

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

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



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

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

**Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo**

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

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

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

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

Posteriormente se debe definir si la unidad de análisis es una unidad de suelo o roca, en el caso de los suelos se aplicará la ecuación de talud infinito, referenciada en la página 57 de la

guía metodológica del servicio geológico, la cual se puede aplicar empleando la función Raster Calculator del aplicativo ArcMap, para lo cual se deben rasterizar previamente la totalidad de variables que se encuentran dentro de la ecuación, los cuales se presentan a continuación:

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

Donde

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

$y$  es el peso unitario del suelo.

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

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

$\gamma_w$  es el peso unitario del agua.

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

$\alpha$  es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

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

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

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

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

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



## 5 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

### 5.1 GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ:

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

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

#### 5.1.1 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 morfogénico, los elementos geomorfológicos encontrados en el área pueden clasificarse en tres categorías mayores: unidades de origen glacial / periglacial, las de origen estructural / denudacional y las de origen fluvial..." (Pág. 10)

##### 5.1.1.1 Unidades de Origen Glaciar – Periglaciar:

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

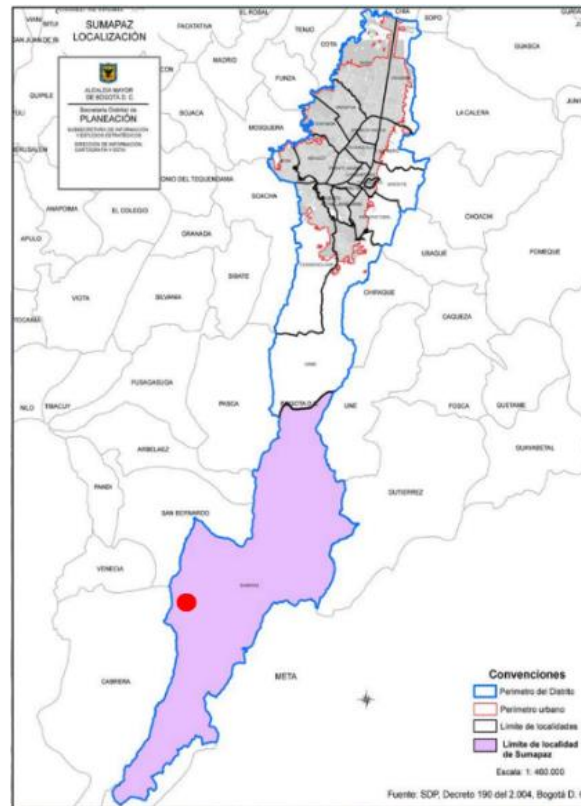
angulosas) y los depósitos fluvio-glaciares (que se forman debido al descongelamiento de los glaciares que fueron transportados y acumulados por el acción del agua). En algunos puntos específicos de la localidad, es posible encontrar procesos de intervención antrópica, los cuales generan que las áreas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

### 5.1.1.2 Unidades de Origen Fluvial:

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

### 5.1.1.3 Unidades de origen estructural-denudacional

Para el nodo Santa Ana, 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 Santa Ana.



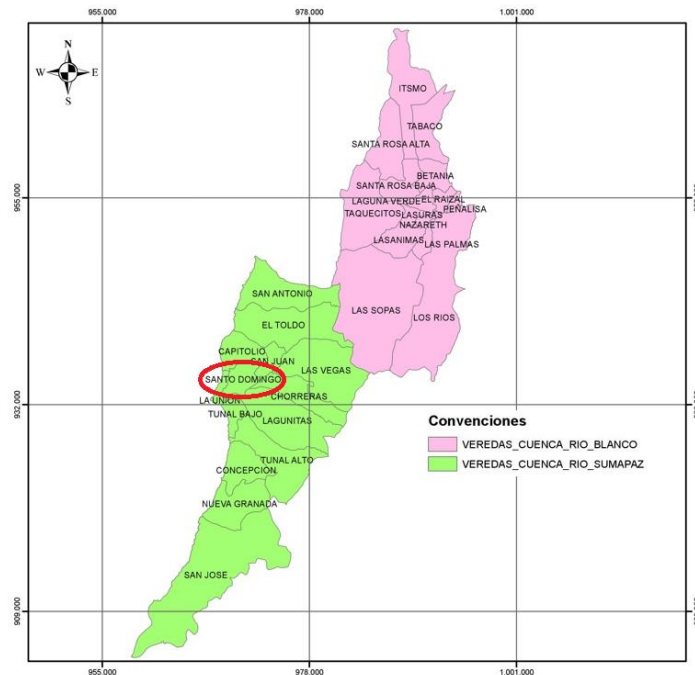
**Figura 3. Localización área Sumapaz y nodo Santa Ana.**  
**Fuente: IDIGER**

De acuerdo con la información suministrada por el IDECA, para el nodo Santa Ana la Geología encontrada corresponde a Rb3 (Pglf), la descripción de esta geología se puede observar en el numeral 3.2.6 del presente informe. Así mismo la geomorfología para este polígono corresponde a Glcp (Ladera de contrapendiente estructural glaciada), en el numeral 3.2.7 del presente informe se presenta información más amplia para esta geomorfología.<sup>1</sup>

## 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 Santa Ana 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 Santa Ana no existe la presencia subcuenca microcuenca o lagunas, en el numeral 3.3.7 del presente informe, se puede evidenciar dicha información mediante el plano presentado.



**Figura 4. Ubicación del Nodo Santa Ana.**

**Fuente: IDIGER**

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

El nodo Santa Ana se encuentra ubicado sobre los límites con Santo Domingo, con lo cual, en la imagen anterior, se referencia la zona de Santo Domingo, para validar la ubicación del polígono en estudio para este caso, es decir el nodo Santa Ana. Dicho nodo 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	
<b>TOTAL</b>		<b>42.146,54</b>	<b>100</b>	

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 frío, 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%
<b>TOTAL</b>	<b>42.146,55 ha</b>	<b>100%</b>

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 frío, 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 mm.

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

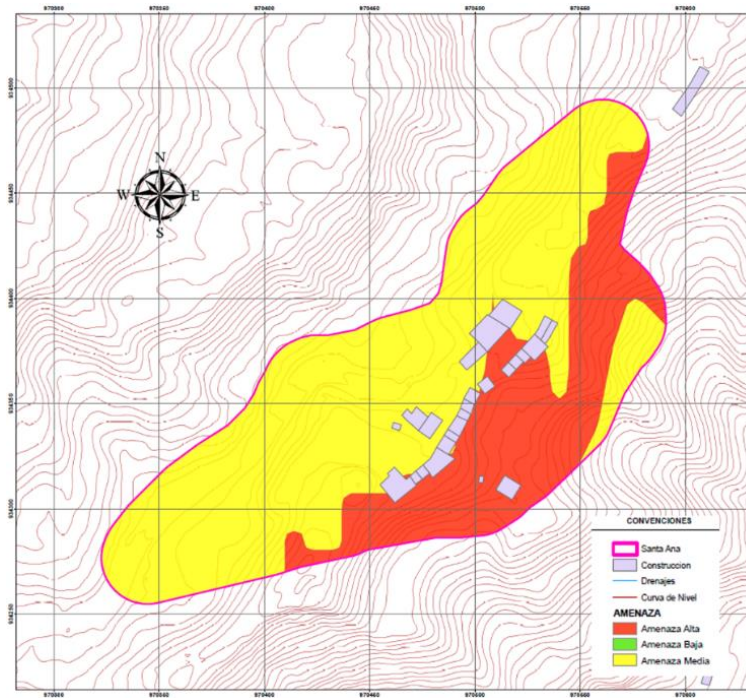
**Figura 7. Clima de localidad.**  
Fuente: IDIGER

## 5.3 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO SANTA ANA:

### 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 parte es alta, específicamente sobre la zona trasera donde se encuentran las construcciones, 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 Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500**

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

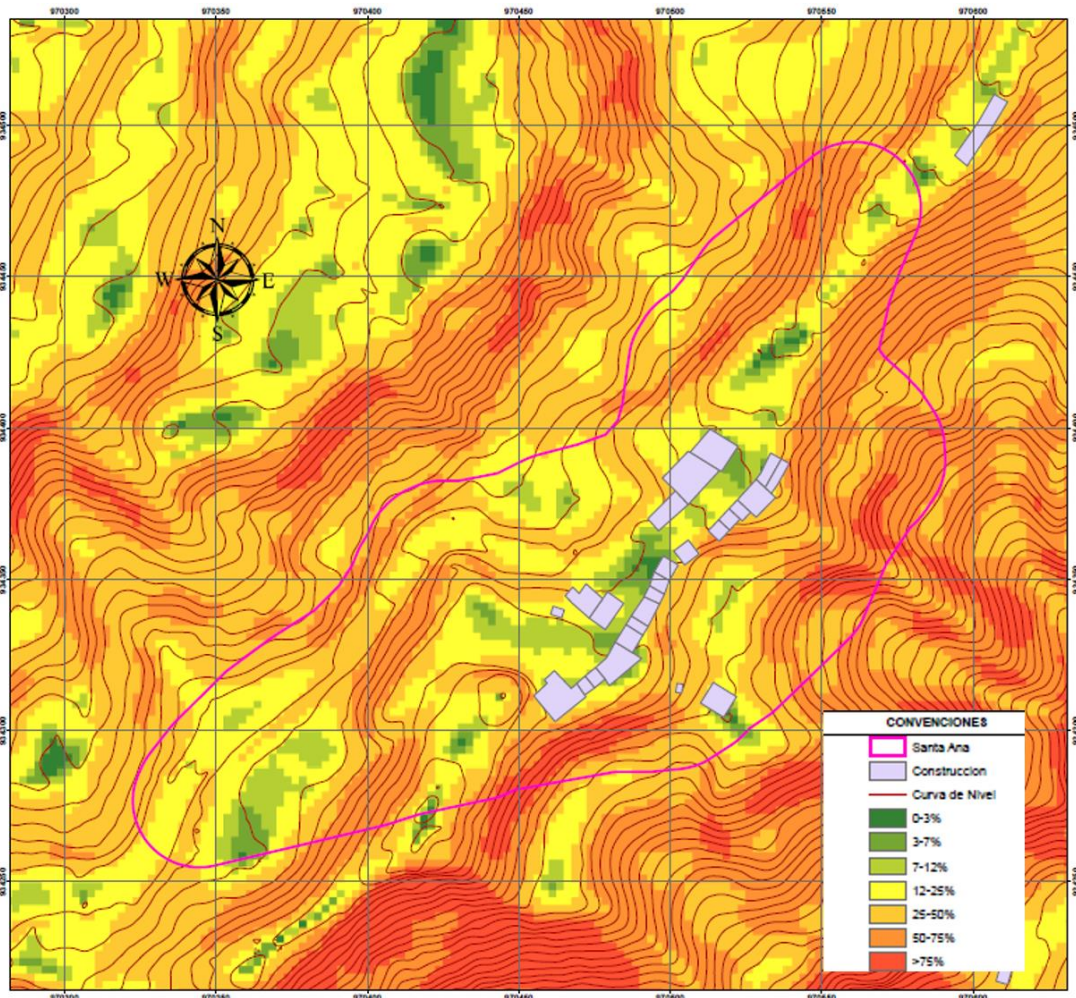
### 5.3.2 Pendientes Polígono Santa Ana

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**



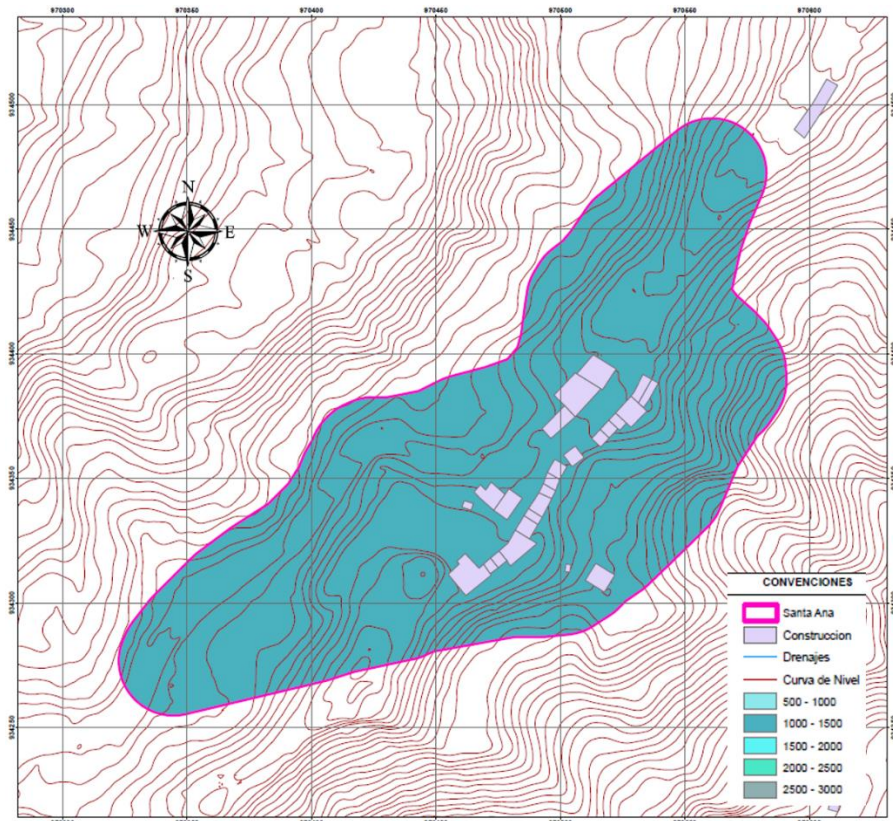
**Figura 10. Pendientes del polígono Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000**

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

### 5.3.3 Precipitaciones:

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





**Figura 11. Precipitaciones del polígono Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500**

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

### 5.3.4 Hidrogeología

A partir de la información consultada en diversas fuentes (IDEAM, CAR, SGC, Alcaldía Sumapaz) se hace la respectiva caracterización hidrogeológica para la zona de estudio. En primer lugar, se toma como referencia la zonificación establecida por el IDEAM en el año 2010, basada en las principales cuencas hidrográficas del país; de esta manera, el polígono de estudio está localizado en la cuenca de la cordillera oriental.

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



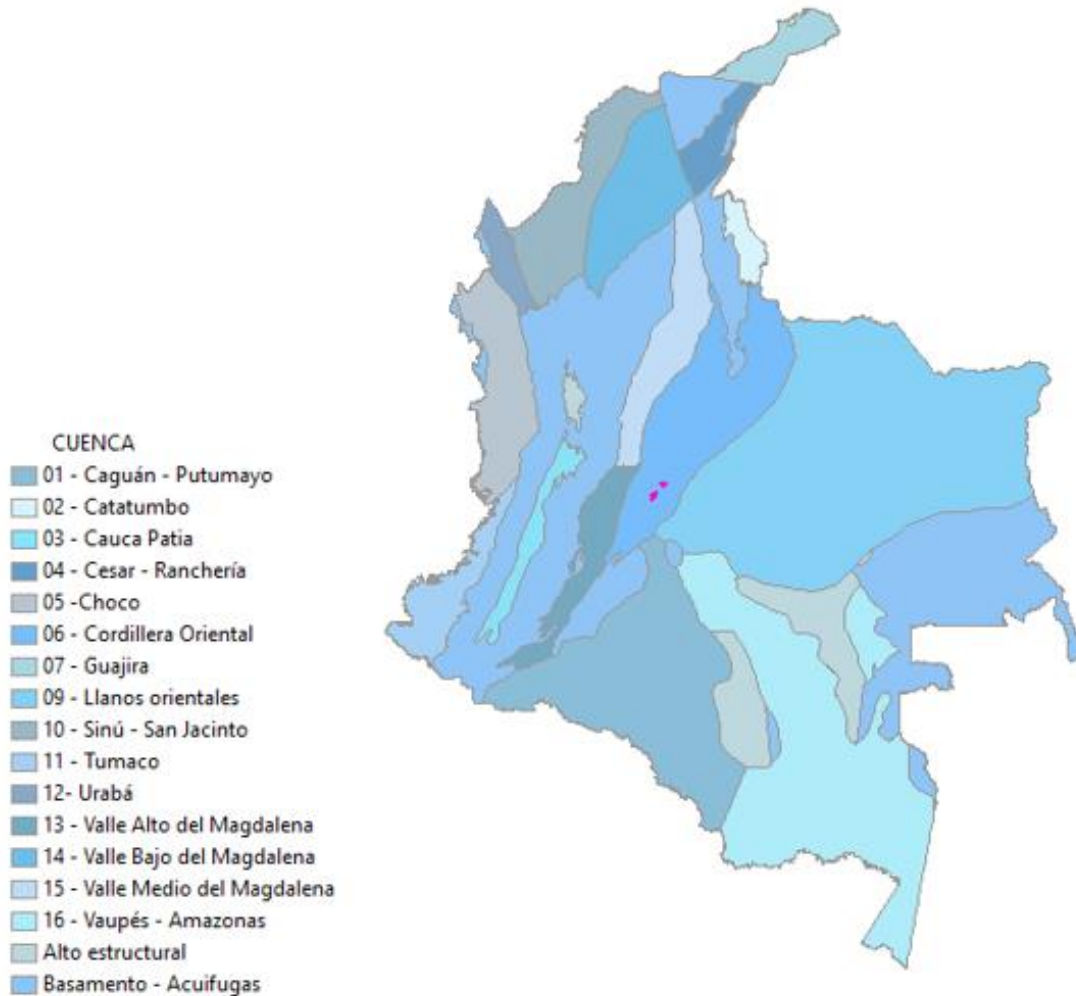
calcáreas, las cuales a causa de la disolución son elementos importantes en acuíferos. (CAR, 2003)

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

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

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

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



**Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Santa Ana**  
**Fuente: IDEAM**

### 5.3.5 Análisis sísmico:

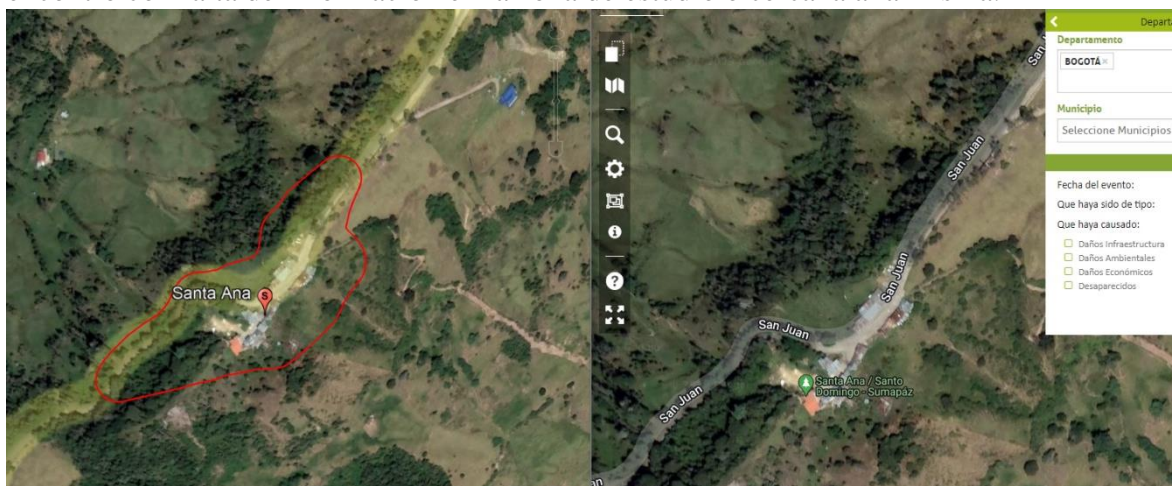
Para realizar el análisis sísmológico, se toma como referencia un municipio de zona de amenaza sísmica alta, para el análisis del presente proyecto, con lo cual se toma el municipio de Gutiérrez Cundinamarca, el cual presenta los siguientes parámetros:

- Aa → 0.25
- Av → 0.25
- Ae → 0.16
- Ad → 0.06

Donde se destaca que dichos valores se toman como referencia, debido a la cercanía del municipio con el polígono del proyecto.

### 5.3.6 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 Santa Ana**  
Fuente: SIMMA

- **Diagnostico Técnico**

- 1. Diagnostico Técnico No 14236**

En atención al diagnóstico técnico DI- 14236, el personal del IDIGER realizó una visita técnica el día 29 de diciembre del 2019, encontrando que el sector pertenece a una zona de pendiente de moderada a alta, donde se emplaza una edificación de un piso en mampostería sin confinamiento.

La visita se realiza principalmente para valorar el estado del poste 1, elemento de madera perteneciente a la red de energía eléctrica del sector que se encuentra dentro del predio. El poste 1 evidencia fisuras en la base de hasta 30 cm de longitud y 3mm de abertura aproximadamente. Hacia el costado norte del predio se localiza el poste 2, construido en madera y perteneciente a la misma línea de energía eléctrica del predio evaluado.

Los daños evidenciados en el poste 2 posiblemente se encuentran relacionados con tensión asociadas a los cables de anclaje que apoyan en el vértice superior del poste.

Los riesgos que se esperan de no implementar las recomendaciones pueden ocasionar el aumento de los daños evidenciados en los postes de la red eléctrica en la vereda Santo Domingo.

### **5.3.7 Resumen Del Estudio De Riesgos Por Fenómenos De Remoción En Masa Y Evaluación De Alternativas De Mitigación Para El Asentamiento Menor De Santa Ana (Santo Domingo) De La Localidad De Sumapaz, En Bogotá D. C.**

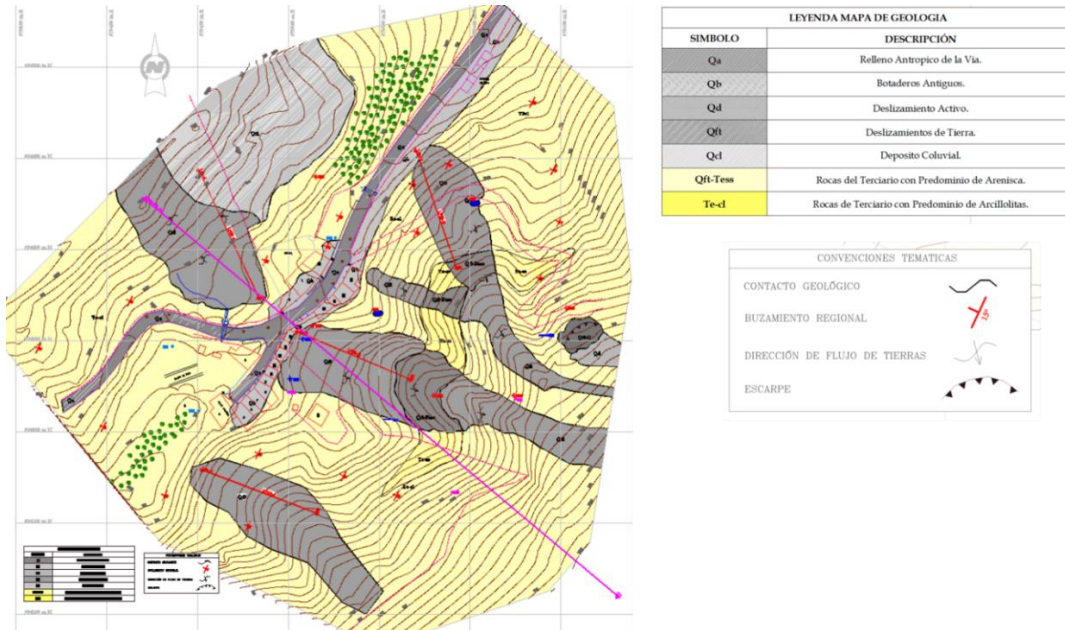
El Estudio De Riesgos Por Fenómenos De Remoción En Masa Y Evaluación De Alternativas De Mitigación Para El Asentamiento Menor De Santa Ana (Santo Domingo) De La Localidad De Sumapaz, En Bogotá D. C., elaborado por la empresa GeocIng, tuvo como objeto determinar las causas y mecanismos de los movimientos de remoción en masa y determinar las medidas correctivas que se requieren para controlar estos fenómenos, para lo cual se requirió conocer a detalle los parámetros y fenómenos que caracterizan el problema.

Se identificó desde el punto de vista geológico, geotécnico y geomorfológico, los factores detonantes y contribuyentes de los procesos actuales y potenciales de inestabilidad que se presentan en el área de estudio. Esta identificación tuvo en cuenta las condiciones geológicas y geomorfológicas locales y regionales, así como los aspectos hidrológicos, hidrogeológicos, sismológicos y uso del suelo. Las fuentes de información secundaria para el desarrollo del objeto de estudio son las siguientes; Estudio de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa y Evaluación de Alternativas de Mitigación para el Centro Poblado de San Juan de Sumapaz, de la Localidad de Sumapaz, en Bogotá D.C. realizado por GIA CONSULTORES LTDA, de Julio de 2010, Atlas Geológico de Colombia escala 1: 500.000. INGEOMINAS, Informe técnico visita de emergencia realizada al municipio de Cabrera Cundinamarca. INGEOMINAS. Agosto de 2001, Diagnostico Técnico DI-2860. Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, Julio de 2007.

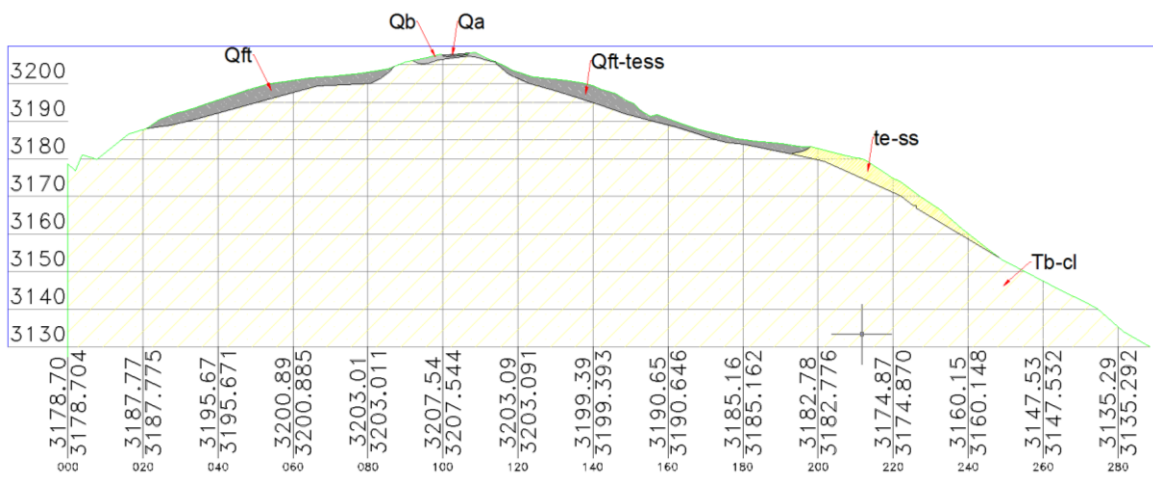
Adicional a esto, se realizó la evaluación de las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo actual en la zona, en donde se resalta que las causas de esta problemática se asocian directamente a las altas pendientes de los taludes, a la susceptibilidad de los materiales de la zona, a la saturación de la ladera ocasionada por los vertimientos de agua por la comunidad y por las fuertes lluvias que se presentan en el sector de acuerdo a lo reportado por la comunidad.



A continuación, se muestra el modelo geológico para la zona el cual fue planteado con base a un modelo geológico regional el cual básicamente contemplo las características litológicas generales y la presencia de estructuras que se presentan en la región.



**Figura 14. Aspectos Geológicos para la zona Santa Ana**  
Fuente: GeocIng S.A.S



**Figura 15. Perfil Geológico para la zona Santa Ana**  
Fuente: GeocIng S.A.S

Se determino desde un punto de vista geotécnico que, para las zonas con mayor concentración de inestabilidad se encuentran en las depresiones y se prevé que estas áreas presentan una amenaza alta por lo cual, estas se deben de tener en cuenta para evitar la construcción de obras de ingeniería tales como, vías, redes de acueducto y en general líneas vitales que se puedan emplazar en estas laderas. Se recomienda que para mitigar los efectos de inestabilidad de las laderas donde están presentes los flujos de tierra, se recomienda la ejecución de drenajes sub superficiales y drenajes profundos en los casos que se requiera la ubicación de algún tipo de obra, esto con el fin de evitar el deterioro de estas.

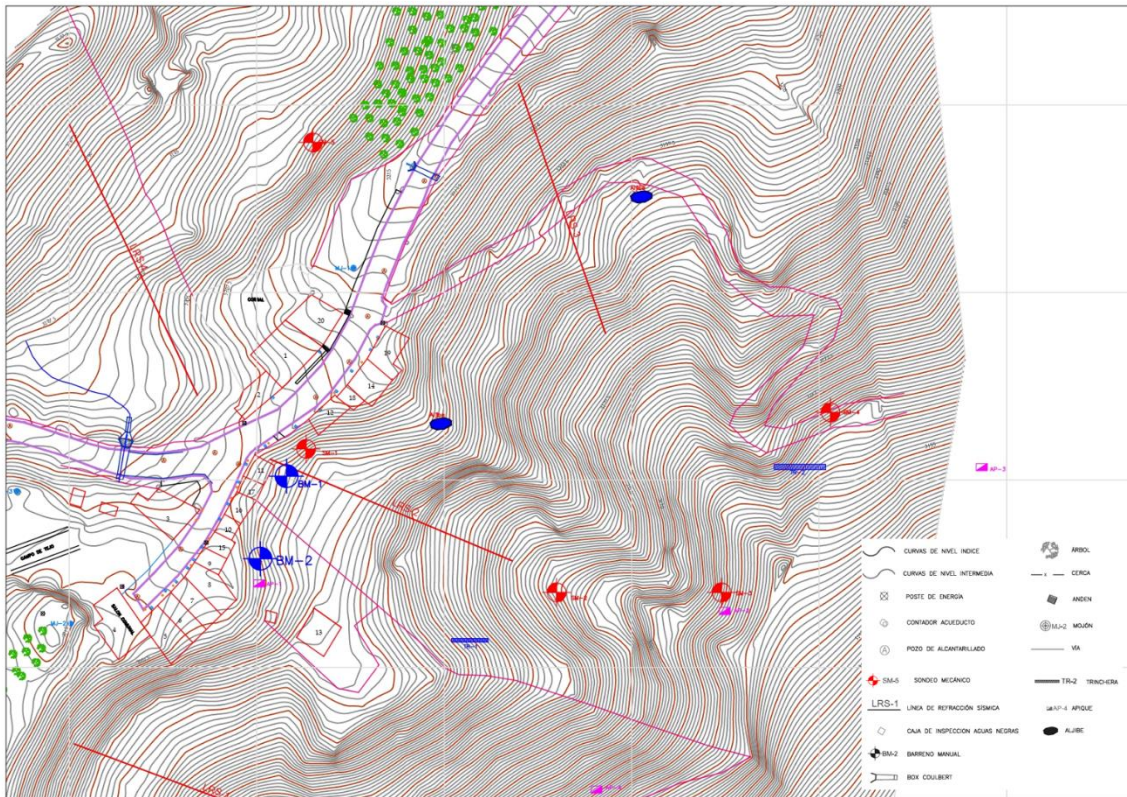
La exploración de subsuelo se desarrolló de la siguiente manera. El primer paso a realizar fue la identificación y descripción básica de la secuencia estratigráfica, la ubicación, detección de la continuidad lateral y longitudinal de los horizontes de roca y suelo, la deducción de los flujos locales de agua que puedan incidir en las actividades de las masas potenciales.

El segundo paso estuvo basado en la realización de los 5 sondeos mecánicos, apodados SM1, SM2, SM3, SM4, SM5, -adicionalmente se realizaron 4 apiques, apodados como AP1, AP2, AP3, AP4, dos trincheras TR1, TR2 y dos barrenos manuales BM1, BM2.

Los sondeos se ejecutaron en zonas estratégicas para determinar la profundidad de los flujos de tierra y la caracterización de los suelos residuales sobre los cuales estos se desplazan. Se encontró en términos generales que los flujos de tierra tienen un espesor promedio de 3m.

Los apiques y trincheras se ejecutaron en las crestas donde predominan los suelos residuales, encontrado horizontes de capas vegetales delgadas sobre suelos residuales arcillosos.

A continuación, se presenta un mapa el cual muestra la localización de los 5 sondeos realizados para el presente estudio



**Figura 16. Localización sondeos**  
**Fuente: GeocIng S.A.S**

El análisis de la amenaza sísmica se fundamentó en el análisis y recopilación de información secundaria, es decir en estudios regionales y locales que involucran el distrito capital. La información consultada para el desarrollo de este apartado se basó en el Estudio General de Amenaza Sísmica (AIS – INGEOMINAS – Uniandes, 1996). Si bien este estudio sismológico fue realizado con los parámetros sísmicos para el Distrito Capital, este se restringe a la zona urbana y no allega información de la fracción rural, por lo cual no fue considerado para definir parámetros sísmicos y espectros de respuesta, es decir, aceleraciones pico efectivas ( $A_g$ ) y mínimas ( $A_d$ ) para periodos de retorno y de recurrencia.

En la información consultada incorporan la norma NSR-10, la cual clasifica la amenaza sísmica de Bogotá, como amenaza sísmica intermedia, con una aceleración máxima horizontal a nivel de roca,  $A_a$ , de 0.20 g. Sin embargo, es pertinente aclarar que, si bien el polígono Santa Ana hace parte de la localidad de Sumapaz y este a su vez hace parte del Distrito capital, no se debe desestimar su cercanía con las poblaciones de Une, Quetame, Cabrera, Cáqueza, Fómeque y Junín, las cuales han sido reseñadas con zona de amenaza sísmica Alta,  $A_a$  0.25g.



La siguiente tabla agrupa las aceleraciones máximas en superficie y las aceleraciones para diseño que se adoptan para este proyecto

**Tabla 3. Aceleraciones Máximas en Superficie y de Diseño**

Material	Tipo de Suelo NSR-10	Factores de Amplificación			Aceleración en Superficies Sa		Aceleración de Diseño 2/3 *Sa
		Medvedev Fa	NSR - 10 Fa	Fv	Medvedev (1965)	NSR (1998)	
Qco, Qram, Pglf- Lsr y Pglf-Ldsr	D	1.40 a 1.60 (se adopta 1.50)	1.5	2.2	0.349 g	0.518 g	0.22 g
Pglf	B	0.7 - 1.10 (Se adopta 1.0)	1.0	1.0	0.24 g	0.460 g	0.16 g

Fuente: GeocIng S.A.S

Para el análisis de riesgo por fenómenos de remoción en masa (FRM), se utilizó la metodología sugerida por Omar Darío Cardona, la cual consiste en determinar la amenaza o peligro (A), determinar o conocer la vulnerabilidad actual (V), determinar el riesgo (R) para la zona de estudio y una vez obtenidos estos tres componentes, se determinan los factores detonantes naturales (Lluvia y sismos), parámetros geotécnicos mínimos y máximos y se realiza un análisis de estabilidad determinístico.

Para la clasificación de la amenaza en la zona se utilizó como criterio de categorización los parámetros presentados a continuación.

**Tabla 4. Categorización de Amenaza por FRM**

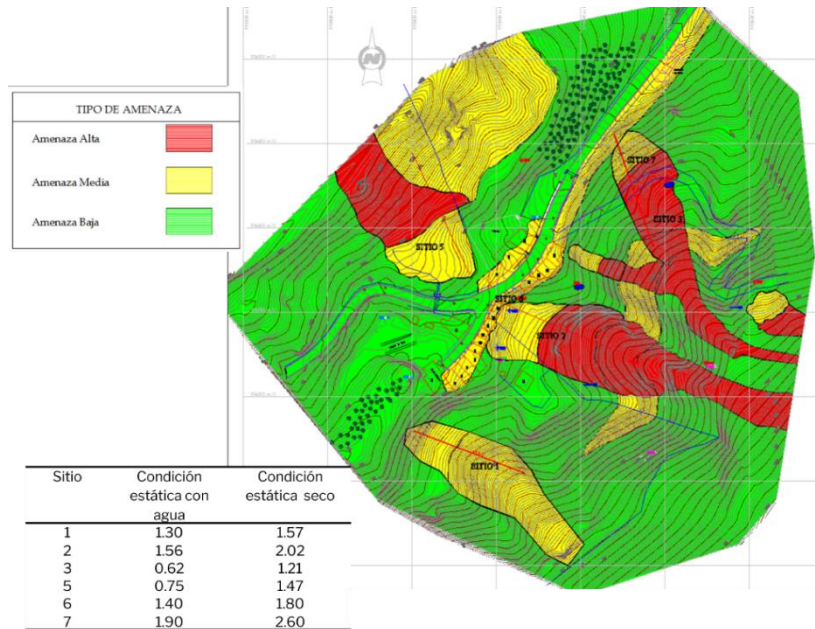
Categoría de Amenaza	F.S. Condiciones Normales	F.S. Condiciones Extremas
Baja	>1,9	>1,3
Media	1,2 - 1,9	1,0 - 1,3
Alta	<1,2	<1,0

Fuente: GeocIng S.A.S

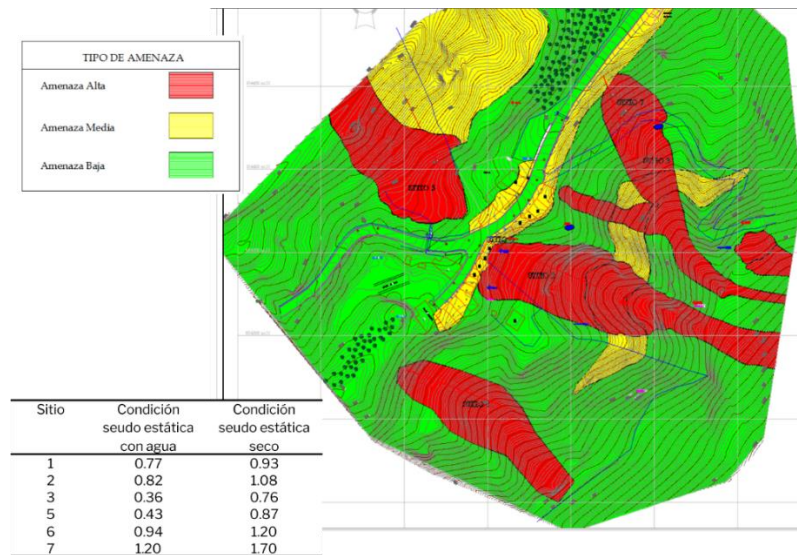
La evaluación de la amenaza existente se realizó un respectivo análisis en el cual se evaluaron dos condiciones, Condición actual y condición proyectada. Para realizar dichas evaluaciones se plantearon los siguientes análisis, en el primero se plantea una condición estática con y sin agua (Condición actual del área de estudio) y el segundo se plantea una condición pseudo estática con y sin agua (Condición proyectada a 50 años).

Los resultados obtenidos para cada una de las evaluaciones planteadas se presentan a continuación, en donde la primera figura hace referencia a la condición actual del área de estudio y la segunda figura a las condiciones extremas a 50 años.





**Figura 17. Condición actual de la zona de estudio**  
**Fuente: GeocIng S.A.S**



**Figura 18. Condiciones proyectada a 50 años**  
**Fuente: GeocIng S.A.S**

Para este análisis se tuvo en cuenta que los escenarios actuales y proyectados presentan dos condiciones, es decir, sin sismos ni nivel freático actual y condiciones extremas con nivel

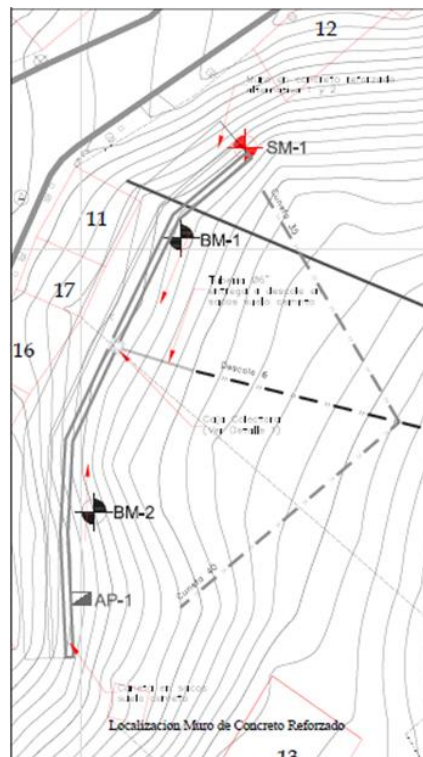
freático agitado y sismos. A continuación, se presenta un resumen de los factores de seguridad obtenidos en los sitios analizados.

**Tabla 5. Resumen factores de seguridad área de estudio.**

Sitio	Condición seudo estática con agua	Condición estática con agua	Condición estática seco	Condición seudo estática seco
1	0.77	1.30	1.57	0.93
2	0.82	1.56	2.02	1.08
3	0.36	0.62	1.21	0.76
5	0.43	0.75	1.47	0.87
6	0.94	1.40	1.80	1.20
7	1.20	1.90	2.60	1.70

Fuente: GeocIng S.A.S

Teniendo en cuenta la anterior tabla, los sitios que ameritan medidas de mitigación son los sitios 1, 2 3 y 4. Para el sitio 2, donde se encuentran ubicados los predios 9, 10, 11, 15, 16, 17, se debe realizar un muro de concreto reforzado en la parte baja de los predios. En la siguiente figura se presenta un plano con la ubicación que va a tener el muro de concreto propuesto en el estudio.

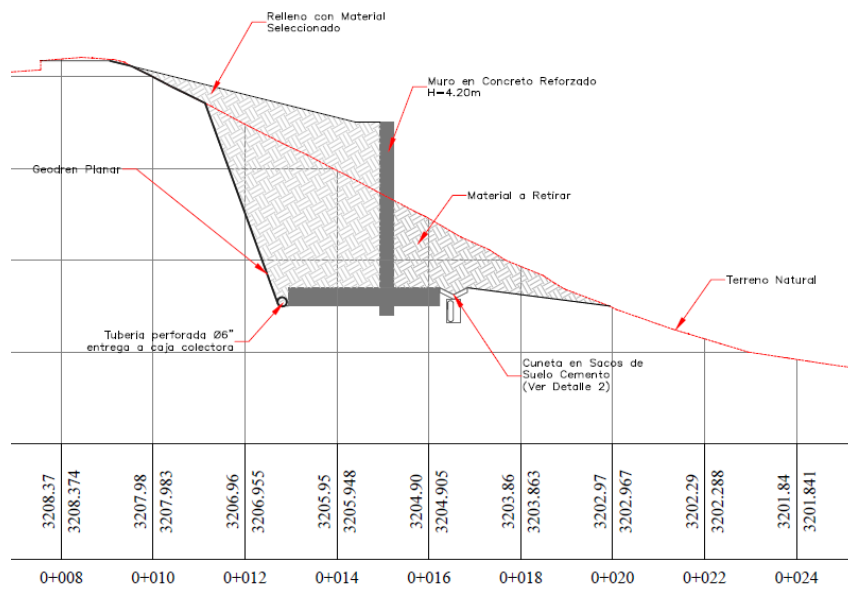


**Figura 19. Localización muro de concreto reforzado**

Fuente: GeocIng S.A.S

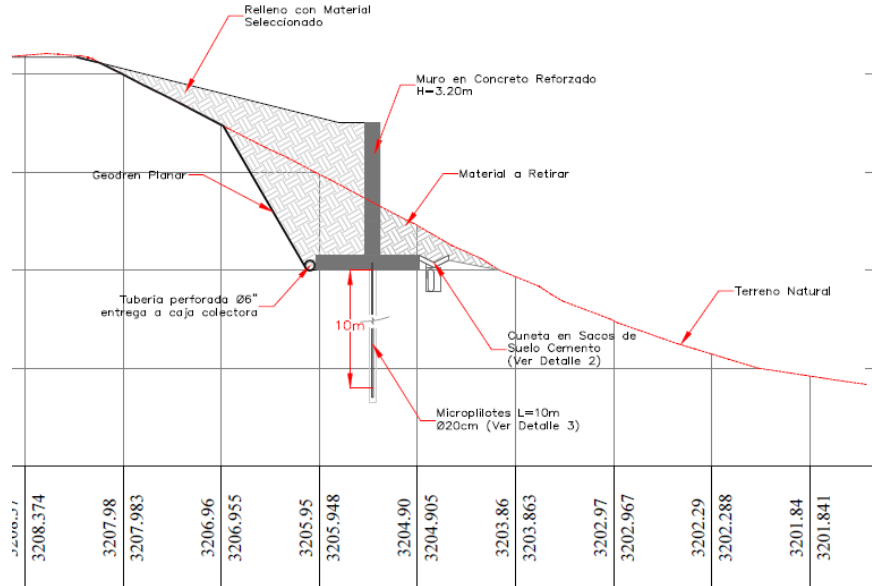
Se plantearon dos alternativas para los diseños de muros en concreto, esto con el fin de salvaguardar las viviendas de un posible fallo debido a que la zona donde se encuentran construidas es de materiales de relleno suelto que pueden generar daños sobre pisos y estructuras.

La primera fue realizar un muro en voladizo en la parte suroriental del asentamiento de 4.2 metros de altura, el cual estará comentado 2.5 metros debajo del terreno actual y una longitud aproximada de 50 m.



**Figura 20. Alternativa 1 muro de concreto reforzado**  
**Fuente: GeocIng S.A.S**

La segunda alternativa consta en realizar una construcción de un muro en voladizo de 2 metros de altura y longitud de 50 m, el cual estará soportado por micro pilotes de 10 metros de profundidad y de 20 cm de diámetros. Ver siguiente figura.



**Figura 21. Alternativa 2 muro de concreto reforzado**  
**Fuente: GeocIng S.A.S**

Se resalta que en la vista de campo realizará en 19 de enero del 2023, no se encontraron estructuras de contención o estabilización, indicando que, si bien se realizaron los estudios para la determinación de las causas y mecanismos de los movimientos en masa presentados en la zona y se plantearon alternativas de mitigación para el asentamiento, estas no fueron desarrolladas provocando que, en la actualidad se presente el mismo riesgo y vulnerabilidad para las viviendas y se tenga un incremento en las áreas de amenaza alta y media.

Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante deslizamientos se utilizó el cálculo del denominado índice de Vulnerabilidad Física (IVF), así mismo la tipificación de las viviendas se clasificaron de acuerdo a los criterios expuestos a continuación.

**Tabla 6. Clasificación de la tipología de vivienda**

Tipo edificación	Descripción
B1	Viviendas en material de reciclaje
B2 Mampostería	Vivienda en mampostería sin estructura.
B2 Prefabricados	Vivienda prefabricada.
B3	Edificaciones hasta de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural).
B4	Edificaciones de más de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructural).

**Fuente: GeocIng S.A.S**

Según esta clasificación, las viviendas 9 y 19 están conformadas por estructuras de marcos en concreto reforzado y muros de confinamiento de 1 y 2 niveles, presentan cimientos corridos con vigas de amarre en concreto reforzado. Las viviendas 2,5,11,12,16,17 están construidas en material de madera sin cimientos, soportadas sobre palafitos que varían su altura entre 2 y 3 metros y las viviendas 1, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 13, 14, 15, 18 y 20, están construidas en mampostería sin estructura.

La vulnerabilidad de acuerdo en los resultados obtenidos en el IVF y con base a los criterios de categorización de vulnerabilidad propuestos por F. Soler A.J González y otros, está catalogada entre BAJA, MEDIA Y ALTA, a continuación, se presentan dos tablas las cuales la primera corresponde a los criterios de categorización de vulnerabilidad utilizados para el estudio y la segunda el resumen del análisis realizado para cada vivienda.

**Tabla 7. Resumen de los resultados de vulnerabilidad**

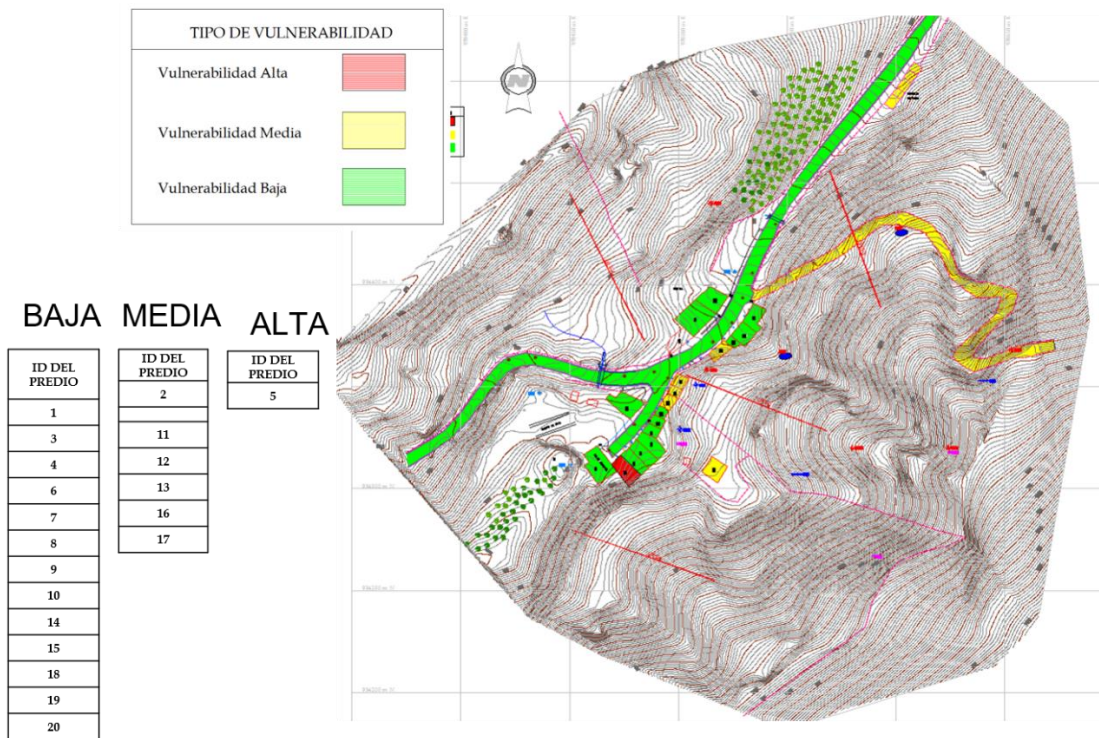
ID DEL PREDIO	INDICE DAÑO ACTUAL	IPa	TIPO VIVIENDA	SOLICITACION ZONA A	SOLICITACIONES ZONA B	MATIZ DE DAÑO	IP	CATEGORÍA AMENAZA	CATEGORÍA VULNERABILIDAD	IVF = IPa+IP- (IPa+IP)
1	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
2	2	0.25	B1	VM5		III	0.5	MEDIA	MEDIA	0.63
3	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
4	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
5	4	0.5	B1	VM5		IV	0.75	MEDIA	ALTA	0.88
6	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
7	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
8	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
9	1	0.05	B3	VM5		I	0.05	MEDIA	BAJA	0.10
10	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
11	2	0.25	B1	VM5		III	0.5	MEDIA	MEDIA	0.63
12	1	0.05	B1	VM5		III	0.5	MEDIA	MEDIA	0.53
13	1	0.05	B2map		PL3	III	0.5	BAJA	MEDIA	0.53
14	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
15	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
16	2	0.25	B1	VM5		III	0.5	MEDIA	MEDIA	0.63
17	2	0.25	B1	VM5		III	0.5	MEDIA	MEDIA	0.63
18	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29
19	1	0.05	B3	VM5		I	0.05	MEDIA	BAJA	0.10
20	1	0.05	B2map	VM5		II	0.25	MEDIA	BAJA	0.29

Fuente: GeocIng S.A.S

Adicionalmente se muestra el plano de vulnerabilidad obtenido para el polígono de estudio. El principal problema de las viviendas radica en la deficiente cimentación debido a que los materiales sobre los cuales fueron construidas las viviendas corresponden a rellenos de material suelto, lo que genera agrietamientos en estas.

Por esto en este estudio se recomienda confinar estos materiales mediante muros de contención y para las futuras viviendas, compactar estos rellenos para garantizar que no ocurran asentamientos que dañen las viviendas.





**Figura 22. Plan de Riesgo para el sector Santa Ana**  
**Fuente: GeocIng S.A.S**

En conclusión, de acuerdo con los resultados de reconocimiento geológico y geotécnico, la zona de estudio está compuesta por cuerpos deslizantes y flujos de tierra con espesor entre 1 y 2 metros aproximadamente, roca alterada de la formación Bogotá con espesores entre 5 y 10 m y roca moderadamente meteorizada de la formación Bogotá.

Así mismo se destaca que, los problemas de inestabilidad de las laderas no están afectando el asentamiento de Santa Ana, no obstante, se presentan sectores donde se evidencian fenómenos de remoción en masa tipo flujos con avanzados problemas de saturación del material los cuales pertenecen a predios privados.

Las causas de los problemas por los fenómenos de remoción en masa se deben a las altas pendientes que se presentan en las laderas y a la saturación del material por fenómenos de remoción en masa.



### 5.3.8 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 8. 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	SANTA ANA	20076235	91027728	PCI	Malla Vial Principal Rural	24	GRAVE

**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 9. Reserva de CIV para Santa Ana**

Loc	Sector	CIV	Elemento	Tipo Elemento	Contrato	Estado	Intervención	Entidad
20	SANTA ANA	20076235	91027728	Calzada	CCS-213-2021	Contratado	Estudios y diseños	FDL SUMAPAZ
20	SANTA ANA	20076235	91027728	Calzada	IDU-1732-2021	Reservado	Conservación	IDU

**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. (EPM, s.f.)



**Figura 23. Captura satelital en donde se evidencia la inexistencia de activos de EPM**

**Fuente:** (EPM, s.f.)

- **DADEP:**

De acuerdo a la información suministrada por la entidad DADEP, una vez consultaron la entidad SIGDEP y SIDEPE, se verifico que, en el interior del polígono de Santa Ana, se encuentran ubicados un predio que están incorporados en el inventario de Bienes de uso público y Bienes fiscales del distrito capital.



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 Sanata Ana.

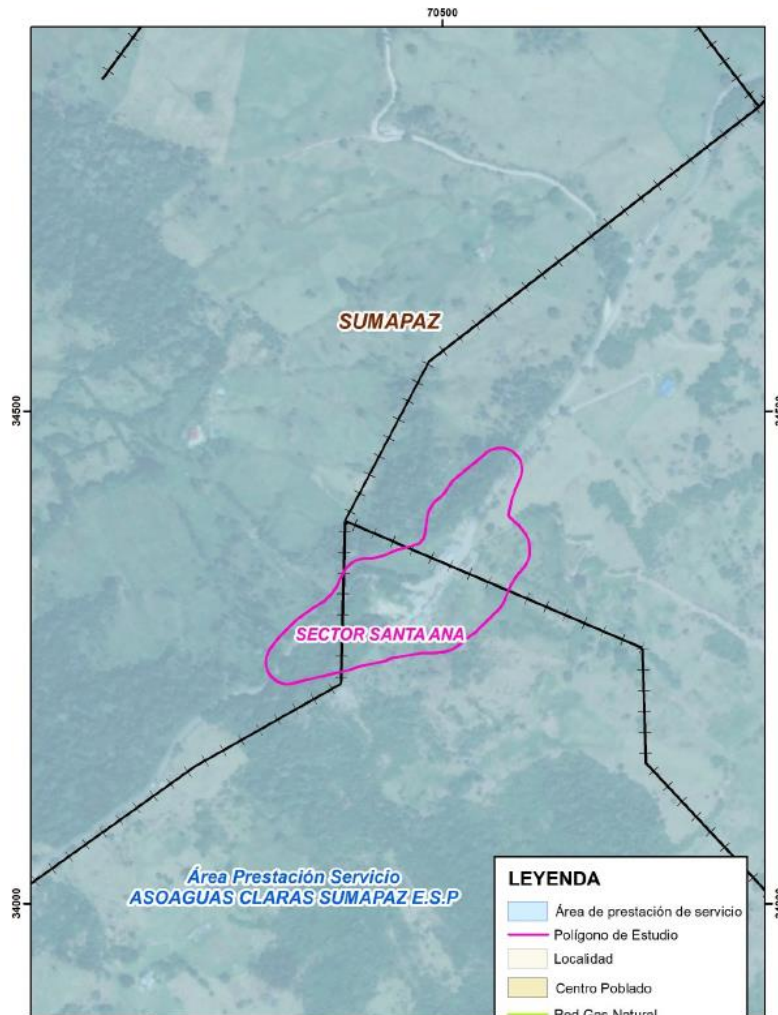
- 1 Programas y proyectos que la secretaria Distrital del Hábitat haya o este ejecutando al cualmente o planee ejecutar.

SDOperaciones			
Radlcado	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
1-2022-52465	Santa Ana	NA	NA

**Figura 26. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat**  
Fuente: secretaria del Hábitat

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

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



**Figura 27. Prestación de Servicios ASOAGUAS CLARAS SUMAPAZ E.S.P**  
**Fuente: secretaria del Hábitat**

- ACUEDUCTO, AGUAS Y ALCANTARILLADO DE Bogotá (EAAB)**

En atención al oficio E-2022-10088379, el acueducto de Bogotá, informa lo siguiente:

- ✓ Información disponible relacionada con redes de acueducto y alcantarillado existente en la zona mencionada.**

Se informa que consultada la Base que, consultada la base cartográfica de las redes de acueducto y alcantarillado sanitario y pluvial, No se registran redes existentes en el sector rural de la vereda SANTA ANA de la Localidad de Sumapaz.



✓ **Estudios hidrológicos, hidráulicos y climatológicos que cubran el sector de estudio (Concepción).**

A la fecha la EAAB-ESP, en su red HIDROMETEOROLÓGICO, No cuenta con estación de monitoreo en el sector rural de la vereda SANTA ANA de la Localidad de Sumapaz.

✓ **Información relacionada con proyectos ejecutados, en ejecución o proyectados en el sector de estudio.**

En el sector objeto de su solicitud a la fecha la EAAB-ESP, no ha realizado ni adelanta proyectos solicitados o requeridos de carácter misional.

✓ **Conceptos técnicos emitidos por la EAAB en el sector de estudio.**

En el sector objeto de su solicitud a la fecha la EAAB-ESP, no ha emitido conceptos sobre estudios realizados o requeridos de carácter misional.

✓ **Estudios de densidad poblacional en la zona de estudio**

La EAAB-ESP, no ha realizado ni adelanta censos poblacionales solicitados o requeridos de carácter misional en el sector en comento.

✓ **Información disponible respecto a Zonas de Manejo y Protección Ambiental (ZMPA), zonas de Ronda Hidráulica y corredores ecológicos sobre el polígono de estudio o cercanos a este.**

Se comunica que, para la información de delimitación de los cuerpos de agua y corredores ecológicos en el sector, debe de elevar su consulta ante la autoridad ambiental competente, (secretaría Distrital de Ambiente y/o CAR).

✓ **Emergencias reportadas por parte de la EAAB en el polígono de estudio.**

Se informa que a la fecha la EAAB-ESP, Zona 4, no se han reportado emergencias de tipo misional, en las cuales se haya realizado intervención solicitada.

✓ **Programas sociales o comunitarios realizados por la EAAB en el sector de estudio.**

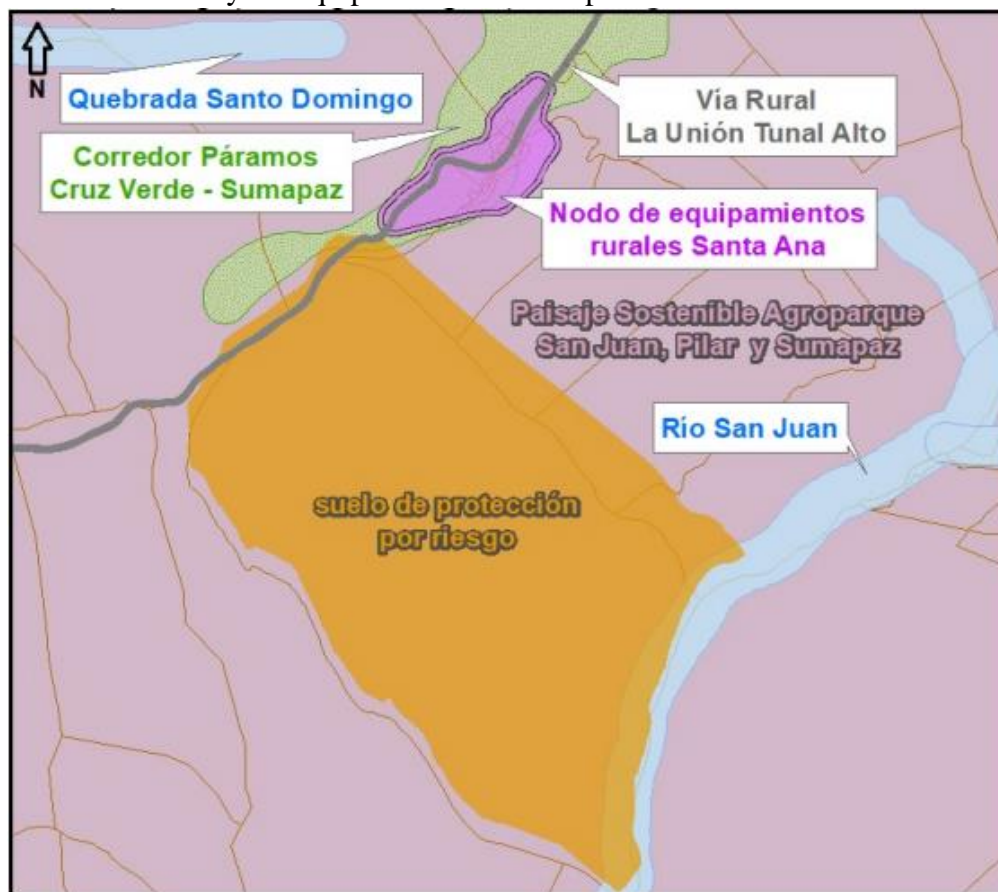
Se informa que a la fecha la EAAB-ESP, Zona 4, no se han realizado programas sociales de tipo misional, en el sector.

✓ **Estudios de usos y cobertura del suelo en el sector de estudio.**

Se informa que actualmente en el sector objeto de su solicitud, no se desarrolla ningún proyecto por parte de la EAAB-ESP, que requiera este tipo de estudios.

✓ **Secretaría De Planeación**

En atención a la solicitud realizada a la secretaria de Planeación, por medio del radicado 2-2023-12755, el área de estudio coincide con el nodo de equipamientos rurales Santa Ana, 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 28. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamiento rurales Santa Ana.**  
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 10. 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 11. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales**

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

Fuente: secretaria de Planeación

### ✓ Caja De La Vivienda Popular

En atención al radicado No 202317000008622, la entidad CAJA DE LA VIVIENDA POPULAR se permite informar que, una vez revisado el sistema de información de la entidad, se identificaron los polígonos requeridos y se envía plano donde se identifican las viviendas presentes en el sector y los predios de alto riesgo.



**Polígono Santa Ana**

**Figura 29. Viviendas localizadas para el polígono Santa Ana  
Fuente. Caja De La Vivienda Popular**

## 6 GEOLOGÍA

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

### 6.1 ESTRATIGRAFÍA

En el polígono Santa Ana afloran rocas sedimentarias de edad Paleógena que hacen parte de la Formación Lodolitas de Fusagasugá, unidad que 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.

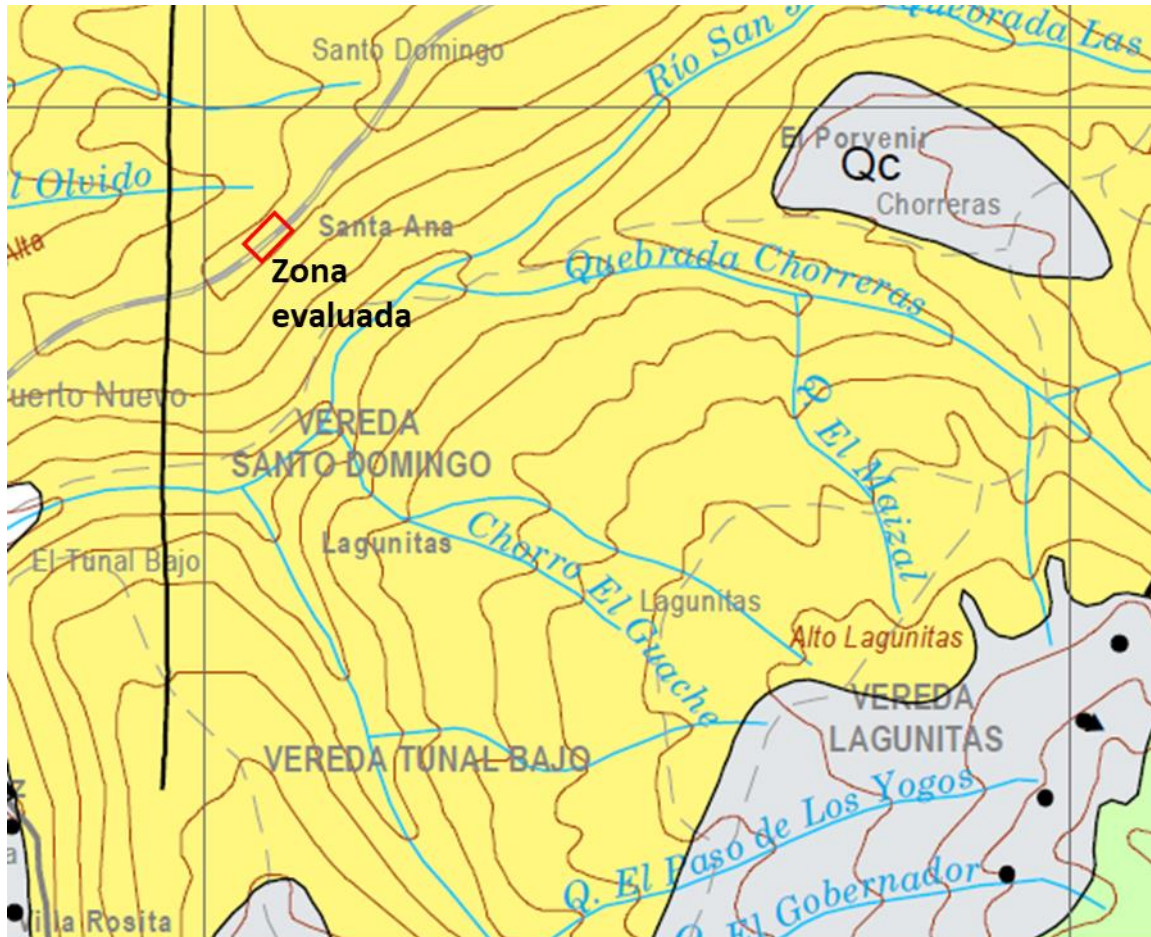
Aflora principalmente en los Sinclinales de Cabrera y San Juan, además de otros sinclinales menores, se extiende al norte formando el Sinclinal de Fusagasugá y hacia el sur occidente formando el Sinclinal de Prado.

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 fino 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.



**Leyenda**

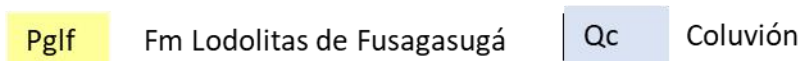


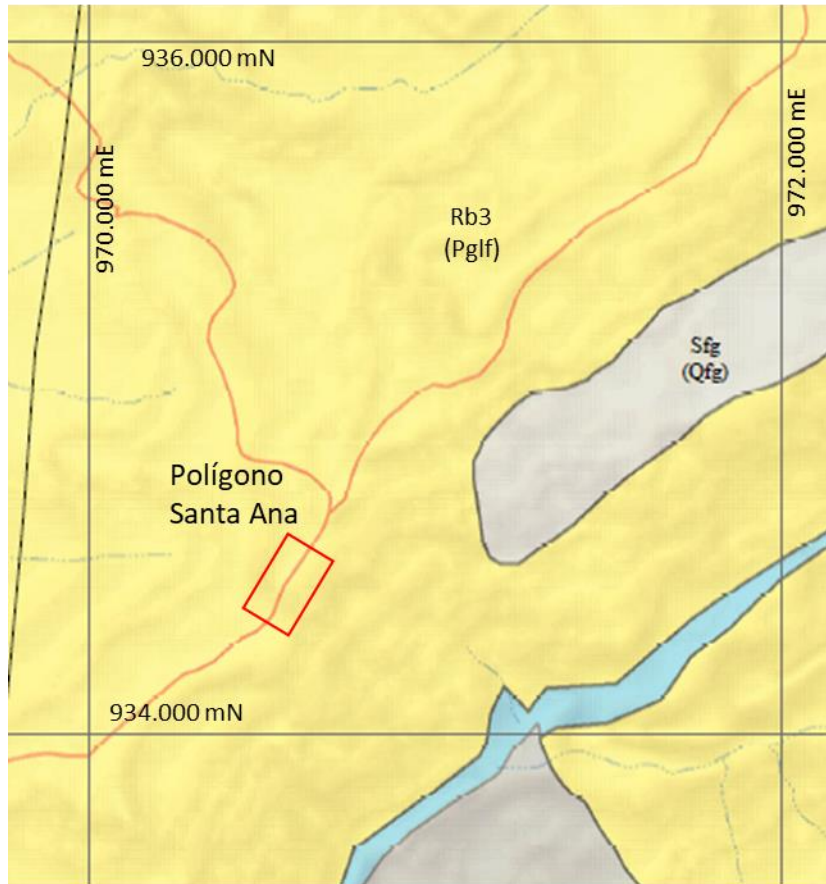
Figura 30. Mapa geológico regional modificado plancha 265 Icononzo, INGEOMINAS 1999.

**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).

Las unidades geológicas superficiales presentes en el área de estudio se categorizan en unidades de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, corresponde a la roca de resistencia blanda (Rb3). Las unidades de roca se describen a continuación:



### Leyenda

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

**Figura 31. Mapa de unidades geológicas de superficie modificado de FOPAE-UNAL 2013.**

### 6.1.2.1 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 suroeste del área conformando el 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.

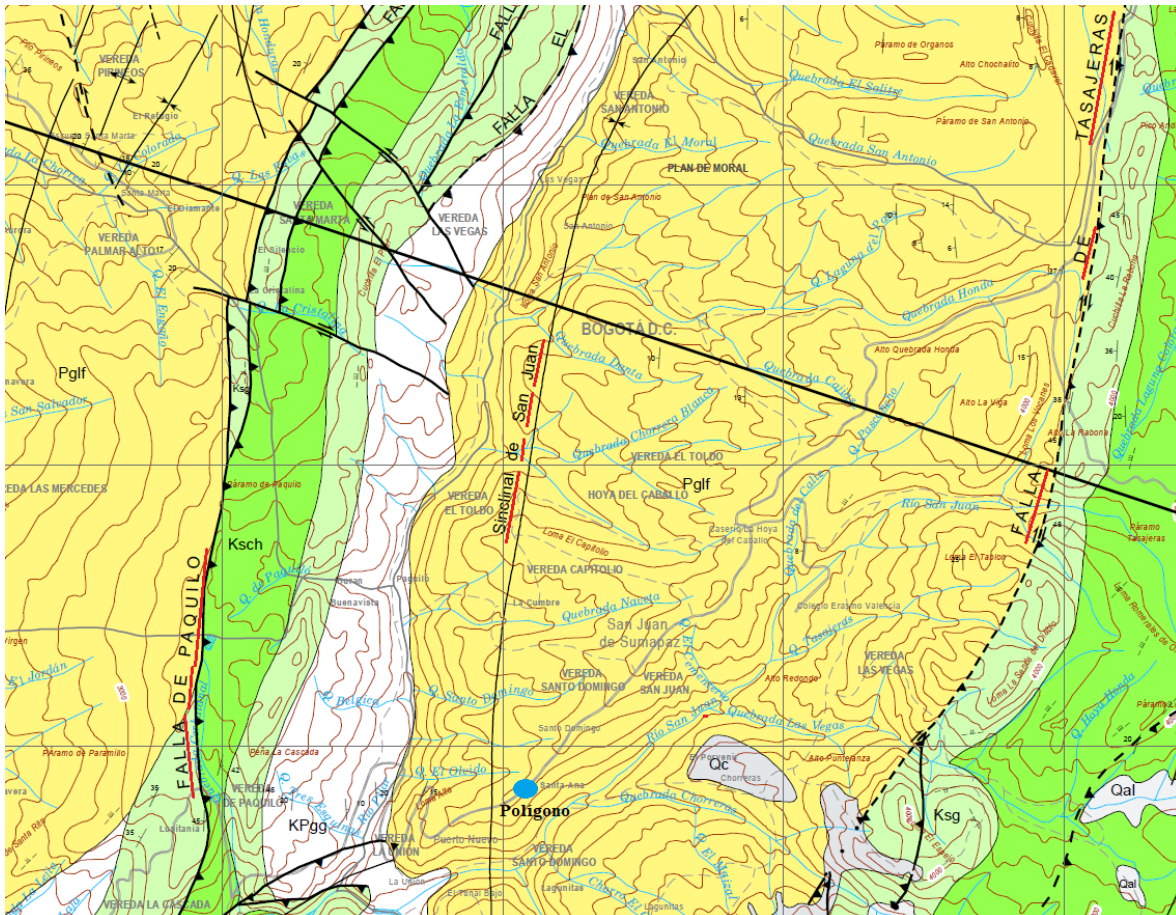
## 6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Según el mapa geológico de la plancha 265 realizada por Ingeominas a escala 1:100.000, el área de estudio se encuentra entre la falla de Tasajeras y la fallas de Paquiló, en una zona con rocas sedimentarias plegadas del Paleógeno, que hacen parte la estructura del sinclinal San Juan.

El sector se ubica en el flanco oriental del sinclinal en cercanías al eje de esta estructura, el rumbo de las capas es aproximadamente NS y buzan unos 10° a 15° hacia el W, está conformado por rocas de la Formación las Lodolitas de Fusagasugá, tal como se observa en la siguiente figura.

No se identifican fallas ni lineamientos estructurales a partir de las imágenes de satélite, y considerando las características de los materiales presentes a nivel local (suelo residual arcilloso y suelos transportados coluviales), no se diferencian datos estructurales adicionales.





**Figura 32. Geología estructural Santa Ana, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.**

### 6.3 GEOLOGIA LOCAL

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

Los materiales presentes se clasificaron en unidades de Suelo y unidades de Roca.

Las unidades de suelo corresponden a suelo residual arcilloso y suelo transportado coluvial.

La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, se clasificó como Roca de resistencia blanda arcillosa (Rba). La unidad de roca se registró en el subsuelo en la perforación 1, la información regional indica que se encuentra infrayaciendo a la unidad de suelo presente en el polígono.

Las unidades geológicas para ingeniería presentes corresponden:

### 6.3.1 Roca Blanda arcillosa (Rba)

Esta roca corresponde a una secuencia de lodolitas grises rojizas, limolitas arenosas de color habano, y arcillolitas rojizas con vetas amarillas que se encuentran intercaladas con areniscas líticas de grano medio en capas gruesas de forma lenticular.

Son rocas de resistencia blanda y poco fracturadas, las capas presentan un rumbo NS y una inclinación aproximada de 15° hacia el W, dicha información se complementa mediante las perforaciones realizadas en el presente proyecto y lo descrito en el estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá D. C, del año 2010.

### 6.3.2 Suelo residual arcilloso (Sra).

Unidad generada por la meteorización de la unidad roca blanda 3, está integrada por arcilla orgánica con raíces, limo arcilloso marrón oscuro con raíces, limo arenoso habano con vetas de color café, limo arcilloso habano y arcilla de color café, de consistencia alta.

Esta unidad se reconoció mediante los sondeos exploratorios y los barrenos manuales realizados, en los registros exploratorios su espesor varió entre 2.3 m en la ladera oriental (S-2g) a 8.5 m en la ladera occidental (S-1g).

En la siguiente figura se muestra la distribución de las Unidades Geológicas para Ingeniería del polígono.

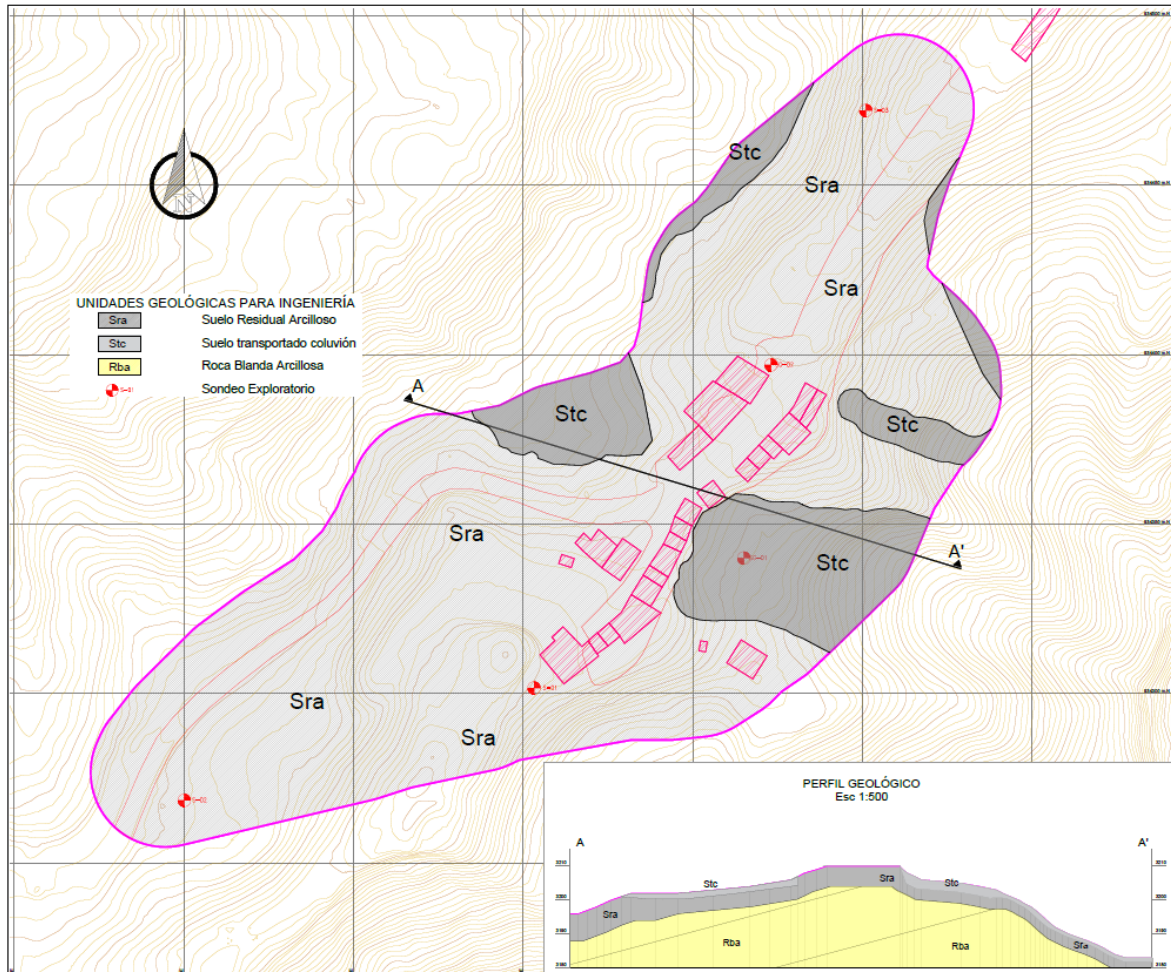
### 6.3.3 Suelo transportado coluvión (Stc)

Unidad generada por la presencia de procesos de remoción en masa que han generado el movimiento, transporte y acumulación de materiales sobre las laderas contiguas al poblado; los procesos de remoción en masa corresponden a flujos de tierras generados por el retiro de la cubierta vegetal arbustivo, la conformación de potreros para ganadería, las pendientes fuertes, la pluviosidad alta y los materiales arcillosos sin consolidar.

La unidad está integrada por una mezcla de arcillas y limos, suelo orgánico y material vegetal, su espesor es variable entre 2 y 3 m, dicha información se complementa mediante las perforaciones realizadas en el presente proyecto y lo descrito en el estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el



asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá D. C, del año 2010.



**Figura 33. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Santa Ana. Escala 1:5000**

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

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



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 34. Características del polígono Santa Ana**  
Fuente: Geodinámica

## 7 GEOMORFOLOGÍA

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

En el área de estudio se reconocen geoformas de ambiente estructural-denudativo y denudativo, que conforman una colina de relieve suave con laderas asociadas de relieve abrupto; la intervención antrópica modificó localmente la geoforma original.

En la siguiente figura se muestran los elementos geomorfológicos reconocidos, que se describen a continuación:

### 7.1 ELEMENTO DE ORIGEN DENUDATIVO

Elemento cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización y erosión que intervienen y modifican las laderas preexistentes que se originaron por la presencia de rocas sedimentarias plegadas, que fueron modificadas por erosión intensa que originó los elementos geomorfológicos que se describen a continuación.

#### 7.1.1 Lomo residual (Dlr)

Elemento con morfología alargada que genera un lomo estrecho de forma convexa, asociado con laderas de pendiente inclinada a abrupta, desarrollado sobre materiales afectados por meteorización acentuada. Rocas blandas con presencia de suelos residuales arcillosos de espesor variable que presentan procesos locales de erosión y desarrollo de drenaje subparalelo.

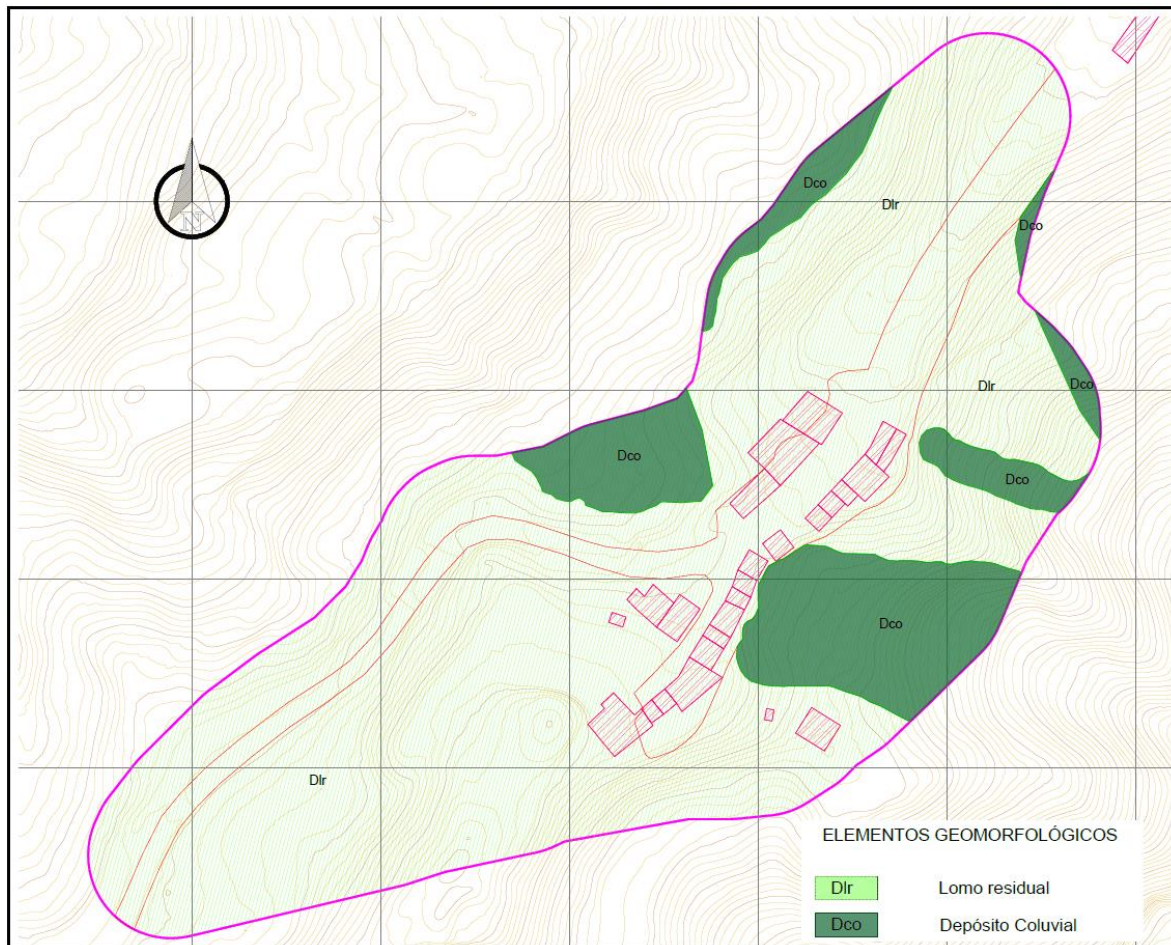
#### 7.1.2 Depósito coluvial (Dco)

Elemento de origen denudativo generada por la presencia de movimientos de remoción en masa antiguos, que han conformado depósitos de composición heterogénea con predominancia de material arcillo limoso y espesor variable. Se encuentran localizados en la parte inferior de las laderas de mayor pendiente.

Son materiales de baja consolidación, ubicados en laderas con una morfología de pendientes desde inclinadas hasta altas. En algunos sitios, los depósitos coluviales han sido afectados por procesos de inestabilidad reciente. dicha información se complementa mediante las



perforaciones realizadas en el presente proyecto y lo descrito en “el estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá” D. C, del año 2010



**Figura 35, Elementos Geomorfológicos del polígono Santa Ana. 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 Santa Ana es posible encontrar en cada elemento geomorfológico, los siguientes rangos de pendientes:

**Tabla 12 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Santa Ana**

<b>CUADRO DE ÁREAS-NODO SANTA ANA</b>			
<b>ELEMENTO</b>	<b>PENDIENTE</b>	<b>ÁREA Ha</b>	<b>PORCENTAJE %</b>
<b>Dlr</b>	Inclinado	0.66	22.52
	Moderadamente Abrupto	0.45	15.24
	Abrupto	1.39	46.99
<b>Dco</b>	Inclinado	0.06	2.03
	Moderadamente Abrupto	0.11	3.89
	Abrupto	0.28	9.33
<b>TOTAL</b>		<b>2.95</b>	<b>100</b>

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



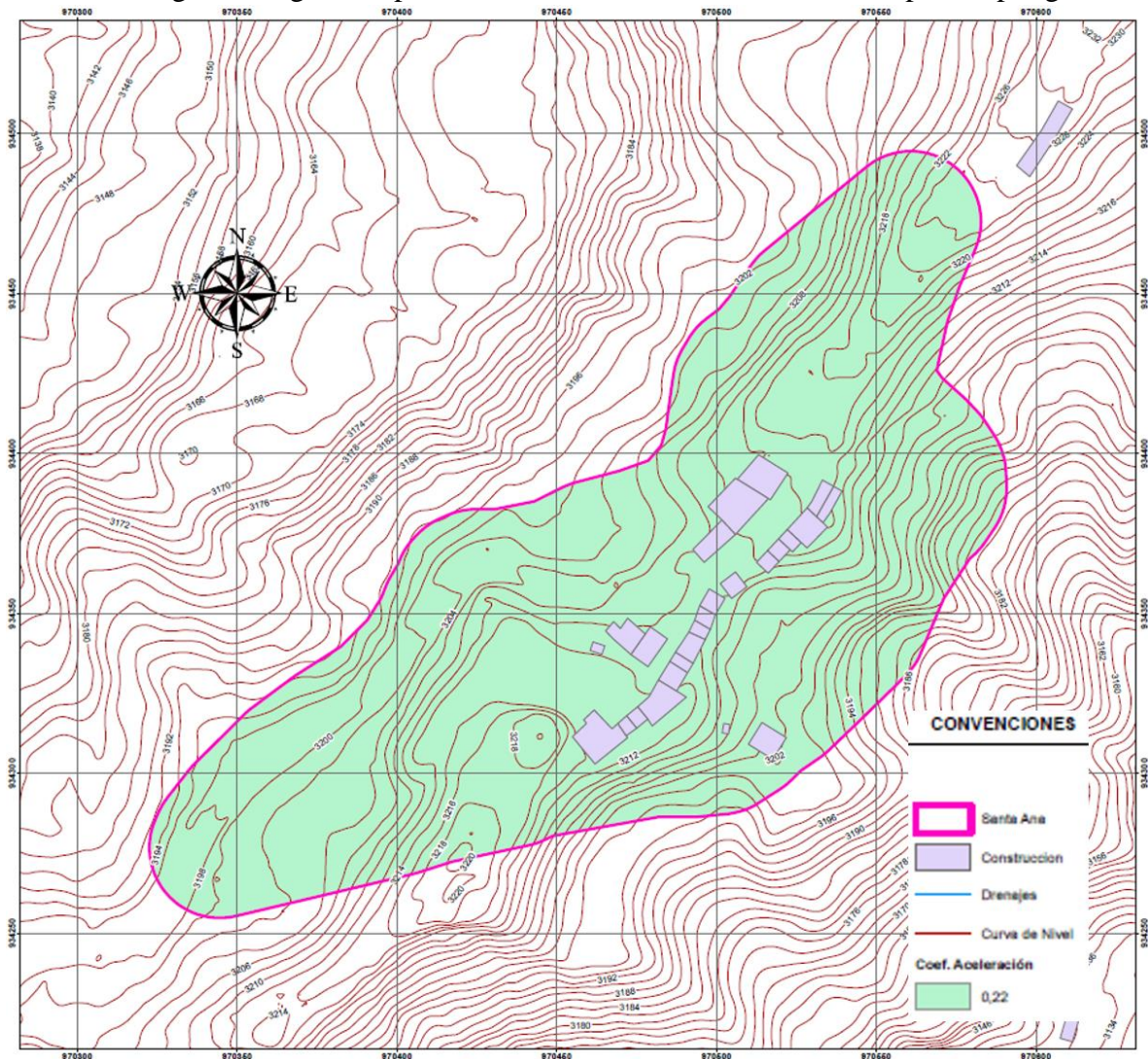
## 8 PROCESOS MORFODINAMICOS

En el sitio del polígono se presenta erosión leve manifestada como erosión laminar en un sector desprovistos de vegetación, el área que presenta este proceso hace que no sea cartografiables en una escala 1:5.000, por lo cual se plasma como punto en el plano. Adicionalmente, dentro del polígono no se encuentran cauces de cañadas, ríos, quebradas o corrientes, ni localización de trazas de fallas activas e inactivas o lineamientos.

Se aclara que la definición de suelos transportados coluviales y el elemento geomorfológico deposito coluvial, obedece al estudio detallado realizado por GeocIng, en el año 2010, “Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá D. C”, en el cual no se presentan levantamientos de procesos morfodinámicos, pero a lo largo del informe resaltan “... *Por las observaciones hechas en el campo en la zona se destacan cuatro (4) valles en donde predominan los flujos de tierra caracterizados por materiales arcillosos que se desplazan sobre los suelos residuales. También se pudo evidenciar la presencia de un deslizamiento remontante hacia el costado Nororiental en donde los suelos residuales y la roca alterada presentan desplazamientos y agrietamientos importantes...*” (Pág. 43).

## 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 36. Sismología del polígono Santa Ana. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500**

**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 restituir<sup>2</sup> la Cobertura de la Tierra, junto con la ortofoto. No

<sup>2</sup> 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 estudio.
- 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 13 Coberturas de la tierra nodo Santa Ana**

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
<b>Santa Ana</b>	112	Tejido urbano Discontinuo	0,21
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,26
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,17
	231	Pastos Limpios	1,16
	232	Pastos Arbolados	0,31
	3232	Vegetación Secundaria baja	0,84

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.

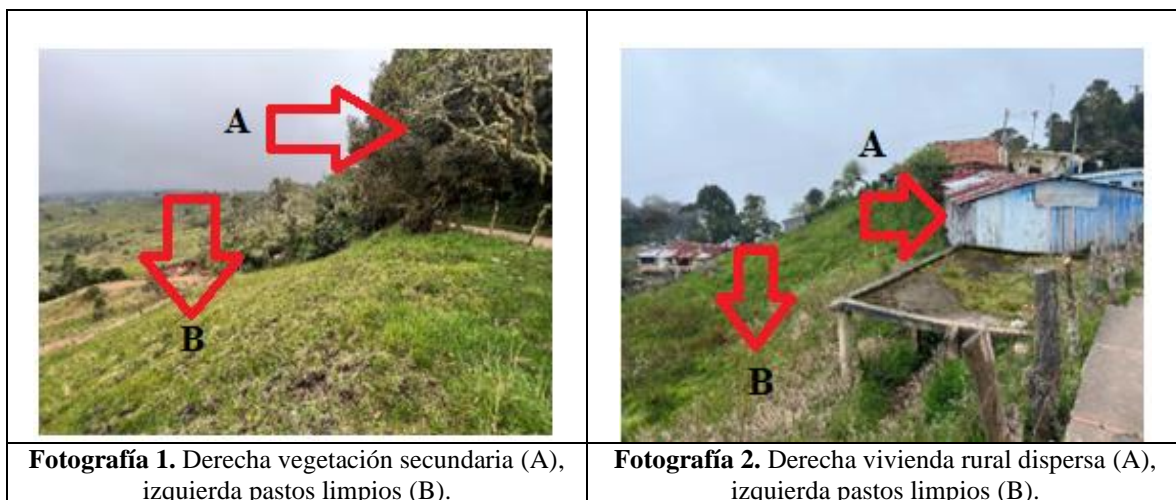
- Red Vial, Ferroviarias y Terrenos Asociados (1.2.2.1): Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexas y las instalaciones asociadas tales como estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.
- Otros 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.
- Pastos Arbolados (2.3.2): Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos en los cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a 5 metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe ser mayor al 30% y menor al 50% del área de pastos arbolados.
- Vegetación Secundaria baja (3.2.3.2): Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva y herbácea con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales. Se desarrolla posterior a la intervención original. Generalmente están conformadas por comunidades de arbustos y herbáceas formadas por muchas especies

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

Este nodo presenta una cobertura vegetal similar a los demás, donde predominan los pastos limpios los cuales cubren el 39,3% del área total, seguido de la vegetación secundaria baja; este nodo es atravesado por una vía rural. La tabla anterior y figura siguiente, permiten identificar las coberturas clasificadas.



**Figura 37. Coberturas Nodo Santa Rosa**  
**Fuente: Geodinámica, 2023**





**Fotografía 3.** Pastos limpios.



**Fotografía 4.** Vía (A) Viviendas dispersas (B).



**Fotografía 5.** Pasturas manejadas



**Fotografía 6.** Otros cultivos permanentes

## 10.2 USO ACTUAL DEL SUELO

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

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



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

En el uso de infraestructura, se identificaron varios tipos de uso como el uso vía que se asocia a las estructuras relacionadas al desplazamiento de personas y/o vehículos; las viviendas dispersas, que son las casas de la comunidad asentada en cada nodo.

También se identificó el uso de conservación, entre los cuales se detectaron usos de recuperación, que se refiere al uso donde se evidencia una alteración de las condiciones primarias de la vegetación, haciendo necesario que se propenda por salvaguardar las condiciones actuales y propender por su estabilización.

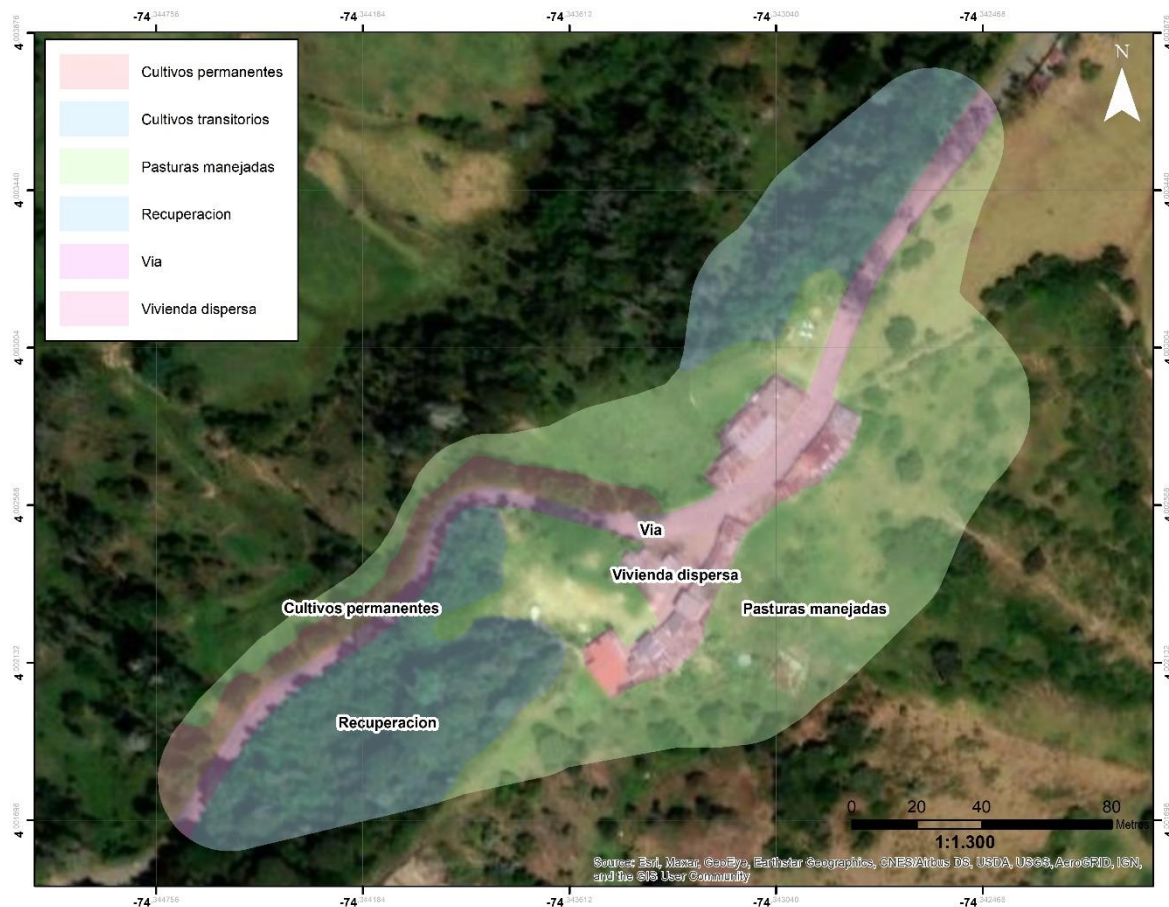
De acuerdo a la siguiente tabla, el uso más abundante corresponde a las pasturas manejadas que de acuerdo a la siguiente figura se distribuye en el polígono en el sector central acompañado de las viviendas dispersas, en cuanto a los extremos norte y sur, se evidencian usos de recuperación, esto también relacionado con la pendiente de la zona.

**Tabla 14. Uso del suelo Nodo Santa Ana**

Uso Actual	Tipo de Uso	Área (ha)
Agrícola	Cultivos permanentes	0,17
Conservación	Recuperación	0,84
Infraestructura	Vía	0,26
	Vivienda dispersa	0,21
Pecuario	Pasturas manejadas	1,47

**Fuente: Geodinámica, 2023**

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



**Figura 38. Tipo de uso del suelo nodo Santa Ana**  
**Fuente: Geodinámica, 2023**

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-Santa Ana (PLANOS SANTA ANA).

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

### 10.3 RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO:

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



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

## 11 HIDROLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

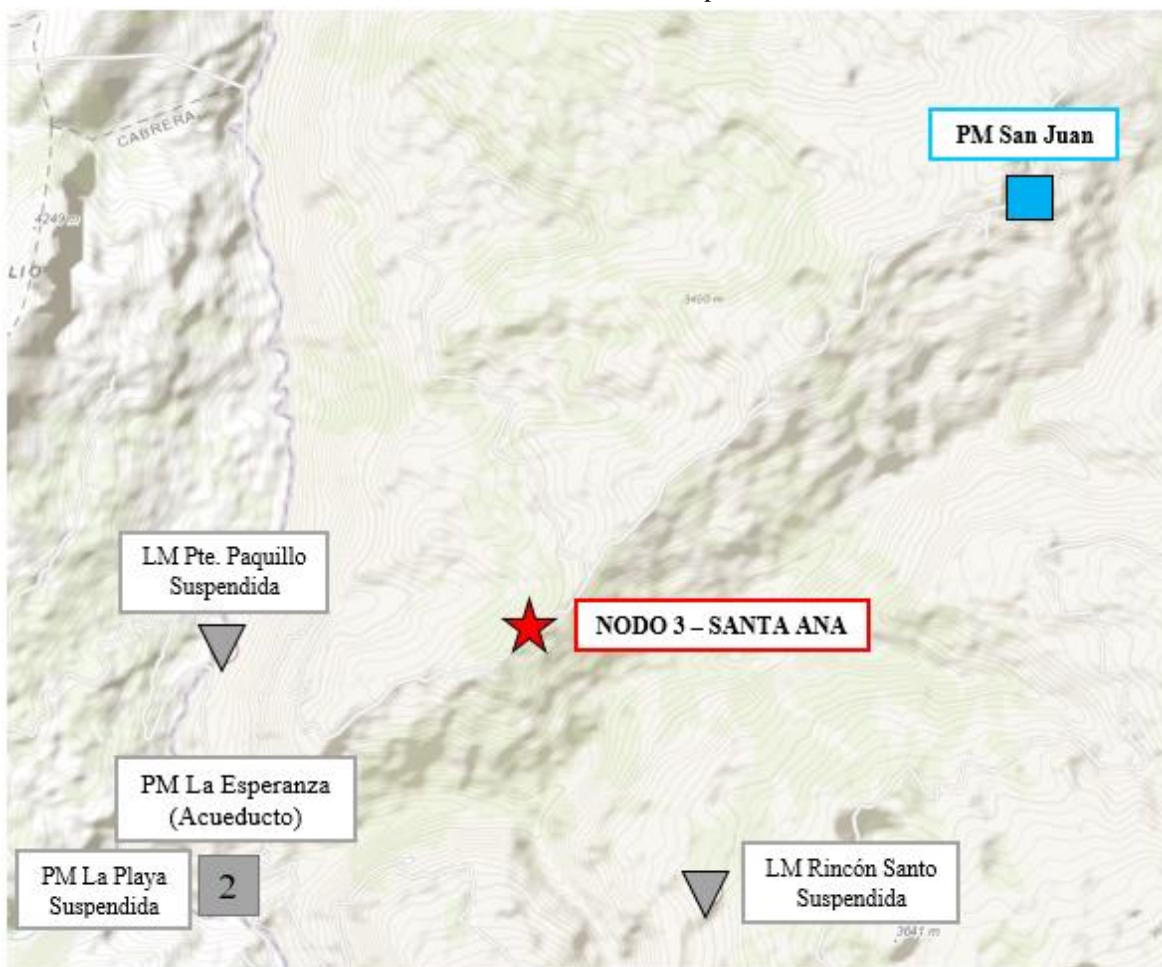
### 11.1 INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA

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 15. Estaciones empleadas Nodo 3 – Santa Ana**

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



**Figura 39. Localización Estaciones Nodo 3 - Santa Ana**

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

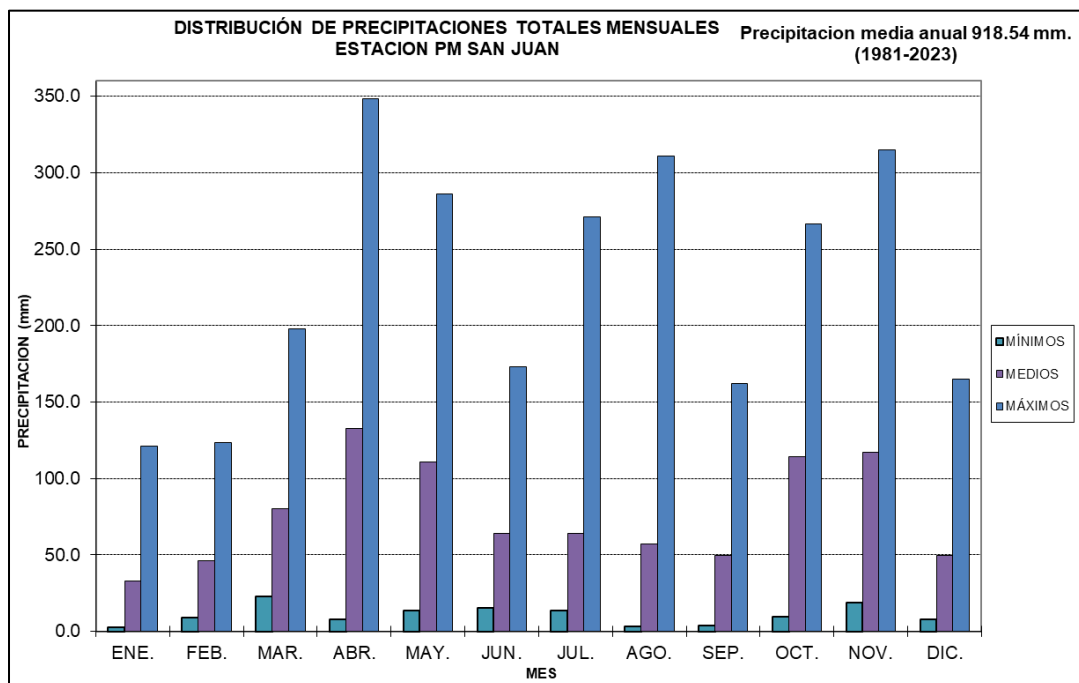
Para el proyecto objeto de estudio se cuenta con cartografía oficial del IGAC, disponible en escala 1:25.000 para todo el predio, que corresponde a la plancha 265-IV-A. Con esta cartografía se cubre todo el Polígono del Nodo 3 - Santa Ana y los cauces aferentes a este polígono.

## 11.3 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

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

## 11.4 PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES.

El ciclo anual de precipitación de la Estación 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 siguiente figura).



**Figura 40. Distribución Mensual de Precipitación Estación PM San Juan**  
Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 16. 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 17. 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 recopilieron los máximos valores anuales de precipitación en 24 horas registrada.

**Tabla 18. 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
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



Lluvia Max 24 h (mm)	Año
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 (T<sub>d</sub>):** 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:**

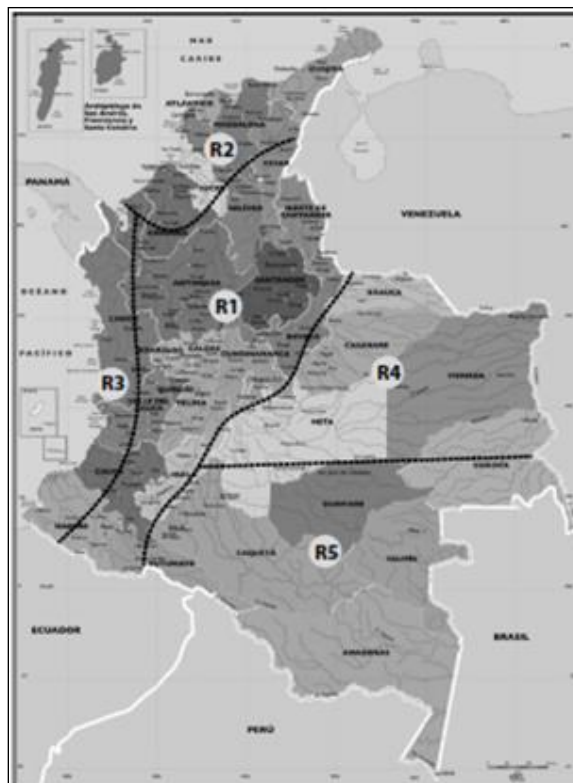
- I: Intensidad media en mm/hr.
- T: Periodo de retorno en años.
- t: duración de la lluvia en horas.
- N: promedio del número de días con lluvia al año.
- PT: Precipitación Media anual en mm.
- M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria en mm.

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 19. 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 41. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión**

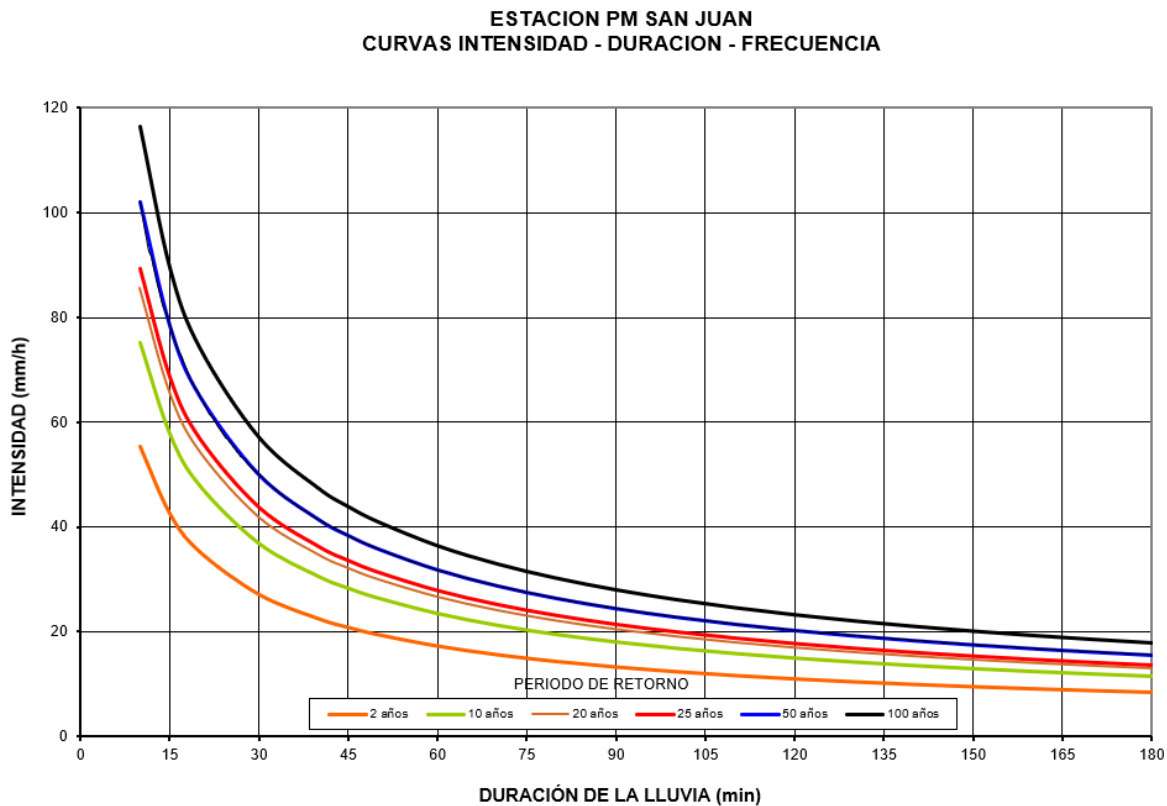
Fuente: Curvas Sintéticas de IDF para Colombia – Vargas Rodrigo 1998.

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.



**Figura 42. 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.

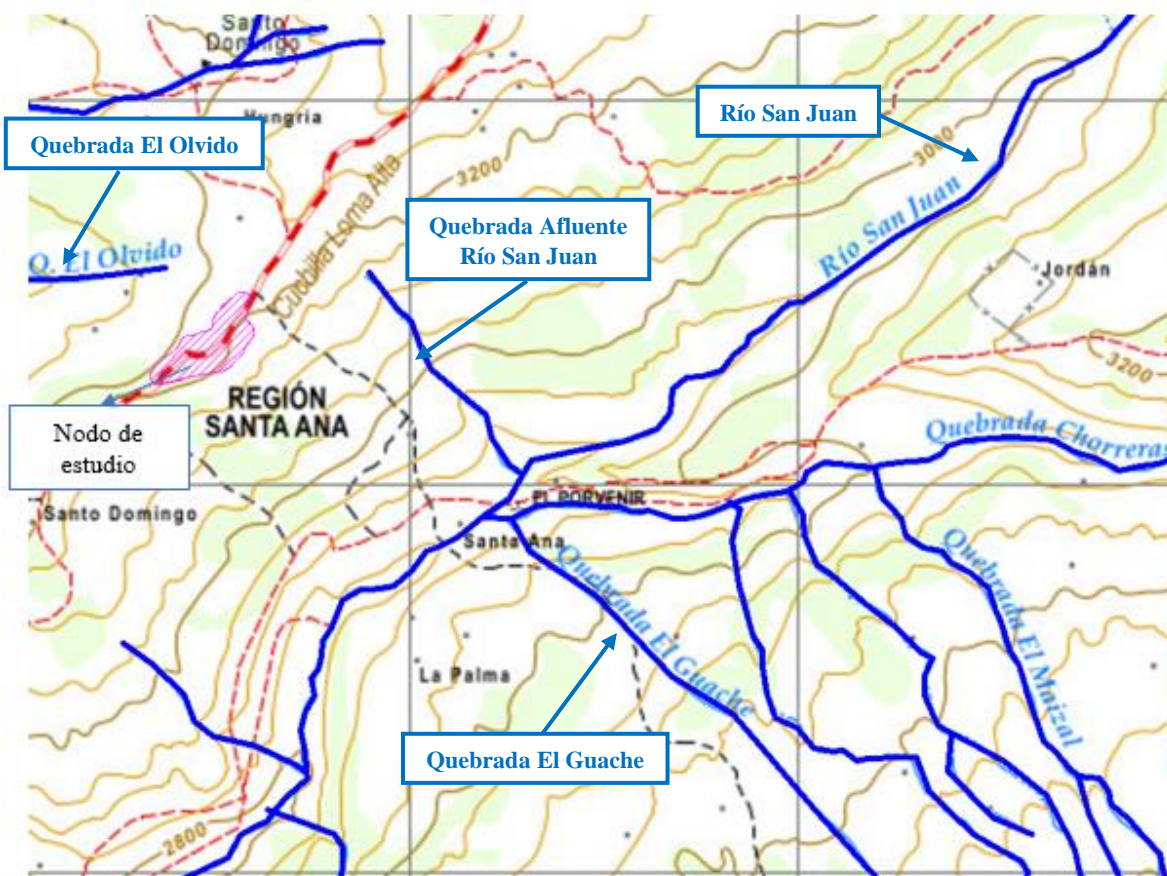
**Tabla 20. Relaciones IDF – Estación PM San Juan**

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 3 - Santa Ana corresponde a una zona en general en una altitud importante. En efecto, la cota del terreno sobre el nivel del mar varía entre los 3200msnm y 3220 msnm. El predio analizado se encuentra sobre una divisoria de aguas, sobre el cerro de Loma Alta, alrededor se identificaron importantes cuerpos de agua, como lo son la Quebrada El Olvido y el más importante que corresponde al Río San Juan y sus demás quebradas afluentes. En la siguiente figura se presenta la identificación de los principales drenajes naturales dentro y fuera del área del Nodo 3:



**Figura 43. Descripción Red de Drenaje Nodo 3 - Santa Ana**  
**Fuente: Elaboración Propia.**

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

### 11.7 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES:

En el sector donde se encuentra ubicado el Nodo 3 - Santa Ana 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 del 2023, se apreciaron dos alcantarillas ubicadas en las siguientes coordenadas.

- ✓ **Alcantarilla 1** N → 934435.105
- N → 934353.075 E → 970547.841
- E → 970480.074
- ✓ **Alcantarilla 2**



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 44. Alcantarillas existentes en el nodo Sana Ana**  
Fuente: Geodinámica

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

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro  $\phi$  30" (0.76m) y una longitud de 7.3m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado aceptable. Se resalta que en el sistema de alcantarillado se encuentra colmatado por la falta de mantenimiento rutinario. En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

**Tabla 21. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 1**

	ENTRADA		SALIDA	
	<b>ENCOLE-DESCOLE</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)
<b>MURO CABEZAL</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.2
	Altura (m)	-	Altura (m)	2
<b>GUARDARRUEDAS</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.4

	Espesor (m)	-	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	-	Altura (m)	0.35
<b>ALETAS</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.5
	Altura (m)	-	Altura (m)	1.8
<b>MURO DE ACOMPañAMIENTO</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.3	Espesor (m)	-
<b>SOLADO</b>	Altura (m)	0.1	Altura (m)	0.1

Fuente: Geodinámica

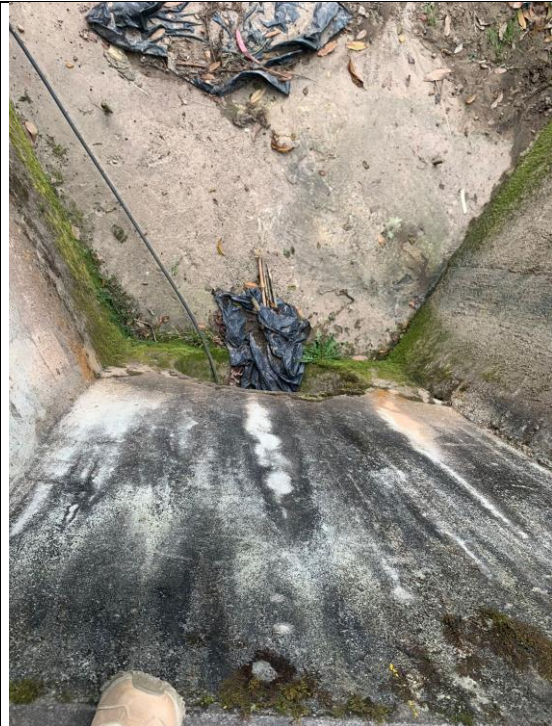
Si bien esta alcantarilla cuenta con sistema de descole, se presentan insuficiencias en el sistema ya que dos metros aguas debajo de esta alcantarilla se vierten las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial al terreno natural. A continuación, se presenta el registro fotográfico tomado para esta alcantarilla.

	
<p><b>Fotografía 7.</b> Se observa alcantarillado el cual se encuentra sellado con una tapa de concreto</p>	<p><b>Fotografía 8.</b> Se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 7.3 m y un diámetro de 30"</p>





**Fotografía 9.** Existe descole, sin embargo, este es insuficiente puesto que se vierten las aguas recolectadas al terreno natural



**Fotografía 10.** Se evidencia la presencia de aletas y solado, así mismo se resalta la falta de mantenimiento que se le realiza a esta obra hidráulica

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

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro  $\phi$  30" (0.76m) y una longitud de 5.30m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado aceptable, permite la descarga de cunetas y el cruce de escorrentía superficial. Es de importancia resaltar que, por falta de mantenimientos preventivos, esta alcantarilla presenta una obstaculización por basuras y colmatación. En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

**Tabla 22. Elementos de equipamiento de la alcantarilla 2**

	ENTRADA		SALIDA	
	<b>MURO CABEZAL</b>	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)
	Altura (m)	1.8	Altura (m)	1.8
<b>GUARDARRUEDAS</b>	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2
	Altura (m)	0.3	Altura (m)	0.3
<b>ALETAS</b>	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.5

	Altura (m)	-	Altura (m)	1.6
<b>MURO DE ACOMPAÑAMIENTO</b>	Longitud (m)	1.1	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	-
<b>SOLADO</b>	Altura (m)	0.1	Altura (m)	-

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

	
<p><b>Fotografía 11.</b> Se observa que el alcantarillado presenta muro de acompañamiento, zanja, guardarruedas y solado.</p>	<p><b>Fotografía 12.</b> Se evidencia que la tubería del alcantarillado es en concreto y tiene una longitud aproximada de 5.3 m y un diámetro de 30"</p>





A lo largo de la vía presente en el polígono de estudio Santa Ana, se evidencia red de alcantarillado. A continuación, se muestra registro fotográfico.



**Fotografía 14.** red de Alcantarillado, nodo Santa Ana  
Fuente Geodinámica

A lo largo del polígono se encuentran alcantarillas las cuales no cuentan con un sistema de descole, haciendo que las aguas que estas recogen sean vertidas directamente al terreno, tal como se evidencia en la siguiente fotografía, es de suma importancia destacar la presencia basura en estas obras hidráulicas.





**Fotografía 15. Alcantarillas presentes en el nodo Santa Ana**  
Fuente: Geodinámica



**Fotografía 16. Obstrucción de alcantarilla por basura y sedimentos**  
Fuente. Geodinámica

En el salón comunal del sector Santa Ana, la recolección de aguas lluvias se hace mediante un sistema de canal de 2”, el cual no presenta una caja de recolección de aguas lluvias, ni descole, por ende, estas aguas se vierten al talud que presenta un escarpe. En la siguiente ilustración se muestra a con mejor detalle lo descrito anteriormente.



**Fotografía 17. Recolección de aguas lluvias salón comunal, Santa Ana**  
**Fuente: Geodinámica**

## 11.8 ALCANTARILLADO SANTA ANA:

De acuerdo con el informe de intervención componentes técnico/organizacional de la alcaldía Mayor de Bogotá D.C titulado “*Asociación De Usuarios De Acueducto Y Alcantarillado De Las Veredas Santo Domingo La Unión Identificada Con La Sigla Asoaguas Claras Sumapaz Esp Localidad De Sumapaz*”, indica que esta asociación funciona bajo los parámetros de una organización sin ánimo de lucro de carácter comunitario, donde es la misma comunidad quien presta el servicio de acueducto para las zonas mencionadas anteriormente.

- El sistema de Aguas claras toma el agua de la quebrada La Rabona, cuentan con las estructuras de bocatoma, desarenador, planta de potabilización (dos baterías filtrantes para los sistemas Aguas Claras), tanque de almacenamiento (dos unidades para el sistema Amigos de Páramo) y redes de distribución (con válvulas y accesorios).
- Este sistema cuenta con planta de tratamiento de acueducto, cada una con dos baterías de filtración en serie compuestas de medios mixtos de grava, gravilla, arena sílice (tamiz 20 – 30) y antracita.
- Los diseños de la red se adelantaron mediante el contrato de obra No 2-02-30100-438-2003.
- El caserío de Santa Ana (Santo Domingo), cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, compuesto por: Un pozo séptico y Un filtro anaerobio.
- Como diagnóstico del sistema de alcantarillado, en la actualidad no se cuenta con un diagnóstico o inventario de los sistemas individuales que recolectan, transportan y tratan las aguas residuales del caserío encontrado dentro del polígono.

## 11.9 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 23. Período de retorno según tipo de obra.**

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

Fuente: Manual de drenaje de carreteras de INVIAS.

En los estudios del tramo de vía que corresponden a este informe, se utiliza el método racional para estimar el caudal de diseño para las obras de drenaje, el cual aplica para cuencas con un área menor o igual a 2.5 km<sup>2</sup>. Este criterio está de acuerdo con lo estipulado en el Manual de Drenaje de Carreteras de INVIAS.

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

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

### Dónde:

- ✓ Q: Caudal máximo, (m<sup>3</sup>/s)
- ✓ F: Factor de reducción de la lluvia puntual por área de drenaje, valor adimensional.
- ✓ C: Coeficiente de escorrentía.
- ✓ i: Intensidad de la lluvia, (mm/h)
- ✓ A: Área de Drenaje, (Km<sup>2</sup>)



**- Áreas de Drenaje:**

En la siguiente figura se presentan las áreas de drenaje obtenidas para cada obra de drenaje existente. Como se puede observar este nodo se encuentra sobre la divisoria de aguas y no se identifican áreas de drenaje:



**Figura 45. Áreas de Drenaje Obras Existentes**  
Fuente: Elaboración Propia.

Para las obras de drenaje o sectores de cruce de escorrentía menor donde no es posible obtener con la cartografía disponible en escala 1:25.000 un área aferente con total claridad, se adopta un área de 0.01 km<sup>2</sup> y una longitud de 0.1 km, con el fin de obtener tiempos de concentración de mínimo 15 min y así atribuir un área de drenaje conservadora. Este criterio se aplica especialmente en los sectores donde la vía se encuentra sobre o muy cerca de la divisoria de aguas.

**- Factor de Reducción de Lluvia:**

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



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

Este valor se aplicará para cuencas que superen un área de 1.0 km<sup>2</sup>.

**- Coeficiente de Escorrentía:**

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

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

**Tabla 24. Coberturas de la tierra Nodo Santa Ana**

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Santa Ana	112	Tejido urbano Discontinuo	0,21
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,26
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,17
	231	Pastos Limpios	1,16
	232	Pastos Arbolados	0,31
	245	Mosaico de Cultivos	0,32
	3232	Vegetación Secundaria baja	0,52

Fuente: Geodinámica, 2023

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

Figura 46. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow

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

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

- **Intensidad:**

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

- **Tiempo de Concentración:**

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

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

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

**Dónde:**

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

También se aplicó la fórmula de Bransby-Williams<sup>3</sup> que corresponde a la siguiente ecuación:

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

**Dónde:**

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

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

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

**Dónde:**

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

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

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

<sup>3</sup> Pilgrim y Cordery, 1993, p.9-16

**Dónde:**

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

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

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

**Dónde:**

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

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 25. Evaluación de caudales**

No	Área (Km <sup>2</sup> )	Long. (Km.)	S (m/m)	T <sub>c</sub> Bransby (min)	Coeficiente de escorrentía			I 10 años (mm/h)	I 25 años (mm/h)	I 50 años (mm/h)	Método Racional (Q m <sup>3</sup> /s)		
					10 años	25 años	50 años				Tr=10 años	Tr=25 años	Tr=50 años
1	0.010	0.100	0.10000	15.0	0.44	0.48	0.51	57.7	68.7	78.4	0.07	0.09	0.11
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.

## 11.10 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 pies<sup>3</sup>/s.
- ✓  $D$ : Diámetro de la alcantarilla, en pies.

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

**Tabla 26. Evaluación Obras de Drenaje**

No.	Área (Km <sup>2</sup> )	Caudal Máximo Instantáneo (m <sup>3</sup> /s)	OBRA EXISTENTE						OBSERVACIONES
			Cant	b (m)	f (m)	h (m)	Capacidad (m <sup>3</sup> /s)	Longitud(m)	
1	0.01	0.07	1		0.75		0.59	5.50	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente de diámetro $\phi$ 30" (0.76 m), la obra es insuficiente hidráulicamente, se recomienda reemplazo por Alcantarilla de diámetro $\phi$ 36" (0.90 m).
2	0.01	0.07	1		0.75		0.59	4.80	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente de diámetro $\phi$ 30" (0.76 m), la obra es insuficiente hidráulicamente, se recomienda reemplazo por Alcantarilla de diámetro $\phi$ 36" (0.90 m).

Fuente: Elaboración Propia.

## 11.11 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*<sup>4</sup>. En su libro describe los coeficientes de permeabilidad de la siguiente forma:

**Tabla 27. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo**

Tipo de formación	Valor de $k$ (cm/seg)
Depósitos fluviales	
Ródano en Genissiat	
Pequeños ríos de los Alpes orientales	Hasta 0.40
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 $\pm$
Tierras loésicas	0.0001 $\pm$
Depósitos lacustres y marinos (no costeros)	
Arena muy fina uniforme $U^a = 5-2$	0.0001–0.0064
"Hígado de toro"* <sup>a</sup> , 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

<sup>a</sup> $U$  = 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.)

<sup>4</sup> Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1972). *Mecánica de suelos* (No. 624.151 LAM).

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

**Tabla 28. Resultados de pruebas de permeabilidad <sup>5</sup>**

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

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.

## 11.12 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 estos datos se aplicó el método de Thornthwaite. Este método trata de cuantificar los distintos componentes del balance hídrico en el suelo, el fundamento esta descrito mediante la siguiente ecuación:

$$P = E_s + ETR + I$$

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

<sup>5</sup> Lane, K. S., Washburn, D. E., & Krynine, D. P. (1947). Capillarity tests by capillarimeter and by soil filled tubes. In *Highway research board proceedings* (Vol. 26).

mes con otro de la variación R de las reservas almacenadas en las capas de agua subterránea. Para la estación AG Pasca – Aut., se cuenta con información de evaporación en tanque Clase A, Temperatura y precipitaciones mensuales. El método empleado fue el de Thornwaithe, utilizando como estimación de la Evapotranspiración potencial, una relación comúnmente usada en Colombia, que es  $EVP = 0.7 * \text{Evaporación en tanque clase A}$ .

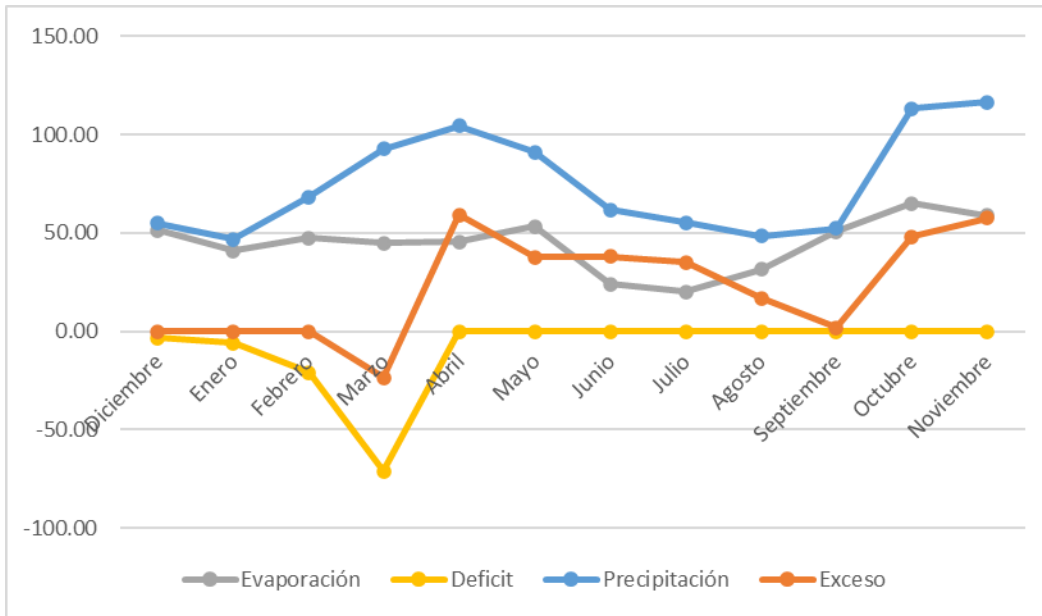
**Tabla 29. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo**

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

Fuente: Elaboración Propia.

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





**Figura 47. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas**

## 12 INVESTIGACIÓN GEOTECNICA

### 12.1 PROGRAMA DE EXPLORACIÓN

#### 12.1.1 ANTECEDENTES

##### 12.1.1.1 Estudios previos

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

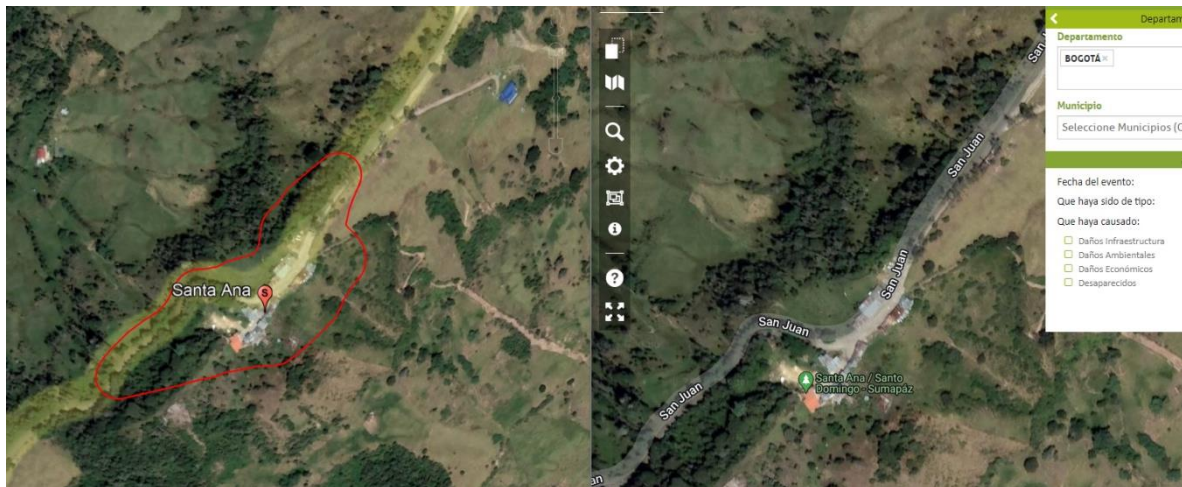


Figura 48. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Santa Ana  
Fuente: SIMMA

- **Estudio De Riesgos Por Fenómenos De Remoción En Masa Y Evaluación De Alternativas De Mitigación Para El Asentamiento Menor De Santa Ana (Santo Domingo) De La Localidad De Sumapaz, En Bogotá D. C**



### 12.2 Diagnóstico 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 3 denominado Santa Ana, en compañía del director, el Especialistas en geotecnia, el geólogo y la ingeniera de apoyo de Geodinámica Ingeniería.

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

- En el inicio del polígono, es posible encontrar pendientes abruptas en el terreno. (Ver las Fotografías 18).
- A lo largo del nodo se encuentra una red de alcantarillado. (Ver la Fotografía 19).
- Se encuentran alcantarillas que no presentan descole, ya que las aguas se vierten directamente al terreno. También es importante destacar la presencia de basuras a lo largo de las obras hidráulicas. (Ver las Fotografías 20).
- En la parte trasera del salón comunal que se encuentra dentro del polígono, es posible encontrar un escarpe, donde en l parte alta de esta pendiente se encuentran diferentes estructuras (Ver las Fotografías 21 y 22).
- En el costado derecho e inferior del polígono, se encuentra una vía, la cual presenta una fuerte pendiente. (Ver las Fotografías 23).

En general, se puede mencionar que el ancho promedio del polígono es de 126 m, y la longitud del mismo es de 336 m, para un área aproximada de 2.95 Ha. El terreno presenta una cobertura vegetal consistente en pastos. Por otra parte, se observa que al interior del polígono de estudio se desarrollan edificaciones de 1 y hasta 2 pisos, construidas principalmente en mampostería.

	
<p><b>Fotografía 18</b> Se presentan altas pendientes sobre el nodo de estudio.</p>	<p><b>Fotografía 19</b> Se encuentra una red de alcantarillado a lo largo del nodo de estudio.</p>





**Fotografía 20** Deficiencia en el descole de las alcantarillas encontradas a lo largo del nodo.



**Fotografía 21** Escarpe encontrado en la parte trasera del salón comunal.



**Fotografía 22** Construcciones encontradas a lo largo del nodo de estudio, donde se encuentra el escarpe detallado anteriormente.



**Fotografía 23** Acceso vial encontrado dentro del polígono, el cual presenta altas pendientes.

### 12.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO:

Para la caracterización geotécnica del área de estudio se ejecutaron de tres (3) sondeos mecánicos de 5.45 m, 5.05 m y 5.25 m de profundidad y de dos (2) apiques de 2.10 m de profundidad. En la carpeta 6 GEOTECNIA se encuentran los registros de exploración y fotográficos, con la caracterización y espesores de los materiales presentes en la zona de estudio.

En la zona donde se encuentra el escarpe detallado en las fotografías mostradas anteriormente, se realiza un sondeo para conocer las características del suelo de esta área. 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 30 – Exploración del Subsuelo**

SANTA ANA			
Sondeo/Apique	Norte (m)	Este (m)	Prof. (m)
S-1	934301.664	970453.183	5.45
S-2	934268.523	970350.116	5.05
S-3	934472.038	970550.963	5.25
AP-1	934312.091	970351.907	2.10
AP-2	934392.087	970553.713	2.10



**Figura 49- Localización de perforación ejecutada.**

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



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

### 12.3.1 Perfiles de campo:

#### 1. SONDEO 1

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte sur del polígono, se obtuvieron 6 muestras en las cuales se encontraron los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.10 m** → Capa de pasto con raíces.
- **0.10 m – 0.40 m** → Capa vegetal limo orgánico, raíces, puntos de oxido, color de la muestra café con manchas de color negro. Muestra 1 SPT (N=5 golpes)
- **0.40 m – 1.50 m** → Limo arcilloso con arena finas intercaladas, trazas de oxido, vetas de limos color café claro, raíces, zonas fisuradas, humedad alta, consistencia muy rígida, color de la muestra café con manchas de color negro. Muestra 2 tipo Shelby, muestra 3 tipo SPT (N=19 golpes)
- **1.50 m – 2.80 m** → Arcilla plástica con arenas finas intercaladas, trazas de oxido, humedad alta, consistencia rígida, color de la muestra
- **2.80 m – 4.30 m** → Arcilla limo arenosa de grano fino, trazos de oxido, humedad media, consistencia muy rígida, color de la muestra café claro. Muestra 4 Shelby, muestra 5 SPT (N=44 golpes)
- **4.30 m – 5.45 m** → Arcilla limo arenosa de grano fino, trazas de oxido, zonas fisuradas, humedad media, consistencia dura, color de la muestra habano con manchas de color café y amarillo oscuro. Muestra 6 SPT (N=59 golpes)



**Figura 50. Muestras sondeo #1**

## 2. SONDEO 2

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte suroccidental del polígono, se obtuvieron 5 muestras en las cuales se encontraron los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.50 m** → Relleno recebo común compuesto de arcilla limo arenosa de grano fino, gravas finas y medias, W" alta, color café claro.
- **0.50 m – 2.00 m** → Limo arcilloso plástico, con arena fina intercalada, puntos de oxidados, zonas fisuradas, humedad media, consistencia suave, color de la muestra amarillo oscuro. Muestras 1 SPT (N=3 golpes)
- **2.00 m – 4.00 m** → Arcilla limosa plástica, puntos de oxidados, humedad media, consistencia rígida, color de la muestra amarillo oscuro con manchas de color gris claro. Muestra 2 Shelby, muestra 3 SPT (N=16 golpes), muestra 4 Shelby.
- **4.20 m – 5.05 m** → Arcilla limosa plástica con arena fina intercalada, zonas fisuras, puntos de oxido, humedad media, consistencia dura, color de la muestra amarillo oscuro con manchas de color amarillo claro. Muestra 5 SPT (N=41 golpes)



**Figura 51. Muestras sondeo # 2**

### 3. SONDEO 3

Este sondeo se encuentra ubicado en la parte norte del polígono, se obtuvieron 6 muestras en las cuales se encontraron los siguientes materiales.

- **0.00 m – 0.40 m** → Relleno mixto compuesto de limo arcilloso, restos de asfalto, escombros de construcción.
- **0.40 m – 1.00 m** → Capa vegetal limo arenoso orgánico de grano fino, raíces, color de la muestra café oscuro. Muestra SPT (N=9 golpes)
- **1.00 m – 3.80 m** → Arcilla limosa con zonas fisuradas, trazas de óxido, humedad alta media, consistencia muy rígida, color de la muestra amarillo oscuro. Muestra 2 Shelby, muestra 3 SPT (N=20 golpes)
- **3.80 m – 5.25 m** → Arcilla limosa plástica, con arena fina intercalada, trazas de óxido, humedad media, consistencia rígida, color de la muestra café claro con manchas de color amarillo oscuro. Muestra 4 Shelby, muestra 5 SPT (N=25 golpes), muestra 6 Shelby.



**Figura 52. Muestra sondeo # 3**

#### 4. APIQUE 1

Este apique se encuentra ubicado en la parte nororiental del polígono, se realizó muestra tipo cubo a una profundidad de 1.25 m hasta 1.45 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 53. Muestras apique #1**



## 5. APIQUE 2

Este apique se encuentra ubicado en la parte suroccidente del polígono, se realizó muestra tipo cubo a una profundidad de 1.20 m hasta 1.50 y muestra tipo SPT. Estas muestras fueron llevadas al laboratorio para realizar los ensayos previamente programados. A continuación, se presentan imágenes de las muestras.



**Figura 54. Muestras apique # 2**

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

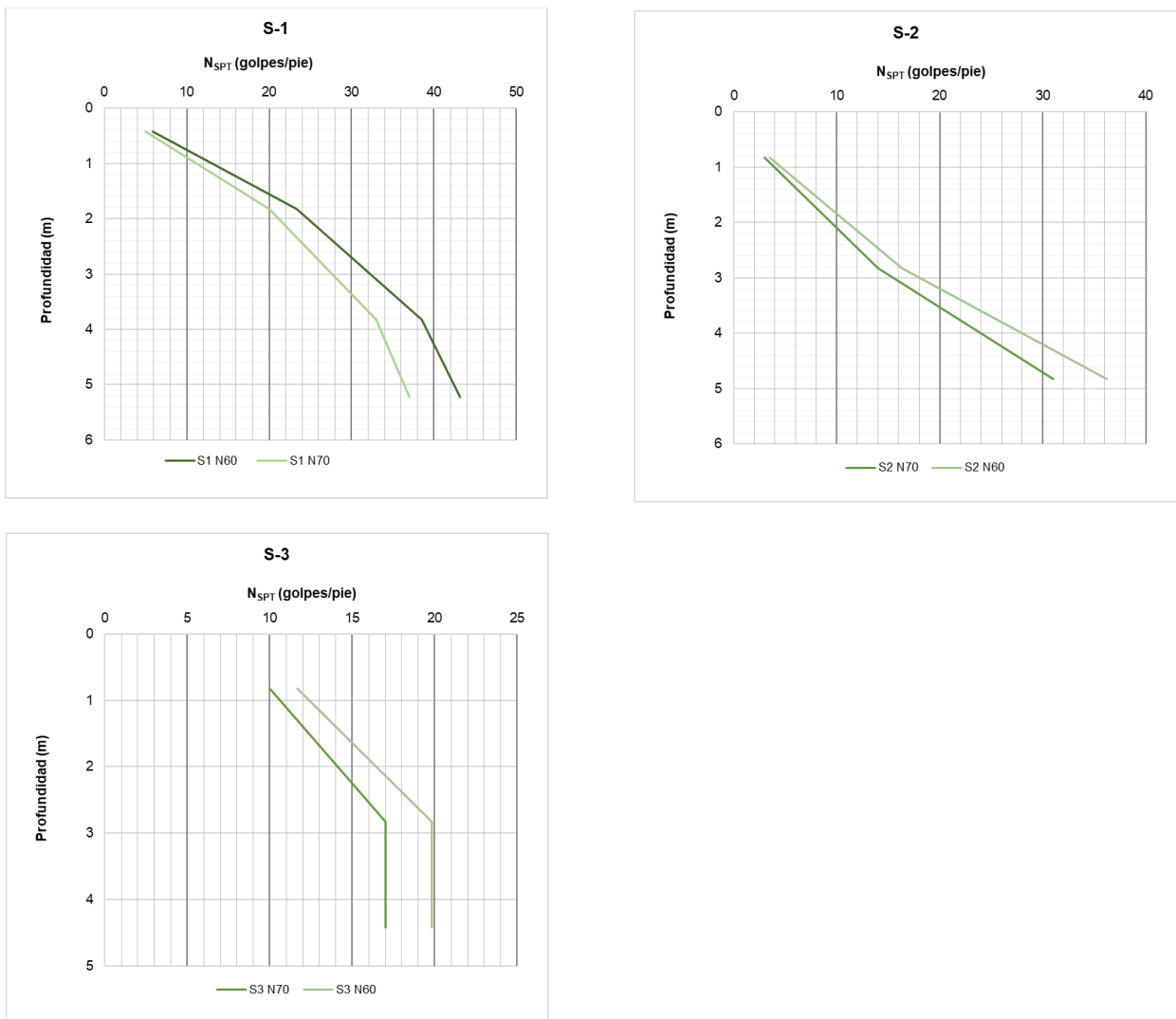
Durante la ejecución de los sondeos se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar SPT del cual se obtuvo valores de N (golpes) que permiten correlacionar con la consistencia de los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares. De esta manera se obtuvo la variación en profundidad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

Para el caso del S-1, se obtuvo a 5.00 m la presencia de la capa de arcilla limo arenosa, por lo anterior para esta capa la cual se encuentra entre 4.30 m a 5.45 m de profundidad se encontraron valores de N corregido a una energía ( $N_{70}=37$ ) y ( $N_{60}=43$ ) los cuales se correlacionan con una consistencia dura.

Para el sondeo S-2 la capa de suelo arcilla limosa entre 4.00 a 5.05 m de profundidad, se obtuvieron valores de ( $N_{70}=31$ ) y ( $N_{60}=36$ ), que se asocian a una consistencia variable entre firme a dura. Con respecto al sondeo S-3 la capa de suelo arcilla limosa entre 3.80 a 5.25 m de profundidad, se obtuvieron valores de ( $N_{70}=17$ ) y ( $N_{60}=20$ ), los cuales se asocian a una consistencia muy rígida. En la siguiente Figura se muestra la variación de  $N_{70}$  y  $N_{60}$  con la profundidad para cada uno de los sondeos ejecutados.

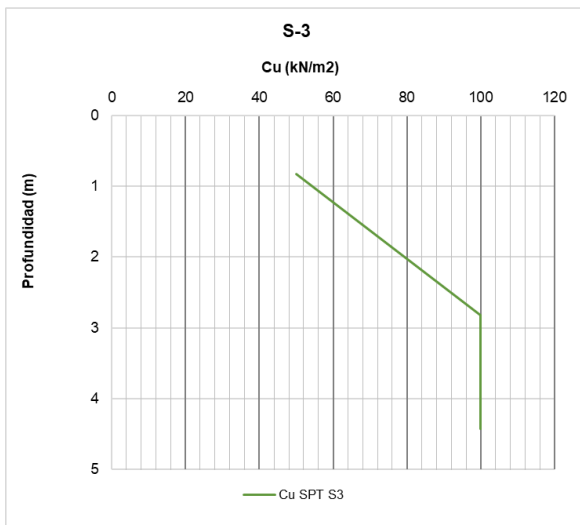
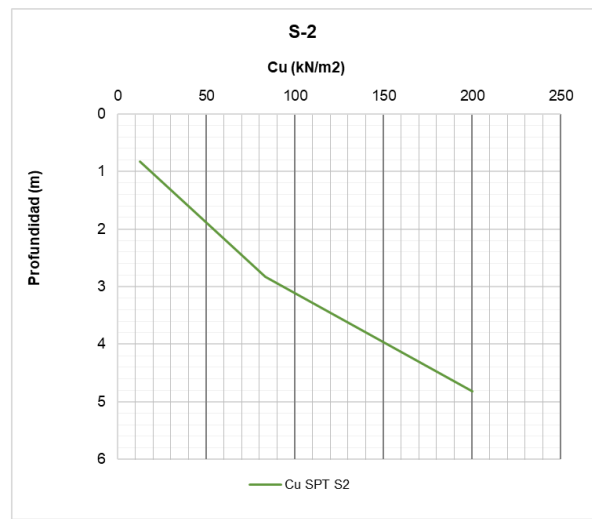
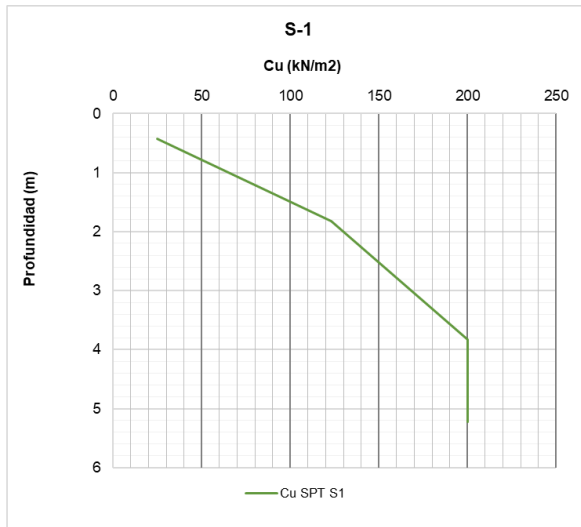
En la siguiente figura se muestra la variación de  $N_{70}$  y  $N_{60}$  con la profundidad para cada uno de los sondeos ejecutados.

Los resultados obtenidos de la correlación de  $N_{70}$  con la resistencia al corte no drenado<sup>6</sup> 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.



**Figura 55. Variación de la resistencia a la penetración  $N$  en golpes/pie del ensayo de SPT**  
**Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)**

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



**Figura 56. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT**  
**Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)**

### 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  $c'^7$  y con la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) se estimaron los parámetros  $\phi^{81}$  de manera aproximada por tipo de material. Este método consiste en graficar puntos ( $\sigma_v'$ ,  $\tau$ ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros 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 31. Resultados de  $\phi$  y  $c'$  S-1**

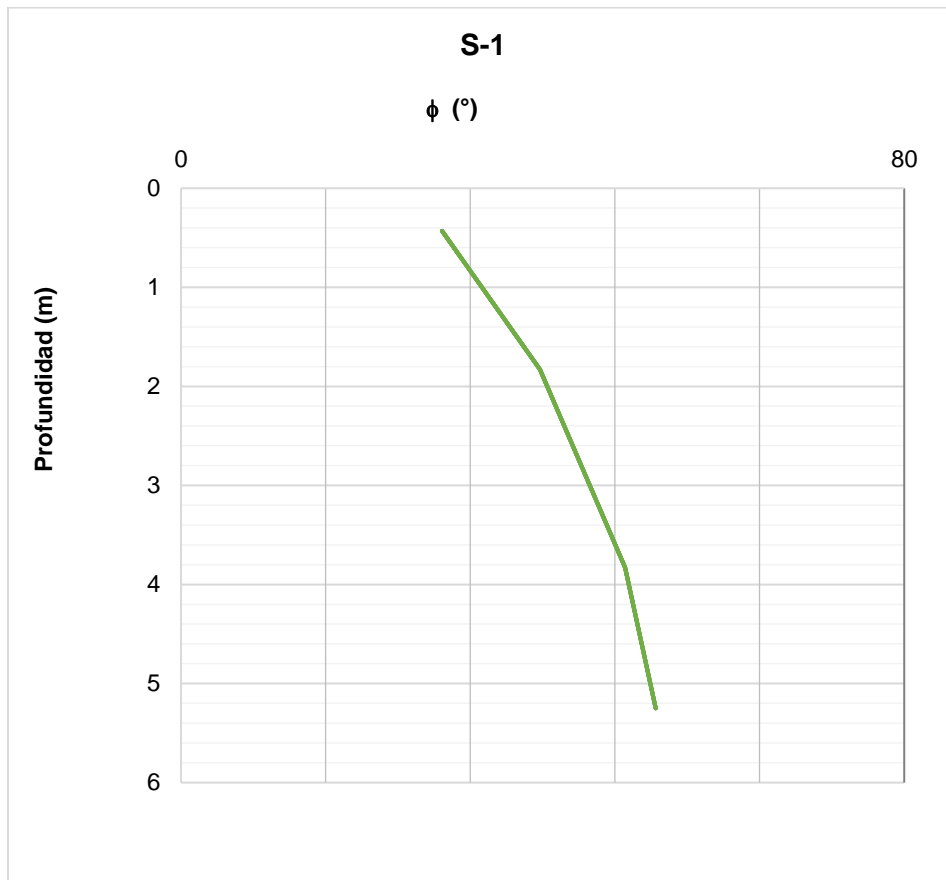
<b>Profundidad media</b>	$\phi$	$c'$
0.4	28.9	25
1.8	39.7	123
3.8	49.1	200
5.3	52.5	200

Fuente Geodinámica (2023)

<sup>7</sup> Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

<sup>8</sup> (Montenegro Padilla, 2014) . Calibración del método de parámetro de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana





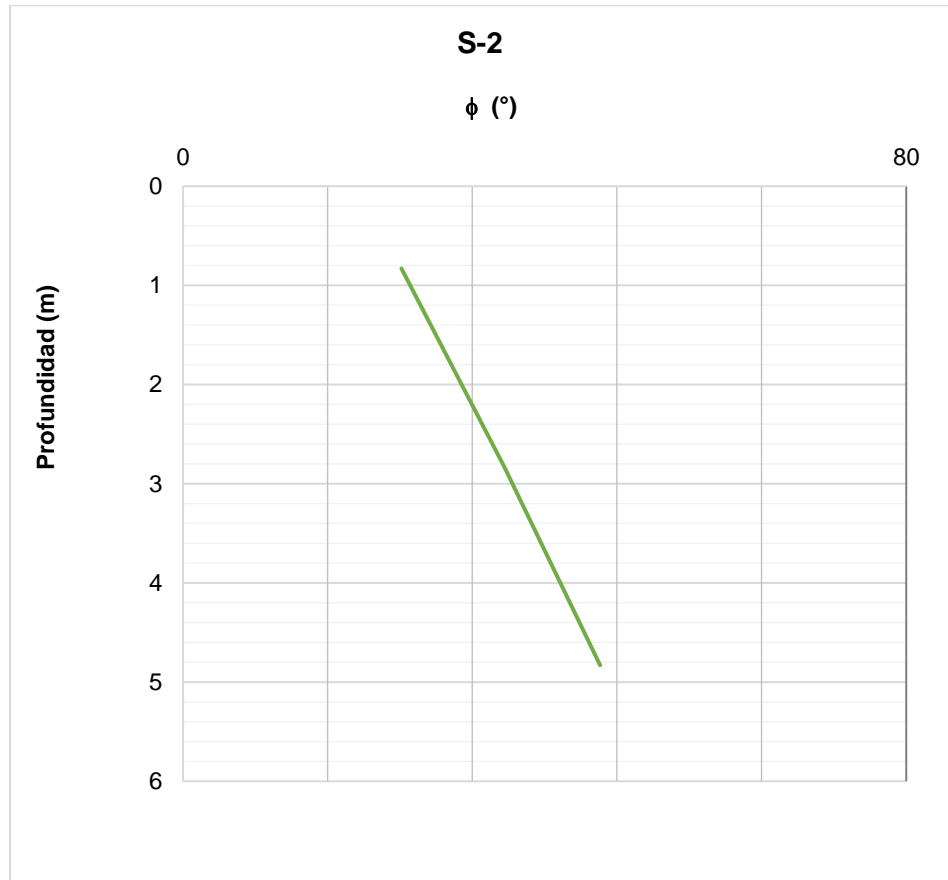
**Figura 57. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1**

- SONDEO 2**

**Tabla 32. Resultados de  $\phi$  y  $c'$  S-2**

<b>Profundidad media</b>	<b><math>\phi</math></b>	<b><math>c'</math></b>
0.83	24.2	13
2.83	35.5	83.3
4.83	46.1	200

Fuente Geodinámica (2023)



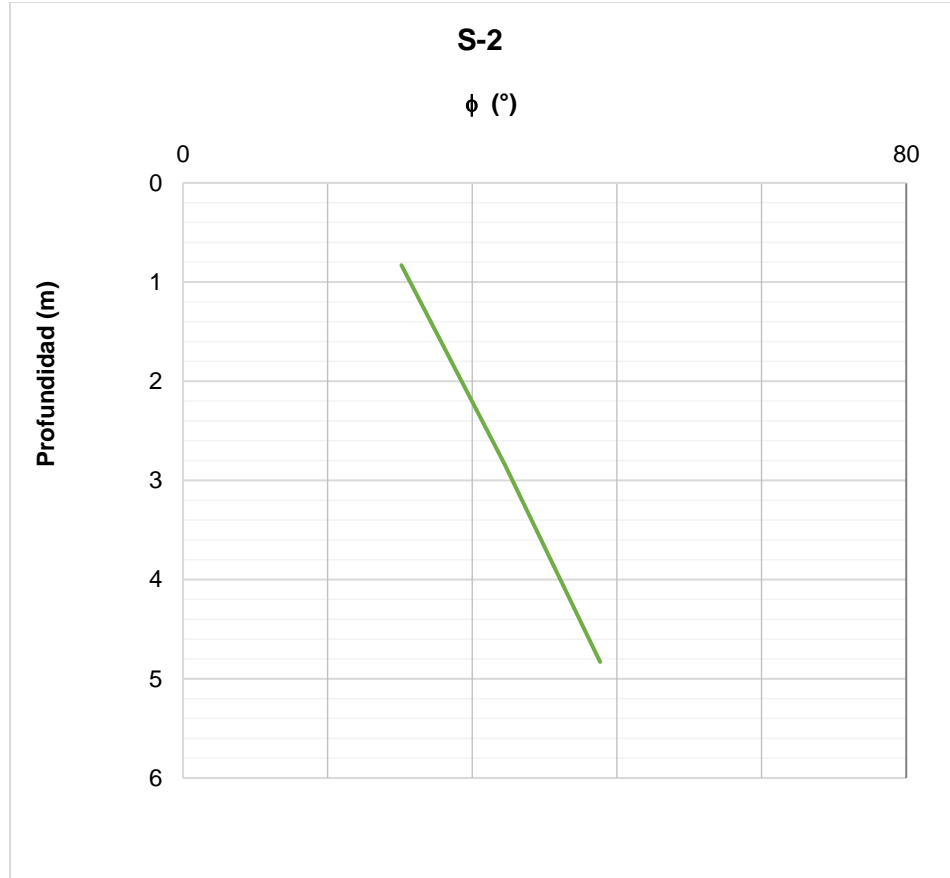
**Figura 58. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-2**

- SONDEO 3**

**Tabla 33. Resultados de  $\phi$  y  $c'$  S-3**

<b>Profundidad media</b>	$\phi$	$c'$
0.83	33.13	50
2.83	38.72	100
4.43	39.2138529	100

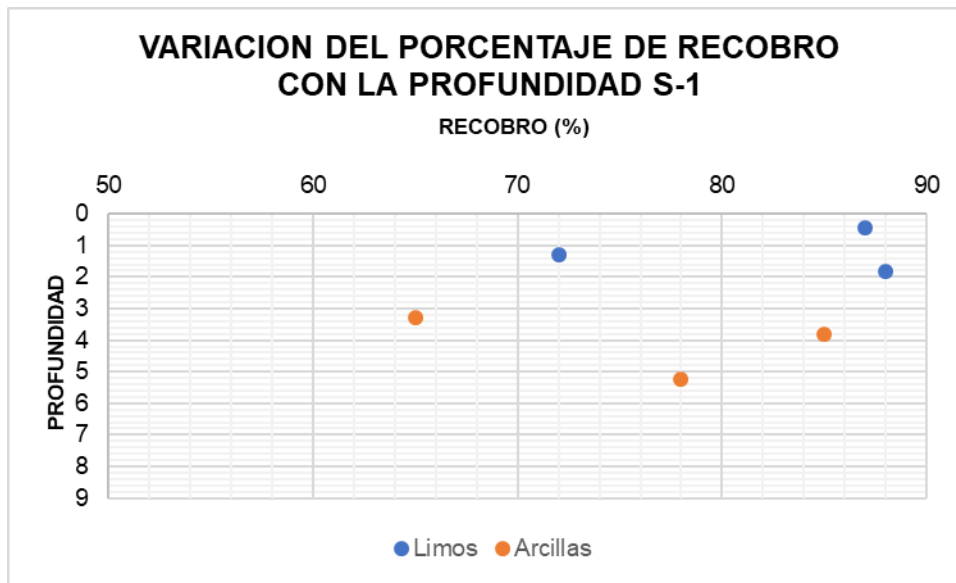
Fuente Geodinámica (2023)



**Figura 59. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-3**

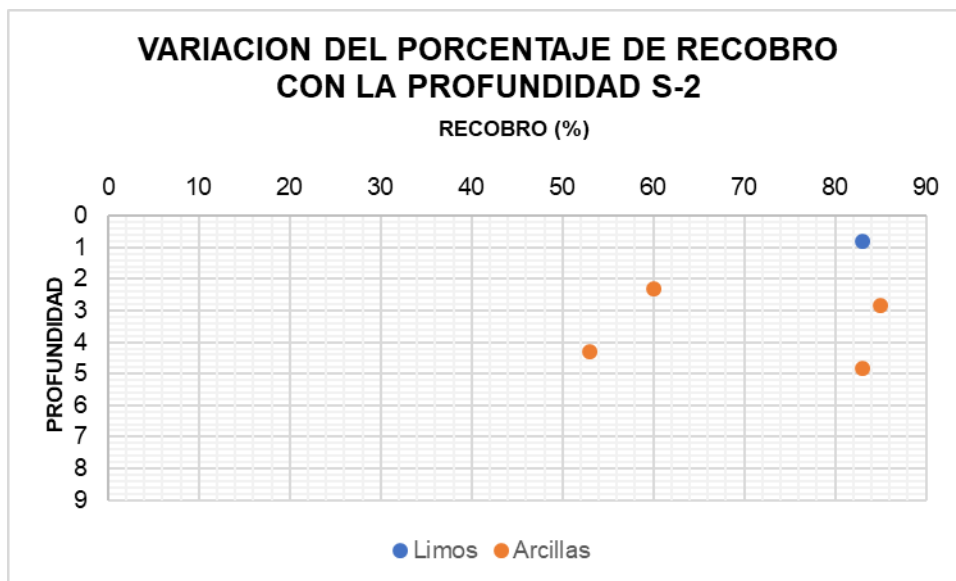
### 12.3.2.2 PORCENTAJE DE RECOBRO

De los registros de perforación se puede observar que el porcentaje de recobro de las muestras del sondeo S-1 es alto con una variación entre 60 a 90 %, tal como se indica en la siguiente Figura.



**Figura 60. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1**  
 Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

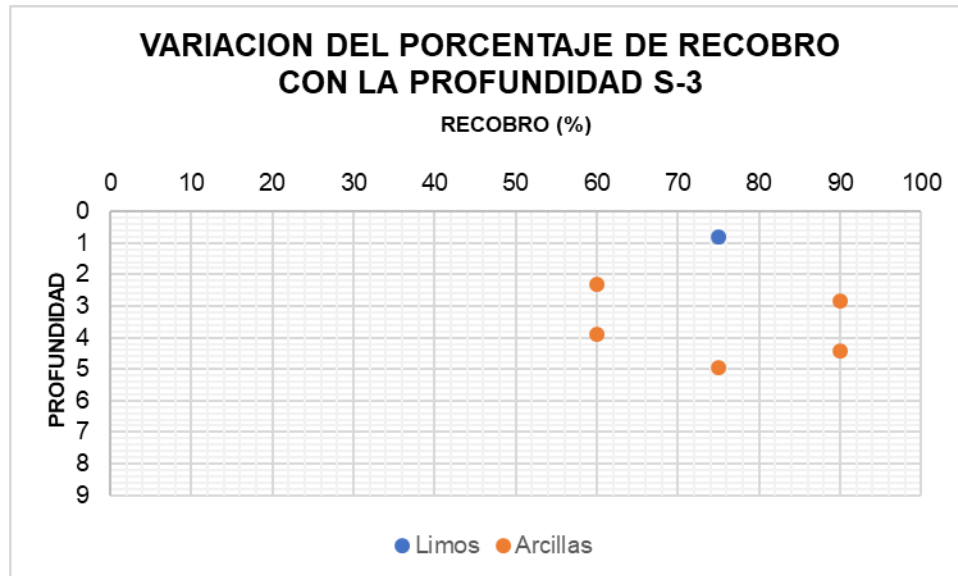
Para el sondeo S-2 se observa que el porcentaje de recobro de las muestras está en una variación entre el 50 y el 90 %, tal como se indica en la siguiente Figura.



**Figura 61. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-2**  
 Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

Para el sondeo S-3 se observa que el porcentaje de recobro de las muestras está en una variación entre el 50 y el 90 %, tal como se indica en la siguiente Figura.





**Figura 62. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-3**  
 Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

## 12.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

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

**Tabla 34 – Cantidades de ensayos realizados para el proyecto**

ENSAYOS DE LABORATORIO	Santa Ana
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	4
Determinación de la densidad (peso unitario) de muestras de suelo.	3
Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	1
Determinación límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	2

Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo - agregado	4
Compresión inconfiada en muestras de suelo	2
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (granulometría por tamizado e hidrometría)	3
Corte directo en condición CD, consolidada - drenada (3 puntos)	1
Consolidación Rápida	1
Carga puntual en muestras de roca intacta	2

Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

### 12.4.1 HUMEDAD NATURAL

La humedad natural a lo largo del perfil del subsuelo presenta una variación entre 19.30 % a 40.96 %, 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.

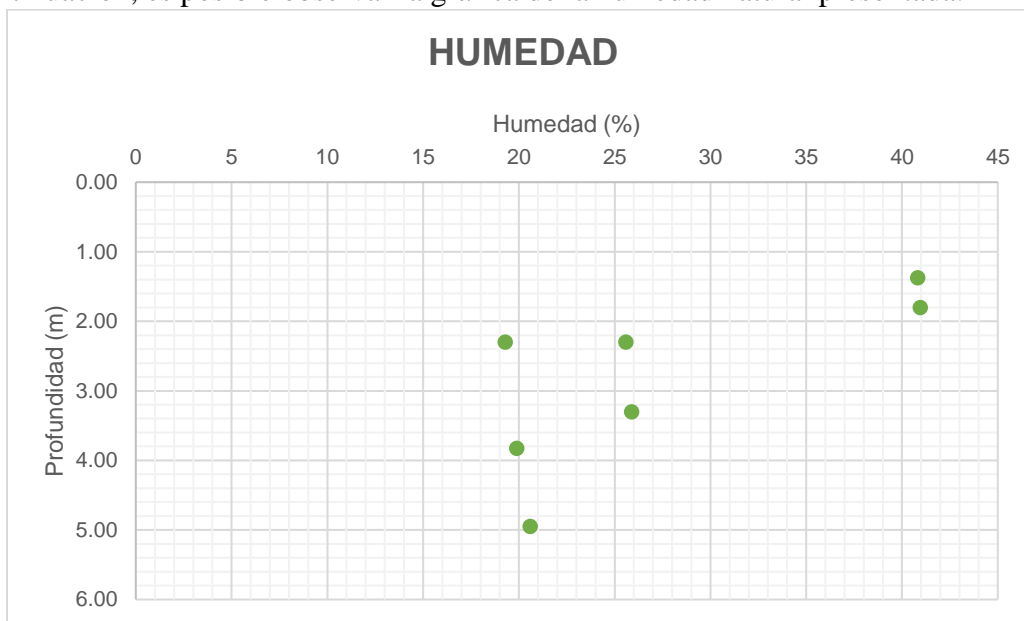


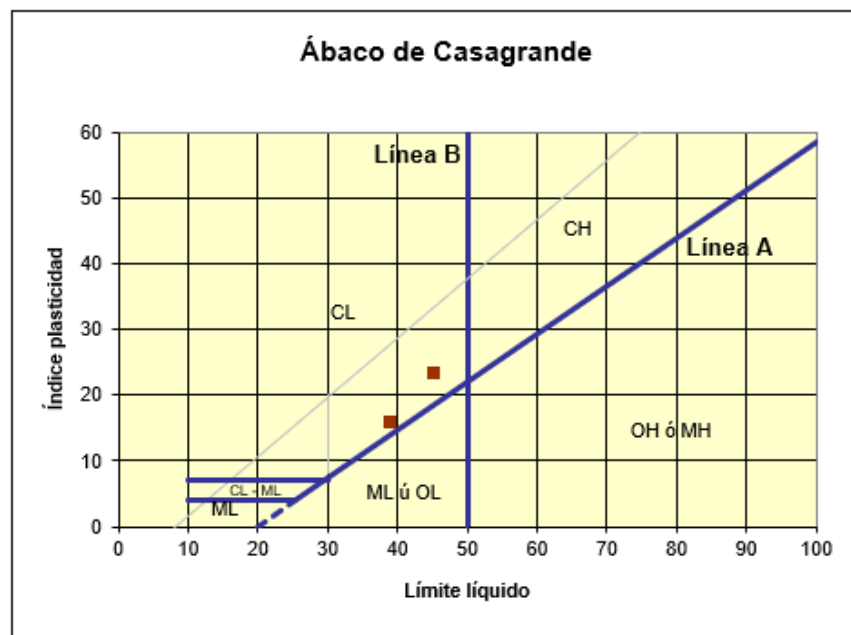
Figura 63. Porcentaje de humedad Vs profundidad

## 12.4.2 LIMITES DE ATTERBERG

Para este nodo, se realizaron dos ensayos de límites de Atterberg para la muestra 2 del sondeo 2 y para muestra 5 del sondeo 2, a continuación es posible observar el límite líquido el cual permite determinar el porcentaje de humedad con que un suelo cambia, el límite plástico que es la humedad a la cual un pequeño cilindro de suelo comienza a desmigajarse y el índice de plasticidad el cual indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico.

- **S2 (M2)**
  - Límite líquido → 39%
  - Límite plástico → 23%
  - Índice de plasticidad → 16%.
  
- **S2 (M5)**
  - Límite líquido → 45%
  - Límite plástico → 22%
  - Índice de plasticidad → 23%.

De acuerdo con la carta de plasticidad los materiales clasifican como suelo arcilloso (Limo Alta plasticidad (MH)) tal como se incluye en la siguiente Figura.



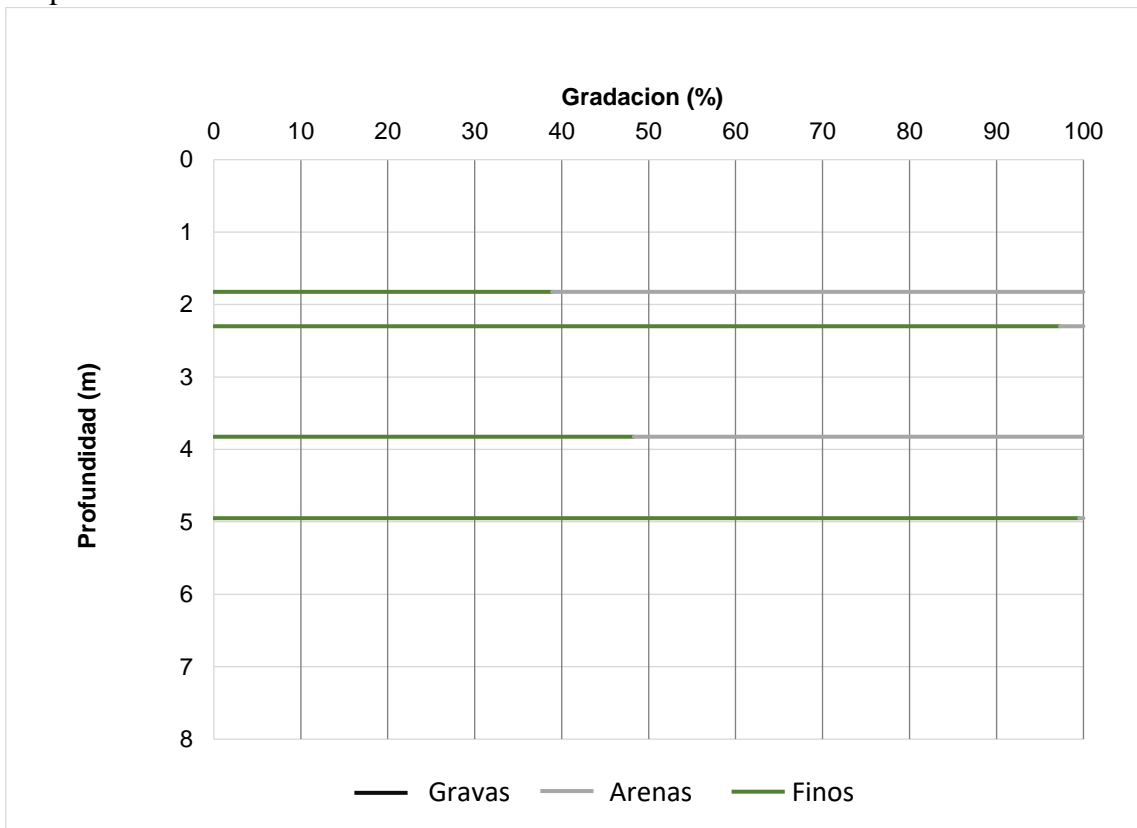
**Figura 64. Carta de plasticidad de Casagrande**

### 12.4.3 GRANULOMETRÍA

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio realizados, para una profundidad entre 1.60 m y 2.05 m, se presenta una composición granulométrica promedio de 38.9% de finos y 61.10% de arenas. La composición granulométrica promedio para una profundidad de 2.00 m a 2.60 m, es de 97.30% de finos y 2.70% de arenas.

Para el material que se encuentra a una profundidad de 3.60 m a 4.05 m, la composición granulométrica promedio es de 48.3% de finos y 51.6% de arenas. Por último, la composición granulométrica encontrada a una profundidad de 4.65 m hasta 5.25 m, es de 99.50% de finos y 0.50% de arenas.

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



**Figura 65. Distribución granulométrica Vs profundidad**

#### 12.4.4 PESO UNITARIO

El peso unitario total presenta una variación entre  $13.63 \text{ kN/m}^3$  a  $20.1 \text{ kN/m}^3$ , con un valor promedio de  $20.51 \text{ kN/m}^3$ .

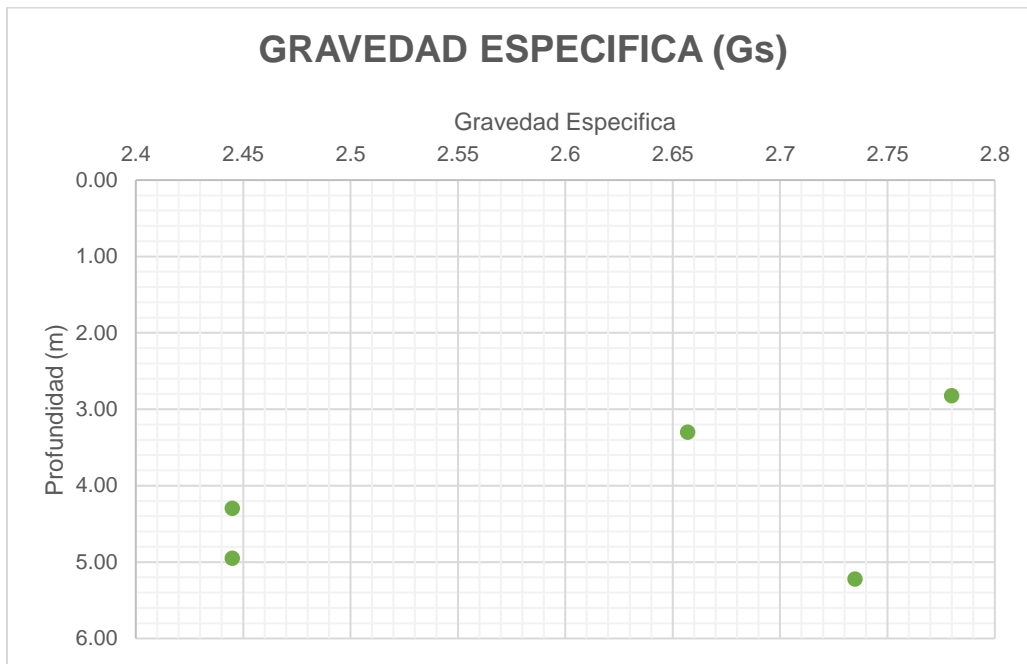


**Figura 66. Peso unitario Vs profundidad**

#### 12.4.5 GRAVEDAD ESPECIFICA

Para este nodo, el valor de gravedad específica (Gs) obtenido se encuentra entre de 2.445 a 2.780.





**Figura 67. 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 (M4) sobre el cual se extrajo una muestra representativa por medio de barrena. El valor obtenido para ángulo de fricción es de  $15.8^\circ$  y de 85.32 kPa para cohesión.

**Tabla 35. Resultados de ensayo de corte directo**

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Cohesión $c'$ kPa	Ángulo de fricción ( $\phi'$ )
S1	4	3.00-3.60	Arcilla limo arenosa de grano fino, trazos de óxido, humedad media, consistencia muy rígida, color de la muestra café claro.	85.32	15.8

#### 12.4.7 CONSOLIDACIÓN RÁPIDA

Este ensayo se realizó sobre 1 muestra extraída del presente estudio, junto con el material identificado del S2 (M3). El esfuerzo de pre consolidación para esta muestra fue de 124 kPa.

**Tabla 36. Resultado de ensayos de consolidación rápida**

Sondeo	Muestra	Profundidad (m)	Descripción	Esfuerzo de Pre-consolidación (kPa)
S2	3	2.60-3.05	Arcilla limosa plástica, puntos de oxidados, humedad media, consistencia rígida, color de la muestra amarillo oscuro con manchas de color gris claro.	124

#### 12.4.8 HIDROMETRIAS:

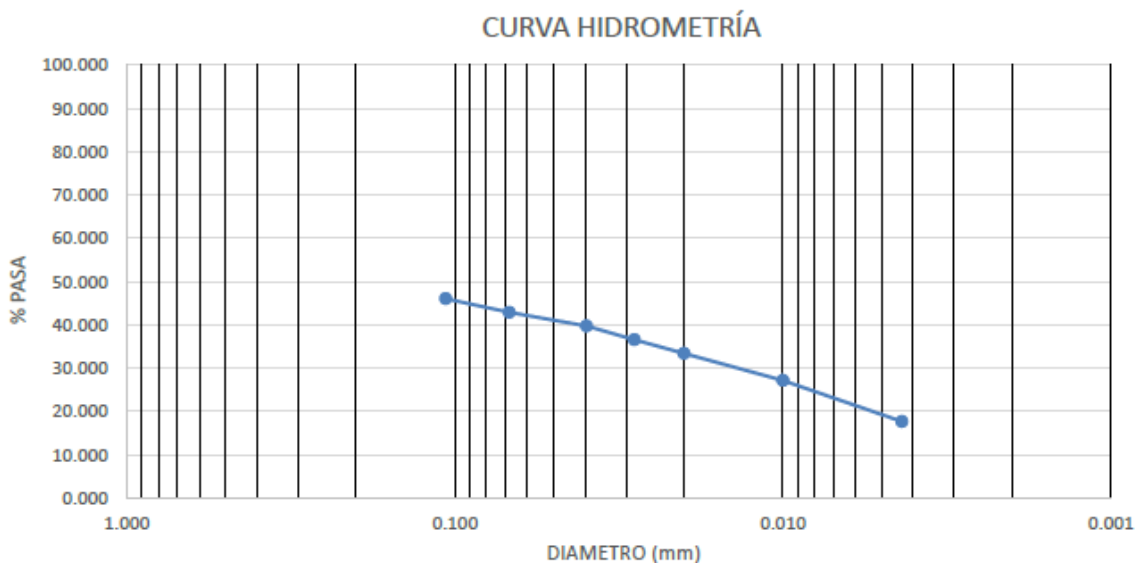
Este ensayo se realizó en tres muestras extraídas del presente estudio, en los materiales identificados del S1 (M6), S2 (M4) y S3(M2), en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

- **S1 (M6):**

En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

- % de arena media → 4.9%
- % de arena fina → 52.0%
- **% de finos → 43.2%**
- % de Limos → 10.7%
- % de arcillas → 32.5%

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



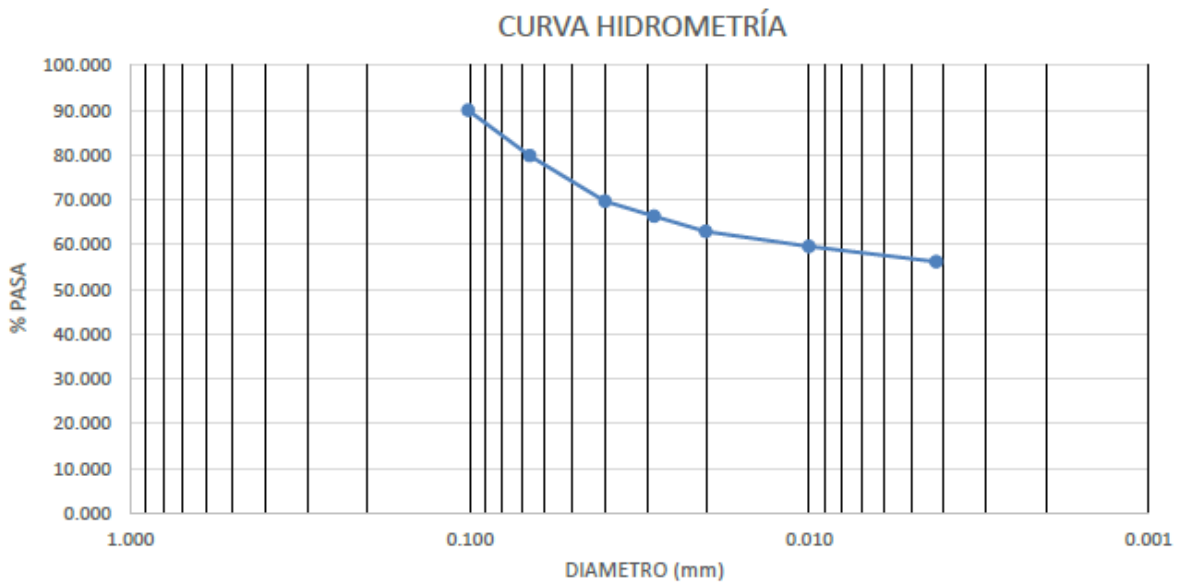
**Figura 68. % Curva Hidrometría S1(M6)**  
**Fuente: Bateman Ingeniería S.A.S. (2023)**

- **S2 (M4):**

En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

- % de arena media → 0.3%
- % de arena fina → 1.8%
- **% de finos → 98.0%**
- % de Limos → 25.1%
- % de arcillas → 72.9%

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



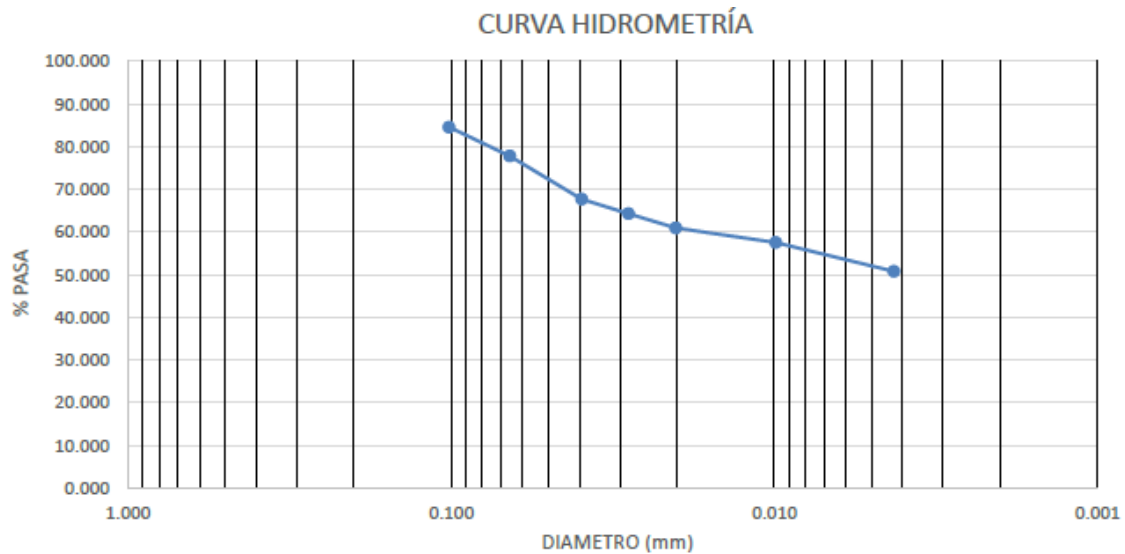
**Figura 69. % Curva Hidrometría S2(M4)**  
**Fuente: Bateman Ingeniería S.A.S. (2023)**

- **S3 (M2):**

En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:

- % de arena media → 0.0%
- % de arena fina → 6.7%
- **% de finos → 93.3%**
- % de Limos → 26.1%
- % de arcillas → 67.3%

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



**Figura 70. % Curva Hidrometría S3(M2)**  
**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:







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



CLASIFICACION				COMPRESION INCONFINADA	$\gamma$ húmedo (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ seco (kN/m <sup>3</sup> )	PESO UNITARIO (kN/m <sup>3</sup> )	GRAVEDAD ESPECÍFICA G <sub>s</sub>	CARGA PUNTUAL (MPa)	ROCA INTACTA A COMPRESION UNIAXIAL (MPa)	CORTE DIRECTO (CD)		CONSOLIDACIÓN DEL SUELO Esfuerzo de Preconsolidación (kPa).
Indice de grupo	AASHTO	F o W	USC								COMPRESION INCONFINADA qu (kPa)	Cohesión (kPa)	
(1)							19.506						
					17.680	14.020		2.657			85.32	15.8	
(3)								2.735					
(10)	A-6		CL					2.78					124
								2.445					
							21.192						
(0)							20.800	2.445					
				48	19.050	13.520							
				33	18.660	13.240							

Figura 71. Tabla resumen de resultados

## 12.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DETALLADO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS:

### 12.5.1 ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN:

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

**Tabla 37. Parámetros estimados para cada sondeo**

Profundidad media	$\phi$	$c'$
<b>Sondeo 1</b>		
0.4	28.87	25
1.8	39.70	123
3.8	49.11	200
5.3	52.51	200
<b>Sondeo 2</b>		
0.83	24.16	13
2.83	35.53	83.3
4.83	46.14	200
<b>Sondeo 3</b>		
0.83	33.13	50
2.83	38.72	100
4.43	39.21	100

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

**Tabla 38. Parámetros estimados a partir del ensayo de laboratorio**

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
<b>S3 (M4)</b>		
3.55	15.8	85.32

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

## 12.5.2 SUELO RESIDUAL ARCILLOSO (Sra)

### 12.5.2.1 Sondeo 1:

#### 12.5.2.1.1 Muestra 1:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
0.4	28.87	25

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 5$ , donde para la profundidad media de 0.4 m, se encuentra un limo orgánico, el cual presenta teóricamente un valor de  $28.87^\circ$  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.

#### 12.5.2.1.2 Muestra 3:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
1.8	39.70	123

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 20$ , donde para la profundidad media de 1.8 m, se encuentra un limo arcilloso, el cual presenta teóricamente un valor de  $39.7^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 123 kPa, donde para el análisis estadístico se tiene en

cuenta estos valores, considerando que el material encontrado a esta profundidad presenta características similares al material al cual se le realizó el ensayo de laboratorio.

#### 12.5.2.1.3 Muestra 5:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
3.8	49.11	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 33$ , donde para la profundidad media de 3.8 m, se encuentra una arcilla limo arenosa, la cual presenta teóricamente un valor de  $49.11^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando que la consistencia es muy rígida.

#### 12.5.2.1.4 Muestra 6:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
5.3	52.51	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 37$ , donde para la profundidad media de 5.3 m, se encuentra una arcilla limo arenosa, la cual presenta teóricamente un valor de  $52.51^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200.0 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, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando que la consistencia es muy rígida.

#### 12.5.2.2 Sondeo 2:

##### 12.5.2.2.1 Muestra 1:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
0.83	24.16	13



Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 3$ , donde para la profundidad media de 0.83 m, se encuentra un limo arcilloso, el cual presenta teóricamente un valor de  $24.16^\circ$  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.

#### 12.5.2.2.2 Muestra 3:

Profundidad media	$\phi$ ( $^\circ$ )	$c'$ (kPa)
2.83	35.53	83.3

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 14$ , donde para la profundidad media de 2.83 m, se encuentra un limo arcilloso, el cual presenta teóricamente un valor de  $35.53^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 83.3 kPa, es importante tener en cuenta que aunque el material encontrado a esta profundidad presenta características diferentes al material al que se le realizó el ensayo de laboratorio, dicho parámetro se toma para el análisis estadístico considerando la presencia de materiales finos.

#### 12.5.2.2.3 Muestra 5:

Profundidad media	$\phi$ ( $^\circ$ )	$c'$ (kPa)
4.83	46.14	200

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 31$ , donde para la profundidad media de 4.83 m, donde se encuentra una arcilla limosa plástica, el cual presenta teóricamente un valor de  $46.14^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando una consistencia dura en este punto.

#### 12.5.2.3 Sondeo 3:

### 12.5.2.3.1 Muestra 1:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
0.83	33.13	50

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 10$ , donde para la profundidad media de 0.83 m, se encuentra un limo arenoso, la cual presenta teóricamente un valor de  $33.13^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 50 kPa, es importante tener en cuenta que aunque el material encontrado a esta profundidad presenta características diferentes al material al que se le realizó el ensayo de laboratorio, dicho parámetro se toma para el análisis estadístico considerando la presencia de materiales finos.

### 12.5.2.3.2 Muestra 3:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
2.83	38.72	100

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 17$ , donde para la profundidad media de 2.83 m, se encuentra una arcilla limosa, la cual presenta teóricamente un valor de  $38.72^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 100.0 kPa, es importante tener en cuenta que aunque el material encontrado a esta profundidad presenta características diferentes al material al que se le realizó el ensayo de laboratorio, dicho parámetro se toma para el análisis estadístico considerando la presencia de materiales finos.

### 12.5.2.3.3 Muestra 5:

Profundidad media	$\phi$ (°)	c' (kPa)
4.43	39.21	100

Para esta muestra se obtiene un valor de  $N_{70} = 17$ , donde para la profundidad media de 4.43 m, se encuentra una arcilla limosa plástica, la cual presenta teóricamente un valor de  $39.21^\circ$  como ángulo de fricción y una cohesión de 100 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.

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

Para el ángulo de fricción, se obtiene:

**Tabla 39. Análisis estadístico (Ángulo de fricción)**

$\phi$	
Media	34.18966808
Error típico	2.224856569
Mediana	35.53203157
Moda	#N/D
Desviación estándar	5.886417185
Varianza de la muestra	34.64990727
Curtosis	0.386183635
Coficiente de asimetría	0.881840213
Rango	15.53771886
Mínimo	24.16101579
Máximo	39.69873464
Suma	239.3276765
Cuenta	7

Teniendo en cuenta los valores teóricos del ángulo de fricción, se obtienen como medio un valor de  $34.2^\circ$ , el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 40%, considerando que este valor representa un supuesto de lo encontrado en el terreno. Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 5.89.

### 12.5.4 Cohesión ( $c'$ ):

Para la cohesión, se obtiene:

**Tabla 40. Análisis estadístico (cohesión)**

$c'$	
Media	70.542857
Error típico	15.822736
Mediana	83.3

Moda	100
Desviación estándar	41.863025
Varianza de la muestra	1752.5129
Curtosis	-1.611317
Coefficiente de asimetría	-0.321638
Rango	110.5
Mínimo	12.5
Máximo	123
Suma	493.8
Cuenta	7

Teniendo en cuenta los valores teóricos de la cohesión, se obtienen como media un valor de 70.5 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 41.9.

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 41. Análisis estadístico de parámetros**

Porcentaje (%)	$\phi$	$c'$
40%	34.2	70.5
60%	15.8	85.3
100%	23.2	79.4

### 12.5.5 PESO UNITARIO:

Para el peso unitario, se obtiene:

**Tabla 42. Análisis estadístico (Peso Unitario)**

<b><i>Peso Unitario (kN/m<sup>3</sup>)</i></b>	
Media	20.5066667
Error típico	0.51089247
Mediana	20.81

Moda	#N/D
Desviación estándar	0.88489171
Varianza de la muestra	0.78303333
Curtosis	#¡DIV/0!
Coefficiente de asimetría	-1.3613014
Rango	1.69
Mínimo	19.51
Máximo	21.2
Suma	61.52
Cuenta	3

Teniendo en cuenta los resultados de los pesos unitarios obtenidos en el laboratorio, se tiene como media un valor de  $20.5 \text{ kN/m}^3$  el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 100%, Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 0.14.

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

**Tabla 43. Parámetros Geotécnicos (Sra)**

$\phi$ (°)	C' (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
23.2	79.4	20.5

### 12.5.6 SUELO TRANSPORTADO COLUVIÓN (Stc):

Los parámetros geotécnicos para esta unidad se toman a partir del estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá D. C, del año 2010, del cual se toman los siguientes

**Tabla 44. Parámetros Geotécnicos (Stc)**

$\phi$ (°)	C' (kPa)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
26.5	11.8	13.8



## 12.6 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

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

### 12.6.1 Roca Blanda arcillosa (Rba)

Esta roca corresponde a una secuencia de lodolitas grises rojizas, limolitas arenosas de color habano, y arcillolitas rojizas con vetas amarillas que se encuentran intercaladas con areniscas líticas de grano medio en capas gruesas de forma lenticular.

Son rocas de resistencia blanda y poco fracturadas, las capas presentan un rumbo NS y una inclinación aproximada de 15° hacia el W, dicha información se complementa mediante las perforaciones realizadas en el presente proyecto y lo descrito en el estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá D. C, del año 2010.

### 12.6.2 Suelo residual arcilloso (Sra).

Unidad generada por la meteorización de la unidad roca blanda 3, está integrada por arcilla orgánica con raíces, limo arcilloso marrón oscuro con raíces, limo arenoso habano con vetas de color café, limo arcilloso habano y arcilla de color café, de consistencia alta.

Esta unidad se reconoció mediante los sondeos exploratorios y los barrenos manuales realizados, en los registros exploratorios su espesor varió entre 2.3 m en la ladera oriental (S-2g) a 8.5 m en la ladera occidental (S-1g).

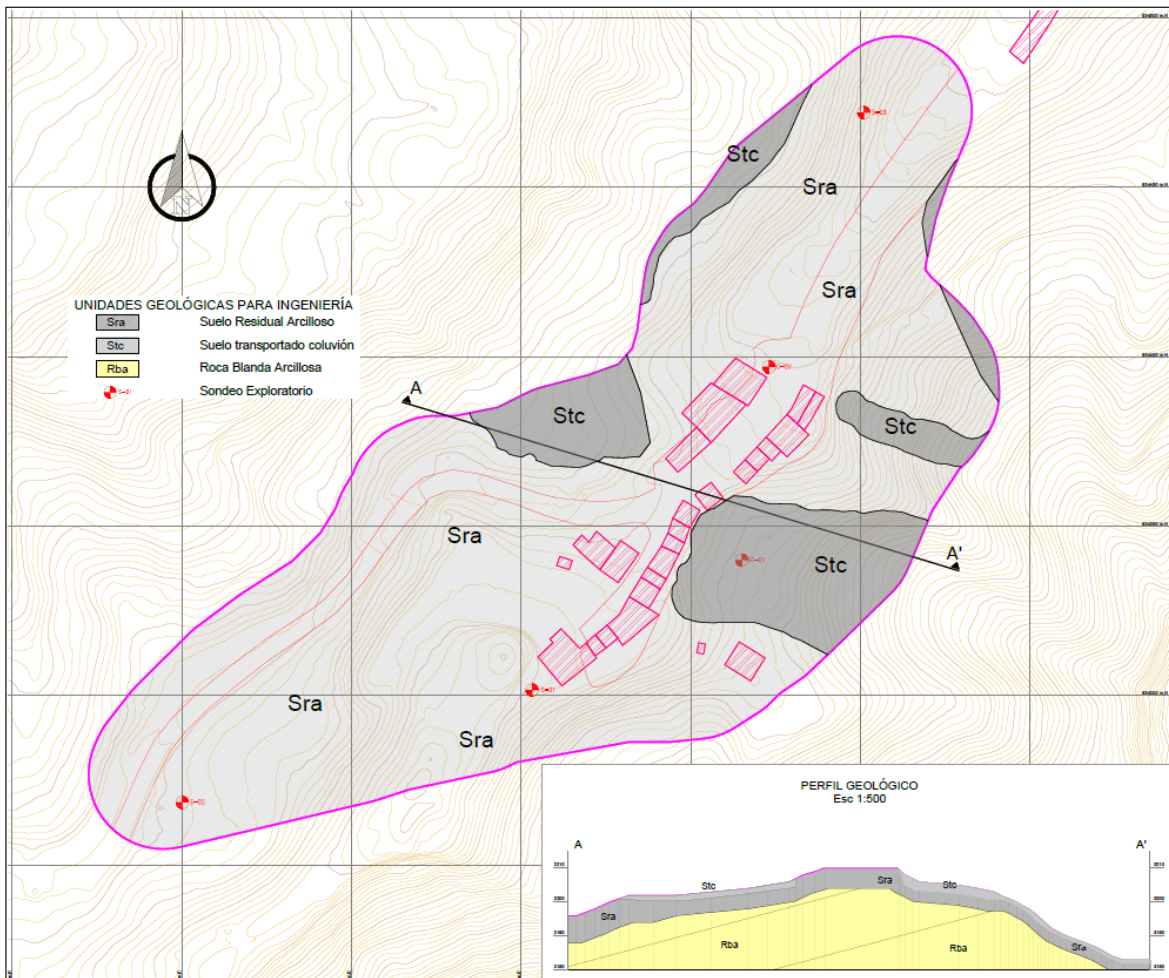
En la siguiente figura se muestra la distribución de las Unidades Geológicas para Ingeniería del polígono.

### 12.6.3 Suelo transportado coluvión (Stc)

Unidad generada por la presencia de procesos de remoción en masa que han generado el movimiento, transporte y acumulación de materiales sobre las laderas contiguas al poblado; los procesos de remoción en masa corresponden a flujos de tierras generados por el retiro de

la cubierta vegetal arbustivo, la conformación de potreros para ganadería, las pendientes fuertes, la pluviosidad alta y los materiales arcillosos sin consolidar.

La unidad está integrada por una mezcla de arcillas y limos, suelo orgánico y material vegetal, su espesor es variable entre 2 y 3 m, dicha información se complementa mediante las perforaciones realizadas en el presente proyecto y lo descrito en el estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá D. C, del año 2010.



**Figura 72. Unidades de Geología para Ingeniería polígono Santa Ana. Escala 1:5000**

**Tabla 45 Características zonas geotécnicas**

**Suelo residual arcilloso Entre 2.3 – 8.5 m.**

Humedad: 19.9-40.96 %

Peso Unitario:	20.5 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción <sup>9</sup>	23.2°
Gravedad específica	2.65 - 2.78
Cohesión <sup>10</sup>	79.4 kPa

### Material 3: Suelo transportado coluvión.

Peso Unitario:	13.8 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	26.5°
Cohesión <sup>11</sup>	11.8 kPa

### Material 2: Roca Blanda arcillosa.

Roca Blanda arcillosa.

Peso Unitario:	20.4 kN/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción	45°
Permeabilidad:	0.096 - 0 μ/seg
Cohesión <sup>12</sup>	200 kPa

Tabla 46 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT

Material	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi'$ (°)
Suelo residual arcilloso	20.5	79.4	23.2
Suelo transportado coluvión	13.8	11.8	26.5
Roca blanda arcillosa	20.4	200	45

Fuente Geodinámica (2023)

<sup>9</sup> 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.

<sup>10</sup> Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

<sup>11</sup> Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

<sup>12</sup> Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.



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**



## 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 47. Tabla resumen de nivel freático**

Sondeo	Nivel Freático (m)
S-2	3.20

### 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 73. Clasificación de los suelos**

**Fuente:** Fuente especificada no válida.

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



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

**Figura 74. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo**

**Fuente: Fuente: (Chow V.T., 1994)**

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

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

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

Donde:

*CN = Numero de curvas seleccionadas para condiciones de humedad II*

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

$$P_i = P - P_e$$

Donde  $P_e$  se calculó de la siguiente forma:

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

$P = \text{Precipitación diaria}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Cubierta de pasto (75% o más)** → % Pastos arbolados + % Vegetación secundaria baja + Mosaico de cultivos
- **Cultivos sin tratamiento de conservación** → % Otros cultivos permanentes
- **Calles y carreteras** → % Red vial
- **Residencial** → % Tejido urbano discontinuo

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

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

**Tabla 48. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años**

<b>RESULTADOS OBTENIDOS</b>					
<b>UGI</b>	<b>GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO</b>	<b>CN</b>	<b>Pf20 (m)</b>	<b>h (m)</b>	<b>hw (m)</b>
Stc	Cubierta de pasto (50% al 75%)	79.00	2.34	8.50	6.16
Sra	Cubierta de pasto (75% o más)	74.00	2.35	8.50	6.15
	Cultivos sin tratamiento de conservación	88.00	2.34	8.50	6.16
	Calles y carreteras	89.00	2.34	8.50	6.16
	Residencial	79.00	2.34	8.50	6.16

## 12.8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

### 12.8.1 TALUD INFINITO

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

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

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

- Altura de la masa deslizante  $z$
- Altura del agua subterránea medida durante el movimiento  $h$
- Angulo de inclinación de la horizontal  $\beta$
- Peso específico del suelo  $\gamma$
- Presión de poros  $\mu$
- Cohesión  $c$
- Tensión vertical efectiva sobre el plano de deslizamiento  $\sigma$
- Resistencia al corte sobre el plano de deslizamiento  $\sigma_n$
- Resistencia al esfuerzo cortante  $\tau_f$
- Angulo de rozamiento del terreno  $\phi$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

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

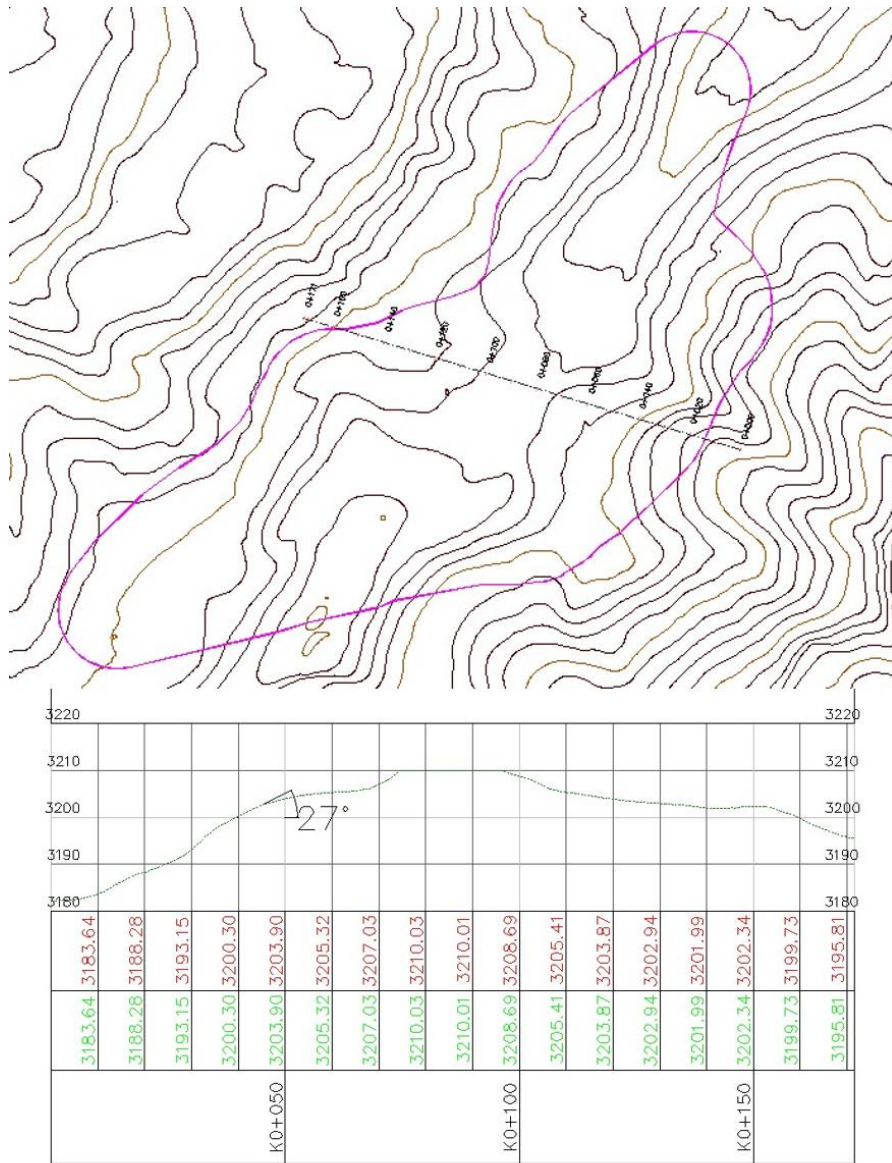
Como se menciona anteriormente el factor de seguridad varia con la posición del nivel freático, por lo que esto se debe tener en cuenta a la hora de ser determinado. Para el presente estudio el factor de seguridad se determina por medio de la siguiente expresión:

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



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

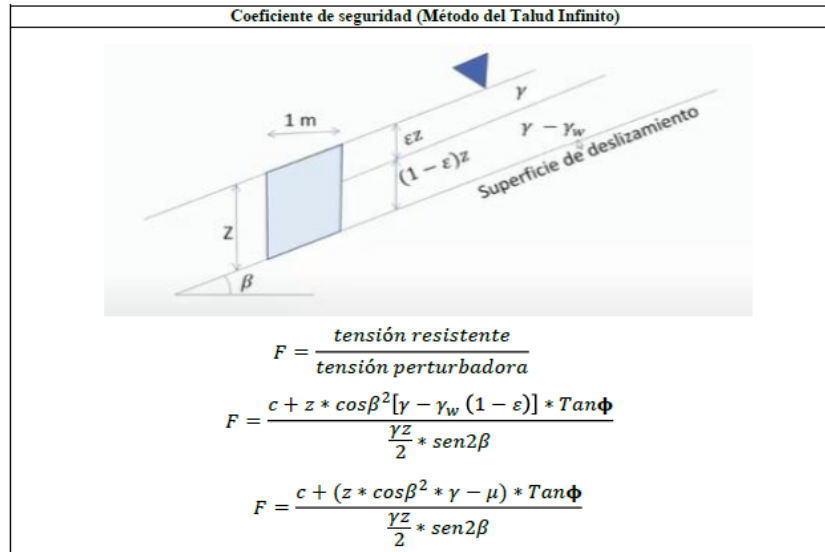
El valor del ángulo beta para el polígono de estudio es de  $\beta = 27^\circ$





**Figura 75. Planta y perfil ángulo  $\beta$**

<b>GEODINAMICA INGENIERIA</b>  	<b>METODO DEL TALUD INFINITO SANTA ANA</b>	
<b>No. DEL PROYECTO:</b>	188 Zonificación Sumapaz	



DATOS ENTRADA		
c	79.4	kN/m <sup>2</sup>
z	8.5	m
z <sub>w</sub>	2.2	m
γ	20.5	kN/m <sup>3</sup>
γ <sub>w</sub>	9.81	kN/m <sup>3</sup>
β	27	°
Φ	23.2	°

DATOS SALIDA		
β	0.4712389	Rad
Φ	0.4049164	Rad
μ	21.582	kN/m <sup>3</sup>
<b>F<sub>s</sub></b>	<b>1.836</b>	

RESULTADO	
F <sub>s</sub>	1.836
¿ALTA?	NO
¿MEDIA?	NO
¿BAJA?	SI

**Figura 76. 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 empleara 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 77. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento**  
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2016)

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

### 12.9.1.1 Nivel de amenaza alto:

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

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



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

### 12.9.1.2 Nivel de amenaza medio:

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

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

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

### 12.9.1.3 Nivel de amenaza bajo:

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

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

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

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

## 12.9.2 CONDICIÓN ACTUAL:

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

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

- ✓ Altura de la masa deslizante  $\rightarrow z$
- ✓ Angulo de inclinación de la horizontal  $\rightarrow \beta$

- ✓ Peso específico del suelo  $\rightarrow \gamma$
- ✓ Presión de poros  $\rightarrow \mu$
- ✓ Cohesión  $\rightarrow c$
- ✓ Angulo de rozamiento del terreno  $\rightarrow \phi$
- ✓ Presión de poros  $\rightarrow \mu$

### 12.9.3 CONDICIÓN FUTURA:

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

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

Haciendo uso de estos factores en la siguiente ecuación:

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

#### Donde:

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

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

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

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

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

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

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

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

Los parámetros  $c'$  y  $\tan(\phi')$  se toman mediante el análisis estadístico realizado, para la unidad geotécnica definida. La profundidad de la superficie de falla se toma como la profundidad del suelo o la profundidad hasta el contacto entre dos unidades de diferente comportamiento mecánico.

## 12.10 ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA:

Inicialmente como unidades geológicas para ingeniería en el nodo de estudio, se encontró material clasificado como suelo residual arcilloso caracterizado de acuerdo a la exploración ejecutada en el presente proyecto, sobre el área de estudio se encuentra suelo transportado coluvión y roca blanda arcillosa, donde las características de estas unidades se complementan de acuerdo al estudio realizado por Geocíng en el año 2010, el cual se titula como “el estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá”.

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

Los depósitos coluviales encontrados en el nodo de estudio, se toman a partir del “estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá”, Realizado por GeocIng en el año 2010, considerando que este estudio es a una escala de mayor detalle.

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 vegetación secundaria, 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 del “estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el

asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá”, Realizado por GeocIng en el año 2010, cita los parámetros presentados en los coluviones. 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 SANTA ANA denominados Amenaza-Actual y Amenaza-Futura.

Se realiza la zonificación evaluando en dos situaciones, la situación actual y la situación futura, donde se recomienda que, para este sitio, toda obra a construir debe estar diseñada y debe cumplir con la normativa NSR-10, adicionalmente se debe realizar la respectiva evaluación de la zona y tener en cuenta las condiciones del relleno encontrado, los cuales fueron caracterizados con ayuda de la comunidad.

## 12.10.1 AMENAZA ACTUAL:

### 12.10.1.1 Nivel de amenaza alto:

Corresponde al 5.49% 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, de acuerdo al estudio de Geocíng en el año 2010, a lo largo de la zona se presentan depósitos coluviales dentro del nodo. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son severas, ya que pueden generar pérdidas humanas, de viviendas y cultivos, Se recomienda que toda obra a construir dentro del nodo de estudio, debe estar diseñada y debe cumplir con la normativa NSR-10, adicionalmente se debe realizar la respectiva evaluación de la zona y tener en cuenta las condiciones del relleno encontrado.

### 12.10.1.2 Nivel de amenaza medio:

Corresponde al 26.09% 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 68.41%, considerando que de acuerdo al análisis realizado y a los parámetros empleados son zonas que presentan pendientes bajas, y no presentan problemas en un evento de sismo o lluvias fuertes.

## 12.10.2 AMENAZA FUTURA:

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

Corresponde al 31.58%. 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, de acuerdo al estudio de Geocíng en el año 2010, a lo largo de la zona se presentan depósitos coluviales dentro del nodo. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son severas, ya que pueden generar pérdidas humanas, de viviendas y cultivos, Se recomienda que toda obra a construir dentro del nodo de estudio, debe estar diseñada y debe cumplir con la normativa NSR-10, adicionalmente se debe realizar la respectiva evaluación de la zona y tener en cuenta las condiciones del relleno encontrado.

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

Corresponde al 68.41%. del área total de estudio, principalmente en zonas muy puntuales del nodo, corresponde a zonas con susceptibilidad media a baja en los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo y de las coberturas encontradas dentro del nodo. Para este nivel existe una posibilidad en que se generen movimientos en masa como deslizamientos, reptaciones y flujos. Es necesario que



la comunidad haga uso y manejo adecuado del suelo, además, se recomienda generar políticas ambientales donde se hallan extinto las coberturas.

Los niveles de amenaza para este polígono, se generaron teniendo en cuenta las visitas de campo y la zonificación realizada por geocIng en el “estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá”, considerando que la escala de trabajo en este proyecto fue más a detalle.

### 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. Como complemento de la información evidenciada en las salidas de campo, para este nodo se tiene en cuenta el estudio realizado por GeocIng en el año 2010, el cual se titula “estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá”, considerando que la escala de trabajo en este proyecto fue más a detalle.
- B. 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.
- C. El polígono evaluado se ubica en el flanco oriental del sinclinal de San Juan relativamente cerca del eje de la estructura, el rumbo de las capas es cercano a NS y buzanan unos 10° a 15° hacia el W, el flanco del sinclinal está conformado por rocas de la Formación las Lodolitas de Fusagasugá., dentro del polígono no se evidencian unidades geológicas de superficie.
- D. En la geología local del nodo Santa Ana, 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, adicionalmente, se tomó en cuenta la información suministrada por el informe.
- E. En la geomorfología de la zona, se reconocen geformas de ambiente estructural-denudativo, la cual se denomina técnicamente como Colina estructural denudada (Scd), y geformas denudativas, en la cual se encuentra depósito coluvial, a partir de las pendientes se realiza un cruce de información con este componente, y en el plano obtenido, se observan las geformas más representativas dentro del nodo.
- F. 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.

- G. Las coberturas de tierra para este nodo de estudio, se desarrolla conforme a la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia; se clasifican en tejido urbano discontinuo, red vial, pastos, cultivos y vegetación secundaria, donde se presenta una denominación de cobertura vegetal similar a los demás, donde predominan los pastos limpios los cuales cubren el 39,3% del área total, seguido de la vegetación secundaria baja; este nodo es atravesado por una vía rural.
- H. El uso actual del suelo se refiere a la utilización que el hombre les hace a las coberturas, por lo cual para el presente nodo de estudio se encuentran usos agrícolas, conservación, infraestructura y pecuario.
- I. Se analiza la información pluviométrica del nodo de estudio, tomando como base la información de la estación PM 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.
- J. Se genera la curva IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) para la estación de estudio, con un periodo de retorno de 2, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Los datos obtenidos para periodo de retorno de 20 años se usan para determinar las lluvias en la zona durante 24 horas, considerando que se requiere para hallar el valor de Pf20.
- K. Se realiza el levantamiento de las obras hidráulicas encontradas dentro del polígono, las cuales se evalúan verificando el estado y las condiciones que presentan, para este nodo de estudio, no se encontraron cuerpos de agua generados por la comunidad de manera manual.
- L. Se ejecutan los sondeos y los apiques programados para el sector, evidenciando que en algunas perforaciones se encontró la roca, a partir de este análisis, se justifican las unidades geológicas regionales presentadas.
- M. En la ejecución de los sondeos se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar SPT, del cual se obtienen los valores de N (golpes) que permiten correlacionar con la consistencia los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares, obteniendo así la variación en profundidad de N en cada sondeo, de acuerdo a este valor obtenido en campo, se realiza la respectiva corrección de N60 y N70.
- N. Se genera la estimación de parámetros de resistencia a partir del ensayo SPT, con la metodología propuesta por González, A. J. (1999) para la cohesión y la metodología

de (Montenegro Padilla, 2014) para  $\phi$ , donde se grafican puntos ( $\sigma_v$ ,  $\tau$ ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicas efectivos buscados, y finalmente estimar de manera aproximada los valores de  $c'$  y  $\phi$ .

- O. Se realizan ensayos de , análisis granulométrico, determinación de la densidad (Peso unitario), determinación de la gravedad específica, determinación límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, compresión inconfiada, corte directo en condición CD, consolidación rápida, determinación del contenido orgánico, los cuales se analizaron de manera detallada.
- P. Se realiza un análisis estadístico detallado de los parámetros geotécnicos, donde se toman cada una de las muestras extraídas y se analizan de acuerdo a las características y los resultados de  $\phi$  y  $c'$ .
- Q. Se realiza el modelo geológico geotécnico con base en el análisis geológico y se logra determinar la presencia de suelo 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.
- R. Se determina el número de curva (CN) y los valores de nivel freático y láminas de agua, considerando la lluvia como un factor importante causante de los movimientos en masa, teniendo en cuenta la metodología de servicio geológico colombiano (2016).
- S. Teniendo en cuenta la escala de estudio 1:5.000, se realizó la evaluación de los diferentes parámetros requeridos para el análisis de estabilidad mediante la metodología del talud infinito, los cuales fueron evaluados por cada especialista.
- T. Se realizó el análisis de estabilidad por la metodología descrita por el servicio geológico colombiano 2016, donde se evidencia mediante cada uno de los parámetros el nivel de amenaza para cada una de las zonas del polígono. Para el polígono de estudio se obtiene que, en la parte trasera del salón comunal, presenta amenaza alta.
- U. Se recomienda que toda obra a construir debe estar diseñada y debe cumplir con la normativa NSR-10, adicionalmente se debe realizar la respectiva evaluación de la zona y tener en cuenta las condiciones del relleno encontrado, los cuales fueron caracterizados con ayuda de la comunidad.



- V. En la zonificación actual del nodo, se evidencia que el 5.49% 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 26.09% del área de estudio presenta un nivel de amenaza medio, mientras que el 68.41% del área representa nivel de amenaza bajo.
- W. En la zonificación futura se caracterizan dos niveles de amenaza, en lo cual el 31.58% 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 68.41% del área total del polígono se encuentra en amenaza media.
- X. La zonificación para este polígono de estudio, se generó teniendo en cuenta los análisis realizados mediante las visitas de campo y la zonificación realizada por geocIng en el “estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana (Santo Domingo) de la localidad de Sumapaz, en Bogotá”, considerando que la escala de trabajo en este proyecto fue más a detalle.
- Y. 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.
- Z. 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.
- AA. 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.

## 14 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>
- Colombiano, S. G. (s.f.). [http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado\\_Cartografia\\_Geologica/](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](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO_TECNICO_DE_SOPORTE_14-06-19/DT04_Anexo04_Amenaza_porMov_enMasa_enPerspectiva_CCZonaRural.pdf)
- IDU. (01 de 2023). *Respuesta a informacion sobre la malla vial, inventario de la infraestructura vial y reservas de Civi* .
- Montenegro Padilla, L. F. (2014). *Calibracion del metodo de parametro de resistencia con SPT en suelos de la region llanera colombiana*.
- Nacional, U. (2013). *Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000*.
- SERVICIO GEOLOGICO, C. (2016). *GUIA METODOLOGICA PARA ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA*. Obtenido de <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Guia-Metodologica-27-07-2016.pdf>
- SERVICIO GEOLÓGICO, C. (s.f.). *ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA. ESCALA 1:25.000*.
- Sumapaz, C. L.-C. (10 de 2019). *Plan Local de Gestión del Riesgo y Cambio climático CLGR-CC*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/494708/PLAN+LOCAL+DE+GESTI%C3%93N+DEL+RIESGO+COMPILADO-SUMAPAZ.pdf/328381c6-8c49-4415-acc0-87335808df07>

- DPAE-GEOCING, 2011. Estudio de riesgos por fenómenos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación para el asentamiento menor de Santa Ana, localidad de Sumapaz, en Bogotá D. C.
- 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.
- GEOCING. 2010. Estudio De Riesgos Por Fenómenos De Remoción En Masa Y Evaluación De Alternativas De Mitigación Para El Asentamiento Menor De Santa Ana (Santo Domingo) De La Localidad De Sumapaz, En Bogotá D. C.
- FOPAE-UNAL. 2013, Elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá D.C a escala 1:25.000.
- INGEOMINAS, 1999. Geología de la Plancha 265-Icononzo; Esc. 1:100.000.
- INGEOMINAS, 1999. Memoria explicativa de la Plancha 265 Icononzo.
- INGEOMINAS, 2005. Cartografía Geológica Aplicada a la Zonificación Geomecánica de la Sabana de Bogotá, Volumen II, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- INGEOMINAS, 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.
- INGEOMINAS, 2017. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.
- MONTOYA D. y REYES G., 2005. Geología de La Sabana de Bogotá Esc. 1:100.000.
- MONTOYA D. y REYES G., 2005. Memoria explicativa del mapa Geología de la Sabana de Bogotá.
- OPPENHEIM, V., 1940. Glaciaciones Cuaternarias de la Cordillera Oriental de Colombia.
- Informe 276. INGEOMINAS. Bogotá.
- RENZONI, G, 1965. Geología del Cuadrángulo L-11 Villavicencio, escala 1:200.000 Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional, Bogotá.
- STUTZER, O., 1934. Sobre la Geología de la Parte Media del Valle del Magdalena. Compendio de Estudios Geológicos Oficiales de Colombia: t.2, p.183-209. Bogotá.
- Duncan J.M., W. S. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*”. John Wiley and Sons.Inc. Hoboken. New Jersey 297p
- Montenegro Padilla, L. F. (2014). Calibracion del metodo de parametro de resistencia con SPT en suelos de la region llanera colombiana.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. Informe de intervención Componentes Técnico/organizacional “Asociación De Usuarios De Acueducto Y Alcantarillado De Las Veredas Santo Domingo La Unión Identificada Con La Sigla Asoaguas Claras Sumapaz Esp Localidad De Sumapaz” ([https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/informe\\_aguas\\_claras\\_sumapaz\\_corregido\\_impreso.pdf](https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/informe_aguas_claras_sumapaz_corregido_impreso.pdf))

## 15 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 SANTA ANA
- RASTER
- INFORME EJECUTIVO
- INFORME FINAL
- PRESENTACIÓN NODO SANTA ANA