

CLASIFICADO

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

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

**Diagonal 47 No. 77 B – 09 Interior 11
PBX. (57 1) 4292800
idiger@idiger.gov.co
Bogotá D.C. - Colombia.**

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

ESTUDIO BÁSICO POR MOVIMIENTOS EN MASA DEL NODO DE EQUIPAMIENTOS ÁNIMAS

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.

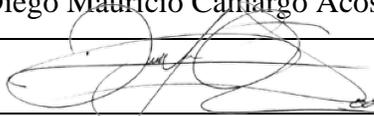
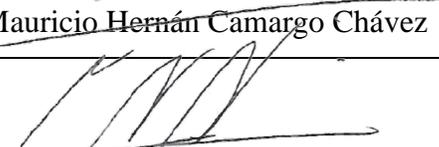
HOJA DE CONTROL

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

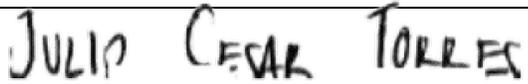
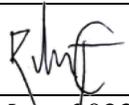
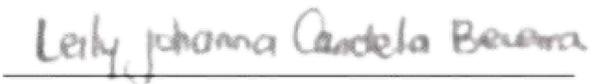
Aprobado por (Ingeniero De Apoyo)	Ing. María Paula Aparicio
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Aprobado por (Especialista en Geotecnia):	Ing. Julio Cesar Torres Camargo
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Director Interventoría	José Rubén Torres Camargo
Firma:	
Fecha:	Mayo 2023
Aprobado por (Especialista en Geología):	Ing.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

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	12
2	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y POLÍGONO DE ANÁLISIS.....	13
3	VERIFICACIÓN DEL POLIGONO	14
4	METODOLOGÍA PARA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.....	15
4.1	METODOLOGÍA	15
5	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA	19
5.1	GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ:.....	19
5.1.1	GEOMORFOLOGÍA	19
5.2	CUENCA RIO BLANCO.....	21
5.2.1	Suelos	22
5.2.2	Pendientes Localidad Sumapaz – Cuenca río Blanco	22
5.2.3	Clima	22
5.3	DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO LAS ANIMAS:.....	23
5.3.1	Amenaza	23
5.3.2	Pendientes Polígono Las Animas	24
5.3.3	Precipitaciones.....	25
5.3.4	Hidrogeología.....	26
5.3.5	Estudios previos.....	27
5.3.6	Información Secundaria.....	31
6	GEOLOGÍA	38
6.1	GEOLOGÍA REGIONAL	38
6.1.1	ESTRATIGRAFÍA.....	38
6.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	41
6.3	GEOLOGÍA LOCAL	42
6.3.1	Suelo transportado Glaciar (Stg).....	43
6.3.2	Roca blanda (Rb).....	43
7	GEOMORFOLOGÍA	46
7.1	ELEMENTOS DE ORIGEN GLACIAR	46
7.1.1	Ladera ondulada glaciar (Glo).....	46
7.2	ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS:.....	48
8	PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	49
9	SISMOLOGÍA	50
10	COBERTURA Y USOS DEL SUELO	51
10.1	COBERTURA DE LA TIERRA.	51
10.2	USO ACTUAL DEL SUELO:	56
10.3	RECOMENDACIÓN PARA COBERTURAS Y USOS FUTUROS DEL SUELO: 58	
11	HIDROLOGÍA Y EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL	60

11.1	INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA.....	60
11.2	INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA	61
11.3	ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO.....	61
11.4	PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES.....	61
11.5	NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN	62
11.6	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.	63
11.7	ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF.....	64
11.8	IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA	67
11.9	OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES: 69	
11.10	CAUDALES DE DISEÑO.....	73
11.11	EVALUACIÓN HIDRÁULICA.....	78
11.12	EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN.....	80
11.13	BALANCE HÍDRICO	81
12	INVESTIGACIÓN GEOTECNICA.....	84
12.1	PROGRAMA DE EXPLORACIÓN:	84
12.1.1	ANTECEDENTES	84
12.2	DIANOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO	85
12.3	IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO:	88
12.3.1	Perfiles de campo:	90
12.3.2	Resultados de los ensayos de penetración estándar (SPT).....	92
12.4	ENSAYOS DE LABORATORIO	96
12.4.1	HUMEDAD NATURAL Y LIMITES DE ATTERBERG	97
12.4.2	LIMITES DE ATTERBERG	98
12.4.3	GRANULOMETRÍA	98
12.4.4	PESO UNITARIO:.....	100
12.4.5	GRAVEDAD ESPECÍFICA	100
12.4.6	HIDROMETRÍAS:.....	101
12.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DETALLADO DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS:.....	104
12.5.1	ÁNGULO DE FRICCIÓN Y COHESIÓN:	104
12.5.2	Angulo de fricción (ϕ) y Cohesión (c'):	106
12.5.3	PESO UNITARIO:.....	106
12.6	MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO	108
12.6.1	Suelo transportado Glaciar (Stg).	108
12.6.2	Roca blanda (Rb).	109
12.7	NIVEL FREÁTICO.....	111
12.7.1	NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO	111
12.7.2	ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO:	111

12.8	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	115
12.8.1	TALUD INFINITO	115
12.9	EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA:	119
12.9.1	EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	121
12.9.2	CONDICIÓN ACTUAL:	122
12.9.3	CONDICIÓN FUTURA:	123
12.10	ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA:	124
12.10.1	AMENAZA ACTUAL:	125
12.10.2	AMENAZA FUTURA:	126
12.11	DISTANCIA DE VIAJE:	126
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
14	BIBLIOGRAFÍA	132
	ANEXOS	135

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Localización y área nodo Las Animas.	13
Figura 2 Verificación del polígono.....	14
Figura 3. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000	15
Figura 4. Localización área Sumapaz.....	20
Figura 5. Ubicación del Nodo Las Animas.	21
Figura 6. Pendientes de la localidad de Sumapaz- Cuenca Rio Blanco.	22
Figura 7. Clima localidad Sumapaz.....	23
Figura 8. Amenaza del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500	23
Figura 9. Niveles de detalle	24
Figura 10. Pendientes del polígono Las animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500	24
Figura 11. Precipitaciones del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:5000	25
Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Animas.....	27
Figura 13. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Animas.....	28
Figura 14 Localización de las viviendas evaluadas en la vereda Animas Bajas en la localidad de Sumapaz.....	30
Figura 15. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat	33
Figura 16. Prestación de Servicios Asoagua y Cañizo E.S.P	34
Figura 17. Comprobación de predios públicos en el polígono de estudio.....	35
Figura 18. Capa Estructural Principal, nodo las Animas.....	35
Figura 19. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamientos rurales Las Ánimas.....	36
Figura 20. Viviendas localizadas para el polígono Las Animas	37
Figura 21. Mapa geológico regional modificado de plancha 265 Icononzo, INGEOMINAS 1999.	39
Figura 22. Mapa Unidades Geológicas Superficiales, modificado FOPAE-UNAL 2013. ..	40
Figura 23. Geología estructural Animas, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.	42
Figura 24. Fragmentos y bloques de arenisca dentro del suelo transportado glaciario.	43
Figura 25. Unidades de geología Para Ingeniería del polígono Animas. Escala 1:5000.....	44
Figura 26. Características presentes en el polígono de Animas Bajas	45
Figura 27. Geomorfología del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5000.	47
Figura 28. Erosión en surcos en un talud de corte realizado en ladera.....	49
Figura 29. Sismología del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000	50
Figura 30. Coberturas Nodo Ánimas.....	55
Figura 31. Tipos de Uso del suelo nodo Animas.....	58

Figura 32. Localización Estaciones Nodo 5 - Animas	60
Figura 33. Distribución Mensual de Precipitación Estación PG Nazareth.....	62
Figura 34. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión	65
Figura 35. Curvas IDF Estación PG Nazareth.....	66
Figura 36. Descripción Red de Drenaje Nodo 5 - Animas.....	68
Figura 37. Cuerpos de Agua Nodo 5 - Animas	68
Figura 38. Alcantarillas existentes en el nodo las Animas	69
Figura 39. Áreas de Drenaje Obras Existentes	74
Figura 40. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow	76
Figura 41. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas	83
Figura 42. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Animas.....	84
Figura 43. Localización de perforación ejecutada.....	89
Figura 44. Sondeo 1.....	91
Figura 45. Muestra apique #1	91
Figura 46. Muestra apique #2	92
Figura 47. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT93	
Figura 48. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT.....	94
Figura 49. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1.....	95
Figura 50. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1	96
Figura 51. % Humedad Vs Profundidad.....	97
Figura 52. % Carta de plasticidad de Casagrande	98
Figura 53. Distribución granulométrica Vs profundidad.....	99
Figura 54. Peso unitario Vs. Profundidad	100
Figura 55. % Gravedad específica Vs Profundidad.....	101
Figura 56. % Curva Hidrometría AP-2(M2)	102
Figura 57. % Tabla resumen de resultados.....	103
Figura 58. Fragmentos y bloques de arenisca dentro del suelo transportado glacial.	108
Figura 59. Unidades de geología Para Ingeniería del polígono Animas. Escala 1:5000....	109
Figura 60. Clasificación de los suelos	111
Figura 61. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo	112
Figura 62. Planta y perfil Angulo β	117
Figura 63. Método del Talud Infinito	118
Figura 64. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento	121

TABLA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo	17
Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica	26
Tabla 3. Coordenadas área de inspección.....	29
Tabla 4. Localización e identificación de los predios evaluados	29
Tabla 5. Localización e identificación de los predios (Nivel de daño)	31
Tabla 6. Estado y diagnóstico de la malla vial e inventario de infraestructura	32
Tabla 7. Reserva de CIV para Animas	32
Tabla 8. Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales	36
Tabla 9. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales	37
Tabla 10 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Animas	48
Tabla 11 Coberturas de la tierra nodo Animas	53
Tabla 12. Uso del suelo Nodo Animas	57
Tabla 13. Estaciones empleadas Nodo 5 – Animas.....	60
Tabla 14. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PG Nazareth.	62
Tabla 15. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PG Nazareth.	62
Tabla 16. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PG Nazareth.....	63
Tabla 17. Valores Parámetros de Regresión en Colombia	65
Tabla 18. Relaciones IDF – Estación PG Nazareth.....	67
Tabla 19. Elementos de equipamiento de a alcantarilla 1	70
Tabla 20. Elementos de equipamiento de a alcantarilla 2	71
Tabla 21. Período de retorno según tipo de obra.....	73
Tabla 22. Coberturas de la tierra nodo Animas	75
Tabla 23. Evaluación de caudales.....	78
Tabla 24. Evaluación Obras de Drenaje	79
Tabla 25. Coeficientes de permeabilidad de depósitos naturales del suelo.....	80
Tabla 26. Resultados de pruebas de permeabilidad	81
Tabla 27. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo	82
Tabla 28. Exploración del subsuelo.....	88
Tabla 29 – Cantidades de ensayos realizados para el nodo Vegas	96
Tabla 30. Parámetros estimados para cada sondeo.....	104
Tabla 31. Análisis estadístico de parámetros	106
Tabla 32. Análisis estadístico (Peso Unitario)	106
Tabla 33. Parámetros Geotécnicos	107
Tabla 34 Características zonas geotécnicas.....	110

Tabla 35 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT	110
Tabla 36. Tabla resumen de nivel freático	111
Tabla 37. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años	114

TABLA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Problemática encontrada.....	14
Fotografía 2. Permite evidenciar la casa que es clasificada como vivienda rural dispersa (A) y la vía que atraviesa el polígono (B).....	55
Fotografía 3. Adelante se ven pastos limpios (A) y al fondo pastos arbolados (B).	55
Fotografía 4. Área deportiva.....	56
Fotografía 5. Adelante se ven pastos limpios, al fondo hacia la izquierda se ven los árboles clasificados como otros cultivos permanentes.	56
Fotografía 6. Se evidencia muro de acompañamiento, muro cabezal y guardarruedas.....	70
Fotografía 7. Se tienen dos tuberías en concreto con un diámetro de 24".....	70
Fotografía 8. Empozamiento de agua por alcantarilla obstruida.	71
Fotografía 9. Se tiene una tubería en concreto con un diámetro de 24".....	71
Fotografía 10. No se presenta descole, ni aletas, ni solado.....	72
Fotografía 11. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural.....	72
Fotografía 12. Presencia de la quebrada en la zona, nodo Animas.....	72
Fotografía 13. Modificación del cauce de la quebrada.....	86
Fotografía 14. Vivienda construida sobre el cauce de la quebrada.	86
Fotografía 15. Vivienda ubicada en parte inferior del polígono las animas.....	86
Fotografía 16. Corte en el terreno, el cual no cuenta con protección ni estructura de contención.....	86
Fotografía 17. Presencia de pendientes moderadas.....	87
Fotografía 18. Desgaste vial y falta de mantenimiento.....	87
Fotografía 19. Falta de mantenimiento en las obras hidráulicas, generando encharcamiento en la vía.....	87
Fotografía 20. Alcantarilla de 24".....	87
Fotografía 21. Inexistencia de descole lo que provoca vertimiento de aguas al terreno.....	88

1 INTRODUCCIÓN

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

Adicionalmente, se muestra el plan de exploración del subsuelo para el Nodo 5 denominado las Animas, el cual está justificado a partir de la visita de reconocimiento realizada el día 24 de enero de 2023, la revisión de información previa, y el anexo técnico de los términos de referencia. La zona objeto de intervención del presente informe será el nodo las Animas, este se encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 2,739418 Ha, a continuación, es posible observar a 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 5, denominado Animas. 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 Animas, este encuentra ubicado en la localidad de Sumapaz y comprende un área de 2,739418 Ha.

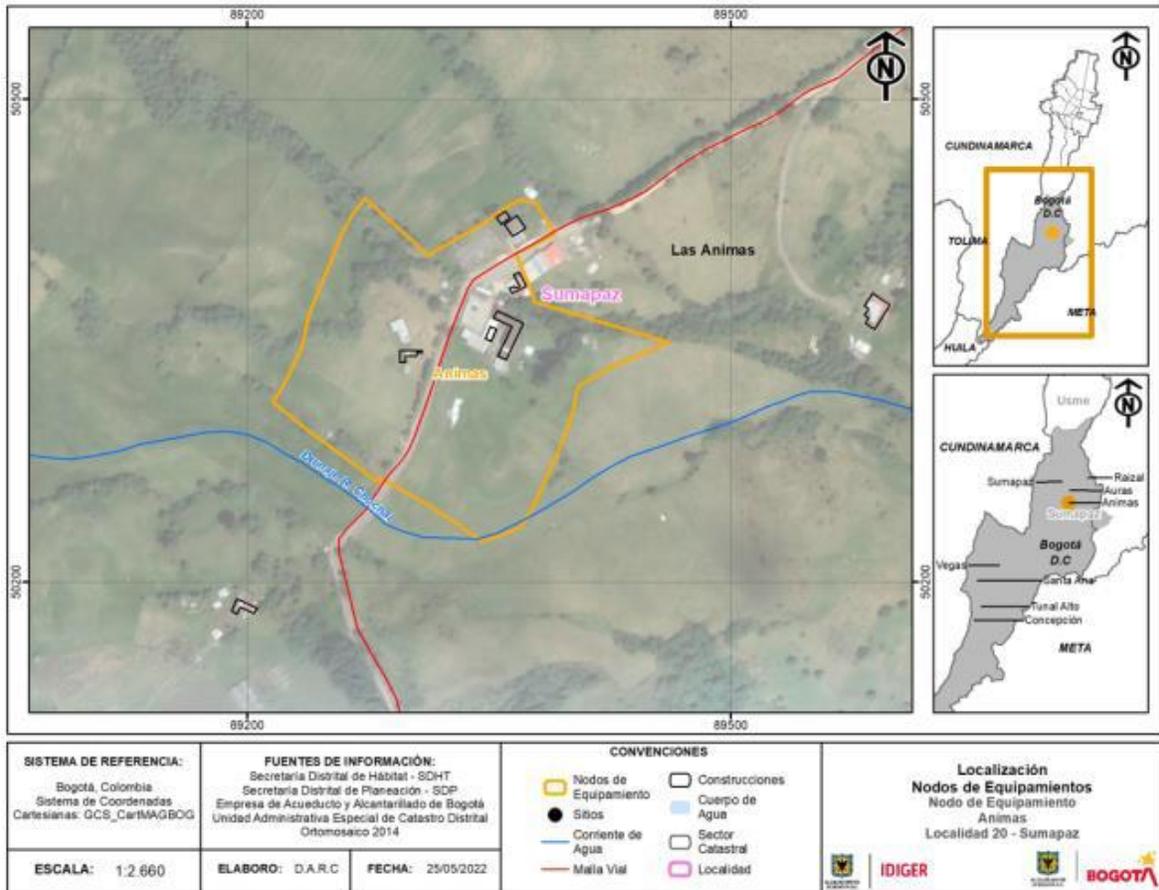


Figura 1. Localización y área nodo Las Animas.

Fuente: (IDIGER, 2017)

3 VERIFICACIÓN DEL POLIGONO

Para el polígono de Animas, se propone la adición de un área directa de 0.23 Ha, considerando que en la visita de campo realizada el 24 de enero, se evidencio que las viviendas ubicadas en la zona Nororiental del polígono se encuentran dentro y en inmediaciones de la quebrada Animas.



Figura 2 Verificación del polígono
Fuente: IDIGER

En la siguiente fotografía, es posible observar la problemática.



Fotografía 1. Problemática encontrada.

4 METODOLOGÍA PARA ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA.

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.

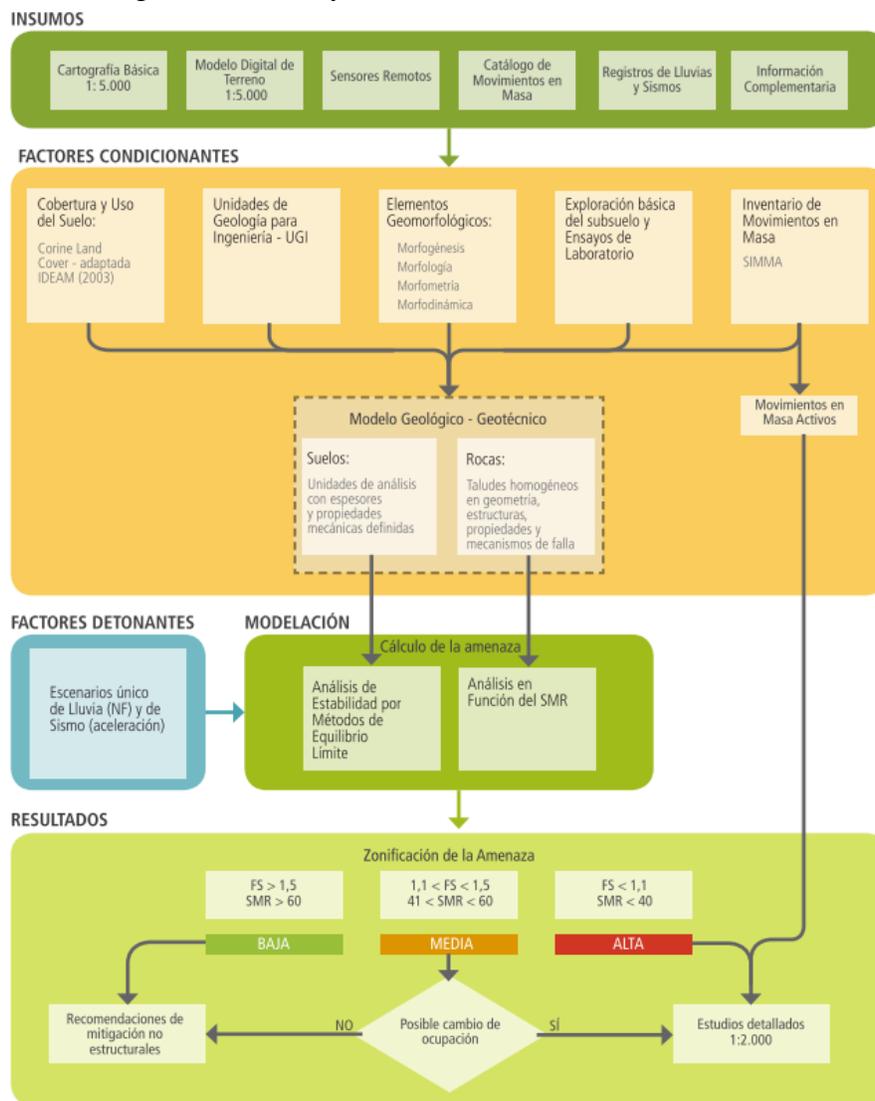


Figura 3. Zonificación básica de amenaza por movimiento en masa a escala 1:5000

Fuente: Fuente especificada no válida.

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

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

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

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

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

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

Tabla 1. Clasificación del Espesor de Suelo

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

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

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

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

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

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

Donde

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

γ es el peso unitario del suelo.

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

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

γ_w es el peso unitario del agua.

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

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

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

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

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

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

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

5 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

5.1 GENERALIDADES LOCALIDAD SUMAPAZ:

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

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

5.1.1 GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo con el plan local de gestión del riesgo y cambio climático CLGR-CC del año 2019, se describe que "...La Cordillera Oriental ha estado sometida a una intensa erosión que ha afectado durante millones de años sus estructuras mayores. Las glaciaciones del Pleistoceno-Holoceno condujeron al cambio en las condiciones climáticas y ayudaron a configurar las formas actuales del área de estudio. Desde el punto de vista 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 las Animas, 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 las Animas.

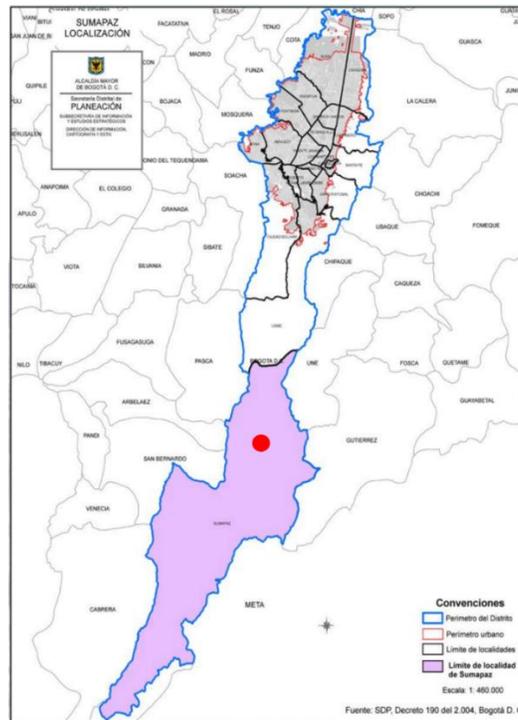


Figura 4. Localización área Sumapaz.
Fuente: (IDIGER, 2017)

De acuerdo con la información suministrada por el IDECA, para el nodo el Raizal la geología encontrada corresponde a Rb6(K2cp), la descripción de esta geología se puede observar en el numeral 3.3.2 del presente informe. Así mismo la geomorfología para este polígono corresponde a Gle (Ladera estructural glaciada) en el numeral 3.3.3 del presente informe se presenta información más amplia para esta geomorfología.

5.2 CUENCA RIO BLANCO

Como primer ítem, es necesario destacar que a lo largo de la localidad Sumapaz, es posible encontrar la cuenca del Rio Sumapaz y la cuenca de rio Blanco, donde por medio del plan local de gestión del riesgo y cambio climático CLGR-CC del año 2019, el nodo Las Animas se encuentra ubicado en la cuenca del rio Blanco, tal como se muestra en la siguiente figura, además, es importante mencionar que para la información secundaria se tiene en cuenta dicha Cuenca para realizar los análisis requeridos en el presente informe.

Para el nodo Las Animas existe la presencia de una subcuenca llamada rio Chochal, tal como se puede evidenciar en los anexos.

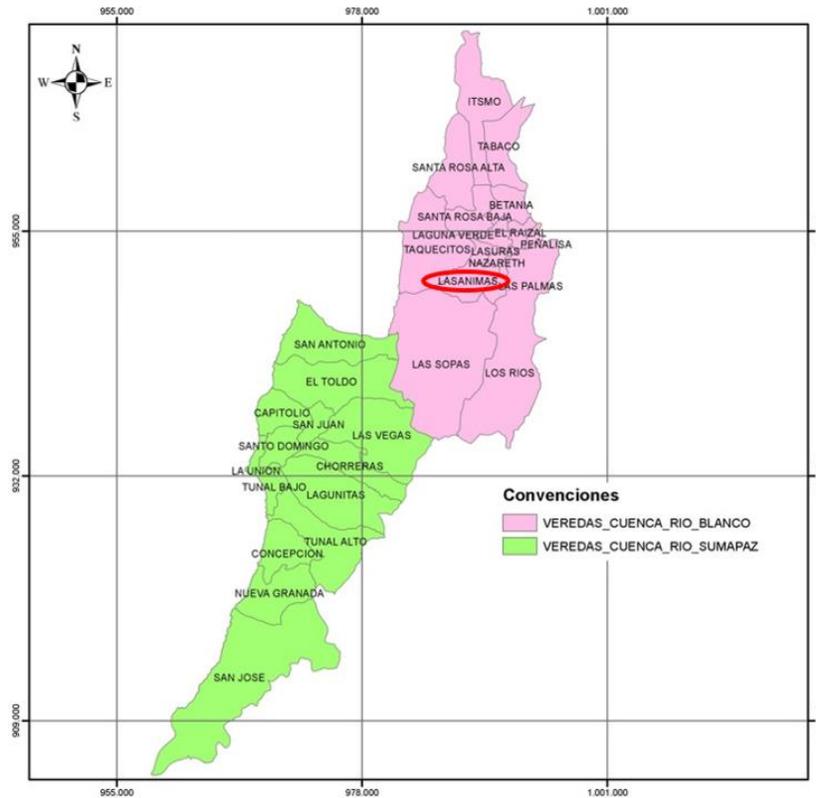


Figura 5. Ubicación del Nodo Las Animas.
Fuente: (IDIGER, 2017)

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

5.2.1 Suelos

Para la zona, los suelos en la franja del páramo son profundos a superficiales, bien drenados, con excepción a los existentes en el área con características plano- cóncavas, ya que esta alguna vez fueron pequeñas lagunas de origen glaciario. El sector con suelo escarpado está conformado por suelos del subgrupo Dystrocryepts típicos y hemáticos, también hay presencia de algunos afloramientos rocosos. Las rocas más antiguas presentes en la zona, corresponden a un conjunto de sales intercalados con areniscas y algunos bancos de caliza, hacia el norte y en la ladera izquierda del río Santa Rosa se presentan depósitos coluviales arcillosos. El relieve que caracteriza esta zona es de alta montaña, las cuales se encuentran desarrolladas sobre rocas sedimentarias, rocas ígneas y metamórficas. Para la zona se constituyen diferentes formaciones geológicas como lo son:

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

5.2.2 Pendientes Localidad Sumapaz – Cuenca río Blanco

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

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

Figura 6. Pendientes de la localidad de Sumapaz- Cuenca Rio Blanco.

Fuente (IDIGER, 2017)

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

5.2.3 Clima

Como se mencionaba anteriormente, el clima para la zona es frío, las lagunas se encuentran a una temperatura promedio de 4.4 °C, los meses con más lluvia son abril, octubre y noviembre y los de verano son enero y diciembre, de acuerdo con la información del IGAC,

la precipitación total anual es 757,7 mm y el promedio mensual multianual es 63,1mm y por último el periodo más seco es de diciembre a marzo con 17.6 mm.

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

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

5.3 DESCRIPCIÓN DE INFORMACIÓN NODO LAS ANIMAS:

5.3.1 Amenaza

Según información suministrada en el mapa de “Amenazas por movimiento en masa para el área urbana y de expansión de Bogotá, escala 1:25.000” por el IDIGER, la amenaza presente sobre el polígono de estudio es intermedia en toda su extensión, como se puede observar en la siguiente figura. Con la escala 1:25.000 se presentan los productos preliminares. 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.

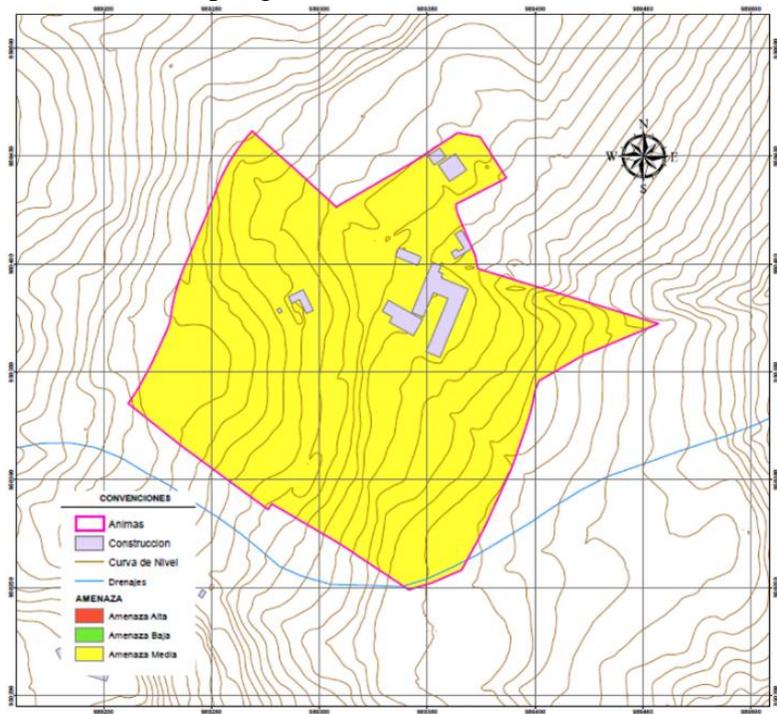


Figura 8. Amenaza del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500

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

5.3.2 Pendientes Polígono Las Animas

Las pendientes para el polígono de estudio, de acuerdo con la información Ráster con tamaño de pixel 0.5x0.5 suministrada por el IDIGER, donde de acuerdo con la resolución 471 de 2020 del IGAC el tamaño de pixel es equivalente a una escala de trabajo 1:5.000, las pendientes se encuentran entre el 3 al 75 % tal como se observar en la siguiente figura.

Tabla 2. Productos y nivel de detalle

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

Figura 9. Niveles de detalle
Fuente: IGAC

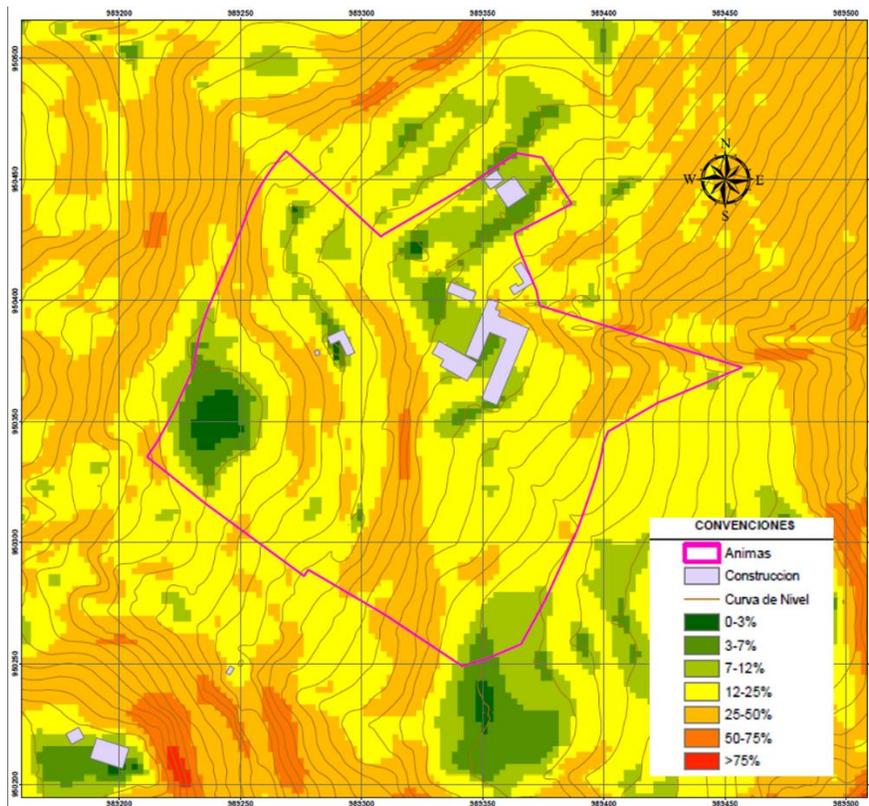


Figura 10. Pendientes del polígono Las animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:500

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

5.3.3 Precipitaciones

Teniendo en cuenta la información suministrada por el IDEAM, en el mapa Coberturas del suelo y Precipitaciones anuales para Colombia, escala 1:100.000, las precipitaciones para el polígono de estudio Las Animas, se encuentra entre 500 y 1000 mm, estas precipitaciones fueron definidas mediante el uso del SHP de precipitaciones del mapa anteriormente mencionado, ya que para la zona no se encontraron estaciones cercanas impidiendo el uso de estas.

Con la escala 1:100.000 se presentan los productos preliminares. La escala presentada en los planos es una escala de presentación de los mismos, con el fin de que se visualice de manera correcta el polígono de estudio.

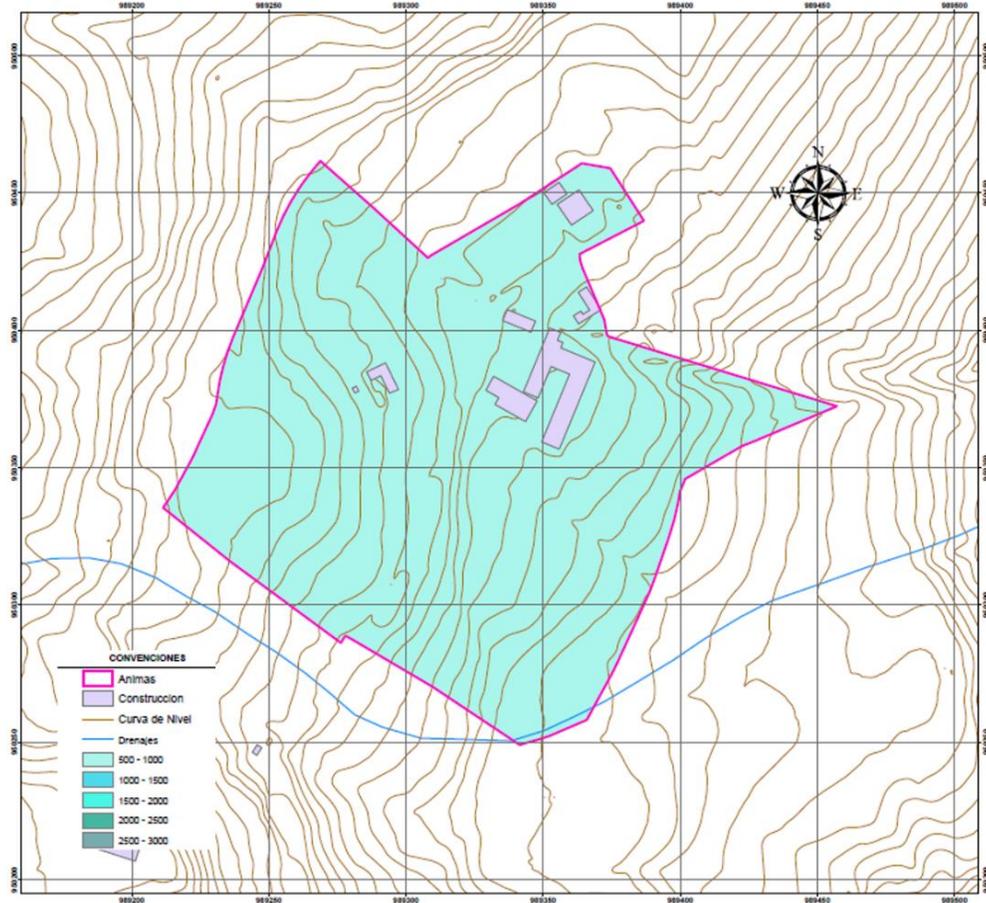


Figura 11. Precipitaciones del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:5000

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

5.3.4 Hidrogeología

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

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

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

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

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

Tabla 2. Caracterización Hidrogeológica

Fuente: (CAR, 2003)

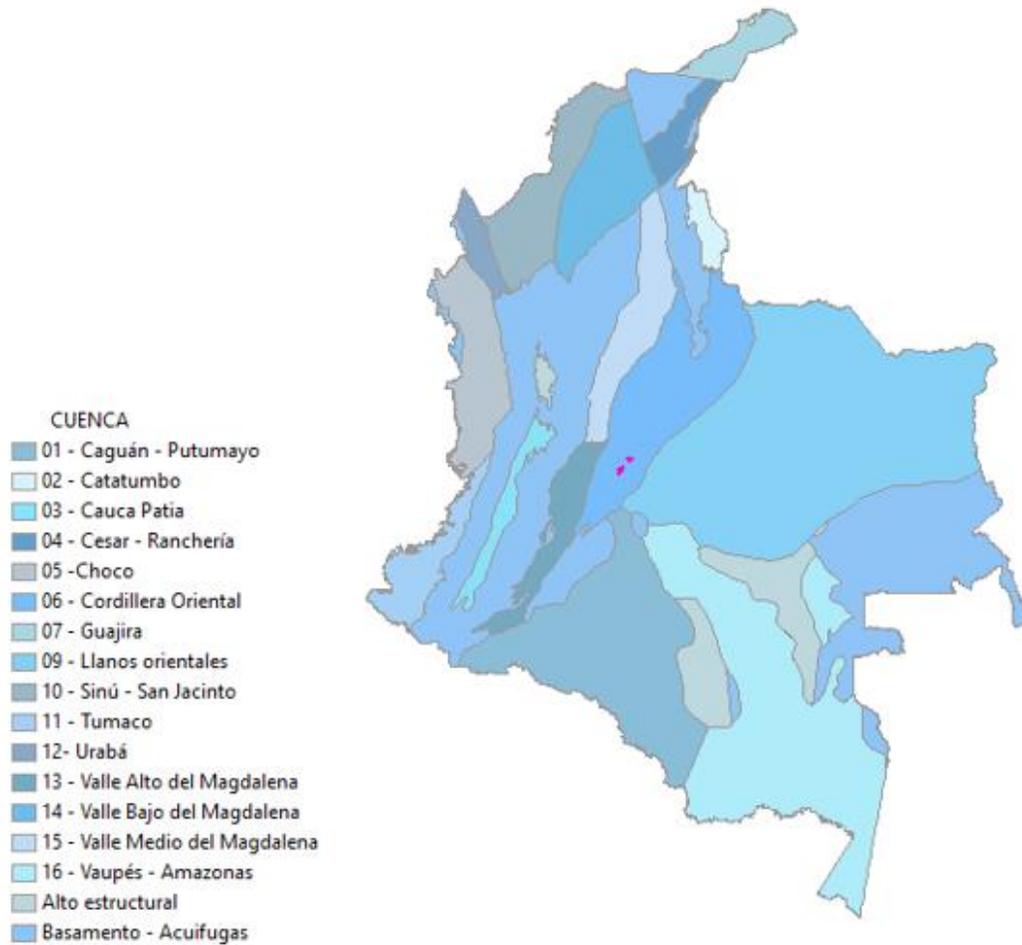


Figura 12. Zonificación Hidrogeológica-Nodo Animas
Fuente: IDEAM

5.3.5 Estudios previos

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

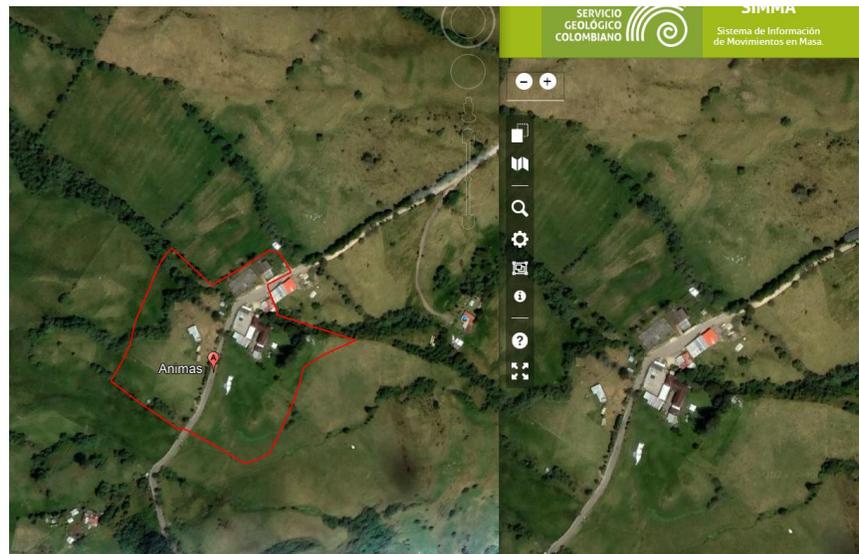


Figura 13. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Animas
Fuente: SIMMA

- **DIAGNÓSTICOS TÉCNICOS**

1. **Diagnostico Técnico No 13620**

El Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático IDIGER en cumplimiento de sus funciones, realiza la verificación de asistencia técnica con base en una inspección visual, se valora el grado de afectación de las edificaciones y/o infraestructura, que permite establecer el compromiso de estabilidad y funcionalidad de las mismas.

El 24 de julio de 2019, se realiza visita al sector conocido como EL cedral, sobre la vía que conduce al centro poblado Nazaret, esta corresponde a una estructura con capa de rodadura en pavimento flexible ubicada en la mitad de la ladera. El 22 de agosto de 2019, se realiza una nueva visita al sector, evidenciándose un aumento de las condiciones de inestabilidad en el segmento vial. Se observa un desconfinamiento y hundimiento de la banca hacia el costado sur, en una longitud aproximada de 15m, dejando expuestos limos arenosos saturados.

La afectación de la sección transversal de la vía es aproximadamente del 90%, de igual manera se realiza la inspección de la vivienda donde habita el señor Fanor Diname, la cual se encuentra ubicada hacia la parte baja de la vía en mención a una distancia aproximadamente de 150 m.

Los potenciales riesgos que se presentan de no implementar las recomendaciones es el aumento del desconfinamiento de la banca del segmento vial.

2. Diagnóstico técnico No. DI-14019

Se realiza verificación de asistencia técnica mediante una inspección visual y se aplica la metodología de identificación y valoración cualitativa de la afectación del hábitat a nivel urbano y rural, con la finalidad de valorar el grado de afectación de las viviendas y/o predios encontrados en las siguientes zonas:

Tabla 3. Coordenadas área de inspección

COORDENADAS ÁREA INSPECCIONADA	
	4°13'40" N - 74°08'57.2" W
	4°13.719' N - 74°08.889 W
	4°13.473' N - 74°08.852'W
	4°13.861' N - 74°08.803' W
	4°08'51.0" N - 74°10'26.3" W
	4°08'34.0" N - 74°10'26.5" W

En este diagnóstico aclaran que el IDIGER no adelanta estudios de detalle de carácter cuantitativo, el cual permita deducir las causas y/o precisar los daños que puedan ser identificados sobre los sitios públicos y/o privados, aprobar estudios, diseños o procedimientos de terceros que mitiguen las condiciones de riesgo.

De acuerdo con el plan de ordenamiento territorial (POT) en los planos normativos de remoción en masa, sobre la zona se presenta cobertura de amenaza por movimientos en masa, obteniendo así, la siguiente información:

Tabla 4. Localización e identificación de los predios evaluados

Pedio No.	COORDENADAS	RESPONSABLE	AMENAZA
1	4°13'40" N - 74°08'57.2" W	Edison Melo	MEDIA
2	4°13.719' N - 74°08.889" W	Luis Eladio Palacios	MEDIA
3	4°13.473' N - 74°08.852' W	Luis Adelmo Pabón	MEDIA
4	4°13.861' N - 74°08.803' W	Rubén Darío Vásquez Huertas	MEDIA
5	4°08'51.0" N - 74°10'26.3" W	María Mercedes Domínguez	ALTA
6	4°08'34.0" N - 74°10'26.5" W	Lorenzo Díaz	MEDIA

Cabe destacar que para la vereda Animas, en el presente reporte se identifican 2 predios, de los cuales se destacan el predio No. 5 y 6.

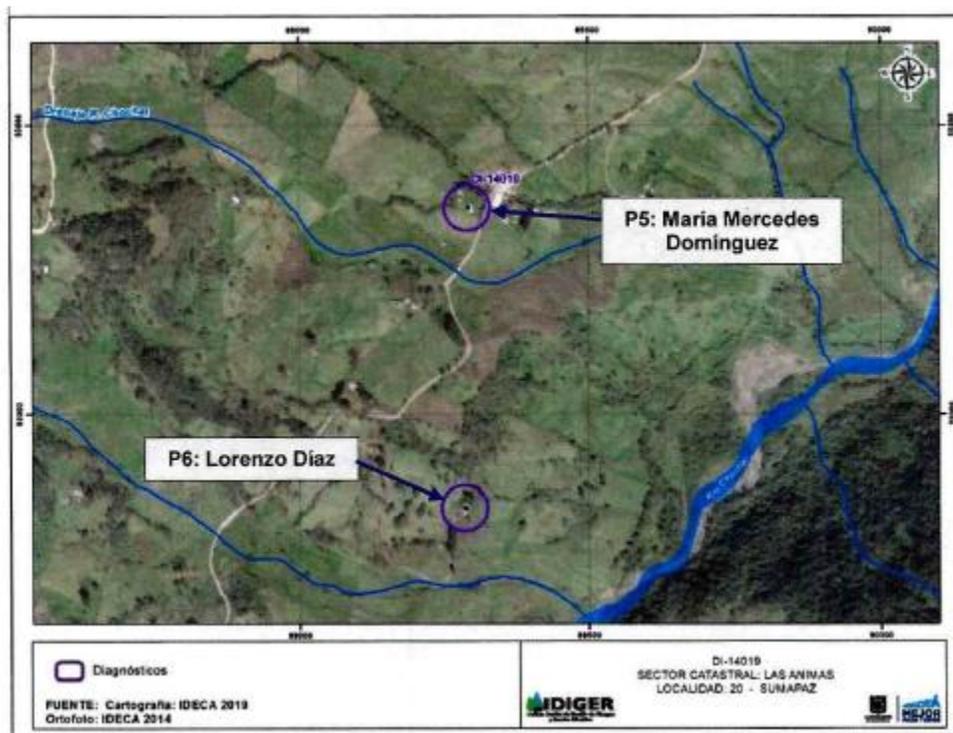


Figura 14 Localización de las viviendas evaluadas en la vereda Animas Bajas en la localidad de Sumapaz

1. Predio #5 (María Mercedes Domínguez):

Sobre este predio, se encuentra una edificación de 1 nivel, la cual se presenta:

- Cimentación → Con bloques de roca y losa de contrapiso
 - Muros → Mampostería simple y pórticos en madera
 - Cubierta → Teja de zinc
- Alrededor de la casa, no se evidenciaron zanjas o cunetas que manejen las aguas escorrentías y servidas, sobre la losa de contrapiso.
 - Se evidencio una grieta transversal en la losa de contrapiso, la cual se refleja en un muro de la cocina que inicia con una abertura de 2 mm y se amplía hacia el muro con hasta 3 cm de abertura.
 - En las habitaciones se encuentra un muro divisorio, que se encuentra separado en la parte superior con la cubierta.
 - El muro de cerramiento de la cocina y de una de las habitaciones presenta una grieta de abertura aproximada de 4 cm de piso a techo.

2. Predio #6 (Lorenzo Díaz):

Para este predio no se presenta una descripción clara en el diagnóstico presentado.

Se destaca que, entre las posibles causas de la problemática presentada, se encuentra la deficiencia constructiva, la falta de mantenimiento y vetustez de las edificaciones, manejo inadecuado de aguas servidas, deficiencias en drenaje y canalización de aguas de escorrentía.

Tabla 5. Localización e identificación de los predios (Nivel de daño)

Predio No.	COORDENADAS	RESPONSABLE	TIPO DE ESTRUCTURA	No. DE PISOS	NIVEL DE DAÑO
1	4°13'40" N - 74°08'57.2" W	Edison Melo	Pórticos en madera y muros en adobe	1	Moderado
2	4°13.719' N - 74°08.889" W	Luis Eladio Palacios	Mampostería simple	1	Leve
3	4°13.473' N - 74°08.852" W	Luis Adelmo Pabón	Mampostería simple y muros en adobe	1	Leve
4	4°13.861' N - 74°08.803" W	Rubén Darío Vásquez Huertas	Mampostería simple y muros en adobe	1	Leve
5	4°08'51.0" N - 74°10'26.3" W	Maria Mercedes Domínguez	Mampostería simple	1	Fuerte
6	4°08'34.0" N - 74°10'26.5" W	Lorenzo Díaz	Mampostería simple	1	Fuerte

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, en el presente diagnóstico se concluye que las viviendas encontradas en los predios 5 y 6, no se encuentran comprometidas en la actualidad ante cargas normales de servicio, por los daños evidenciados. Se desconoce su comportamiento ante cargas dinámicas, como por ejemplo un sismo.

5.3.6 Información Secundaria

- **IDU:**

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

1. *Estado o diagnóstico de la malla vial, inventario de la infraestructura vial, reservas de CIVS por parte de la entidad para la futura ejecución de proyectos, estudios o intervenciones realizados por la entidad en el polígono de estudio.*

Teniendo en cuenta los parámetros establecidos por la entidad para la evaluación vial, se presenta la siguiente información para la discriminación por cada sector así:

Tabla 6. 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	ANIMAS	20036002	91027635	URCI	Malla Vial Rural	28	MUY POBRE
20	ANIMAS	20076282	91027691	URCI	Malla Vial Rural	28	MUY POBRE

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 7. Reserva de CIV para Animas

Loc	Sector	CIV	Elemento	Tipo Elemento	Contrato	Estado	Intervención	Entidad
20	ANIMAS	20036002	91027635	Calzada	Sin Dato	Reservado	Mantenimiento Periódico	UAERMV
20	ANIMAS	20076282	91027691	Calzada	Sin Dato	Reservado	Mantenimiento Periódico	UAERMV

Fuente: (IDU, 2023)

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

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

- **EPM:**

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

- ✓ **SECRETARIA DEL HABITAT**

En atención a las solicitudes realizadas a la secretaria del habitad, donde se solicita información sobre el estado actual y caracterización de la infraestructura para los polígonos de estudio, uso y coberturas del suelo dentro de los polígonos de estudio , programación y proyectos de la Secretaria Distrital del Hábitat que se estén ejecutando o se planee su

ejecución, información sobre el estado de servicios públicos domiciliarios, información sobre reasentamiento de los predios en el polígono de estudio y Shapes y planos con información recopilada por la Secretaria Distrital Del Habitar , se obtiene como respuesta, lo siguiente para el nodo las Anima.

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

SDOperaciones			
Radcado	Polígono	Competencia o no de Proyecto (SI sí aplca, Indicar No. de Proyecto. SI no aplca, poner N.A)	SI sí aplca, poner objetivo del proyecto
1-2022-52442	Animas	Proyecto No. 7659 Mejoramiento integral rural Líneas de acción: *Vivienda Nueva Rural *Mejoramiento de vivienda rural	En estructuración los proyectos de vivienda nueva rural y mejoramiento de vivienda rural, de acuerdo con la convocatoria y postulaciones realizadas para la asignación de subsidios en estas dos modalidades, previo cumplimiento de requisitos

Figura 15. Programación y Proyectos secretaria Distrital del Hábitat
Fuente: secretaria del Hábitat

2. Información sobre el estado de los servicios públicos domiciliarios

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

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

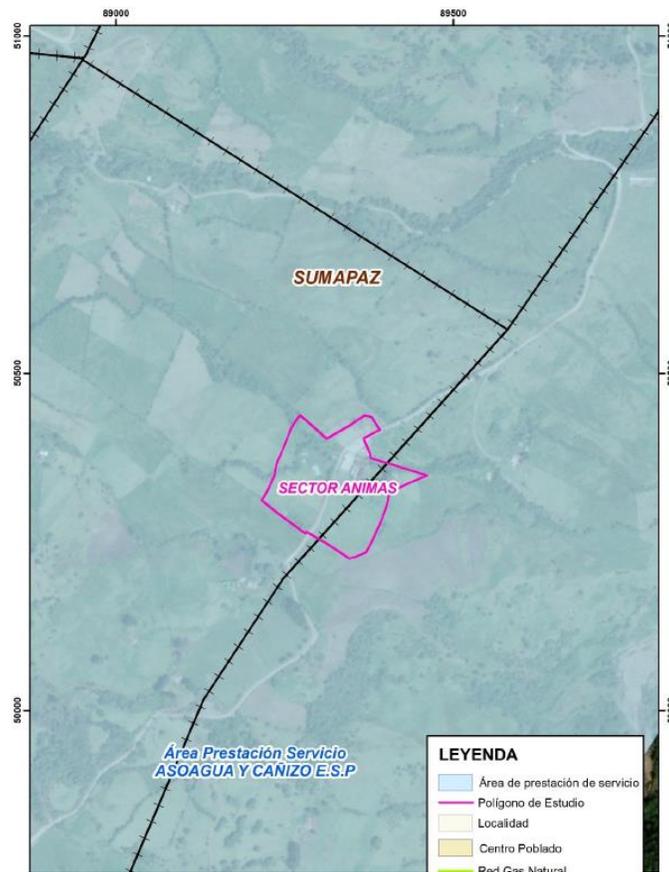


Figura 16. Prestación de Servicios Asoagua y Cañizo E.S.P
 Fuente: secretaria del Hábitat

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

En respuesta al radicado No. 20224000310572 del 27/12/2022, el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público, informa que una vez consultados los sistemas de información de su entidad SIGDEP y SIDEPE, se verifica que dentro del polígono georreferenciado no hay predios que se encuentren incorporados en el inventario de Bienes de Uso público y Bienes Fiscales del Distrito Capital que administra esta defensoría. En la siguiente figura se evidencia la consulta realizada por esta entidad.

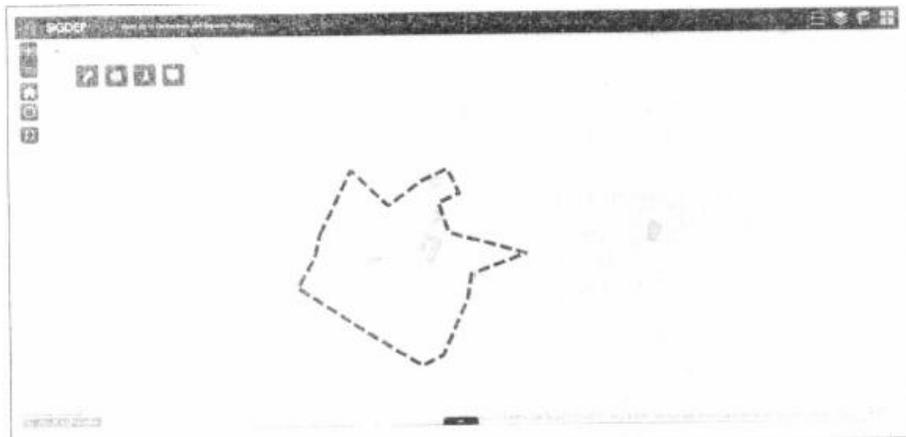


Figura 17. Comprobación de predios públicos en el polígono de estudio.
Fuente: SIGDEP/DADEP 2022

No obstante, al consultar la capa Estructural Ecológica Principal, relacionada con la secretaria Distrital de Planeación, se observa que el polígono las Animas, se encuentra inmerso en una zona de conservación relacionada con el Sistema Distrital de Áreas Protegidas (Cuenca río Guayuriba), el cual se encuentra definido mediante la resolución No. 3415 de 2015. Adicionalmente, también se observa la afectación por parte del polígono Drenaje R. Chochal, correspondiente al componente de Áreas de especial importancia ecosistémica - Sistema Hídrico (Cuerpos de agua naturales / Ríos, quebradas y sus rondas), reglamentado mediante el Decreto 555 del 2021. Por lo que se remite la presente observación a la Secretaría Distrital de Planeación para que emita las manifestaciones correspondientes, en virtud de sus competencias.

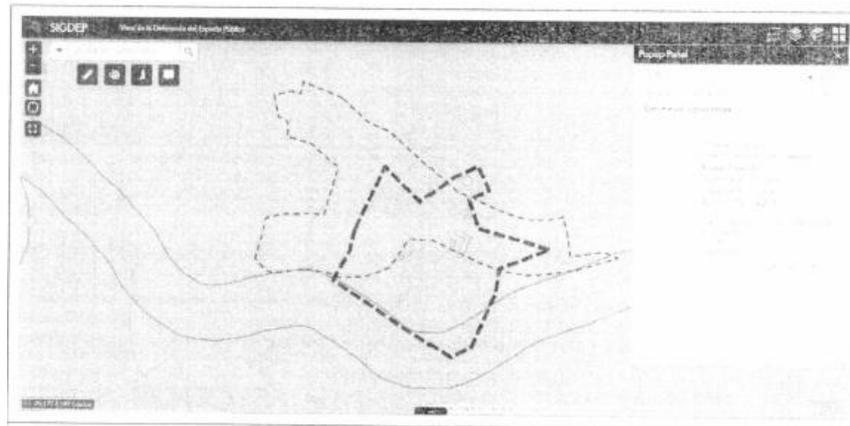


Figura 18. Capa Estructural Principal, nodo las Animas
Fuente: SIGDEP/DADEP 2022

✓ **Secretaría De Planeación**

En atención a la solicitud realizada a la secretaria de Planeación, por medio del radicado 1-2022-157017, esta dependencia consulto la Base de datos Geográficos Corporativos (BDGC), con el fin de dar respuesta a los requerimientos solicitados y se obtiene que, el área de estudio las Animas es un nodo de equipamientos rurales, ubicado en la categoría de desarrollo restringido del suelo rural.



Figura 19. Ubicación de la zona para la localización de nodos de equipamientos rurales Las Ánimas
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 8. Edificabilidad de las zonas para la localización de nodos de equipamientos y de equipamientos aislados rurales

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

Fuente: secretaria de Planeación

Tabla 9. Volumetrías para los nodos de equipamientos rurales y equipamientos aislados rurales

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

Fuente: secretaria de Planeación

✓ **Caja De La Vivienda Popular**

En atención al radicado No 202317000013902, 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 Animas

Figura 20. Viviendas localizadas para el polígono Las Animas
Fuente. CAJA DE LA VIVIENDA POPULAR

6 GEOLOGÍA

6.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El área estudiada se localiza al sur de Bogotá en la parte central de La Cordillera Oriental, donde se identificaron rocas sedimentarias del cretácico. En la definición del modelo geológico se utilizó como base la información geológica elaborada por INGEOMINAS para la cartografía de la plancha 265 Icononzo (1999) a escala 1:100.000, la cartografía realizada para la elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá, FOPAE-UNAL (2013), a escala 1:25.000 y los levantamientos realizados a lo largo de las visitas de campo, los cuales permitieron detallar las características encontradas dentro del nodo. Ver figuras anexadas en los numerales 6.11 y 6.12.

6.1.1 ESTRATIGRAFÍA

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

6.1.1.1 . Formación Chipaque (Ksch)

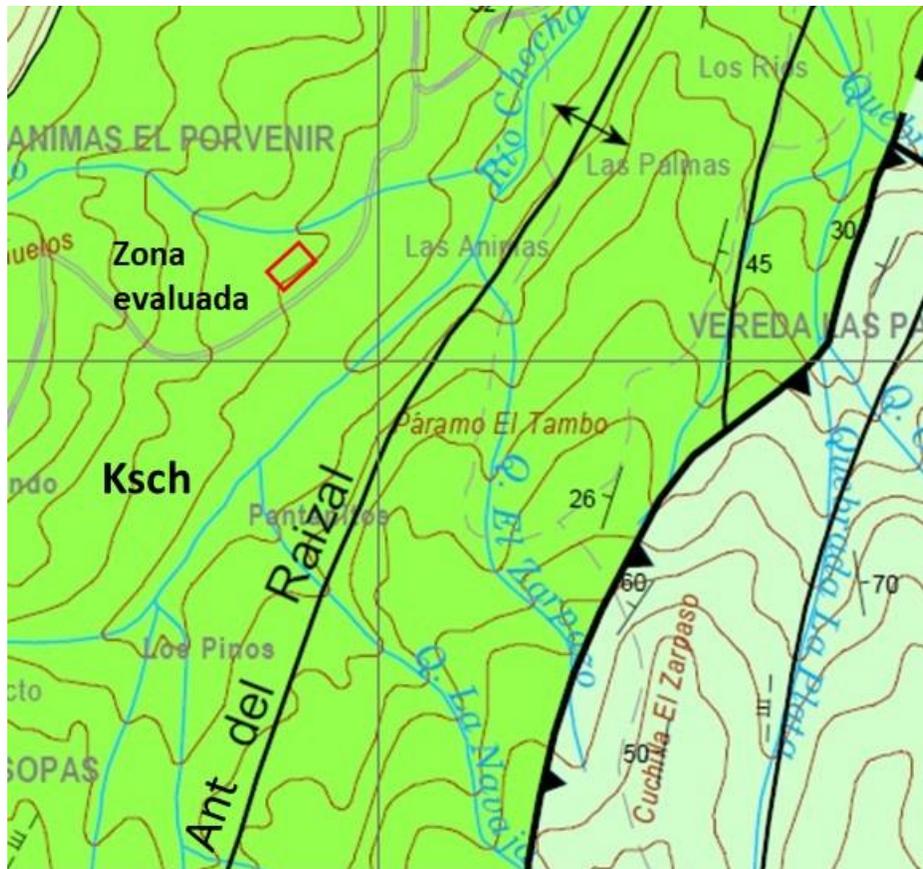
El nombre “Chipaque” fue empleado por primera vez por Hubach (1931) con el rango de “Conjunto Chipaque “. Redefinida por Renzoni (1962), quien la presenta como una “unidad conformada fundamentalmente por lutitas”, hecho que la diferencia claramente de sus dos unidades infra y suprayacentes que están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

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

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

grano muy fino a fino de cuarzo, de color gris oscuro a negro con cemento silíceo y a veces calcáreo.

La Formación Chipaque tiene el contacto inferior fallado con la Formación Une, el contacto superior transicional con el Grupo Guadalupe; la edad de la unidad comprende parte del Cenomaniano, el Turoniano y parte del Coniaciano, De acuerdo con Julivert (1968). La unidad presenta características de depósitos de plataforma con poca influencia clástica, en un ambiente marino de aguas poco profundas y circulación restringida, según Ulloa y Rodríguez (1979). En la siguiente figura se muestra el mapa geológico regional modificado de la plancha 265 Icononzo, Ingeominas (1999).



Leyenda

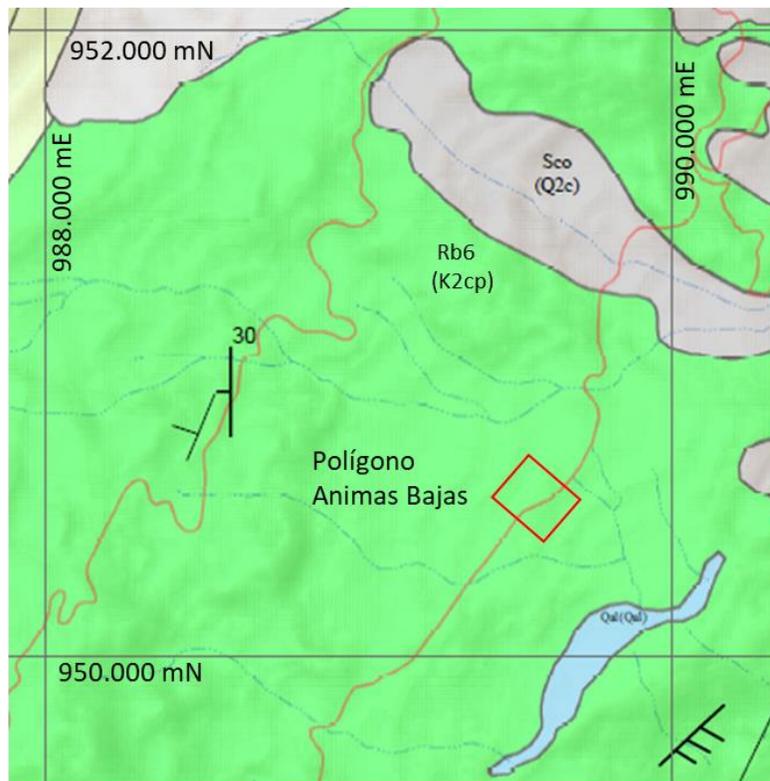
 **Ksch** Formación Chipaque

Figura 21. Mapa geológico regional modificado de 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 identificadas para el área de estudio se clasifican en unidades de roca, de acuerdo con sus características litológicas y geotécnicas, corresponde a roca de resistencia blanda (Rb6), tal como se evidencia en el mapa de unidades geológicas de superficie mostrado en la siguiente figura:



Legenda

K2cp	Fm Chipaque - (Rb 6) Roca Blanda 6
Q2c	Depósito Coluvial - (Sco) Depósito de ladera

Figura 22. Mapa Unidades Geológicas Superficiales, modificado FOPAE-UNAL 2013.

6.1.1.2 Roca blanda: (Rb6):

Conformada por gruesos niveles de lutitas, color gris oscuro a negro con intercalaciones menores de limolitas silíceas, calizas arenáceas y areniscas de grano fino. Dentro de la zona de estudio aflora, en las veredas Animas y Raizal, formando parte del flanco occidental del Anticlinal El Raizal.

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

6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Zona Ubicada en la vereda Las Animas, al occidente de la Falla de Nazareth y en el flanco occidental del Anticlinal del Raizal. Está conformado principalmente por rocas de edad Cretácico con rumbo N20° E y buzan 25° hacia el NW.

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

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

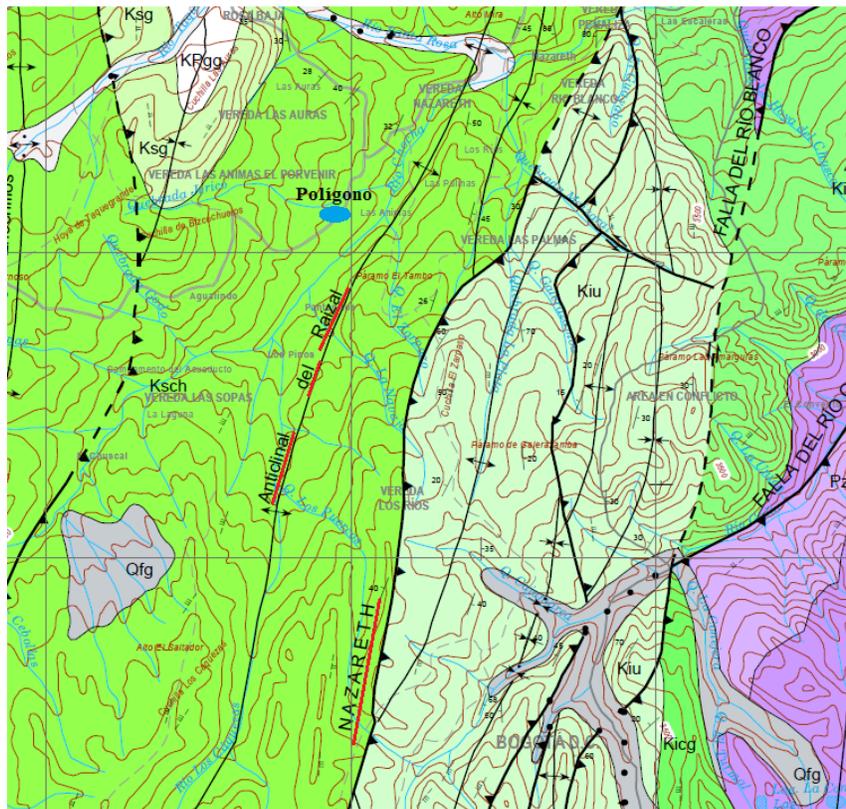


Figura 23. Geología estructural Animas, modificado de la plancha 265 Ingeominas,1999.

6.3 GEOLOGÍA LOCAL

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

Los materiales presentes se clasificaron en unidades de Suelo y unidades de Roca. El material clasificado como suelo se dividió según su origen en suelo transportado glaciario. La unidad de roca, de acuerdo con sus características litológicas y de resistencia, se clasificó en roca de resistencia blanda (Rb). La unidad de roca no se registró en el subsuelo en la perforación realizada, la información regional indica que se encuentra infrayaciendo a la unidad de suelo presente en el polígono.

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

6.3.1 Suelo transportado Glaciar (Stg).

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

En superficie algunos sectores del polígono se observan bloques redondeados de arenisca, que en algunos casos están agrupados, condición característica de los depósitos glaciares, ver la siguiente figura.

El depósito fluvioglaciar ocupa toda el área del polígono, recubre en forma discordante a roca blanda derivada de la Formación Chipaque; al realizar las perforaciones no se logró determinar el espesor, sin embargo, se estima un espesor entre 12 y 15 m.



Figura 24. Fragmentos y bloques de arenisca dentro del suelo transportado glaciar.

6.3.2 Roca blanda (Rb).

Conformada por una secuencia de lodolitas carbonosas de color gris oscuro a negro estratificadas en capas de espesor medio a grueso con intercalaciones de areniscas de grano fino estratificadas en capas de espesor medio. En el polígono estudiado no aflora, pero sobre los cortes realizados para la construcción de la vía de acceso a unos 2 km, presenta un rumbo regional de N20 E y buza 25 NW. Son rocas de resistencia blanda y moderadamente fracturadas.

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

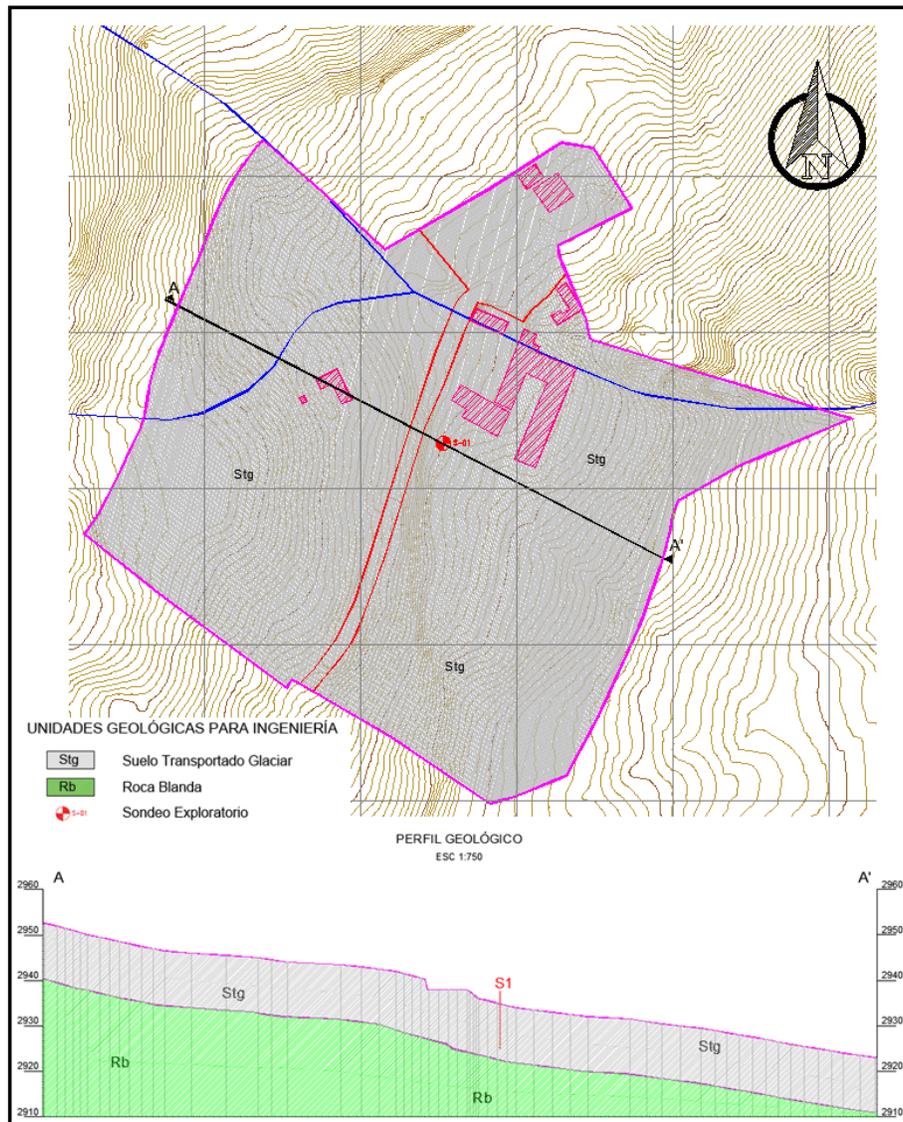


Figura 25. Unidades de geología Para Ingeniería del polígono Animas. Escala 1:5000

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

En la siguiente figura es posible conocer las características presentadas dentro del 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



Figura 26. Características presentes en el polígono de Animas Bajas

7 GEOMORFOLOGÍA

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

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

El elemento geomorfológico reconocido se describe a continuación:

7.1 ELEMENTOS DE ORIGEN GLACIAR

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

7.1.1 Ladera ondulada glaciar (Glo)

Ladera con relieve bajo, suavemente inclinada a inclinada, con pendientes entre 7° y 14°; moderadamente larga, de forma convexa, presenta un patrón de drenaje sub-dendrítico, forma parte de un amplio valle en forma de “U” generado por actividad glaciar de montaña; el valle glaciar fue modificado posteriormente por procesos denudativos.

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

En la siguiente figura, se presenta el mapa del elemento geomorfológico reconocido para el polígono Ánimas.

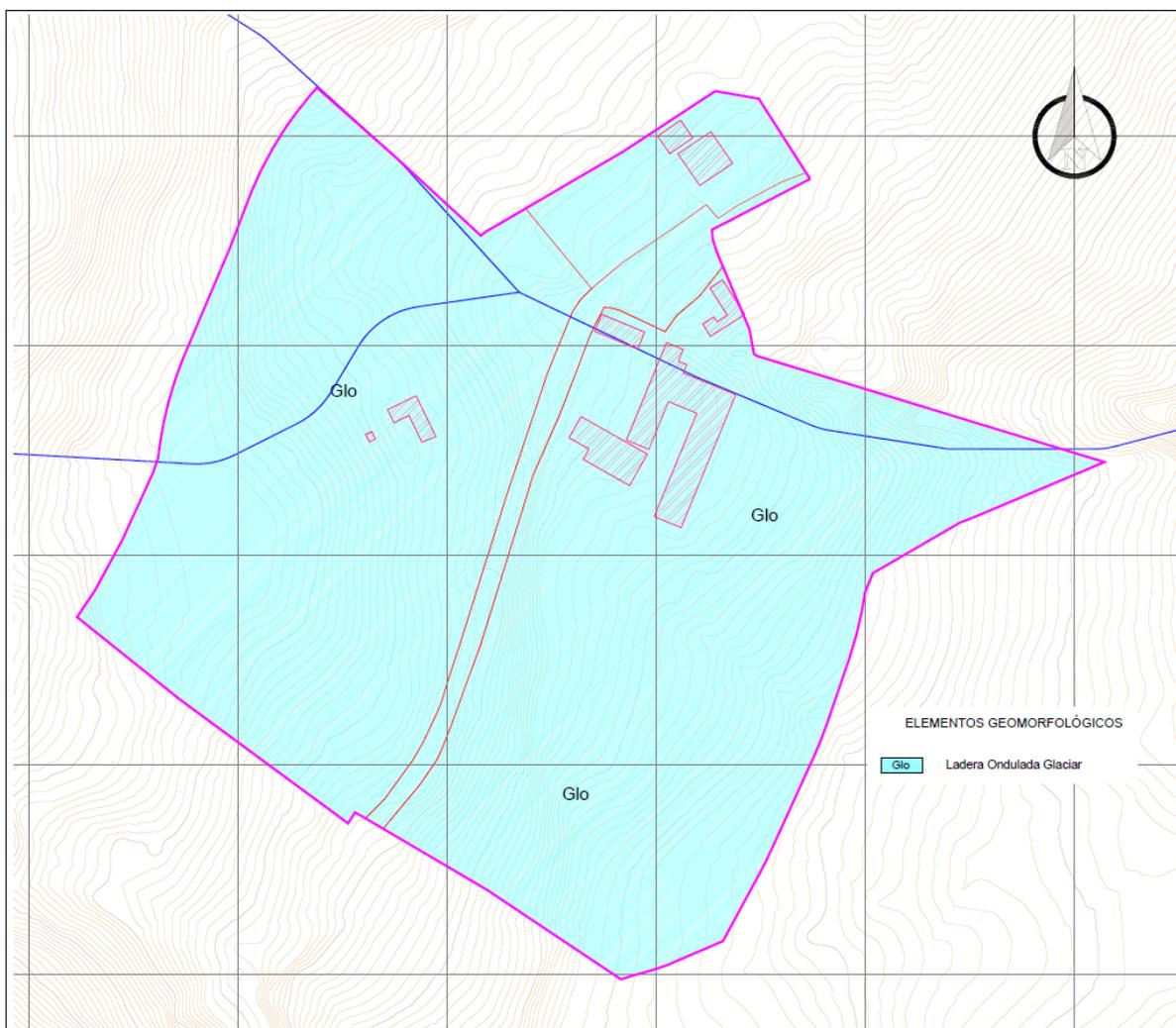


Figura 27. Geomorfología del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5000.

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 GEOMORFOLÓGICOS:

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

Tabla 10 Descripción pendientes Elementos geomorfológicos Animas

CUADRO DE ÁREAS-NODO ANIMAS			
ELEMENTO	PENDIENTE	ÁREA Ha	PORCENTAJE %
Glo	Inclinado	0.87	31.73
	Moderadamente Abrupto	1.28	46.84
	Abrupto	0.59	21.45
TOTAL		2.74	100

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

8 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Dentro del nodo se presenta erosión leve manifestada como erosión laminar en un sector desprovisto de vegetación, la poca área que presentan estos procesos hace que no sea cartografiable en la escala de estudio, por lo que se cartografía como un puno en el plano. A lo largo de las visitas de campo se evidencio dentro del polígono el cruce de las quebradas afluentes al río Chochal, donde no se observan problemas de socavación y procesos morfodinámicos. No se localizan trazas de fallas activas e inactivas.

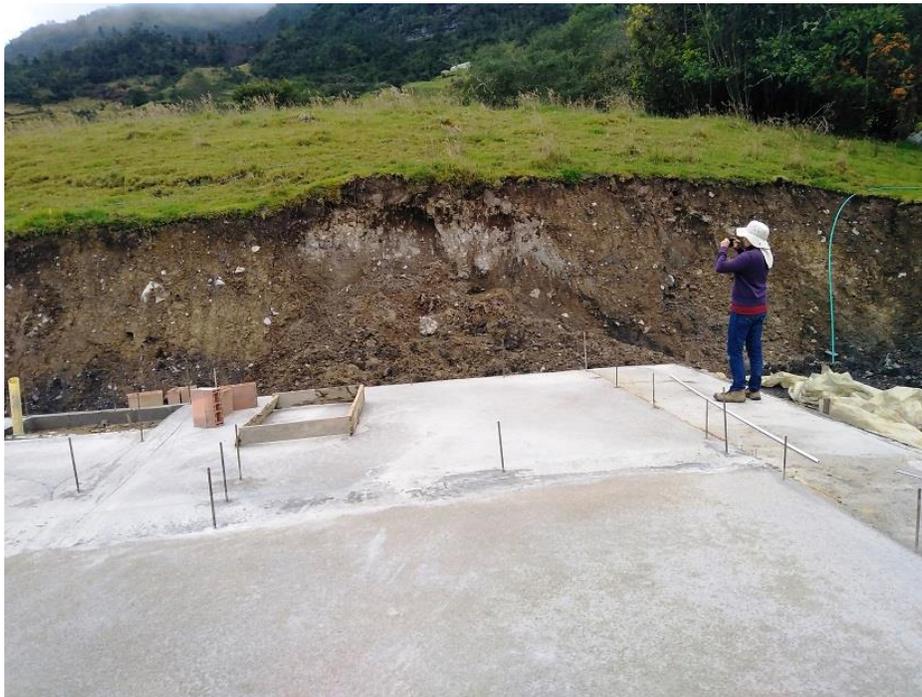


Figura 28. Erosión en surcos en un talud de corte realizado en ladera.

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

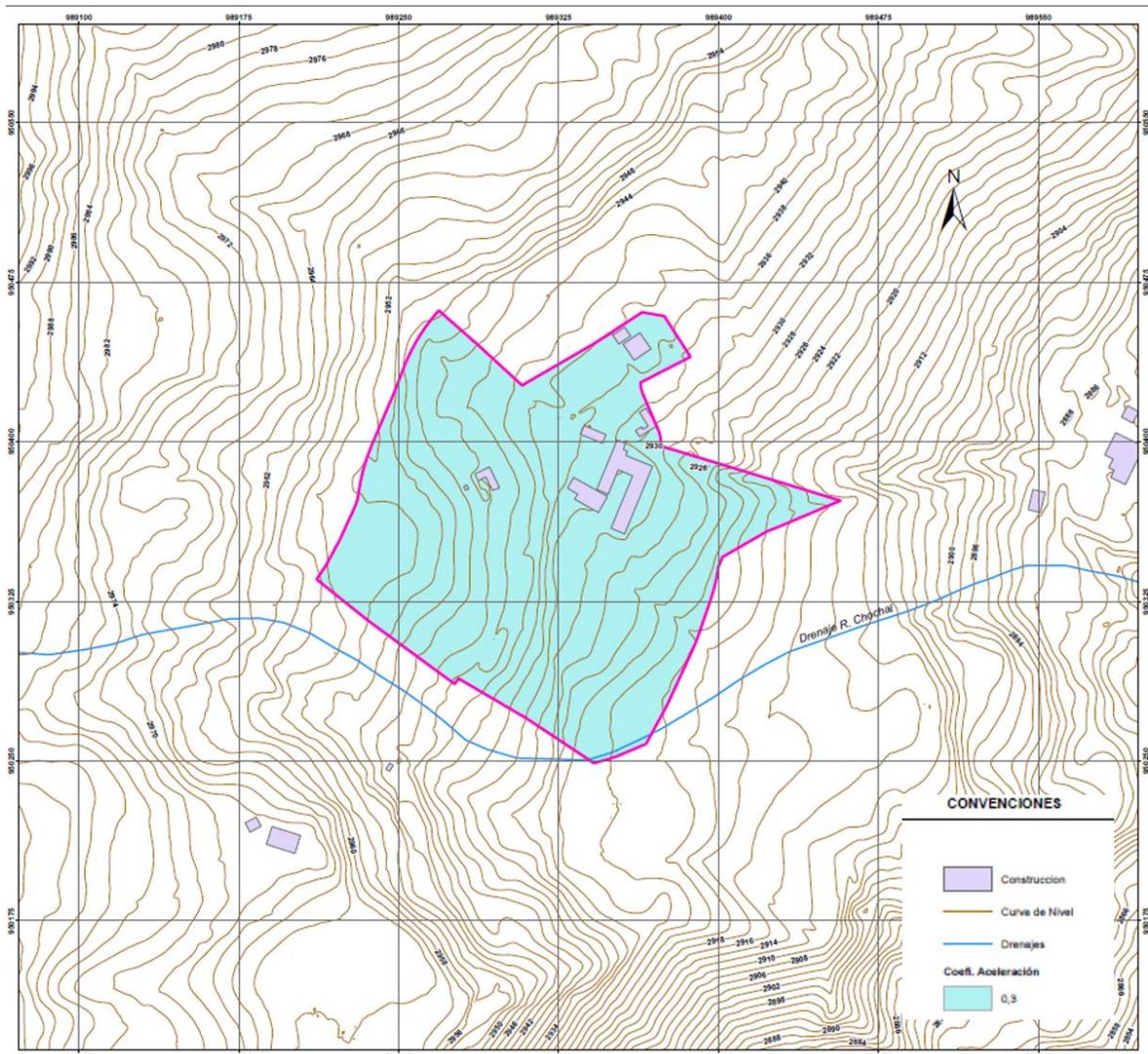


Figura 29. Sismología del polígono Animas. Escala Base cartográfica 1:5.000, escala de presentación de plano 1:1.000

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

10 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

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 restituir¹ la Cobertura de la Tierra, junto con la ortofoto. No

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

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

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

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

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

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

Tabla 11 Coberturas de la tierra nodo Animas

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Animas	112	Tejido urbano Discontinuo	0,19
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,12
	1321	Otros Sitios de Disposición de residuos a cielo abierto	0,02
	1422	Áreas deportivas	0,13
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,24
	231	Pastos limpios	1,96
	232	Pastos arbolados	0,08

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.

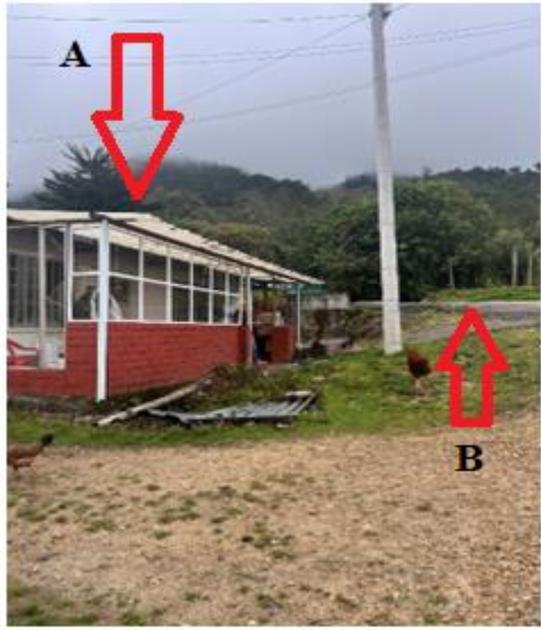
- Red Vial, Ferroviarias y Terrenos Asociados (1.2.2.1): Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexa y las instalaciones asociadas tales como estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes.
- Otros Sitios de Disposición de residuos a cielo abierto (1.3.2.1): Son espacios en los que se depositan restos de construcción, residuos urbanos, desechos industriales y material estéril de minas.
- Áreas deportivas (1.4.2.2): Son espacios ocupados por zona deportiva, en este caso cancha de microfútbol.
- 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.

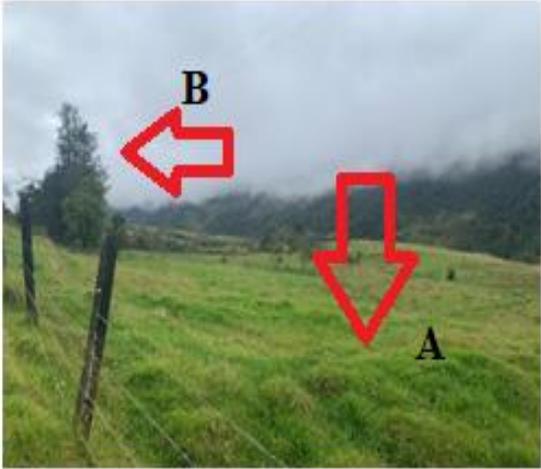
Las coberturas de la tierra para el proyecto, se clasificaron de acuerdo a la metodología CORINE Land cover adaptada para Colombia, con esta clasificación se obtuvieron coberturas diferentes las cuales se presentan a continuación.

En este nodo, se evidencia alta presencia de coberturas de pastos limpios (231), los cuales ocupan 1,96 ha correspondiente a 71,3% del total del área, el restante está ocupado por otros cultivos arbóreos, viviendas rurales (tejido urbano discontinuo), la vía que atraviesa el nodo, la cancha de microfútbol y pastos con presencia de algunos árboles. La tabla anterior y la siguiente figura, permiten identificar las coberturas clasificadas para el nodo de estudio.



Figura 30. Coberturas Nodo Ánimas

	
<p>Fotografía 2. Permite evidenciar la casa que es clasificada como vivienda rural dispersa (A) y la vía que atraviesa el polígono (B).</p>	<p>Fotografía 3. Adelante se ven pastos limpios (A) y al fondo pastos arbolados (B).</p>

	
<p>Fotografía 4. Área deportiva</p>	<p>Fotografía 5. Adelante se ven pastos limpios, al fondo hacia la izquierda se ven los árboles clasificados como otros cultivos permanentes.</p>

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 y de infraestructura. Así mismo estos usos se reclasifican en sub usos entre los cuales se tienen cultivos permanentes, disposición de residuos, vía, vivienda dispersa, cancha de microfútbol y pasturas manejadas.

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 la disposición de residuos, que se asocia a sitios de disposición de residuos sólidos o escombros sin ningún

tipo de manejo, 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 observa una zona deportiva sobre el área de estudio.

En lo referente al uso actual, el nodo Animas tiene una alta presencia de uso asociado a la actividad pecuaria con pasturas manejadas, tiene una baja presencia de cultivos permanentes, también se encuentra un área recreacional, ver tabla anterior, en el sector norte se identifica una zona con disposición de residuos a cielo abierto y una vivienda rural típica de la región, ver figura presentada a continuación.

Tabla 12. Uso del suelo Nodo Animas

Uso Actual	Tipo de Uso	Área (ha)
Agrícola	Cultivos permanentes	0,24
Infraestructura	Disposición de residuos	0,02
	Vía	0,12
	Vivienda dispersa	0,19
	Cancha de microfútbol	0,13
Pecuario	Pasturas manejadas	2,04

Fuente: Geodinámica, 2023

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

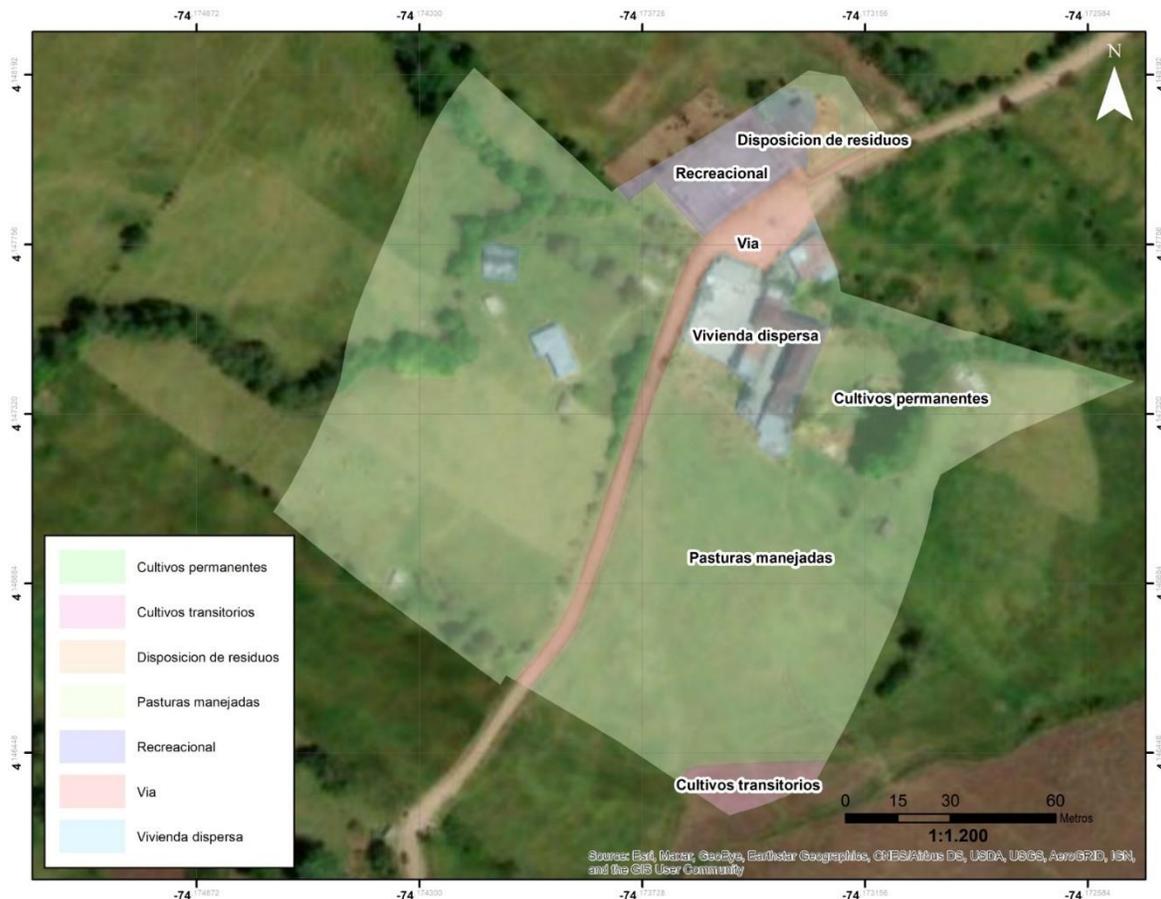


Figura 31. Tipos de Uso del suelo nodo Animas

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-Animas (PLANOS ANIMAS)

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 13. Estaciones empleadas Nodo 5 – Animas

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

Fuente: Elaboración Propia

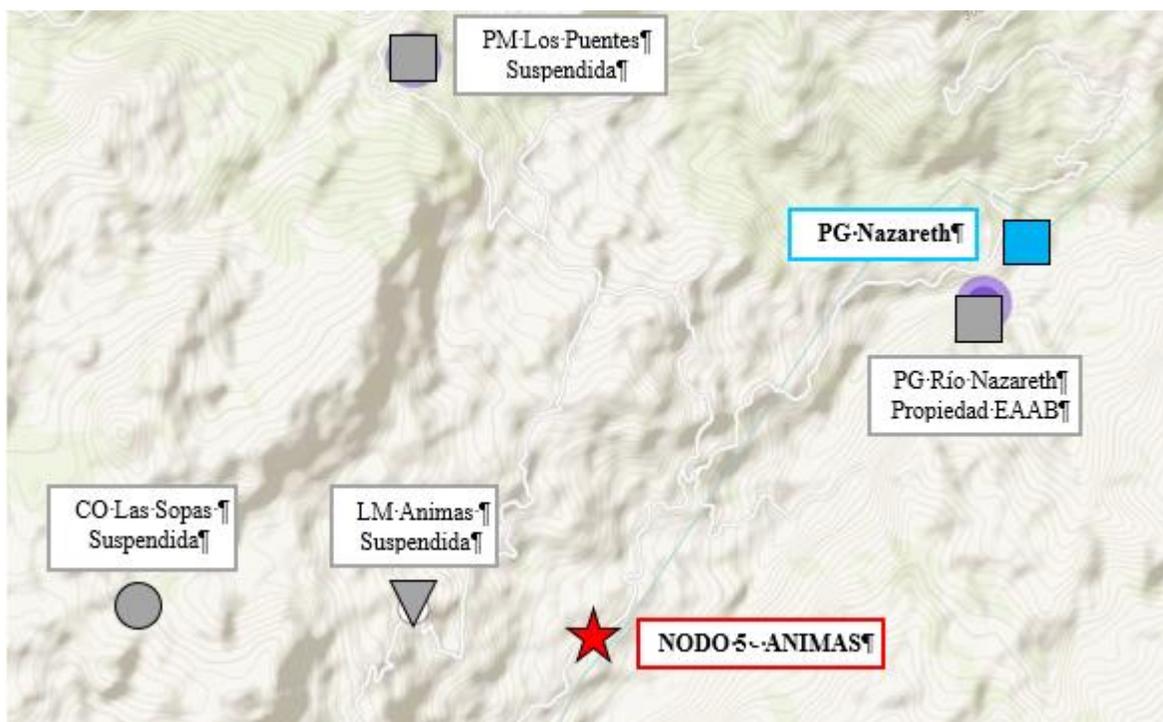


Figura 32. Localización Estaciones Nodo 5 - Animas

Fuente: Elaboración Propia a partir del IDEAM.

Para el estudio hidrológico de este proyecto, se identificaron las estaciones con registros extensos y confiables que fueran representativos del comportamiento de las precipitaciones en el sector objeto de estudio; de igual manera, la elección de las estaciones dependió de su cercanía al proyecto, de forma que permitiera caracterizar adecuadamente la región. Para realizar el análisis de las principales variables de precipitación se empleó la estación PG

Nazareth. En la anterior figura Localización Estaciones empleadas, se presenta la ubicación del sitio objeto del presente estudio, la red de estaciones en el sector y de la estación empleada, señalada en color azul, la estación presenta una distancia en línea recta de 17.3 km.

11.2 INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA

Para el proyecto objeto de estudio se cuenta con cartografía oficial del IGAC, disponible en escala 1:25.000 para todo el predio, que corresponde a la plancha 265-II-B y 265-II-D. Con esta cartografía se cubre todo el Polígono del Nodo 5 - Animas y los cauces aferentes a este polígono.

11.3 ANÁLISIS PLUVIOMÉTRICO

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

11.4 PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES.

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

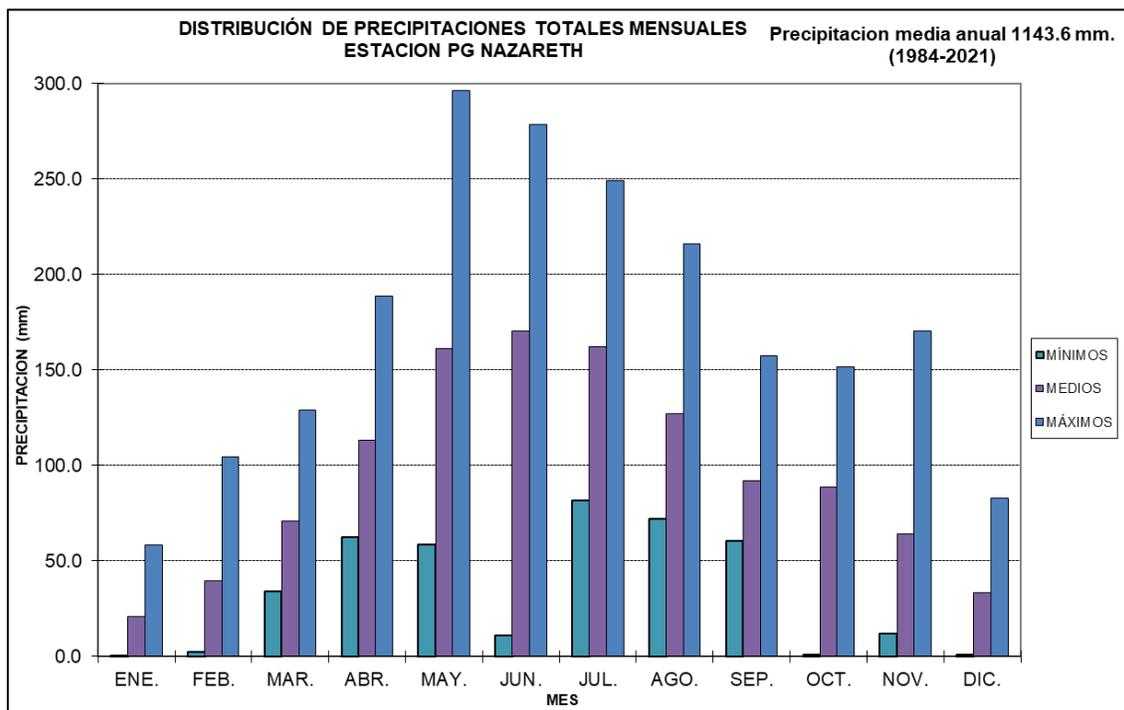


Figura 33. Distribución Mensual de Precipitación Estación PG Nazareth
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 14. Distribución temporal de la precipitación media mensual – Estación PG Nazareth.

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

Fuente: Elaboración Propia.

11.5 NÚMERO DE DÍAS DE PRECIPITACIÓN

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

Tabla 15. Distribución temporal núm. de días precipitación mensual – Estación PG Nazareth.

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

Fuente: Elaboración Propia.

11.6 PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS.

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

Tabla 16. Lluvias Máxima en 24 horas - Estación PG Nazareth.

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
59.00	1984
39.40	1985
30.00	1986
46.20	1987
28.00	1988
29.00	1989
118.90	1990
27.30	1991
32.40	1992
35.90	1993
32.40	1994
29.40	1995
31.00	1996
37.80	1997
42.50	1998
33.60	1999
30.00	2000
32.70	2001
48.00	2002
27.20	2003
60.00	2004
49.10	2005
50.00	2006
38.20	2007
33.00	2008
27.50	2009
38.30	2010
36.60	2011
6.20	2012
44.50	2013
38.00	2014

Lluvia Max 24 h (mm)	Año
28.70	2015
39.00	2016
34.00	2017
33.00	2018
42.50	2019
36.00	2020
40.40	2021
39.45	Promedio

Fuente: Elaboración Propia.

11.7 ESTIMACIÓN DE CURVAS IDF.

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

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

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

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

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

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

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

En donde:

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

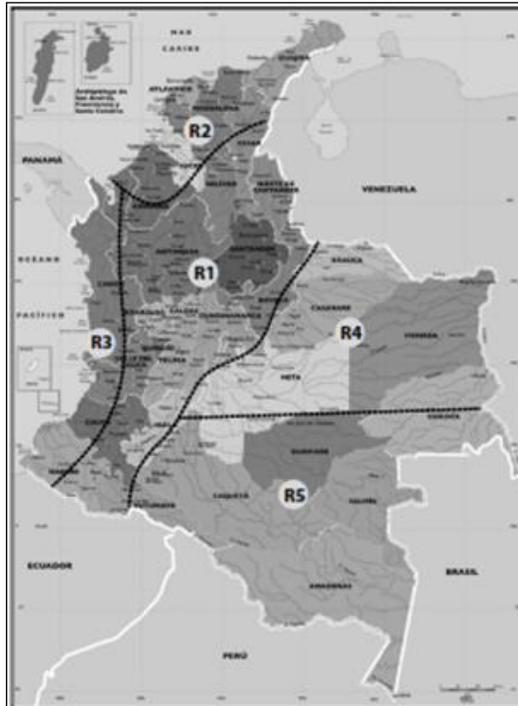
Para Colombia, se han establecido diferentes valores de a, b, c, d, e y f (Parámetros de regresión) según la región del país, los cuales se presenta en la siguiente Tabla y siguiente figura.

Tabla 17. 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 34. Regiones en Colombia – Parámetros de Regresión



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

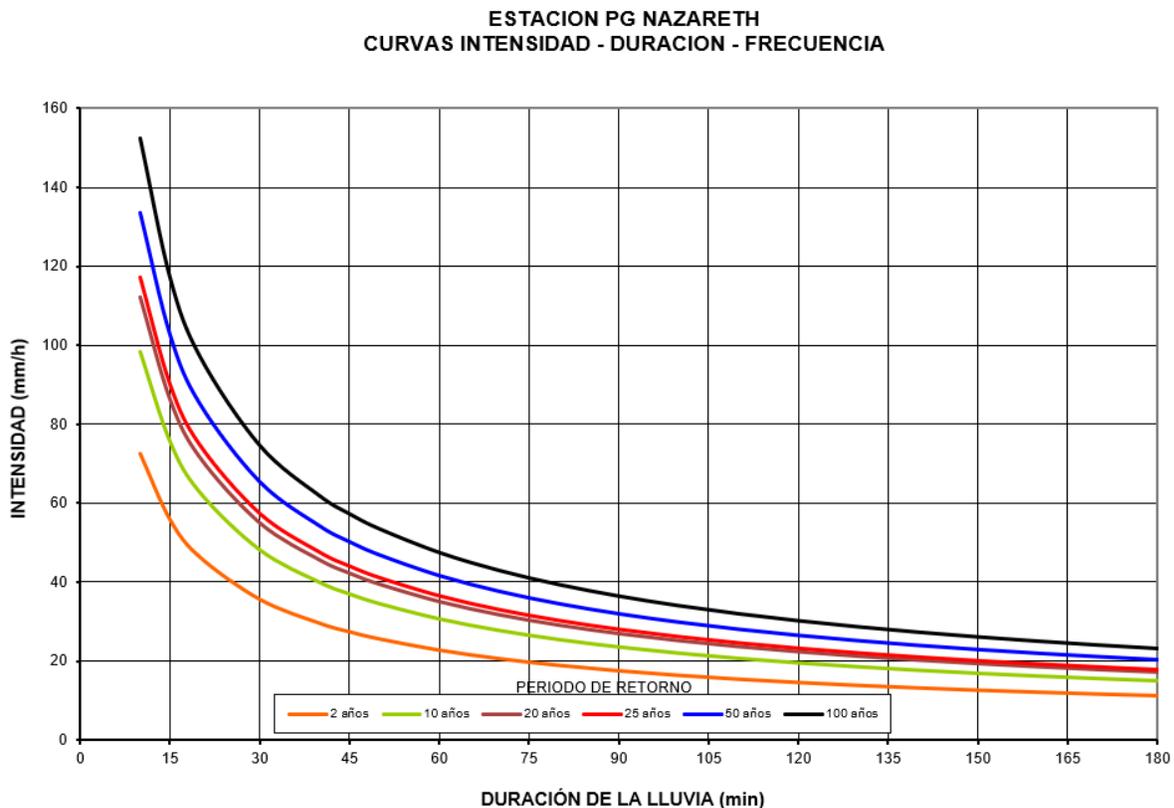
La zona de proyecto se encuentra en la Región 1 (Andina), cuyos parámetros a, b, c, d, e y f son iguales respectivamente a: 1.61, 0.19, 0.65, 0.75, -0.15 y 0.08.

Aplicando estos valores, la ecuación anterior queda:

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

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

Figura 35. Curvas IDF Estación PG Nazareth.



Fuente: Elaboración Propia.

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

Tabla 18. Relaciones IDF – Estación PG Nazareth

TIEMPO (min)	PERIODO DE RETORNO (Años)						
	2	5	10	20	25	50	100
10	72.5	86.3	98.4	112.3	117.2	133.6	152.5
15	55.7	66.3	75.6	86.3	90.0	102.7	117.1
20	46.2	55.0	62.7	71.6	74.7	85.2	97.2
30	35.5	42.2	48.2	55.0	57.4	65.4	74.6
40	29.4	35.0	40.0	45.6	47.6	54.3	61.9
45	27.3	32.5	37.0	42.2	44.1	50.3	57.4
50	25.5	30.3	34.6	39.4	41.2	46.9	53.6
60	22.6	26.9	30.7	35.0	36.6	41.7	47.6
70	20.5	24.4	27.8	31.7	33.1	37.7	43.0
80	18.8	22.3	25.5	29.1	30.3	34.6	39.5
90	17.4	20.7	23.6	26.9	28.1	32.0	36.5
100	16.2	19.3	22.0	25.1	26.2	29.9	34.1
110	15.3	18.2	20.7	23.6	24.7	28.1	32.1
120	14.4	17.2	19.6	22.3	23.3	26.6	30.3
130	13.7	16.3	18.6	21.2	22.1	25.2	28.8
140	13.0	15.5	17.7	20.2	21.1	24.0	27.4
150	12.5	14.8	16.9	19.3	20.2	23.0	26.2
160	12.0	14.2	16.2	18.5	19.3	22.0	25.1
170	11.5	13.7	15.6	17.8	18.6	21.2	24.2
180	11.1	13.2	15.0	17.2	17.9	20.4	23.3
1440	2.9	3.4	3.9	4.4	4.6	5.3	6.0

Fuente: Elaboración Propia.

11.8 IDENTIFICACIÓN CUERPOS DE AGUA

El sector donde se encuentra ubicado el Nodo 5 - Animas corresponde a una zona en general en una altitud importante. En efecto, la cota del terreno sobre el nivel del mar varía entre los 2950msnm y 2900 msnm. El predio analizado se encuentra en un sector alrededor del cual, se identificaron importantes cuerpos de agua, como lo son la Quebrada El Zarpazo, también se identificó el Cauce de la Quebrada Jericó y sus quebradas afluentes que en el punto más cercano se encuentra a 220 m y el más importante que corresponde al Río Chochal y sus quebradas afluentes. Una quebrada afluente al Río Chochal cruza el polígono del Nodo 5 - Animas. En la siguiente figura se presenta la identificación de los principales drenajes naturales dentro y fuera del área del nodo 5:



Figura 36. Descripción Red de Drenaje Nodo 5 - Animas
Fuente: Elaboración Propia.

A nivel de detalle del Polígono del Nodo 5 - Animas, como se mencionó anteriormente, se identificó el cruce de las quebradas afluentes al Río Chochal. En el anexo Planos Animas, archivo *Drenajes_ Animas* se relaciona plano en el cual se puede visualizar los puntos específicos donde se presentan pasos de los cauces naturales de agua, para este nodo.

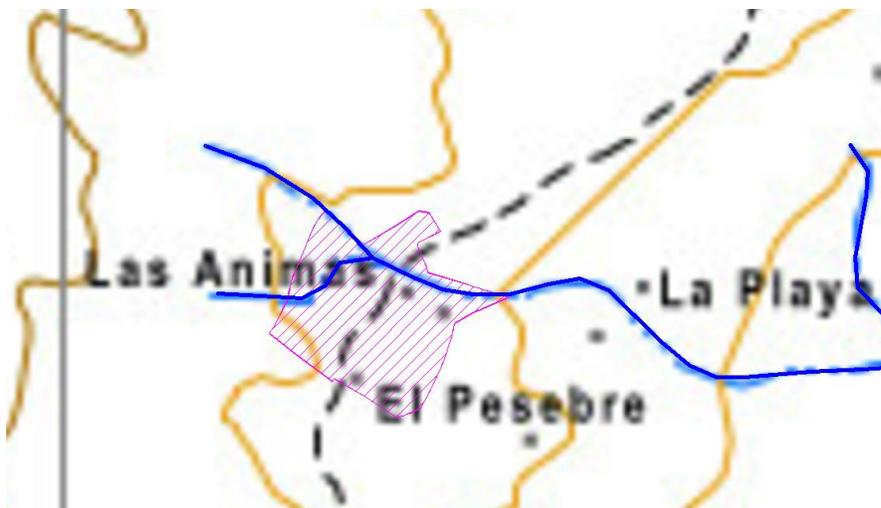


Figura 37. Cuerpos de Agua Nodo 5 - Animas
Fuente: Elaboración Propia.

11.9 OBRAS DE DRENAJE SUPERFICIAL Y SUB-SUPERFICIAL EXISTENTES:

En el sector donde se encuentra ubicado el Nodo 5 - Animas 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 en 24 de enero del 2023, se apreciaron dos alcantarillas ubicadas en las siguientes coordenadas:

- **Alcantarilla 1:**
N → 950408.902
E → 989330.348
- **Alcantarilla 2**
N → 950275.879
E → 989284.698

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.

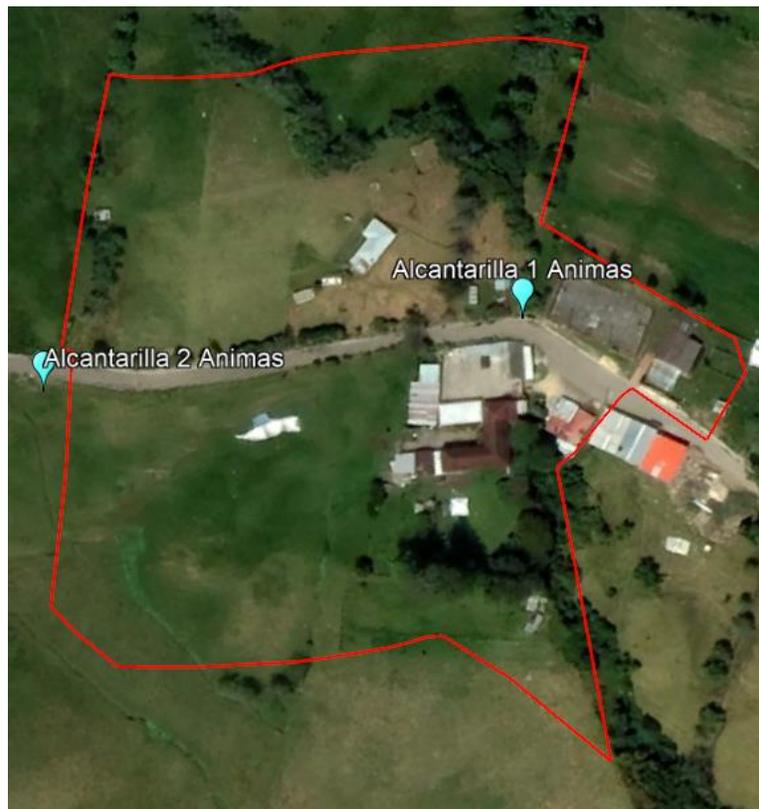


Figura 38. Alcantarillas existentes en el nodo las Animas

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

Esta alcantarilla cuenta con una tubería en concreto de 6.7 m de longitud y diámetro de 24”, En la siguiente tabla se muestran los elementos de equipamiento que esta posee al momento de realizar la visita de campo.

Tabla 19. Elementos de equipamiento de a alcantarilla 1

	ENTRADA		SALIDA	
	MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)
Altura (m)		2	Altura (m)	0.2
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	0.25
	Altura (m)	0.8	Altura (m)	0.35
MURO DE ACOMPAÑAMIENTO	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)	1.2
	Espesor (m)	0.2	Espesor (m)	0.2

Las aguas de la Quebrada Afluente al Río Chochal y las aguas de escorrentía superficial y subsuperficiales pasan mediante la tubería, donde el cuerpo de agua sigue su transcurso, en el paso de este drenaje se encuentra construida una vivienda. A continuación, se presenta el registro fotográfico tomado para esta alcantarilla.

	
<p>Fotografía 6. Se evidencia muro de acompañamiento, muro cabezal y guardarruedas</p>	<p>Fotografía 7. Se tienen dos tuberías en concreto con un diámetro de 24"</p>

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

Esta obra corresponde a una Alcantarilla de diámetro ϕ 24" (0.60m) y una longitud de 4.5m, de acuerdo al inventario la obra presenta un estado aceptable, permite la descarga de cunetas y el cruce de escorrentía superficial, adicionalmente cuenta con los elementos mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 20. Elementos de equipamiento de a alcantarilla 2

	ENTRADA		SALIDA	
	MURO CABEZAL	Longitud (m)	1.2	Longitud (m)
	Altura (m)	1.8	Altura (m)	1.8
GUARDARUEDAS	Longitud (m)	-	Longitud (m)	1.4
	Espesor (m)	-	Espesor (m)	0.25
	Altura (m)	-	Altura (m)	0.35
MURO DE ACOMPAÑAMINETO	Longitud (m)	0.7	Longitud (m)	-
	Espesor (m)	0.25	Espesor (m)	-

Fuente: Geodinámica

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

	
Fotografía 8. Empozamiento de agua por alcantarilla obstruida.	Fotografía 9. Se tiene una tubería en concreto con un diámetro de 24"



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

ELABORACIÓN DE ESTUDIOS BÁSICOS DE
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN
MASA, A ESCALA 1:5.000 ACORDE CON LOS
REQUISITOS DEL DECRETO 1077 DE 2015, PARA 8
NODOS DE EQUIPAMIENTOS RURALES DE LA
LOCALIDAD DE SUMAPAZ
CONTRATO No 278 DE 2022



Fotografía 10. No se presenta descole, ni aletas, ni solado



Fotografía 11. No se cuenta con un descole apropiado, por lo cual las aguas recogidas por esta alcantarilla se vierten al terreno natural

Se encuentra una vivienda construida a un costado de una quebrada, este cuerpo de agua no se encuentra canalizada, solo cuenta con una alcantarilla que, ubicada a un costado de la casa, donde se evidencia acumulación de sedimentos. En la siguiente fotografía se puede observar con mejor detalle lo anteriormente descrito.



Fotografía 12. Presencia de la quebrada en la zona, nodo Animas
Fuente: Geodinámica

11.10 CAUDALES DE DISEÑO

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

Tabla 21. Período de retorno según tipo de obra.

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

Fuente: Manual de drenaje de carreteras de INVIAS.

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

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

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

Dónde:

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

- Áreas de Drenaje:

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



Figura 39. 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 km² 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 km².

- 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 22. Coberturas de la tierra nodo Animas

NODO	CÓDIGO	NOMENCLATURA	ÁREA TOTAL (ha)
Animas	112	Tejido urbano Discontinuo	0,19
	1221	Red Vial y Territorios asociados	0,12
	1321	Otros Sitios de Disposición de residuos a cielo abierto	0,02
	1422	Áreas deportivas	0,13
	2231	Otros Cultivos Permanentes arbóreos	0,24
	231	Pastos limpios	1,96
	232	Pastos arbolados	0,08

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 40. Coeficientes de Escorrentía – V. T. Chow

Característica de la superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Áreas desarrolladas							
Asfáltico	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concreto/techo	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
<i>Zonas verdes (jardines, parques, etc.)</i>							
<i>Condición pobre (cubierta de pasto menor del 50% del área)</i>							
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 (cubierta de pasto del 50 al 75% del área)</i>							
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 (cubierta de pasto mayor del 75% del área)</i>							
Plano, 0-2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Promedio, 2-7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Pendiente, superior a 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Áreas no desarrolladas							
<i>Área de cultivos</i>							
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
<i>Pastizales</i>							
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>Bosques</i>							
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_c: Tiempo de concentración en minutos, está definido como el tiempo que gasta una gota de agua para llegar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el sitio donde se quiere calcular el caudal
- ✓ L: Longitud del cauce desde el sitio más alejado de la cuenca hasta el sitio de interés (km)
- ✓ S: Pendiente ponderada correspondiente a la cuenca de estudio (m/m).

También se aplicó la fórmula de Bransby-Williams² que corresponde a la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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

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

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

Dónde:

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

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

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

Dónde:

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

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

² Pilgrim y Cordery, 1993, p.9-16

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

Dónde:

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

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 23. Evaluación de caudales

No	Área (Km ²)	Long. (Km.)	S (m/m)	T _c Bransby (min)	Coeficiente de escorrentía			I 10 años (mm/h)	I 25 años (mm/h)	I 50 años (mm/h)	Método Racional (Q m ³ /s)		
					10 años	25 años	50 años				Tr=10 años	Tr=25 años	Tr=50 años
1	0.110	0.583	0.08576	17.3	0.44	0.48	0.51	68.8	81.2	92.7	0.93	1.19	1.44
2	0.010	0.100	0.10000	15.0	0.44	0.48	0.51	75.6	90.0	102.7	0.09	0.12	0.15

Fuente: Elaboración Propia.

11.11 EVALUACIÓN HIDRÁULICA

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

- Las alcantarillas con pendiente supercrítica y flujo de aproximación de carácter subcrítico ($S_o > S_c$) 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:

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

Dónde:

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

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

Tabla 24. Evaluación Obras de Drenaje

No.	Área (Km ²)	Caudal Máximo Instantáneo (m ³ /s)	OBRA EXISTENTE					OBSERVACIONES	
			Cant	b (m)	f (m)	h (m)	Capacidad (m ³ /s)		Longitud(m)
1	0.11	0.93	1		0.60		0.34	6.70	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente de diámetro ϕ 24" (0.60 m), presenta insuficiencia hidráulica y se recomienda reemplazo por Alcantarilla de diámetro ϕ 36" (0.90 m).

2	0.01	0.09	1	0.60	0.34	5.0	Obra de drenaje tipo Alcantarilla existente de diámetro ϕ 24" (0.60 m), se recomienda reemplazo por Alcantarilla de diámetro ϕ 36" (0.90 m).
---	------	------	---	------	------	-----	--

Fuente: Elaboración Propia.

11.12 EVALUACIÓN DEL COEFICIENTE DE INFILTRACIÓN

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

Tabla 25. 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"* ^a , 6a. Avenida, N. Y. $U = 5-2$	0.0001-0.0050
"Hígado de Toro", Brooklyn, $U = 5$	0.00001-0.0001
Arcilla	Menor de 0.0000001

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

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

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

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

Tabla 26. Resultados de pruebas de permeabilidad ⁴

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

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.

11.13 BALANCE HÍDRICO

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

$$P = E_s + ETR + I$$

Donde,

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

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

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

Tabla 27. Balance Hídrico – Estación CO Guaicaramo

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

Fuente: Elaboración Propia.

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

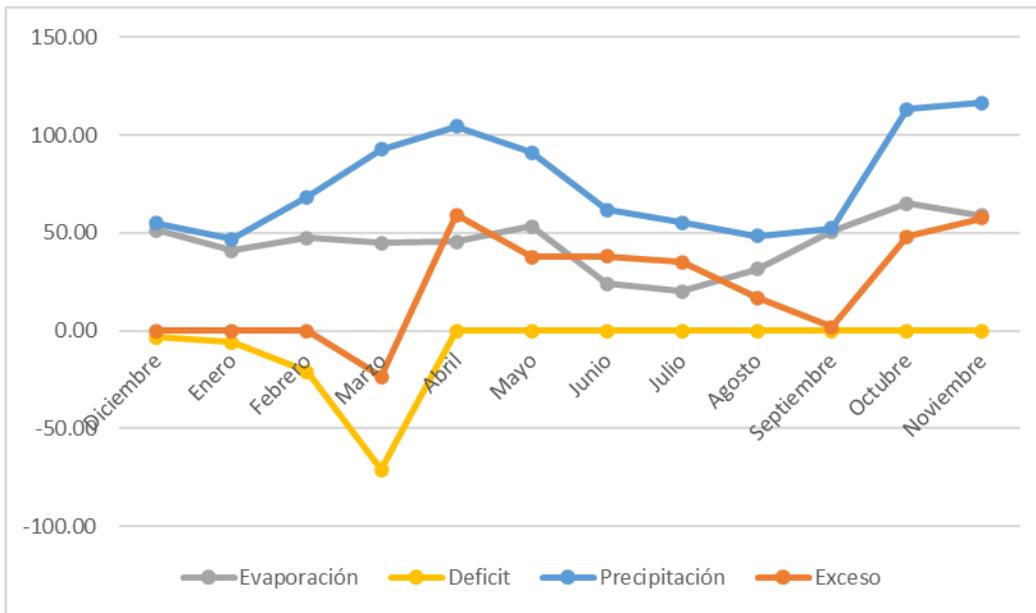


Figura 41. Distribución Mensual de Precipitación Estación AG Pascas
Fuente: Elaboración Propia.

12 INVESTIGACIÓN GEOTECNICA

12.1 PROGRAMA DE EXPLORACIÓN:

12.1.1 ANTECEDENTES

12.1.1.1 Estudios previos

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

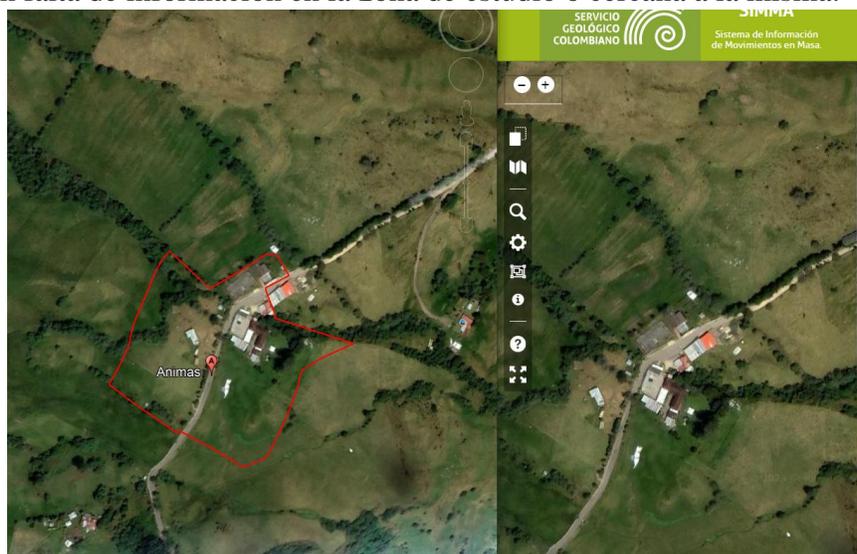


Figura 42. Consulta de Histórico de Eventos-Nodo Animas
Fuente: SIMMA

- **Diagnósticos técnicos**

Para el año 2019, la alcaldía local de Sumapaz realiza visita al sector las Animas porque en un predio rural se presenta riesgo por la actividad de la construcción. Se está a la espera de información complementaria sobre estos diagnósticos realizados por el IDIGER.

12.2 DIANOSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El día 24 de enero de 2023 se llevó a cabo la visita de reconocimiento inicial del área de estudio del Nodo 5 denominado las Animas, 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.

- Dentro del polígono, se encuentra una vivienda construida al lado de un cuerpo de agua (Quebrada). Ver fotografías 13 y 14.
- Se observa una vivienda en la parte inferior del polígono, adicional a esto se evidencia un corte sobre el terreno el cual no cuenta con ninguna estructura de contención o protección. Ver fotografía 15 y 16.
- Se observar que en la parte baja del nodo no se encuentran pendientes tan abruptas, pero si se considera la inclinación que presentan los árboles sobre el costado izquierdo e inferior. Ver fotografía 17.
- Las vías presentes en el polígono de estudio presentan desgaste y manejo y falta de mantenimiento en los drenajes. Ver fotografía 18 y 19.
- A lo largo de la vía se presentan alcantarillas de 24” las cuales no cuentan con el respectivo descole y mantenimiento, generando que las aguas recolectadas por estas se viertan al terreno. Ver imagen 20 y 21.

En general, se puede mencionar que el ancho promedio del polígono es de 198 m, y la longitud del mismo es de 219 m, para un área aproximada de 2,73 Ha. El terreno presenta una cobertura vegetal consistente en pastos y arbustos.



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

ELABORACIÓN DE ESTUDIOS BÁSICOS DE
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN
MASA, A ESCALA 1:5.000 ACORDE CON LOS
REQUISITOS DEL DECRETO 1077 DE 2015, PARA 8
NODOS DE EQUIPAMIENTOS RURALES DE LA
LOCALIDAD DE SUMAPAZ
CONTRATO No 278 DE 2022



Fotografía 13. Modificación del cauce de la quebrada



Fotografía 14. Vivienda construida sobre el cauce de la quebrada.



Fotografía 15. Vivienda ubicada en parte inferior del polígono las animas



Fotografía 16. Corte en el terreno, el cual no cuenta con protección ni estructura de contención



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

ELABORACIÓN DE ESTUDIOS BÁSICOS DE
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN
MASA, A ESCALA 1:5.000 ACORDE CON LOS
REQUISITOS DEL DECRETO 1077 DE 2015, PARA 8
NODOS DE EQUIPAMIENTOS RURALES DE LA
LOCALIDAD DE SUMAPAZ
CONTRATO No 278 DE 2022



Fotografía 17. Presencia de pendientes moderadas.



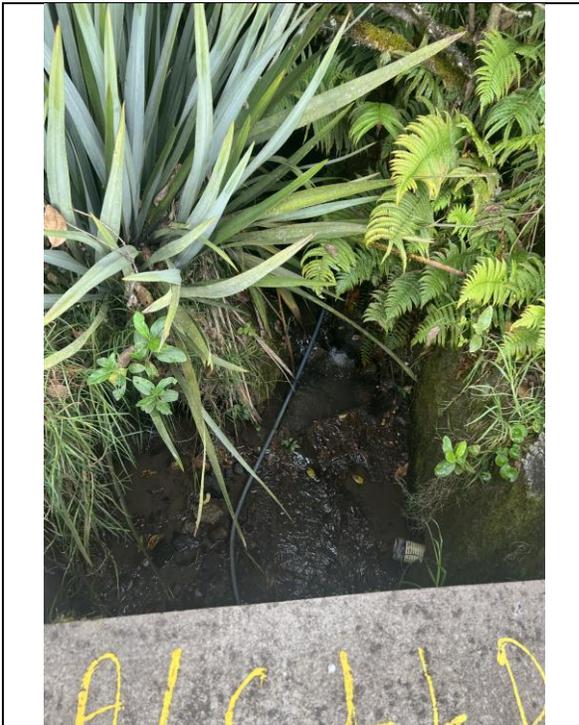
Fotografía 18. Desgaste vial y falta de mantenimiento



Fotografía 19. Falta de mantenimiento en las obras hidráulicas, generando encharcamiento en la vía



Fotografía 20. Alcantarilla de 24"



Fotografía 21. Inexistencia de descole lo que provoca vertimiento de aguas al terreno

12.3 IMPLEMENTACIÓN DE LA EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO:

Para la caracterización geotécnica del área de estudio se ejecutó un (1) sondeo mecánico de 10.0 m de profundidad y de dos (2) apiques de 2.0 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 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 28. Exploración del subsuelo

ANIMAS			
Sondeo/Apique	Norte (m)	Este (m)	Prof. (m)
S-1	950364.449	989326.456	10
AP-1	950435.994	989331.684	2
AP-2	950277.752	989343.767	2



Figura 43. 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:

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

1. SONDEO 1

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

- **0.00 m – 0.40 m** → Capa vegetal limo arenoso de grano fino orgánico, raíces, puntos de mica, raíces finas y medias, gravas finas, humedad alta, color negro.
- **0.40 m – 0.90 m** → Limo arcilloso con arena fina intercalada con gravas finas y medias de areniscas, raíces, humedad alta, consistencia rígida, la muestra presenta un color café claro con manchas de color habano. Muestra tipo SPT (N=14 golpes)
- **0.90 m – 2.70 m** → Arcilla limosa plástica con arena fina intercalada con gravas finas y medias de arenisca, trazas de ocre, humedad alta, consistencia dura, color de la muestra habano con manchas de color café claro. Muestra 2 tipo Shelby, muestra 3 tipo SPT (48/1” golpes) rechazo.
- **2.70 m – 7.80 m** → Conglomerado de arenisca, gravas finas y medias en matriz arcillo arenosa de grano fino, con trazas de oxido, humedad alta, la muestra presenta color negro con manchas de color gris. Muestra 5 cambio de broca NQ, muestra 6 NQ, muestra 7 NQ.
- **7.80 m – 8.60 m** → Arcilla limo arenosa de grano fino, gravas finas de lutita, puntos ocrea, con arena fina intercalada, humedad alta, consistencia media, color gris. Muestra 8 tipo Shelby.
- **8.60 m – 10.00 m** → Arcilla limo arenosa de grano fino, gravas finas de lutita, puntos ocrea, con arena fina intercalada, humedad alta, consistencia media, color gris. Muestra 9 NQ.

Para cada una de las perforaciones y apiques realizados, es posible encontrar los registros de exploración y los registros fotográficos en el ANEXO 6 – GEOTECNIA, registros que permiten destacar:



Figura 44. Sondeo 1.

1. APIQUE 1:

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



Figura 45. Muestra apique #1

2. APIQUE 2:

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



Figura 46. Muestra 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/pie) que permiten correlacionar con la consistencia de los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares. De esta manera se obtuvo la variación en profundidad del valor N en cada sondeo.

Para el caso del S-1 se observa que el rechazo se obtuvo a los 2.70 m con la presencia de un conglomerado de arenisca. Se encontraron valores de (N70= 124) y (N60=145) los cuales se correlacionan con una consistencia dura.

Para el caso de la capa de suelo arcillo limo arenoso entre 8.0 m a 8.50 m de profundidad, se obtuvieron valores de (N70= 124) y (N60=145) los cuales se correlacionan con una consistencia dura.

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

Los resultados obtenidos de la correlación de N_{70} con la resistencia al corte no drenado⁵ 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.

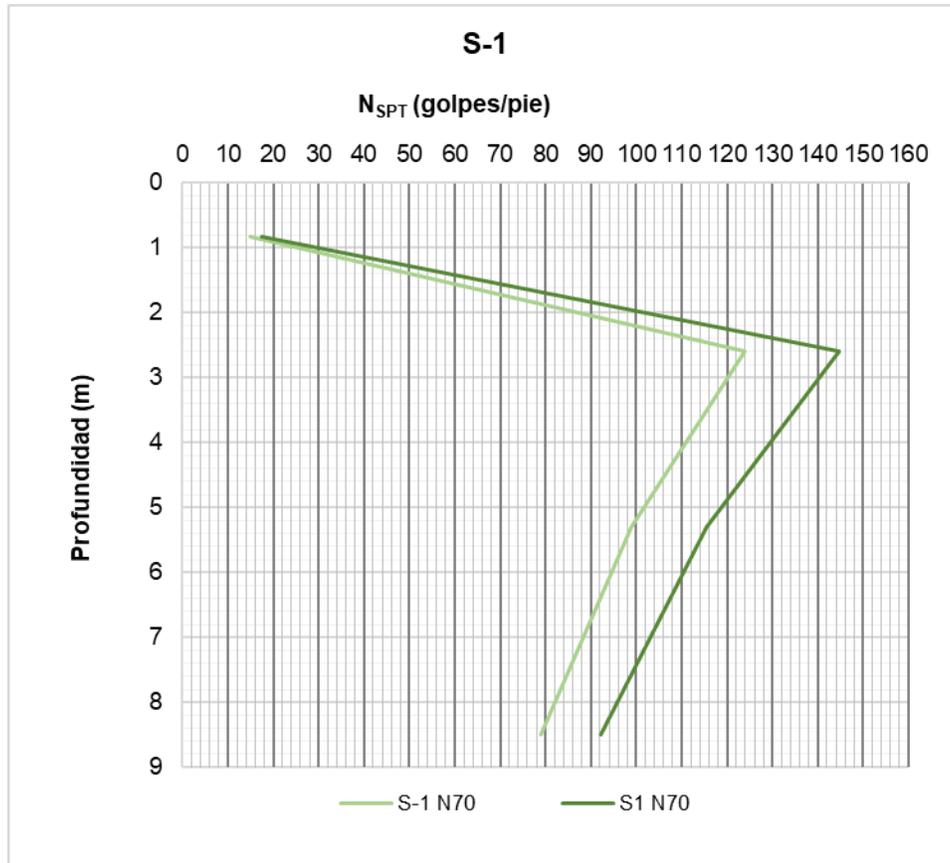


Figura 47. Variación de la resistencia a la penetración N en golpes/pie del ensayo de SPT
Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

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

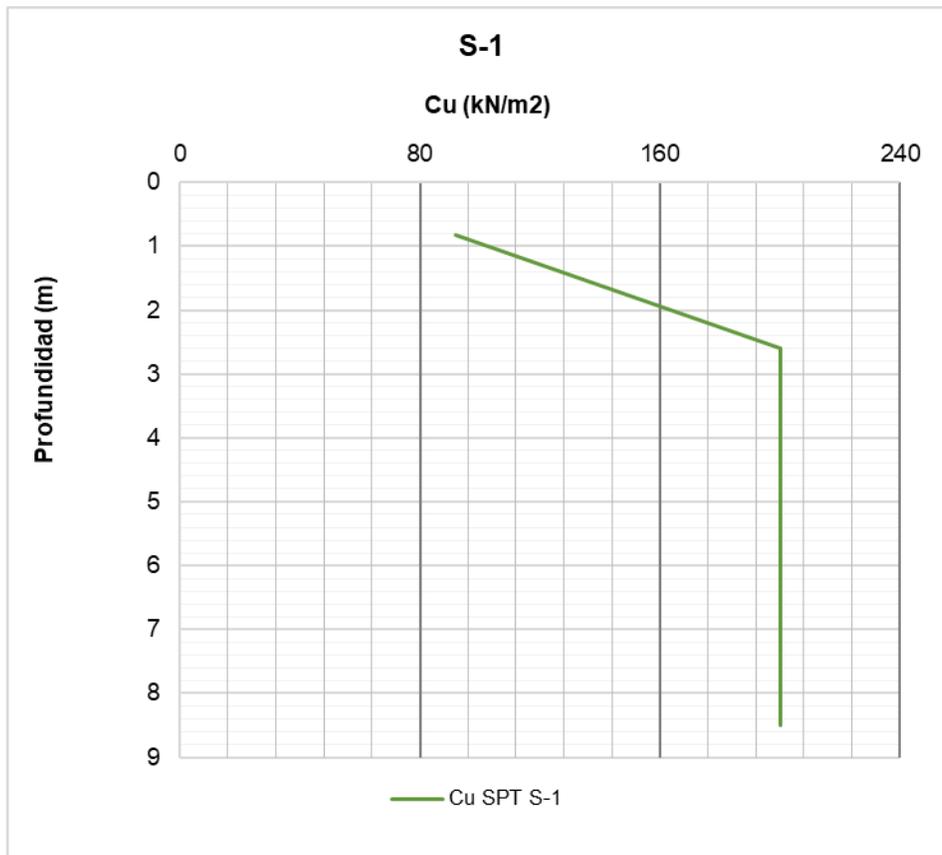


Figura 48. Variación de resistencia al corte no drenado correlacionada a partir de valores de N del ensayo de SPT

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^6 y con la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) se estimaron los parámetros ϕ^{71} de manera aproximada por tipo de material. Este método consiste en graficar puntos (σ_v', τ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicas efectivos buscados. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y , el esfuerzo cortante a la profundidad

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

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

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 ϕ y c' S-1

Profundidad media	ϕ	c'
0.8	30.4	25
2.6	27.2	123
5.3	26.2	200
8.5	20.0	200

Fuente Geodinámica (2023)

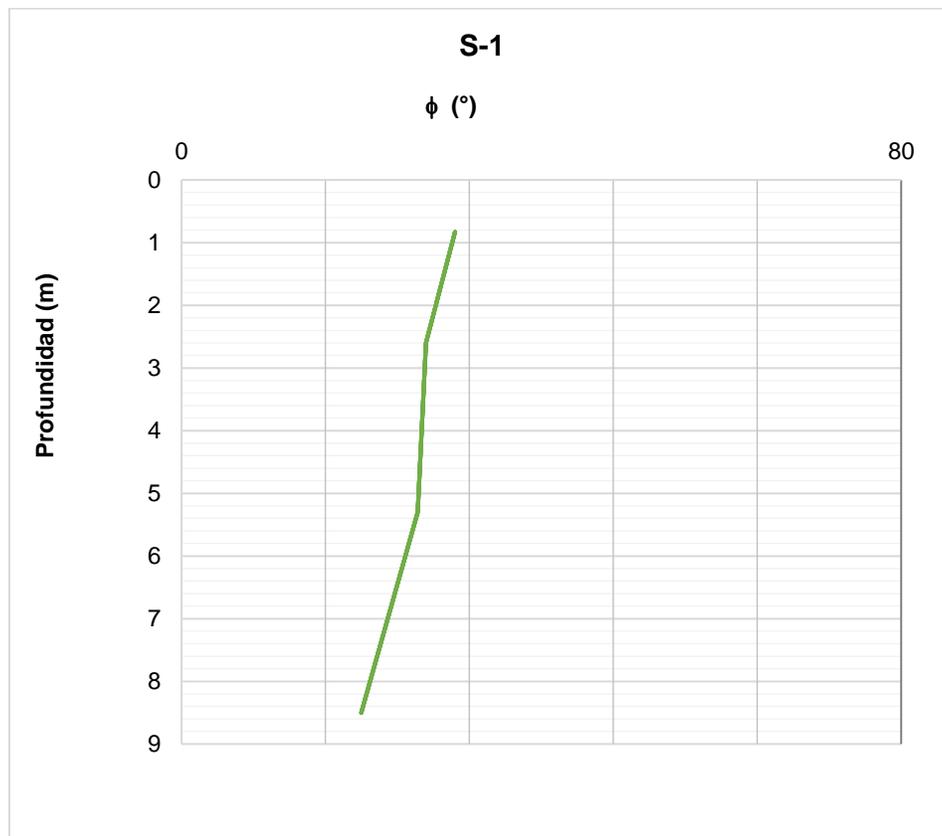


Figura 49. Resultados Angulo de Fricción Vs profundidad S-1

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

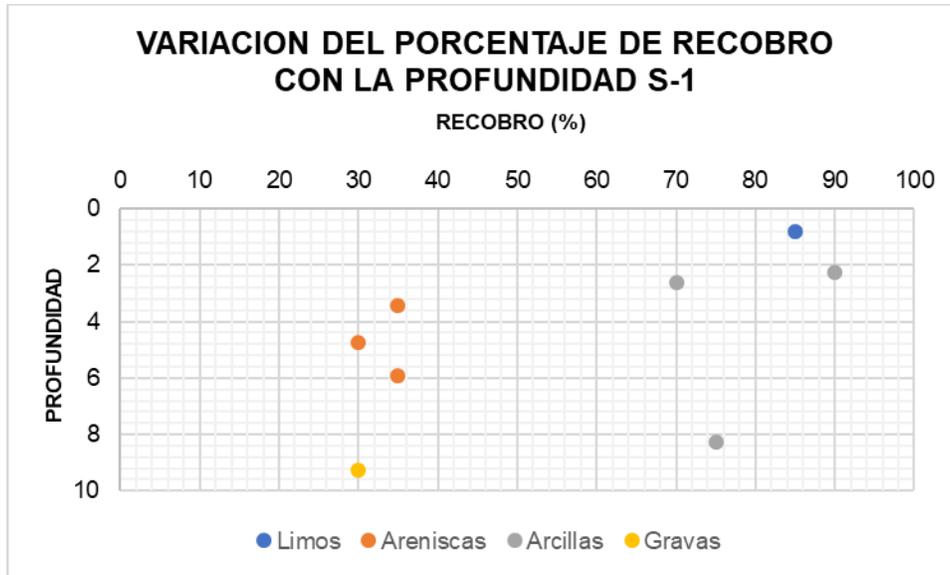


Figura 50. Variación del porcentaje de recobro con la profundidad S-1
 Fuente: Geodinámica Ingeniería (2023)

12.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Durante la ejecución del proyecto se realizaron ensayos de, análisis granulométrico, determinación de la densidad (Peso unitario), determinación de la gravedad específica, determinación limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad, determinación de contenido de agua, compresión confinada y determinación del contenido orgánico. Las cantidades de ensayos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 29 – Cantidades de ensayos realizados para el nodo Vegas

ENSAYOS DE LABORATORIO	Animas
Análisis granulométrico de los agregados grueso y fino	4
Determinación de la densidad (peso unitario) de muestras de suelo.	4

Determinación de la gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro con agua	1
Determinación límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos	1
Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) de muestras de suelo, roca y mezclas de suelo - agregado	4
Compresión inconfínada en muestras de suelo	1
Determinación de los tamaños de las partículas de los suelos (granulometría por tamizado e hidrometría)	1
Resistencia a la compresión uniaxial de muestras de rocas intactas	1
Carga puntual en muestras de roca intacta	1

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

12.4.1 HUMEDAD NATURAL Y LIMITES DE ATTERBERG

La humedad natural a lo largo del perfil del subsuelo presenta una variación entre 10.80 % a 45.39 %, donde se evidencia que los valores de humedad del suelo o estrato disminuyen a medida que la profundidad aumenta.

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

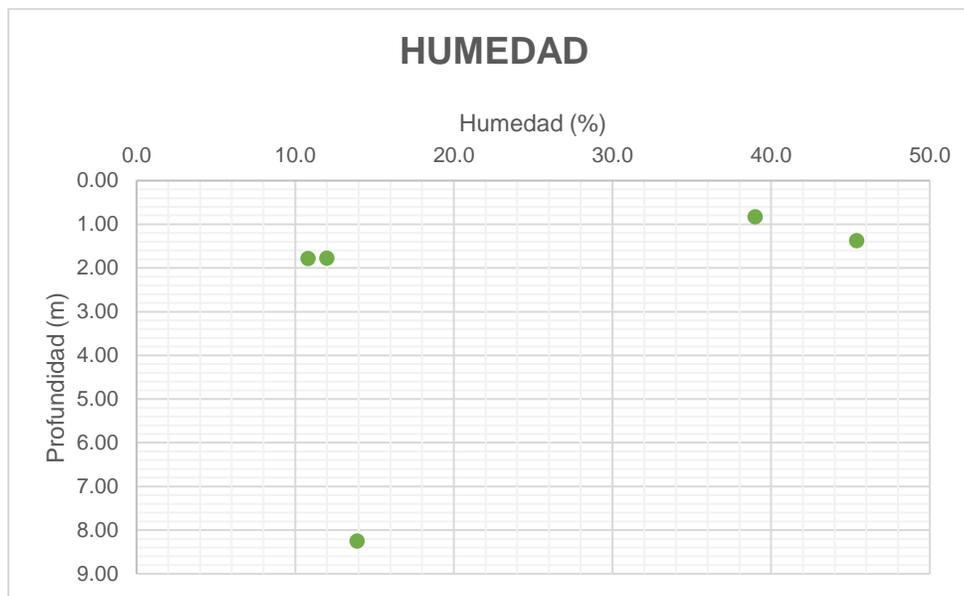


Figura 51. % Humedad Vs Profundidad

12.4.2 LIMITES DE ATTERBERG

Para este nodo, se realizó un ensayo de límites de Atterberg para la muestra 2 del apique 2, el límite líquido el cual permite determinar el porcentaje de humedad con que un suelo cambia es de 56%; para el caso del límite plástico, que es la humedad a la cual un pequeño cilindro de suelo comienza a desmigajarse es del 23%. Por último, el índice de plasticidad el cual indica el tamaño del intervalo de variación del contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico, presenta un valor de 33%.

De acuerdo con la carta de plasticidad, de acuerdo al ensayo de límites realizado, el material se clasifica como arcilla de alta plasticidad con arena (CH) tal como se incluye en la siguiente Figura.

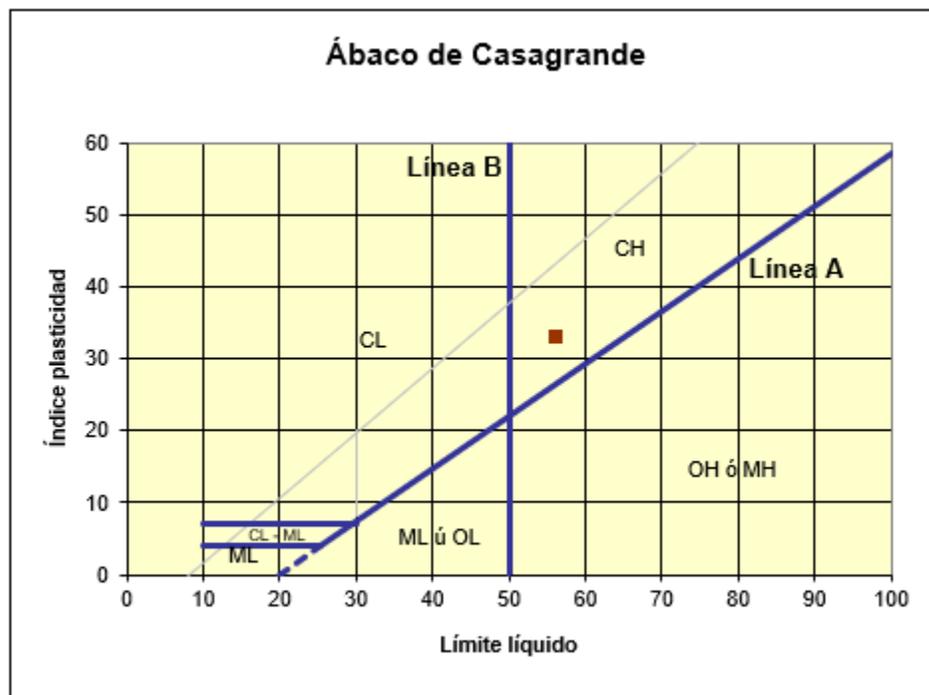


Figura 52. % Carta de plasticidad de Casagrande

12.4.3 GRANULOMETRÍA

De acuerdo con los resultados de los ensayos de laboratorio, para la profundidad de 0.6 m hasta 1.05 m, se presenta una composición granulométrica promedio es de 81.9% de finos, 12% de arenas y 6.10% de gravas. La composición granulométrica promedio en la

profundidad de 1.56 m hasta 2.00 m, es de 28.1% de finos, 28.7% de arenas y 43.1% de gravas.

Para el material de conglomerado de arenisca, gravas finas y medias, encontrado en una profundidad de 6.50 m hasta 8.00 m, la composición granulométrica promedio es de 6.7% de finos, 15.5% de arenas y 77.8% de gravas. Por último, Para el material denominado arcilla limo arenosa de grano fino, gravas finas de lutita, encontrado a una profundidad de 8.00 m hasta los 8.50 m, la composición granulométrica es de 38.7% de finos, 35.2% de arenas y 26% de gravas.

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

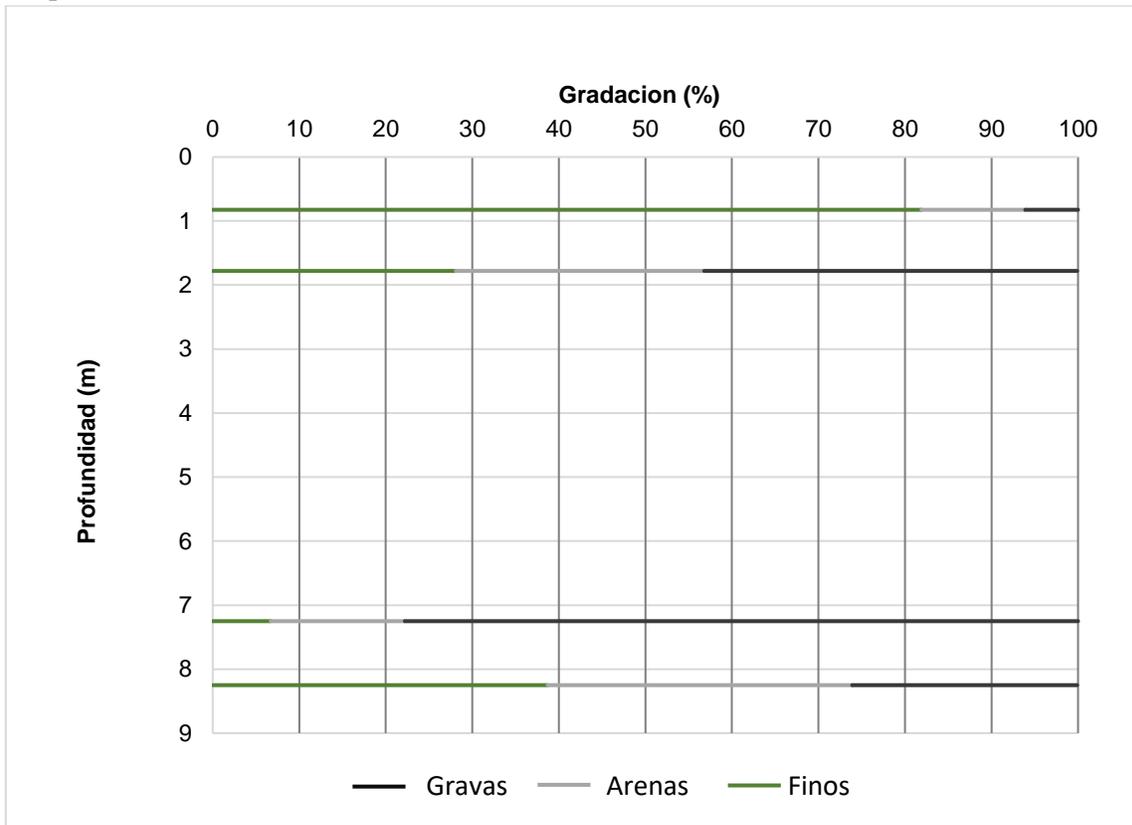


Figura 53. Distribución granulométrica Vs profundidad

12.4.4 PESO UNITARIO:

El peso unitario total presenta una variación entre 16.84 kN/m³ a 21.45 kN/m³, con un valor promedio de 19.10 kN/m³.



Figura 54. Peso unitario Vs. Profundidad

12.4.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA

Para este nodo, se determinó el valor de gravedad específica (Gs), entre 2.545 a 2.672.



Figura 55. % Gravedad específica Vs Profundidad

12.4.6 HIDROMETRÍAS:

Este ensayo se realizó en una de las muestras extraídas del presente estudio, en los materiales identificados del AP-2 (M2), en los cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

- **AP2 (M2):**
 En esta muestra se obtuvieron los siguientes resultados:
 - % de arena media → 7.5%
 - % de arena fina → 7.6%
 - **% de finos → 84.9%**
 - ✓ % de Limos → 32.4%
 - ✓ % de arcillas → 52.5%

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

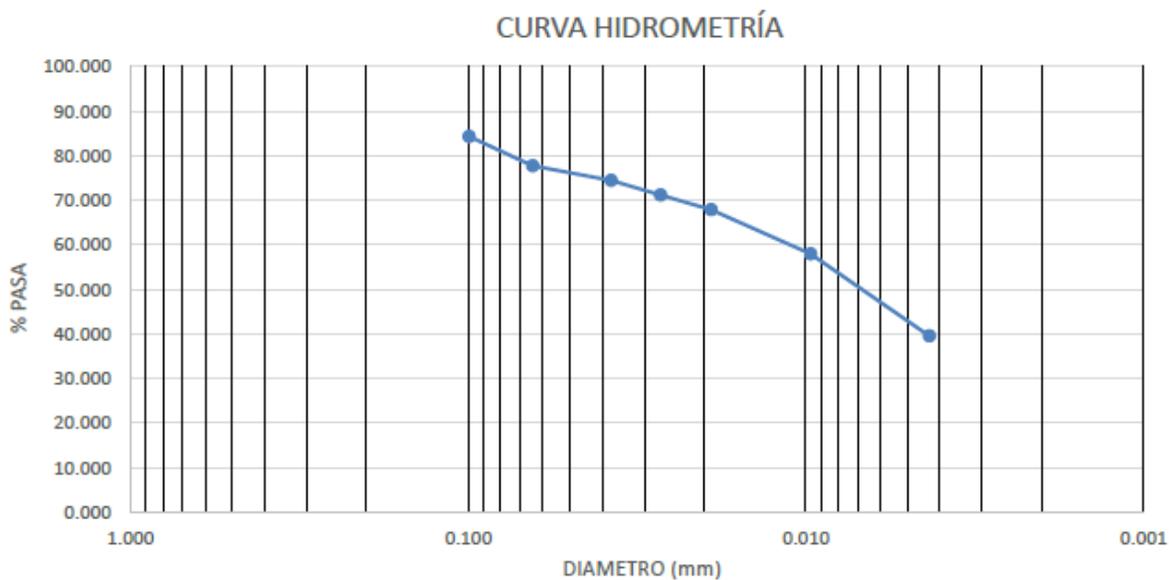


Figura 56. % Curva Hidrometría AP-2(M2)

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



Sondeo/ Apique No.	Muestra No.	Profundidad de la muestra	Profundidad de la muestra		Humedad %	LL %	LP %	IP %	IC %	IL %	IF %	IT %	CONTENIDO MATERIA ORGÁNICA (%)	GRANULOMETRÍA % QUE PASA										GRANULOMETRÍA POR HIDROMETRÍA % QUE PASA												
			límite superior	límite inferior										3"	2"	1.18"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	Fondo	No. 16	No. 30	No. 60	No. 100	No. 140	No. 200	Fondo					
S1	1	0.83	0.60	1.05	39.0			0.0						100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	94.0%	94.0%	93.0%	92.0%	82.0%	81.0%												
S1	2	2.25	2.00	2.50				0.0																												
S1	3	2.60	2.50	2.70				0.0																												
S1	4	3.45	2.70	4.20				0.0																												
S1	6	6.05	5.60	6.50				0.0																												
S1	7	7.25	6.50	8.00				0.0						100.0%	100.0%	85.0%	45.0%	36.0%	27.0%	22.0%	17.0%	13.0%	6.8%	6.6%												
S1	8	8.25	8.00	8.50	13.90			0.0						100.0%	100.0%	100.0%	94.0%	86.0%	80.0%	74.0%	69.0%	60.0%	39.0%	38.0%												
AP1	2	1.78	1.56	2.00	10.80			0.0						100.0%	100.0%	100.0%	71.0%	66.0%	61.0%	57.0%	50%	38%	28%	28%												
AP2	2	1.78	1.55	2.00	12.00	86.0	23.0	33.0	1.3	-0.3	0.45	73.9													100.0%	100.0%	100.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	93.0%	85.0%	85.0%		
AP2	CUBO	1.38	1.25	1.50	45.39			0.0																												

CLASIFICACION				COMPRESION INCONFINADA		γ húmedo (kN/m³)	γ seco (kN/m³)	PESO UNITARIO (kN/m³)	GRAVEDAD ESPECÍFICA Gs	CARGA PUNTUAL (MPa)	ROCA INTACTA A COMPRESION UNIAXIAL (MPa)	CORTE DIRECTO (CD)		CONSOLIDACION DEL SUELO
Índice de grupo	AASHTO	Fó W	USC	COMPRESION INCONFINADA qu (kPa)	Cohesión (kg/cm²)							φ (°)	Esfuerzo de Preconsolidación (kPa).	
(8)								17.59						
									2.672					
								20.32						
									95.02					
										32.9				
(0)								21.45						
(0)								16.84	2.545					
					66	18.520	12.770							

Figura 57. % 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 30. Parámetros estimados para cada sondeo

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
Sondeo 1		
0.8	30.4	25
2.6	27.2	123
5.3	26.2	200
8.5	20.0	200

Para este nodo no se ejecutó ensayo de corte directo, por lo cual a continuación se presenta la justificación de cómo se determina los parámetros requeridos en este análisis:

12.5.1.1 Sondeo 1:

12.5.1.1.1 Muestra 1:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
0.8	30.4	25

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 15$, donde para la profundidad media de 0.8 m, se encuentra un limo arenoso, el cual presenta teóricamente un valor de 30.4° como ángulo

de fricción y una cohesión de 25kPa, donde para el análisis estadístico se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de material fino en la muestra.

12.5.1.1.2 Muestra 3:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
2.6	27.2	123

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 124$, donde para la profundidad media de 2.6 m, se presenta rechazo, en este punto se encuentra un conglomerado de arenisca, el cual presenta teóricamente un valor de 27.2° como ángulo de fricción y una cohesión de 123 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de roca, con lo cual la muestra extraída posteriormente se realiza mediante barra NQ.

12.5.1.1.3 Profundidad 5.3 m:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
5.3	26.2	200

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 99$, donde para la profundidad media de 5.3 m, se presenta rechazo, en este punto se encuentra un conglomerado de arenisca, el cual presenta teóricamente un valor de 26.2° como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de roca, con lo cual la muestra extraída posteriormente se realiza mediante barra NQ.

12.5.1.1.4 Profundidad 8.5m:

Profundidad media	ϕ (°)	c' (kPa)
8.5	20.0	200

Para esta muestra se obtiene un valor de $N_{70} = 79$, donde para la profundidad media de 8.5 m, se presenta rechazo, en este punto se encuentran bloques, gravas de grano fino y medio, sub redondeadas y sub angulares, el cual presenta teóricamente un valor de 20.0° como ángulo de fricción y una cohesión de 200 kPa, donde para el análisis estadístico no se tiene en cuenta estos valores, considerando la presencia de roca, con lo cual la muestra extraída posteriormente se realiza mediante barra NQ.

12.5.2 Angulo de fricción (ϕ) y Cohesión (c'):

Considerando los valores estimados a partir del análisis presentado anteriormente, se toma un porcentaje de importancia del 100% para el valor de cohesión y ángulo de fricción, considerando que para este nodo no se realizó ensayo de corte directo, por lo cual se obtiene:

Tabla 31. Análisis estadístico de parámetros

Porcentaje (%)	ϕ	c'
100%	30.4	25.0

12.5.3 PESO UNITARIO:

Para el peso unitario, se obtiene:

Tabla 32. Análisis estadístico (Peso Unitario)

<i>Peso Unitario (kN/m³)</i>	
Media	19.055
Error típico	1.09487062
Mediana	18.965
Moda	#N/D
Desviación estándar	2.18974123
Varianza de la muestra	4.79496667
Curtosis	-
Coficiente de asimetría	0.11828183
Rango	4.61
Mínimo	16.84
Máximo	21.45
Suma	76.22
Cuenta	4

Teniendo en cuenta los resultados de los pesos unitarios obtenidos en el laboratorio, se tiene como media un valor de 19.1 kN/m^3 , el cual para el análisis a realizar tomara un porcentaje de importancia del 100%, Como desviación estándar, la cual mide la dispersión de la distribución, se tiene un valor de 2.19.

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

Tabla 33. Parámetros Geotécnicos

ϕ (°)	C' (kPa)	γ (kN/m ³)
30.4	25.0	19.1

12.6 MODELO GEOLÓGICO GEOTÉCNICO

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

12.6.1 Suelo transportado Glaciar (Stg).

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

En superficie algunos sectores del polígono se observan bloques redondeados de arenisca, que en algunos casos están agrupados, condición característica de los depósitos glaciares.

El depósito fluvioglaciar ocupa toda el área del polígono, recubre en forma discordante a roca blanda derivada de la Formación Chipaque; las labores de exploración realizadas no atravesaron el depósito, pero se estima un espesor entre 12 y 15 m.



Figura 58. Fragmentos y bloques de arenisca dentro del suelo transportado glaciar.

12.6.2 Roca blanda (Rb).

Conformada por una secuencia de lodolitas carbonosas de color gris oscuro a negro estratificadas en capas de espesor medio a grueso con intercalaciones de areniscas de grano fino estratificadas en capas de espesor medio. En el polígono estudiado no aflora, pero sobre los cortes realizados para la construcción de la vía de acceso a unos 2 km, presenta un rumbo regional de N20 E y buza 25 NW. Son rocas de resistencia blanda y moderadamente fracturadas.

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

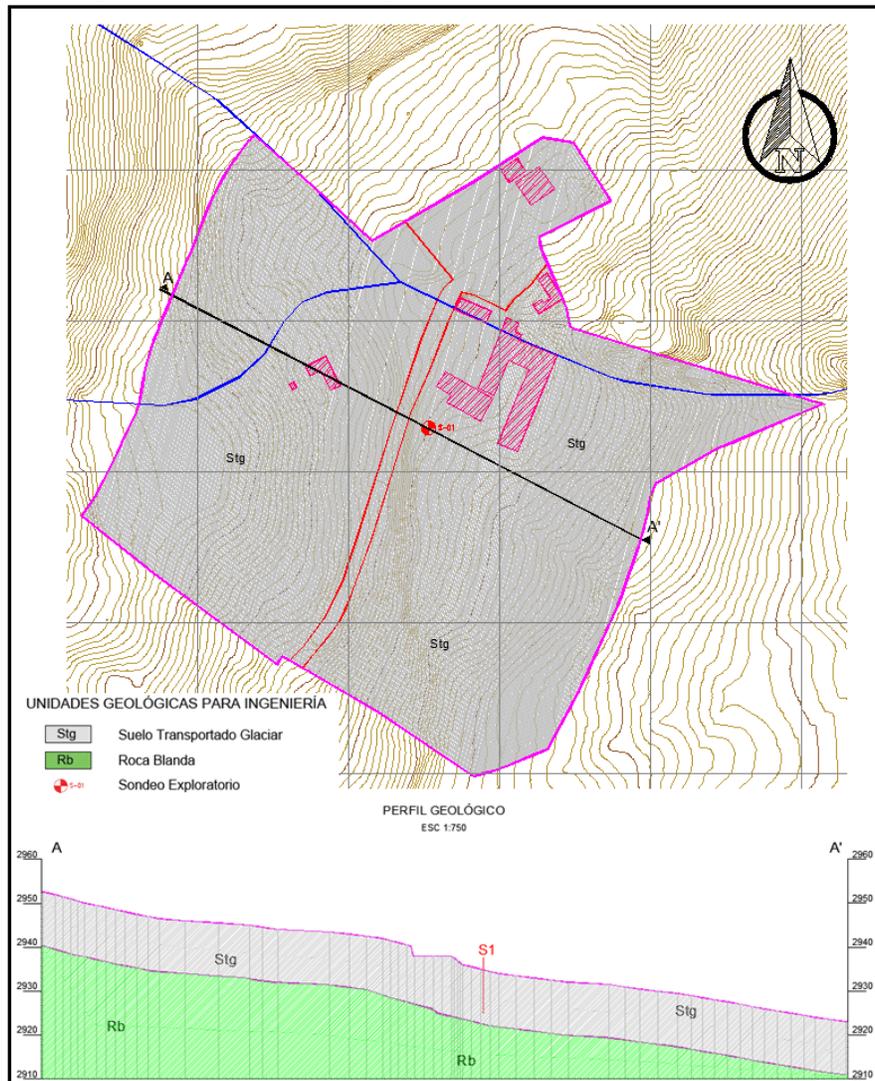


Figura 59. Unidades de geología Para Ingeniería del polígono Animas. Escala 1:5000

Tabla 34 Características zonas geotécnicas

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

Humedad:	10.8 - 45.39 %
Peso Unitario:	19.1 kN/m ³
Ángulo de fricción ⁸	30.4°
Gravedad específica	2.657 - 2.767
Cohesión ⁹	25.0 kPa

Material 2: Roca blanda (Rb).

Peso Unitario:	22.9 kN/m ³
Ángulo de fricción	45°
Carga puntual	58 MPa ¹⁰

Tabla 35 – Resumen de parámetros de resistencia obtenidos a partir de correlación con N de SPT

Material	γ (kN/m ³)	c' (kN/m ²)	ϕ' (°)
Stg	19.1	25.0	30.4
Rb	22.9	200	45

Fuente Geodinámica (2023)

⁸ 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.

⁹ Bowles, J. E. (1988). *Foundation analysis and design*.

¹⁰ Datos de roca cercana no se alcanzó la roca*

12.7 NIVEL FREÁTICO

12.7.1 NIVEL FREÁTICO REPORTADO EN CAMPO

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

Tabla 36. Tabla resumen de nivel freático

Sondeo	Nivel Freático (m)
S-1	0.30

12.7.2 ANÁLISIS DEL NIVEL FREÁTICO:

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

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

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

Figura 60. Clasificación de los suelos
Fuente: (Chow V.T., 1994)

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

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

Figura 61. Valores de numero de curva para diferentes grupos hidrológicos y uso del suelo
Fuente: (Chow V.T., 1994)

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

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

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

Donde:

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

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

$$P_i = P - P_e$$

Donde P_e se calculó de la siguiente forma:

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

$P = \text{Precipitación diaria}$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Cubierta de pasto (50% al 75%)** → % Otros sitios de disposición + % Pastos Limpios
- **Cubierta de pasto (75% o más)** → % Pastos Arbolados

- **Cultivos sin tratamiento de conservación** → % Otros cultivos permanentes + % Cancha de microfútbol
- **Calles y carreteras** → % Red vial
- **Residencial** → % Tejido urbano discontinuo

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

Tabla 37. Resultado de nivel freático asociado a una lluvia de 20 años

RESULTADOS OBTENIDOS					
UGI	GRUPO HIDROLOGICO DEL SUELO	CN	Pf20 (m)	h (m)	hw (m)
Stg	Cubierta de pasto (50% al 75%)	79.00	0.29	15.00	14.71
	Cubierta de pasto (75% o más)	74.00	0.29	15.00	14.71
	Cultivos sin tratamiento de conservación	88.00	0.29	15.00	14.71
	Área abierta	79.00	0.29	15.00	14.71
	Calles y carreteras	89.00	0.29	15.00	14.71
	Residencial	79.00	0.29	15.00	14.71

12.8 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

12.8.1 TALUD INFINITO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12.8.1.1 Ángulo de inclinación de la horizontal β

El valor del ángulo $\beta = 13^\circ$

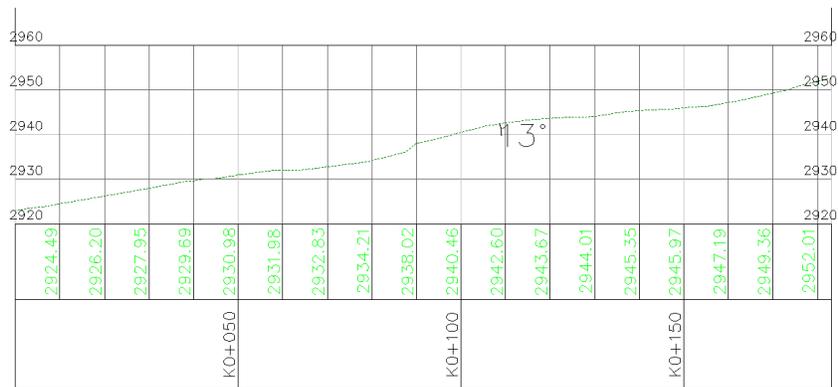
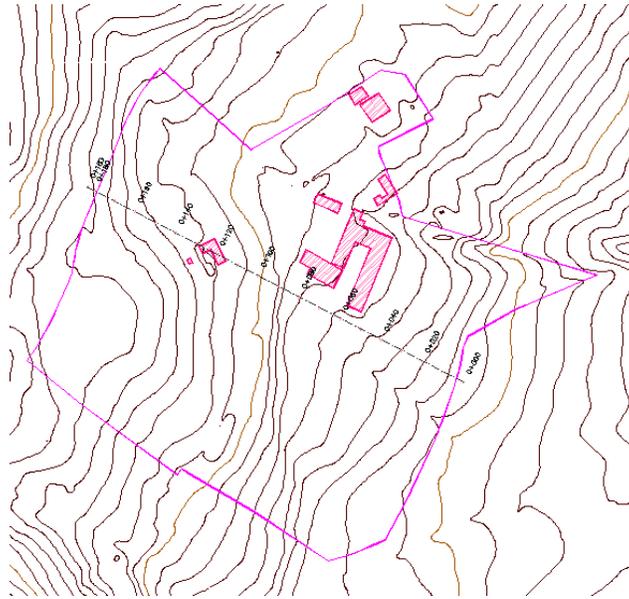
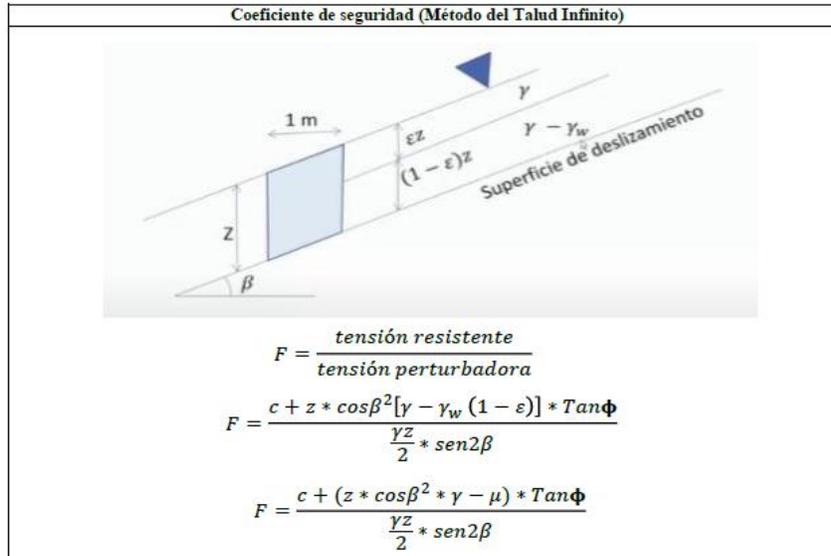


Figura 62. Planta y perfil Angulo β

GEODINAMICA INGENIERIA 	METODO DEL TALUD INFINITO ANIMAS	 Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
No. DEL PROYECTO:	188 Zonificación Sumapaz	



DATOS ENTRADA		
c	25	kN/m ²
z	15	m
z _w	0.08	m
γ	19.1	kN/m ³
γ _w	9.81	kN/m ³
β	13	°
Φ	30.4	°

DATOS SALIDA		
β	0.2268928	Rad
Φ	0.5305801	Rad
μ	0.7848	kN/m ²
F _s	2.932	

RESULTADO	
F _s	2.932
¿ALTA?	NO
¿MEDIA?	NO
¿BAJA?	SI

Figura 63. Método del Talud Infinito

12.9 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA:

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

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

A continuación, se detalla lo realizado a lo largo del presente informe, donde es posible destacar:

- A. **(UGI)**, Información geológica con la distribución, propiedades físicas y mecánicas de las rocas, suelos, nivel freático, características del relieve, dicha información permitió diferenciar materiales aflorantes, definir el espesor de suelo, las características estructurales y caracterizar los materiales de acuerdo las propiedades mecánicas. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 6 del presente informe.
- B. En el caso de la **geomorfología**, Se identifican y caracterizan las geoformas, a partir de información relacionada con morfogénesis, morfología, morfometría y morfodinámica. Se realizó el registro de las condiciones actuales del lugar a través del levantamiento en campo y con fotografías que evidencian el estado de las mismas, así como el uso de sensores remotos que permitan complementar esta información, la cual irá como complemento de la geomorfología. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 7 del presente informe.
- C. Se determina la presencia de **procesos morfodinámicos** dentro del polígono. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 8 del presente informe.
- D. Se delimitan las zonas homogéneas de análisis estableciendo para cada una de ellas su UGI, así como la influencia que tiene en cada una de estas los factores detonantes, como lo es el **factor sismo**, se debe determinar el factor k (coeficiente de aceleración para un periodo de retorno de 100 años) el cual se toma a partir de un estudio realizado

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

- E. **Usos y coberturas de suelo** se desarrolla conforme a la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia por parte del IDEAM; allí se basa en la determinación del número de curva (CN) con el cual se busca encontrar valores de nivel freático y láminas de agua, si se tiene en cuenta la lluvia como un factor importante causante de los movimientos en masa; los factores a evaluar principalmente son de tipo antrópico donde se evidencien cambios en el uso del suelo, cortes de ladera y explanaciones. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 10 del presente informe.
- F. Se delimitan las zonas homogéneas de análisis estableciendo para cada una de ellas su UGI, así como la influencia que tiene en cada una de estas los factores detonantes, como lo es **lluvias** el factor detonante lluvia se analiza la lluvia para un periodo de retorno de 20 años. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 11 e ítem 12.6.3. del presente informe.
- G. Con la exploración básica del subsuelo, se realiza la caracterización de las unidades del modelo geológico-geotécnico para el polígono de estudio, se ejecutan los y sondeos proyectados inicialmente. Estas muestras deberán tener sus respectivos ensayos de laboratorio, según sea el caso. Esta información se desarrolla a lo largo del Capítulo 12 del presente informe. Con la clasificación aplicada en la zona de estudio, se define una malla con herramientas SIG donde se establezcan los valores de estratificación, profundidad y nivel de agua para las columnas de suelo y/o roca. Cada unidad geotécnica homogénea definida tendrá su respectivo modelo geológico-geotécnico a partir de la información geológica y geomorfológica, donde se definen:
- Pendiente del terreno
 - Espesor del suelo y su variación
 - Lito estratigrafía hasta el sustrato rocoso
 - Posición del nivel freático

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

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

12.9.1 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Teniendo en cuenta la información desarrollada a lo largo del presente estudio, se procede a realizar la clasificación de amenaza, la cual se define a partir del factor de seguridad en el caso de los suelos, de esa forma se establecen tres niveles de amenaza ante deslizamiento, los cuales son alto, medio y bajo. En caso de requerir la metodología a aplicar en las unidades de roca Para las unidades de roca se 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 64. Clasificación de la amenaza de un talud ante deslizamiento
Fuente: (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2016)

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

12.9.1.1 Nivel de amenaza alto:

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

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

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

12.9.1.2 Nivel de amenaza medio:

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

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

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

12.9.1.3 Nivel de amenaza bajo:

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

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

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

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

12.9.2 CONDICIÓN ACTUAL:

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

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

✓ Altura de la masa deslizante → 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 Φ' \rightarrow Son los parámetros de resistencia del suelo en la base de la columna de suelo, en término de esfuerzos efectivos.

γ \rightarrow Es el peso unitario del suelo.

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

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

γ_w \rightarrow Es el peso unitario del agua.

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

α \rightarrow Es el ángulo de inclinación de la superficie de falla.

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

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

12.10 ANÁLISIS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA:

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

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

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

Mediante la información del estudio de la Universidad Nacional “Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000” del año 2013, suministrado por el IDIGER, El coeficiente de aceleración es de $A_0 = 0.30$ para una tasa de retorno (TR) de 475 años

Mediante la metodología Corinne Land Cover, las coberturas del nodo de estudio se clasifican en tejido urbano discontinuo, red vial, pastos, otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto, cultivos y áreas deportivas, y en el uso actual se encontró se encuentran usos agrícolas, infraestructura y pecuario.

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

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

12.10.1 AMENAZA ACTUAL:

12.10.1.1 **Nivel de amenaza alto:**

Corresponde al 9.47% del área total de estudio, corresponde a zonas con susceptibilidad alta a baja en los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo y de las coberturas encontradas dentro del nodo. Para este sector las lluvias diarias presentan un promedio de 39.45 mm desde el año 1984 al 2021 y la precipitación media anual presenta un valor promedio de 1143.6 mm, el coeficiente de aceleración máximo horizontal es de 0.30 siendo este uno de los detonantes principales para este nivel de amenaza. Teniendo en cuenta las geoformas presentadas en esta categoría la posibilidad de que ocurra un movimiento en masa es alta. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son severas, ya que pueden generar pérdidas humanas, de viviendas y cultivos.

12.10.1.2 **Nivel de amenaza medio:**

Corresponde al 66.56% 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, ya que los suelos presentan una humedad alta debido a que las cunetas se vierten directamente al terreno, 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 23.97 %, 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 76.06% del área total de estudio, corresponde a zonas con susceptibilidad alta a baja en los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo, factores detonantes como lluvias, sismos y de las coberturas encontradas dentro del nodo. Para este sector las lluvias diarias presentan un promedio de 39.45 mm desde el año 1984 al 2021 y la precipitación media anual presenta un valor promedio de 1143.6 mm, el coeficiente de aceleración máximo horizontal es de 0.30 siendo este uno de los detonantes principales para este nivel de amenaza. Teniendo en cuenta las geoformas presentadas en esta categoría la posibilidad de que ocurra un movimiento en masa es alta. En general las consecuencias que puede traer este nivel de amenaza son severas, ya que pueden generar pérdidas humanas, de viviendas y cultivos.

12.10.2.2 **Nivel de amenaza medio:**

Corresponde al 23.94% del área total de estudio, principalmente en zonas muy puntuales del nodo, corresponde a zonas con susceptibilidad media a baja en los movimientos en masa debido a las características geológicas, geomorfológicas, de composición de suelo y de las coberturas encontradas dentro del nodo. Para este nivel existe una posibilidad en que se generen movimientos en masa como deslizamientos, reptaciones y flujos. Es necesario que la comunidad haga uso y manejo adecuado del suelo, además, se recomienda generar políticas ambientales donde se hallan extinto las coberturas.

12.11 DISTANCIA DE VIAJE:

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

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

Para la presente consultoría el análisis de la distancia de viaje con el fin de fines específicos de ordenamiento territorial, requiere un rigor técnico que un estudio de amenaza escala

1:5.000 no permite abordar, ya que metodológicamente en estudios detallados se hace para movimientos activos que se encuentren dentro del área de estudio, mediante métodos de elementos finitos, por lo cual se requiere estimar parámetros como la caída vertical y el ángulo del talud, situación que sugiere una alta suposición de parámetros bajo los insumos temáticos establecidos en el estudio escala 1:5.000. Adicionalmente, la cantidad de sondeos es escaso, por lo cual no se permitió caracterizar los datos requeridos para dicho análisis, de esta forma se estima un valor de distancia aproximado en aquellas zonas que presenten movimientos activos.

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

Dentro del nodo de estudio no se presentan movimientos activos, por lo cual para este nodo no se estima un valor aproximado de distancia de viaje.

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A. De acuerdo a la información geológica elaborada por INGEOMINAS para la cartografía de la plancha 265 Icononzo (1999) a escala 1:100.000, la cartografía realizada para la elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá, FOPAE-UNAL (2013), a escala 1:25.000 y los levantamientos realizados a lo largo de las visitas de campo, se detallaron las características encontradas dentro del nodo, determinando la presencia Formación Chipaque (Ksch) y roca blanda (Rb6).
- B. El polígono la vereda Las Animas, limitada al occidente por la Falla de Nazareth, está conformada por rocas de edad Cretáceo. La principal estructura corresponde al Anticlinal del Raizal, el polígono estudiado se ubica en el flanco occidental de la mencionada estructura, las capas presentan un rumbo aproximado N20° E y buzan 25° hacia el NW., dentro del polígono no se evidencian unidades geológicas de superficie.
- C. En la geología local del nodo Animas, fue posible encontrar material clasificado como suelo transportado glaciar y roca que de acuerdo a sus características litológicas y geotécnicas se clasifica en roca blanda (Rb), ya que por medio de la exploración geotécnica no se llegó hasta el punto que se pudiera caracterizar a que roca se asocia.
- D. En la geomorfología de la zona, se reconocen geoformas de ambiente glaciar que conforman laderas de relieve suave a ondulado, la cual se denomina técnicamente como Ladera Ondulada Glaciar (Glo), donde a partir de las pendientes se realiza un cruce de información con este componente, y en el plano obtenido, se observan las geoformas más representativas dentro del nodo.
- E. El coeficiente de aceleración para este nodo de estudio, es de $A_0 = 0.30$ para una tasa de retorno (TR) de 475 años, esta información se toma a partir del estudio de la Universidad Nacional “Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000” del año 2013, el cual fue suministrado por el IDIGER.
- F. Las coberturas de tierra para este nodo de estudio, se desarrolla conforme a la metodología Corinne Land Cover, adaptada para Colombia; se clasifican en tejido urbano discontinuo, red vial, pastos, otros sitios de disposición de residuos a cielo abierto, cultivos y áreas deportivas, donde se evidencia alta presencia de coberturas de pastos limpios (231), los cuales ocupan 1,96 ha correspondiente a 71,3% del total del área, el restante está ocupado por otros cultivos arbóreos, viviendas rurales (tejido

urbano discontinuo), la vía que atraviesa el nodo, la cancha de microfútbol y pastos con presencia de algunos árboles.

- G. El uso actual del suelo se refiere a la utilización que el hombre les hace a las coberturas, por lo cual para el presente nodo de estudio se encuentran usos agrícolas, infraestructura y pecuario.
- H. Se analiza la información pluviométrica del nodo de estudio, tomando como base la información de la estación PM Nazareth, dicha estación no es la más cercana al nodo, pero es la única estación cercana que muestra información para realizar los respectivos análisis, ya que las otras estaciones están suspendidas o hacen parte del EAAB.
- I. Se genera la curva IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) para la estación de estudio, con un periodo de retorno de 2, 10, 20, 25, 50 y 100 años. Los datos obtenidos para periodo de retorno de 20 años se usan para determinar las lluvias en la zona durante 24 horas, considerando que se requiere para hallar el valor de Pf20.
- J. Se realiza el levantamiento de las obras hidráulicas encontradas dentro del polígono, las cuales se evalúan verificando el estado y las condiciones que presentan, para este nodo de estudio, no se encontraron cuerpos de agua generados por la comunidad de manera manual.
- K. Se ejecutan los sondeos y los apiques programados para el sector, evidenciando que en algunas perforaciones se encontró la roca, a partir de este análisis, se justifican las unidades geológicas regionales presentadas.
- L. En la ejecución de los sondeos se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar SPT, del cual se obtienen los valores de N (golpes) que permiten correlacionar con la consistencia los materiales arcillosos y la densidad de los materiales granulares, obteniendo así la variación en profundidad de N en cada sondeo, de acuerdo a este valor obtenido en campo, se realiza la respectiva corrección de N60 y N70.
- M. Se genera la estimación de parámetros de resistencia a partir del ensayo SPT, con la metodología propuesta por González, A. J. (1999) para la cohesión y la metodología de (Montenegro Padilla, 2014) para ϕ , donde se grafican puntos (σ_v , τ) en planos Mohr – Coulomb, donde los coeficientes de la regresión lineal corresponden a los parámetros geomecánicas efectivos buscados, y finalmente estimar de manera aproximada los valores de c' y ϕ .

- N. Se realizan ensayos de, análisis granulométrico, determinación de la densidad (Peso unitario), determinación de la gravedad específica, determinación límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, determinación de contenido de agua, compresión confinada y determinación del contenido orgánico, los cuales se analizaron de manera detallada.
- O. Se realiza un análisis estadístico detallado de los parámetros geotécnicos, donde se toman cada una de las muestras extraídas y se analizan de acuerdo a las características y los resultados de ϕ y c' .
- P. Se realiza el modelo geológico geotécnico con base en el análisis geológico y se logra determinar la presencia de suelo transportado glaciar y roca blanda, las cuales son UGI cartografiables, con base en los resultados de laboratorio y el análisis estadístico se les asignan parámetros geotécnicos, características geomecánicas de resistencia y densidad.
- Q. Se determina el número de curva (CN) y los valores de nivel freático y láminas de agua, considerando la lluvia como un factor importante causante de los movimientos en masa, teniendo en cuenta la metodología de servicio geológico colombiano (2016).
- R. Teniendo en cuenta la escala de estudio 1:5.000, se realizó la evaluación de los diferentes parámetros requeridos para el análisis de estabilidad mediante la metodología del talud infinito, los cuales fueron evaluados por cada especialista.
- S. Se realizó el análisis de estabilidad por la metodología descrita por el servicio geológico colombiano 2016, donde se evidencia mediante cada uno de los parámetros el nivel de amenaza para cada una de las zonas del polígono. Para el polígono de estudio se obtiene que, en la parte trasera del salón comunal, presenta amenaza alta.
- T. En la zonificación actual del nodo, se evidencia que el 9.47% 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 66.56% del área de estudio presenta un nivel de amenaza medio, mientras que el 23.97% del área representa nivel de amenaza bajo.
- U. En la zonificación futura se caracterizan dos niveles de amenaza, en lo cual el 76.06% 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 23.94% del área total del polígono se encuentra en amenaza media.

- V. Como recomendación se deberá cumplir con la normatividad vigente (NSR-10) para el caso de construcción de edificaciones de equipamientos; se deberá prestar especial atención a los taludes generados y verificar si requieren análisis de Amenaza detallados.
- W. Se recomienda que los cambios de las coberturas y los usos del suelo generados por acciones antrópicas, deben realizarse de manera controlada, considerando que, al realizar talas no controladas, deforestación u otros cambios en los suelos, se generan cambios en las propiedades analizadas para la amenaza del estudio.
- X. De acuerdo al análisis realizado a lo largo del estudio, Dentro del nodo de estudio no se presentan movimientos activos, por lo cual para este nodo no se estima un valor aproximado de distancia de viaje.

14 BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldesa Local de Sumapaz, A. d. (29 de 12 de 2022). *Identificación y Priorización de Escenario de Riesgo*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/329657/Identificaci%C3%B3n+y+Priorizaci%C3%B3n.pdf/c0c0d444-dcce-4c14-9f06-a40e0f9f7777>
- Colombiano, S. G. (s.f.). http://srvags.sgc.gov.co/Flexviewer/Estado_Cartografia_Geologica/.
- EMP. (s.f.). *Respuesta a solicitud de activos o contenido de estos en la zona*.
- IDIGER, I. D. (27 de 01 de 2017). *PROYECTO ACTUALIZACIÓN COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO PARA LA REVISIÓN ORDINARIA Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. Obtenido de https://www.sdp.gov.co/sites/default/files/POT/4-DOCUMENTO_TECNICO_DE_SOPORTE_14-06-19/DT04_Anexo04_Amenaza_porMov_enMasa_enPerspectiva_CCZonaRural.pdf
- IDU. (01 de 2023). *Respuesta a información sobre la malla vial, inventario de la infraestructura vial y reservas de Civs*.
- SERVICIO GEOLÓGICO, C. (s.f.). *ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA. ESCALA 1:25.000*.
- Sumapaz, C. L.-C. (10 de 2019). *Plan Local de Gestión del Riesgo y Cambio climático CLGR-CC*. Obtenido de <https://www.idiger.gov.co/documents/220605/494708/PLAN+LOCAL+DE+GESTI%C3%93N+DEL+RIESGO+COMPILADO-SUMAPAZ.pdf/328381c6-8c49-4415-acc0-87335808df07>
- HANSEN, A. 1984. Landslide hazard analysis. In: Brunsdon, 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 Fe 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.
- Nacional, U. (2013). Elaboración Del Mapa De Remoción En Masa Del Suelo Rural De Bogotá D.C., Para Su Incorporación Al Plan De Ordenamiento Territorial POT, A Escala 1:25000.
- BÜRGL, H.1957. Bioestratigrafía de la Sabana de Bogotá y alrededores. Boletín Geológico, Servicio Geológico Nacional: V.3. No.2, Bogotá.
- CARVAJAL, J. H. 2012. Propuesta de Estandarización de la Cartografía Geomorfológica en Colombia, SGC, Bogotá, 2012.
- CARVAJAL, J. H 2005. Zonificación Geomorfológica de la Sabana de Bogotá “Características Geomorfológicas de la Sabana de Bogotá” Volumen I, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- FOPAE-UNAL. 2013, Elaboración del mapa de remoción en masa del suelo rural de Bogotá D.C a escala 1:25.000.
- INGEOMINAS, 1999. Geología de la Plancha 265-Icononzo; Esc. 1:100.000.
- INGEOMINAS, 1999. Memoria explicativa de la Plancha 265 Icononzo.
- INGEOMINAS, 2005. Cartografía Geológica Aplicada a la Zonificación Geomecánica de la Sabana de Bogotá, Volumen II, INGEOMINAS, Bogotá D.C.
- INGEOMINAS, 2016. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.
- INGEOMINAS, 2017. Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa a escala 1:25.000.
- MONTOYA D. y REYES G., 2005. Geología de La Sabana de Bogotá Esc. 1:100.000.
- MONTOYA D. y REYES G., 2005. Memoria explicativa del mapa Geología de la Sabana de Bogotá.
- OPPENHEIM, V., 1940. Glaciaciones Cuaternarias de la Cordillera Oriental de Colombia.
- Informe 276. INGEOMINAS. Bogotá.
- RENZONI, G, 1965. Geología del Cuadrángulo L-11 Villavicencio, escala 1:200.000 Servicio Geológico Nacional e Inventario Minero Nacional, Bogotá.
- STUTZER, O., 1934. Sobre la Geología de la Parte Media del Valle del Magdalena. Compendio de Estudios Geológicos Oficiales de Colombia: t.2, p.183-209. Bogotá.

- Duncan J.M., W. S. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*". John Wiley and Sons.Inc. Hoboken. New Jersey 297p
- Montenegro Padilla, L. F. (2014). Calibración del método de parámetro de resistencia con SPT en suelos de la región llanera colombiana.

ANEXOS

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