Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

CO-0289-JAM-IDPC-028

Bogotá, 29 de febrero de 2024

Señores:
Consultores en Ingeniería y Medio Ambiente C I Ambiental S.A.S
JESÚS RAFAEL GARCÍA NÚÑEZ
Director de Consultoría
CALLE 171 # 21A - 62 Bogotá D.C.

Ref.: CONTRATO CI-369-2023 (Cód. 508).

Asunto: Aprobación Versión 2 Entregable 03. Estudios Básicos. Contrato de Consultoría IDPC-CC-368-2023:

Cordial saludo,

Una vez realizada la revisión por parte de esta interventoría a la versión 2 del Entregable 03. Estudios Básicos recibida el 27 de febrero de 2024 mediante correo electrónico con el oficio CI-2-029-24 en el cual la consultoría atiende las observaciones remitidas anteriormente por la interventoría, se considera que estos documentos cumplen con los requisitos solicitados en el anexo técnico separable del Contrato CC-368-2023.

Por lo anterior la interventoría aprueba este informe junto con sus anexos y con el presente comunicado se remite el acta de aprobación de este documento.

Cordialmente

JAVIER ANTONIO MILLAN LOPEZ
REPRESENTANTE LEGAL
CONTRATO CI-369-2023

C.C: Ricardo Alberto Arias - Supervisor
Diana Paola Bedoya - Apoyo a la supervisión
Javier Enrique Motta- Apoyo a la supervisión

Anexos: Lo anunciado.

Carrera 42 No. 22A 03 Bogotá D.C., Colombia

BOGOTÁ | INSTITUTO DISTRITAL DE PATRIMONIO CULTURAL

ACTA DE APROBACIÓN DE PRODUCTOS

J.a.m. INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE

Consultoría: CONSULTORES EN INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE CI AMBIENTAL S.A.S	Interventoría: JAM INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE S.A.S
Contrato: IDPC-CC-368-2023	Contrato: IDPC-CI-369-2023

Supervisor: IDPC: INGENIERO RICARDO ARIAS

Apoyo de supervisión: ING JAVIER MOTTA, ARQ. DIANA BEDOYA

Objeto: "REALIZAR LA INTERVENTORÍA TÉCNICA, ADMINISTRATIVA, CONTABLE Y JURÍDICA, PARA EL CONTRATO DE CONSULTORÍA CUYO OBJETO ES "REALIZAR LA ACTUALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS TÉCNICOS, COMPLEMENTARIOS Y NECESARIOS PARA EL ANÁLISIS DE RIESGO, AMENAZAS Y VULNERABILIDAD POR MOVIMIENTOS EN MASA Y DISEÑO DE OBRAS DE REDUCCIÓN Y MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS PARA LOS POLÍGONOS Y EQUIPAMIENTOS QUE SE UBICARÁN DENTRO DEL PREDIO DENOMINADO HACIENDA EL CARMEN, CATEGORIZADO COMO ÁREA DE PROTECCIÓN ARQUEOLÓGICA, UBICADA EN LA LOCALIDAD DE USME, BOGOTÁ D.C"

ENTREGABLE N°:	3	VERSIÓN	2

Alcance del informe: DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Contenido temático (Anexo Técnico)	Cumple	No Cumple	Observaciones
Informe que determine parámetros necesarios de la Geología para Ingeniería y que cumpla con los lineamientos del IDIGER.	X		El consultor deberá ajustar este ítem de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de los datos geotécnicos tomados en el predio por medio de la exploración directa, una vez el ICANH conceda el respectivo permiso.
Componente de Geomorfología para Ingeniería y Procesos Morfodinámicos.	X		
Componente de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo.	X		
Evaluación del Drenaje Superficial.	X		
Evaluación Hidrogeológica.	X		El consultor deberá ajustar este ítem de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis de los datos geotécnicos tomados en el predio por medio de la exploración directa, una vez el ICANH conceda el respectivo permiso.
Evaluación de la Amenaza Sísmica para los Análisis de Estabilidad	X		
Cartografía base	X		

Documento físico entregado - Vía correo electrónico

INFORME	Folios total	176
PLANOS	N°23	PDF
ANEXOS	N°4	1_ Topografia (2) 2_Geol-Geom (7) 3_Cobertura_y_uso (4) 4_Hidrologia (5)

Concepto de la Interventoría sobre el cumplimiento de las condiciones contractuales y/o salvedades:

Por constancia se firma a los Veintinueve (29) días del mes de febrero de 2024

Consultoría

RL: LUCY BOHÓRQUEZ RÍOS

Consultores en Ingeniería y Medio Ambiene C I Ambiental S.A.S

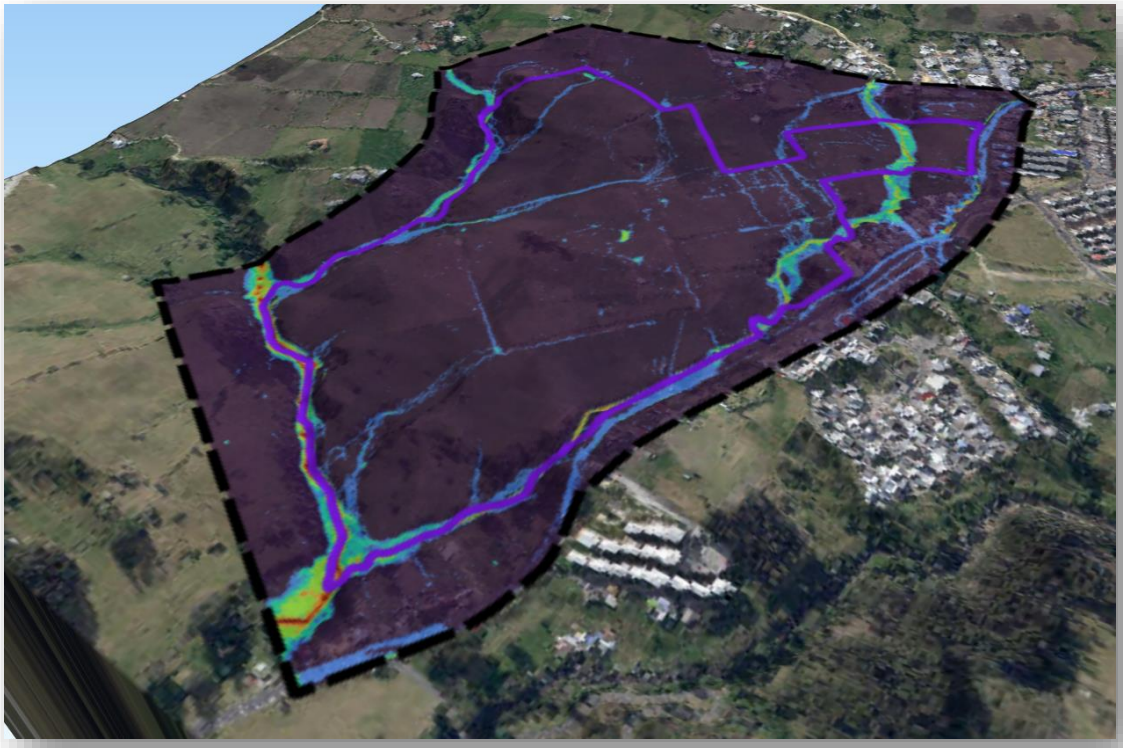
Interventoría

RL:JAVIER ANTONIO MILLAN LOPEZ

Jam Ingeniería y Medio Ambiente SAS

CI AMBIENTAL
Ingeniería Geotécnica y Ambiental
con énfasis en Amenazas Geológicas y de Riesgos

Entregable 03 Versión 2



IDPC-CC-368-2023 Actualización de los estudios y diseños técnicos, complementarios y necesarios para el análisis de riesgo, amenaza y vulnerabilidad por movimientos en masa y diseño de obras de reducción y mitigación de los riesgos para los polígonos y equipamientos que se ubicarán dentro del predio denominado “Hacienda el Carmen”, categorizado como área de protección arqueológica, ubicada en la localidad de Usme, Bogotá D.C.

Enero de 2024

Bogotá, D.C. Colombia
Dirección: Calle 171 # 21A-62
Tels:. (601) 7268982 / Cel:. 317 503 0960 - 317 503 0961

www.ciambiental.com - info@ciambiental.com

iticcol CERTIFIED ISO 9001:2015 ISO 14001:2015 ISO 45001:2018

ENTREGABLE 3 VERSIÓN 2

ESTUDIOS BÁSICOS

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
INSTITUTO DISTRITAL DE PATRIMONIO CULTURAL
BOGOTÁ

CI AMBIENTAL
Ingeniería Geotécnica y Ambiental

Contrato IDPC-CC-368-23

Enero de 2024
BOGOTÁ, D.C. – COLOMBIA

Contenido

1 Levantamiento topográfico 12
1.1 Generalidades 12
1.1.1 Descripción del estudio 12
1.1.2 Alcance del estudio 12
1.2 localización del proyecto 13
1.3 Objetivos 13
1.3.1 General 13
1.3.2 Específicos 13
1.4 Metodología para la ejecución del estudio 14
1.4.1 Recurso técnico 14
1.4.2 Tareas previas 18
1.4.3 Levantamiento topográfico 18
1.4.4 El panorama del GPS 22
1.4.5 Geoposicionamiento GPS 23
1.4.6 Toma de detalles en terreno 39
1.4.7 Sitios especiales en la zona de levantamiento 39
1.4.8 Fotogrametría con DRON utilizando cámara DJI Zenmuse P1 40
1.4.9 Procesamiento de datos 41
1.4.10 Datos fotogramétricos 41
1.4.11 Elaboración de planos 45
1.4.12 Puntos de control de los productos 45
1.4.13 Precisión del modelo obtenido 46
2 Geología y Geomorfología 50
2.1 Introducción 50
2.1.1 Localización 51
2.1.2 Objetivo 51
2.1.3 Alcance del Estudio 52
2.1.4 Aspectos Metodológicos 52
2.2 Resultados 57
2.2.1 Compilación y análisis de la información disponible 57

2.2.2 Interpretación de imágenes 59
2.2.3 Control de campo 65
2.2.4 Geología 67
2.2.5 Geomorfología 78
2.2.6 Unidades Geológicas superficiales 93
3 Cobertura vegetal y uso del suelo 96
3.1 Metodología 97
3.1.1 Recopilación de información secundaria 97
3.1.2 Información cartográfica y sensores remotos 97
3.1.3 Estructuración de la leyenda 97
3.1.4 Interpretación de los sensores remotos 98
3.1.5 Fase de campo 98
3.2 Resultados 100
3.2.1 Cobertura de la tierra 100
3.2.2 Usos del suelo 123
3.2.3 Relación de la cobertura y uso del suelo con la generación de movimientos en masa 128
3.2.4 Análisis índice de protección hidrológica (IPH) de las coberturas vegetales del área arqueológica protegida Hacienda el Carmen en función de la estabilidad del suelo 129
4 Evaluación del drenaje superficial 135
4.1 Identificación y caracterización de drenajes superficiales 135
4.2 Demarcación de rondas hídricas de cuerpos de agua 137
4.3 Verificación de drenajes artificiales 138
4.4 Análisis hidrológico de cuencas 139
4.5 Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia 142
4.6 Modelación hidráulica regional 143
4.6.1 Bases del modelo bidimensional 144
4.6.2 Parámetros de entrada del modelo hidráulico 145
4.6.3 Resultados de la modelación 147
4.7 Modelación hidráulica del área de estudio 150
4.7.1 Parámetros de entrada del modelo hidráulico local 150
4.7.2 Resultados de la modelación 154

4.8 Análisis de la dinámica fluvial....157
5 Evaluación hidrogeológica....158
5.1 Hidrogeología Preliminar....158
5.1.1 Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Superficial o Somero en el Pe....158
5.1.2 rímetro Urbano del Distrito Capital, 2018....158
5.1.3 Estudio Fase II El Carmen, Informe 3, Versión 1 de 2014....160
6 Evaluación de la amenaza sísmica para los análisis de estabilidad....163
7 Conclusiones y recomendaciones....169
7.1 Levantamiento topográfico....169
7.2 Geología y geomorfología....169
7.3 Cobertura Vegetal y Uso del Suelo....169
7.4 Análisis de drenaje superficial....171
7.5 Evaluación hidrogeológica....171
7.6 Evaluación de la amenaza sísmica para los análisis de estabilidad....172
8 Bibliografia....173

Lista de figuras

Figura 1.1 Localización del proyecto. 13
Figura 1.2 Ficha técnica GNSS RTK marca SOUTH referencia NEW GALAXY G1. 14
Figura 1.3 Localización área de estudio. 18
Figura 1.4 Sistema de proyección cartográfica. 20
Figura 1.5 UTM. 20
Figura 1.6 Modelo geoidal GEOCOL2004 21
Figura 1.7 Geoposicionamiento GPS 01 24
Figura 1.8 Geoposicionamiento GPS 02 25
Figura 1.9 Mogon GPS 01 26
Figura 1.10 Geoposicionamiento GPS 01 26
Figura 1.11 Mojon GPS 02 27
Figura 1.12 Geoposicionamiento GPS 02 27
Figura 1.13 Descripción estación GNSS BOGA 29
Figura 1.14 Descripción estación GNSS AEGU....30
Figura 1.15 Efemérides....32
Figura 1.16 Parámetros de la antena registrada en la NOA....32
Figura 1.17 Parámetros 1 para la calibración de la antena South 33

Figura 1.18 Parámetros 2 para la calibración de la antena South 33
Figura 1.19 Parámetros de calibración incorporados al software de post proceso 33
Figura 1.20 Gráfico de ocupaciones y determinaciones 34
Figura 1.21 Gráfico general de vectores 35
Figura 1.22 Gráfico a detalle de vectores GPS01-GPS02.....35
Figura 1.23 Calculo de velocidades 37
Figura 1.24 Definición de elevación 38
Figura 1.25 Zona de vuelo 40
Figura 1.26 Pantalla principal de vuelo 41
Figura 1.27 Archivos crudos de la cámara DJI Zenmuse P1 41
Figura 1.28 Visualización de proceso 42
Figura 1.29 Posiciones de cámaras y estimadores de error.....42
Figura 1.30 Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores 43
Figura 1.31 Ortoimagen 44
Figura 1.32 Plano modelo 45
Figura 1.33 Punto de control.....46
Figura 1.34 Distribución de los puntos de control 48
Figura 2.1 Localización de la Hacienda el Carmen, en el sector norte de la localidad Usme, Bogotá D.C..51
Figura 2.2 Criterios considerados para la compilación, análisis, ponderación y síntesis de la información disponible. 52
Figura 2.3 Directrices para la calificación del criterio de pertinencia. 53
Figura 2.4 Consideraciones requeridas para la valoración del Criterio de Fiabilidad de la información. ...54
Figura 2.5 Conceptos generales requeridos para la valoración del Criterio de Fiabilidad de la información. 55
Figura 2.6 Percepciones requeridas para la ponderación de la calidad de un documento. 55
Figura 2.7 Parámetros considerados de importancia para definir la importancia de la información. 56
Figura 2.8 Libreta de campo diseñada para la toma de información según los requerimientos del proyecto. 57
Figura 2.9 Organigrama metodológico para la consolidación del informe temático final. 57
Figura 2.10 Estado del área del proyecto para el año 2000.....59
Figura 2.11 Estado del área del proyecto para el año 2007.....60
Figura 2.12 Estado del área del proyecto para el año 2010.....60
Figura 2.13 Estado del área del proyecto para el año 2015.....61
Figura 2.14 Estado del área del proyecto para el año 2020.....61
Figura 2.15 Estado del área del proyecto para el año 2021.....62
Figura 2.16 Mapa de la Red de drenaje sub-paralela identificada en el área del proyecto. 63
Figura 2.17 Mapa de pendientes del predio “Hacienda el Carmen” del municipio de Usme Bogotá D.C..64
Figura 2.18 Mapa fotogeológico del área del predio “Hacienda el Carmen” del municipio de Usme Bogotá D.C. 65
Figura 2.19 Mapa de estaciones de campo.....66

Figura 2.20 Esquema ilustrativo del marco geológico regional del área del predio de la "Hacienda el Carmen". 68
Figura 2.21 N=89317, E=95529. Az=240. Vía a Usme, secuencia fluvioglaciar de la formación marichuela (N1m), cerca de la estación de policía del barrio Monte Blanco. nótese el carácter de paleocanal del depósito fluvio-glacial b) N=87727, E=95311. az=95, parte baja del lote tres quebradas, secuencia aluvial de la formación Marichuela. c) N=87937, E=95206. az=95. margen derecha de la desembocadura de la Q. el piojo, al río Tunjuelito. Fuente: Figura tomada informe del Eru, 2018. 70
Figura 2.22 N=87399, E=96391. AZ=15. Depósito fluvio-torrencial en la parte suroriental del lote tres quebradas. nótese la pseudo-estratificación (líneas punteadas) de rumbo N30W, buzando 32-35NE, comparable con la figura 1a. Fuente: Figura ligeramente modificado del informe del ERU (2018). 71
Figura 2.23 Planta geológica Hacienda El Carmen. 72
Figura 2.24 Corte geológico AB del depósito fluvioglaciar en la "Hacienda el Carmen" de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C. Escala: H=1:2000, V=1:1000. N1m= F. Marichuela. N2U= F Usme. Qca= Depósitos coluviales Cuaternarios. Qcr= Depósitos Cuaternarios recientes. 73
Figura 2.25 Estación LBV 13. N=4°28'39,8 E= -74°.07'.04,5'', base oriental del cerro Toten. Muestra la morfología convexa, ondulada, de alta pendiente observable en la ladera norte del cerro Totem. 74
Figura 2.26 N=4°.28'. 36,4 '' E=-74°07'.04,5''. Ladera norte del cerro Toten. Nótese la presencia de bloques de areniscas que sobresalen en las laderas del cerro Toten, afectados por canales de erosión hídrica y grietas de gelifracción. 74
Figura 2.27 Estación LBV 28. N=4°.28´. 38,3''; E=-74°07'13´´. En punteado azul, identifica planicies cóncavas de humedales localizados en la zona plana y cóncava del evento de crecimiento 2, del depósito fluvioglaciar morrenico. 75
Figura 2.28 Estación LBV02 N=4°.28´44,6'; W=-74°07'06,7''. Planicie ligeramente inclinada al norte de morfología convexa. Afloramiento por cruce de vía de penetración urbanística, del depósito fluvioglaciar. 75
Figura 2.29 a) Estación LBV 03. N=4°28´44,9 W=-74°07´05,3. Margen Izquierda de la Q. Requilina. Afloramiento natural del techo del frente morrenico de crecimiento, compuesto de bloques angulares de 65x68x50 cm a tamaños gravas medias (guijos y guijarros) embebidos en una matriz soportada de gravas finas (gránulos) y arenas lodosas gris claras. b) Base del depósito (N=4°28'45,8''; E=-74°07'17''), compuesto por grandes cantos de areniscas de hasta 2 m., de diámetro mayor clasto soportados con matriz gravo arenosa gris y parda, observado en el fondo del cauce de la Q. Agua Dulce, muy cerca de la vía de acceso Usme-Bogotá. 76
Figura 2.30 Imagen Izquierda. Estación-LBV23. N=4°28'12,5''; E=-74°07'12,5''. Depresiones cóncavas de asentamientos antiguos (Qca) reactivado en la pata (Qcr) por la socavación del cauce de la quebrada Agua Dulce. Imagen Derecha-LBV18, N=4°28'37,3''; E-74°07´17,2'', movimientos en masa recientes por socavación del cauce de la Q. Agua Dulce. 76
Figura 2.31 Estación-LBV05. N=4°28'55,7''; W=-74°07'12,1''. Pata de deslizamiento activo en la margen Izquierda de la Q. Fucha. Nótese la afectación de la vegetación.....77

Figura 2.32 Izquierda-Estac-LBV04. N=4°28’56,9’’; W=-74°07’12,5’’, deposito aluvial en la margen Izquierda de la Q. Fucha, sector noroeste del área. Derecha-Estac LBV11 N=4°28’49,8’’; W=-74°07’03’’, depósito aluvial de la Q. Requilina, parte noreste del área. 77
Figura 2.33 Jerarquía Geomorfológica utilizada por el SGC. 78
Figura 2.34 Geomorfoestructura de Colombia. 79
Figura 2.35 Provincias geomorfológicas de Colombia. 80
Figura 2.36 Mapas de morfoestructuras de Colombia (Izquierda) y de Provincias geomorfológicas (derecha) de Colombia. Las estrellas amarillas ubican el área del proyecto. 82
Figura 2.37 Corte topográfico A-B. Escala H: 1:2000 y V: 1:1000; desde el Cerro Toten hasta la Q. Fucha, muestra las 3 morfologías predominante en la “Hacienda el Carmen”. 83
Figura 2.38 Planta geomorfológica Hacienda El Carmen. 85
Figura 2.39 Corte geomorfológico AB del depósito fluvioglaciar en la “Hacienda el Carmen” de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C. Escala: H=1:2000, V=1:1000. Notese el perfil estimado de erosión, generado por el cauce de la Quebrada Fucha sobre la parte media del depósito fluvio-glaciar de la formación Marichuela (N1m). 86
Figura 2.40 a) Estación LBV N=4°28´34,9’’; W=-74°07´13,4’’. Tatucos, b) LBV17, N=4°28´36,3’’; W=-74°07´16,8’’. Humedales. 87
Figura 2.41 a) Est-LBV23. N=4°28’12,5’’; E=-74°07’12,5’’. Depresiones cóncavas de asentamientos antiguos (Qca) reactivado en la pata (Qcr) por la socavación del cauce de la quebrada Agua Dulce. B) Estac-LBV18, N=4°28’37,3’’; E-74°07´17,2’’, movimientos en masa recientes (Dmmr) por socavación del cauce de la Q. Agua Dulce. c) Parte norte del área de interés, con movimientos en masa antiguos (Dmma) y recientes (Dmmr) generadas por los caudales de la Q. Fucha. 93
Figura 2.42 Planta de Unidades Geológicas Superficiales Hacienda El Carmen. 95
Figura 3.1 Puntos de control de campo. 99
Figura 3.2 Mapa de Cobertura actual de la tierra del área de estudio. 100
Figura 3.3 Tipos de cobertura de la tierra identificados en el área de estudio. 102
Figura 3.4 Cuidad Capital (1.1.1.1) 104
Figura 3.5 Instituciones educativas (1.1.1.3.1) 104
Figura 3.6 Vivienda rural dispersa-Vivienda campesina o del productor agrícola (1.1.3.1) 105
Figura 3.7 Vía pavimentada (1.2.2.1.1.1) 106
Figura 3.8 Vía sin pavimentar (1.2.2.1.1.2) 107
Figura 3.9 Estaciones de servicio (1.2.2.1.2.2) 107
Figura 3.10 Parques urbanos (1.4.1.5) 108
Figura 3.11 Cercas vivas (1.4.1.7) 109
Figura 3.12 Áreas culturales (1.4.2.1) 110
Figura 3.13 Monumento religioso (1.4.2.1.2.1) 110
Figura 3.14 Estadios y campos de futbol (1.4.2.2.1) 111
Figura 3.15 Centro de eventos (1.4.2.3.1) 112
Figura 3.16 Cultivos transitorios (2.1) – Cebolla (2.1.4.1) 113
Figura 3.17 Cultivos transitorios (2.1) – Tomate (2.1.4.4) 113

Figura 3.18 Pastos limpios (2.3.1) 114
Figura 3.19 Pastos arbolados (2.3.2) 115
Figura 3.20 Pastos enmalezados (2.3.3) 115
Figura 3.21 Pastos degradados (2.3.4) 116
Figura 3.22 Pastos inundables (2.3.6) 116
Figura 3.23 Bosque de galería mixto (3.1.4.4) 117
Figura 3.24 Reforestación con especies nativas (3.1.5.2.1.1) 118
Figura 3.25 Eucalipto (3.1.5.2.2) 118
Figura 3.26 Arbustal denso (3.2.2.1) 119
Figura 3.27 Arbustal abierto (3.2.2.2) 120
Figura 3.28 Vegetación secundaria alta (3.2.3.1) 121
Figura 3.29 Vegetación secundaria baja (3.2.3.2) 122
Figura 3.30 Áreas erosionadas (3.3.3.1) 122
Figura 3.31 Mapas de usos del suelo del área de estudio. 123
Figura 3.32 Cuantificación en porcentaje del uso del suelo. 124
Figura 3.33 Índice de Protección Hidrológica FAO 130
Figura 3.34 Interpretación de Índice de Protección Hidrológica (IPH) 130
Figura 4.1 Drenajes identificados en el lote Hacienda El Carmen. Elaborado a partir de capas del IDECA. 136
Figura 4.2 Demarcación de rondas hídricas para las quebradas en la Hacienda El Carmen 137
Figura 4.3 Verificación de drenajes artificiales en cercanías al predio. 138
Figura 4.4 Verificación de drenajes artificiales en cercanías al predio, ampliación del sector sur. 139
Figura 4.5 Imagen del modelo de elevaciones ALOS-PALSAR obtenido. 140
Figura 4.6 Cuencas aportantes para cada una de las quebradas identificadas en el predio. Fuente elaboración propia. 141
Figura 4.7 Captura de la respuesta de parte de la EAAB para las IDF en el lote Hacienda El Carmen 142
Figura 4.8 Curvas de intensidad-duración-frecuencia para el Lote Hacienda el Carmen. 143
Figura 4.9 Hietograma de intensidad de precipitación para la estación El Bosque. 144
Figura 4.10 Esquema modelo regional en RF2D. La malla de elementos se presenta con tonos azul (zonas bajas) a rojo (zonas altas), la delimitación de coberturas en polilíneas verdes y las condiciones de frontera polilíneas azules. 146
Figura 4.11 Velocidad máxima del agua para la modelación hidráulica regional. 148
Figura 4.12 Profundidad máxima del agua para la modelación hidráulica regional. 149
Figura 4.13 Hidrograma de caudal para las quebradas Fucha, Aguadulce, Requilina y La Taza. 150
Figura 4.14 Modelo de elevaciones a partir de las batimetrías. 151
Figura 4.15 Modelo de elevaciones mixto a partir de las batimetrías y el LiDAR (EAAB). 152
Figura 4.16 Esquema modelo local en RF2D. La malla de elementos se presenta con tonos azul (zonas bajas) a rojo (zonas altas), la delimitación de coberturas en polilíneas verdes y las condiciones de frontera polilíneas azules. 154
Figura 4.17 Profundidad máxima del agua para la modelación hidráulica local. 155

Figura 4.18 Velocidad máxima del agua para la modelación hidráulica local. 156
Figura 5.1 Modificado de Figura 4-8. Representación de los perfiles en planta sobre los mapas geológicos (227, 228, 246 y 247).....158
Figura 5.2 Modificado de Tabla 3-4. Propiedades físicas de las formaciones geológicas de la zona de estudio.....159
Figura 5.3 Modificado de Figura 4-37 Recarga natural (mm/año).....160
Figura 5.4 Distribución de los datos tomados del nivel freático.....161
Figura 6.1 Ubicación de la zona de estudio en las zonas geotécnicas. 163
Figura 6.2 Detalle ubicación hacienda el Carmen, zonas geotécnicas.....164
Figura 6.3 Ubicación del proyecto en la zona de respuesta sísmica. 166
Figura 6.4 Detalle ubicación hacienda el Carmen, zona de respuesta sísmica. 167

Lista de Tablas

Tabla 1.1 Listado de equipos a emplear.....14
Tabla 1.2 Especificaciones técnicas M300RTK 15
Tabla 1.3 Especificaciones técnicas sensor Zenmuse P1 (35mm) 16
Tabla 1.4 Valores para el falso este y falso norte en la proyección CTM12.....22
Tabla 1.5 Parámetros para la proyección CTM12. 22
Tabla 1.6 Coordenadas de puntos navegados 34
Tabla 1.7 Datos de ocupaciones.....34
Tabla 1.8 GPS Observaciones 35
Tabla 1.9 Observaciones residuales 36
Tabla 1.10 Puntos ajustados 36
Tabla 1.11 Velocidades para cada punto 37
Tabla 1.12 Traslado de época de rastreo 37
Tabla 1.13 Coordenadas finales 38
Tabla 1.14 Errores medios de las posiciones de cámaras 43
Tabla 1.15 Cámaras 43
Tabla 1.16 Puntos de apoyo 44
Tabla 1.17 Estándar de precisión horizontal en posicionamiento satelital, alturas elipsoidales, nivelación y normales.....46
Tabla 1.18 Coordenadas de puntos de control 47
Tabla 1.19 Coordenadas iniciales y coordenadas obtenidas 48
Tabla 1.20 Estadística de precisión 49
Tabla 2.1 Imágenes y vuelos aerofotográficos interpretados.....56
Tabla 3.1 Características Ortofoto. 97
Tabla 3.2 Leyenda del mapa de cobertura de la tierra del área de estudio. 101
Tabla 3.3 Leyenda uso actual del suelo del área de estudio (CUS-T1).....124
Tabla 3.4 Caracterización de unidades de cobertura por Índice de Protección Hidrológica IPH y raíces.130

Tabla 4.1 Áreas aportantes para las quebradas de la Hacienda El Carmen. Fuente propia. 141
Tabla 4.2 Valores de intensidad de lluvias para diferentes duraciones y frecuencias para el Lote Hacienda el Carmen. 142
Tabla 4.3 Valores de n de Manning y CN para las coberturas regionales. 145
Tabla 4.4 Valores de n de Manning y CN para las coberturas locales. 153
Tabla 5.1 Nivel freático preliminar. 160
Tabla 6.1 Descripciones de las zonas geotécnicas. 165
Tabla 6.2 Coeficientes de diseño sísmico. 168

Anexos

Planos

Anexo 1 Topografía

Anexo 2 Geología y Geomorfología

Anexo 3 Cobertura y uso

Anexo 4 Análisis de drenaje superficial

1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

A continuación, se presenta la recopilación y el análisis de la información provenientes de los trabajos topográficos realizados mediante RPAS (aeronave no tripulada) y topografía convencional a un área de estudio, a partir del día 14 de diciembre del año 2023.

La gestión efectiva del territorio y el conocimiento preciso de las coberturas de la tierra y su topografía son aspectos fundamentales para el desarrollo sostenible de cualquier proyecto. En este sentido, la fotogrametría ha demostrado ser herramientas poderosas en la captura, transformación, análisis y presentación de datos geoespaciales de forma precisa, veraz y detallada.

El presente proyecto tiene como objetivo aplicar la fotogrametría y modelos digitales de terreno entre otros en un sector de la ciudad de Bogotá.

1.1 GENERALIDADES

1.1.1 Descripción del estudio

Corresponde al estudio técnico y descriptivo del terreno, mediante la adquisición, transformación y presentación de información geográfica que permite examinar la superficie terrestre teniendo en cuenta las características físicas, geográficas, geológica y antrópicas del mismo, así como sus variaciones y alteraciones, específicamente para la zona de estudio mencionada a continuación, con fines de ser soporte, para estudios de consultorías en proyectos fotovoltaicos.

1.1.2 Alcance del estudio

El objeto se comprende en realizar estudio topográfico con el fin de obtener un modelaje del terreno en donde sea de insumo de proyectos de diseño.

- Realizar el modelo digital de terreno georreferenciado.
- Elaborar el modelo digital de superficie georreferenciado.
- Interpolar los datos levantados y presentar la curva de nivel en formato *shp y CAD.
- Generar un ortoimagen en formato *tif.
- Realizar el reporte del levantamiento realizado.

1.2 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se encuentra ubicado en la ciudad capital Bogotá-

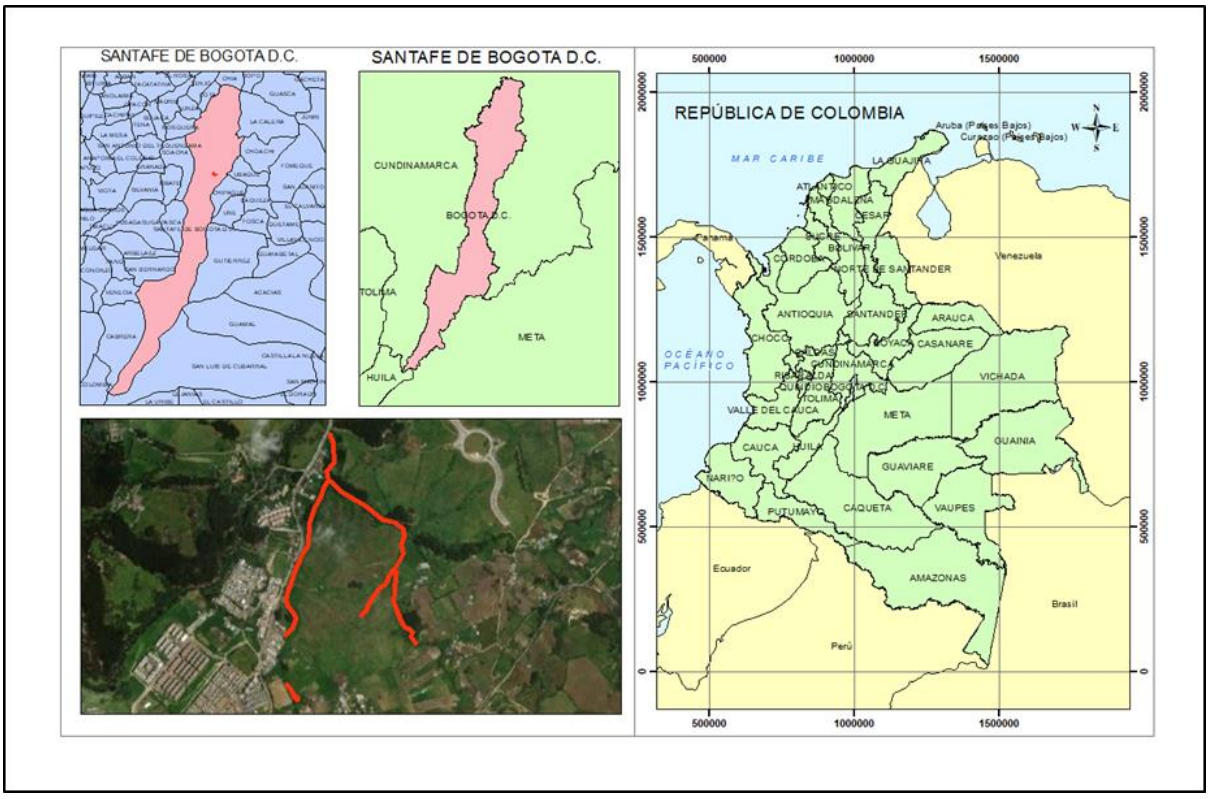


Figura 1.1 Localización del proyecto.
Fuente: Propia

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 General

Realizar levantamiento topográfico con RPAS (aeronave no tripulada) utilizando cámara fotográfica para la captura de información a un área de estudio el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Bogotá durante del mes de diciembre del 2023.

1.3.2 Específicos

- Materializar y georreferenciar los puntos de amarre para el proyecto.
- Recolectar datos en terreno con RPAS (aeronave no tripulada) cámara fotográfica por medio de métodos topográficos.
- Procesar y analizar la información recolectada por medio de Software especializados y técnicas de ingeniería Plasmando los resultados obtenidos en planos.
- Realizar un informe de la metodología empleada describiendo los resultados.

1.4 METODOLOGÍA PARA LA EJECUCIÓN DEL ESTUDIO

1.4.1 Recurso técnico

Equipo de campo

Para la toma de la información se utilizaron equipos de última generación para garantizar la precisión y el rendimiento en la recolección de los datos.

A continuación, se relacionan los equipos utilizados para la captura de la información.

Tabla 1.1 Listado de equipos a emplear

EQUIPO	REFERENCIA	CANTIDAD
Receptor GNSS RTK	SOUTH referencia NEW GALAXY G7	2
Drone RTK	M300RTK	1
Sensor RGB	Zenmuse P1	1

Fuente: Propia

Señales de satélite rastreadas simultáneamente	
Seguimiento de señales	965 canales
	GPS: L1, L1C, L2C, L2P, L5
	GLO: G1, G2, G3
	BDS: BDS-2: B1I, B2I, B3I BDS-3: B1I, B3I, B1C, B2a, B2b*
	GAL: E1, E5A, E5B, E6C, AltBOC*
	QZSS: L1, L2C, L5*
	SBAS: L1*
	IRNSS: L5*
	MSS L-Band (Reserva)
	Tasa de salida de posicionamiento:1Hz~20HzInitialization time: <10s
Características GNSS	Tiempo de inicialización: <10s
	Fiabilidad de inicialización: >99.99%
Precisión en Posicionamiento	
DGPS (códigos)	Horizontal: ±0.25m+1ppm Vertical: ±0.50m+1ppm
	SBAS precisión: Típicamente<5m 3DRMS
Mediciones GNSS estáticas	Horizontal: ±2.5mm+0.5ppm Vertical: ±5mm+0.5ppm
Levantamiento RTK	Horizontal: ±8mm+1ppm Vertical: ±15mm+1ppm
Red RTK	Horizontal: ±8mm+0.5ppm Vertical: ±15mm+0.5ppm
Compensación de inclinación IMU	Incertidumbre adicional horizontal típicamente menor de 10 mm + 0,7 mm / ° inclinación menor a 30 °
Rango de compensación IMU	0°~60°
Interacción de usuario	
Sistema Operativo	Linux
Botones	Un botón de operación
Indicadores	Cuatro luces indicadoras (datalink, satélites, bluetooth y batería)
Web UI	UIPara configurar y monitorear libremente el receptor accediendo al servidor web a través de Wi-Fi y USB
Guía de voz	La tecnología de voz inteligente iVoice proporciona estado y guía de voz
Desarrollo secundario	Compatible con chino, inglés, coreano, ruso, portugués, español, turco y definición de usuario
	Proporciona paquete de desarrollo secundario
Características del Hardware	
Dimensiones	135mm(Diámetro)x84.75mm(Alto)
Peso	0.97kg (con batería incluida)
Material	Carcasa de aleación de aluminio y magnesio
Temperatura de operación	-45°C~+70°C
Temperatura de almacenamiento	-55°C~+85°C
Humedad	100% sin condensación
Impermeabilidad/protección polvo	Estándar IP67, protegido en casis de inmersión prolongada a profundidades de hasta 1 m
Golpes y vibración	Estándar IP67, totalmente protegido contra polvo transportado por viento
	Protección en caídas naturales estando instalado en el bastón a 2 m sobre concreto rígido
Fuente de alimentación	9-25V DC, protección por subidas de voltaje
Batería	Interna, de litio de 6800mAh, 3.7V
Duración de batería	Modo estático 10 h, Modo Rover 8h, Modo Base 8h
Comunicaciones	
Puertos (I/O)t	5PIN LEMO alimentación externa + RS232, 7PIN USB externo(OTG)+Ethernet

Figura 1.2 Ficha técnica GNSS RTK marca SOUTH referencia NEW GALAXY G1.

Fuente: Propia

Tabla 1.2 Especificaciones técnicas M300RTK

Dimensiones	Desplegado, hélices excluidas, 810 × 670 × 430 mm (L × W × H)
	Plegado, hélices incluidas, 430 × 420 × 430 mm (L × W × H)
Distancia entre ejes diagonal	895 milímetros
Peso (con cardán único hacia abajo)	Aprox. 3,6 kg (sin pilas)
	Aprox. 6,3 kg (con dos baterías TB60)
Máximo de carga útil	2,7 kilogramos
Peso máximo al despegue	9 kilogramos
Frecuencia de operación	2,4000-2,4835 GHz
	5,725-5,850 GHz
EIRP	2,4000-2,4835 GHz:
	29,5 dBm (FCC);
	18,5 dBm (CE) 18,5 dBm (SRRC); 18,5 dBm (MIC)
	5,725-5,850 GHz:
	28,5 dBm (FCC); 12,5 dBm (CE)
	28,5 dBm (SRRC)
Precisión de vuelo estacionario (modo P con GPS)	Vertical:
	± 0,1 m (sistema de visión habilitado)
	± 0,5 m (GPS habilitado)
	± 0,1 m (RTK habilitado)
	Horizontal:
	± 0,3 m (sistema de visión habilitado)
	± 1,5 m (GPS habilitado)
	± 0,1 m (RTK habilitado)
Precisión de posicionamiento RTK	Cuando RTK está habilitado y fijo:
	1 cm + 1 ppm (horizontal)
	1,5 cm + 1 ppm (vertical)
Velocidad angular máxima	Paso: 300 ° / s, guiñada: 100 ° / s
Ángulo de paso máximo	30 ° (modo P, sistema de visión hacia adelante habilitado: 25 °)
Velocidad máxima de ascenso	Modo S: 6 m / s
	Modo P: 5 m / s
Velocidad máxima de descenso (vertical)	Modo S: 5 m / s
	Modo P: 4 m / s
Velocidad máxima de descenso (inclinación)	Modo S: 7 m / s

Máxima velocidad	Modo S: 23 m / s
	Modo P: 17 m / s
Techo de servicio sobre el nivel del mar	5000 m (con 2110 hélices, peso al despegue ≤ 7 kg) / 7000 m (con 2195 hélices, peso al despegue ≤ 7 kg)
Resistencia máxima al viento	15 m / s
Tiempo máximo de vuelo	55 min
GNSS	GPS + GLONASS + BeiDou + Galileo
Temperatura de funcionamiento	-20 ° C a 50 ° C (-4 ° F a 122 ° F)

Fuente: Propia

Tabla 1.3 Especificaciones técnicas sensor Zenmuse P1 (35mm)

SENSOR	
nombre del producto	ZENMUSE P1
Dimensiones	198 × 166 × 129 milímetro
Peso	Aprox. 800 g
Poder	20W
Clasificación del IP	IP4X
Aeronaves compatibles	Matrice 300 RTK
Rango de temperatura de funcionamiento	-20 ° a 50 ° C (-4 ° a 122 ° F)
Rango de temperatura de almacenamiento	-20 ° a 60 ° C (-4 ° a 140 ° F)
Exactitud absoluta	Horizontal: 3 cm, Vertical: 5 cm *
	* Usando Mapping Mission a un GSD de 3 cm y una velocidad de vuelo de 15 m / s, con una tasa de superposición frontal del 75% y una tasa de superposición lateral del 55%
Cámara	
Sensor	Tamaño del sensor (imagen fija): 35,9 × 24 mm (fotograma completo)
	Tamaño del sensor (área máxima de grabación de video): 34 × 19 mm
	Píxeles efectivos: 45 MP
	Tamaño de píxel: 4,4 µm
Lentes compatibles	DJI DL 24 mm F2.8 LS ASPH (con parasol y anillo / filtro de equilibrio), FOV 84 °
	DJI DL 35 mm F2.8 LS ASPH (con parasol y anillo / filtro de equilibrio), FOV 63,5 °

	DJI DL 50 mm F2,8 LS ASPH (con parasol y anillo / filtro de equilibrio), FOV 46,8 °
Tarjetas SD compatibles	SD: clasificación UHS-I o superior; Capacidad máxima: 512 GB
Archivos de almacenamiento	Foto / Datos de observación sin procesar GNSS / Archivo de registro de imagen
Tamaño de la foto	3: 2 (8192 × 5460)
Modos de operación	Foto, video, reproducción
Intervalo mínimo de fotos	0,7 s
Velocidad de obturación	Velocidad del obturador mecánico:
	1/2000 * -1 s Velocidad del obturador electrónico: 1 / 8000-1 s
	* Valor de temperatura no mayor que f / 5.6
Rango de apertura	f / 2.8-f / 16
Rango ISO	Foto: 100-25600
	Vídeo: 100-25600
Video	
Formato de video	MP4, MOV
Resolución de video	16: 9 (1920 × 1080)
	16: 9 (3840 × 2160) *
	* Solo se admiten lentes de 35 mm
Cuadros por segundo	60 fps
Cardán	
Sistema estabilizado	3 ejes (inclinación, balanceo, giro)
Rango de vibración angular	± 0,01 °
Montar	DJI SKYPORT desmontable
Rango Mecánico	Inclinación: -130 ° a + 40 °;
	Rollo: -55 ° a + 55 °;
	Pan: ± 320 °

Fuente: Propia

Equipo de oficina

- Equipo de cómputo de alto rendimiento.
- Software especializado para el procesamiento de datos.

1.4.2 Tareas previas

1.4.2.1 Análisis de información recibida o investigada para el desarrollo del contrato.

Se refiere a la obtención de información secundaria: fotografías aéreas y ortofotomapas, así como cartografía y estudios previos de topografía, disponibles en entidades como el IGAC. Esta etapa permite en primer lugar, la asimilación de las características de geomorfológicas del terreno. En segundo lugar, fue la base de la programación de las labores requeridas para la complementación y profundización de la información y del ajuste de las fases de desarrollo del proyecto.

La información recibida, un archivo en formato KML, se observa en visores satelitales en donde se toma información que permita realizar la metodología de campo y demás parámetros que se deben tener en cuenta a la hora de tomar información en terreno.



Figura 1.3 Localización área de estudio.
Fuente: Propia

1.4.2.2 Visita previa

Para este proyecto en especial no se realizaron visitas previas al lugar de estudio.

1.4.3 Levantamiento topográfico

Se entiende por levantamiento Topográfico al conjunto de actividades que se realizan en el campo con el objeto de capturar la información necesaria que permita determinar las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno, ya sea directamente o mediante un proceso de cálculo, con las cuales se obtiene la representación gráfica del terreno levantado, el área y volúmenes de tierra cuando así se requiera; (Torres y Villate, 2001,p.17) lo resumen como “el proceso de medir, calcular y dibujar para determinar la posición relativa de los puntos que conforman una extensión de tierra”. En los últimos años, la aparición de los levantamientos por satélite que pueden ser operados de día o de noche (Wolf y Brinker, 1997) incluso con

lluvia y que no requiere de líneas de visual libres entre estaciones, ha representado un gran avance respecto a los procedimientos de levantamientos convencionales, que se basan en la medición de ángulos y distancias para la determinación de posiciones de puntos.

Se realizó un programa de trabajo desde la oficina donde se estableció la metodología adecuada para lograr el objetivo planteado cumpliendo con los parámetros de precisión necesarios.

1.4.3.1 Levantamiento topográfico con DRON y sensores aplicados a la captura precisa de datos geoespaciales

La Fotogrametría es una técnica para obtener mapas, planos, modelos digitales de superficie, entre otros, de determinada extensión de terreno por medios de la fotografía aérea, empleando diferentes métodos de procesamiento de datos.

Estas fotografías aéreas producen una imagen fotogramétricamente ortorrectificada, en la cual se ha corregido la distorsión geométrica y se ha realizado un balance de color en las imágenes para producir un mosaico continuo.

1.4.3.2 Tipos de coordenadas utilizadas en Colombia

En Colombia se utilizan básicamente tres tipos de coordenadas: las cartesianas tridimensionales, las curvilíneas o elipsoidales y las planas de proyección, las cuales pueden ser Transversa de Mercator o cartesianas bidimensionales. Si bien, cada uno de estos tipos tiene sus ventajas y desventajas, en esencia, son tres formas diferentes, pero equivalentes, de establecer la ubicación geográfica de un punto. En las siguientes secciones se presenta la definición correspondiente a las Coordenadas planas.

Coordenadas planas

A pesar que las coordenadas de las redes nacionales (o marcos) de referencia son representadas en términos de sistemas cartesianos tridimensionales [X, Y, Z] o sistemas elipsoidales [ϕ, λ, h], dichos valores resultan inconvenientes para el desarrollo de aplicaciones prácticas, ya que, por ejemplo, la extensión de un segundo de arco en longitud (ϕ), y en menor medida la de un segundo en latitud (λ), sobre la superficie terrestre varía de una latitud a otra o, en el caso de las coordenadas tridimensionales, sus diferencias en áreas pequeñas de trabajo se reflejan en las últimas cifras significativas de las cantidades. En este sentido, se acostumbra la representación de la superficie terrestre sobre un plano, mediante un sistema bidimensional de coordenadas rectangulares (Imagen 2.), llamado Sistema de Proyección Cartográfica, el cual muestra la correspondencia biunívoca entre los puntos de la superficie terrestre (ϕ, λ) y sus equivalentes sobre un plano de proyección (N, E).

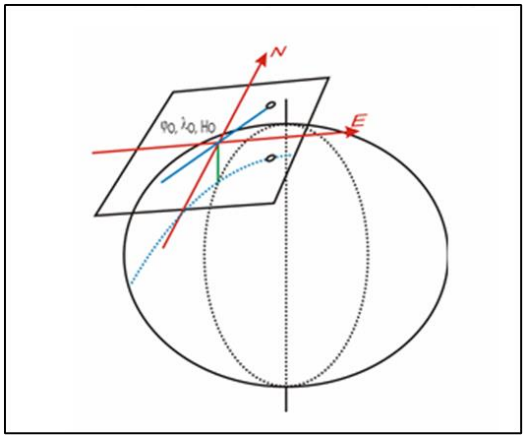


Figura 1.4 Sistema de proyección cartográfica.
Fuente: Propia

El tipo de proyección utilizada obedece al objetivo de la cartografía. Las proyecciones cartográficas son herramientas que permiten la representación de la esfericidad terrestre en un plano, por medio de una conversión, más exactamente la representación de coordenadas elipsoidales (ϕ, λ) en el plano (N, E).

De acuerdo con el tipo de proyección: equivalente, conforme y equidistante se prioriza un determinado aspecto en la representación sea área, ángulos o distancias, respectivamente. Sin embargo, es importante reiterar que no existe una proyección que pueda priorizar los 3 aspectos simultáneamente y que sea libre de distorsiones.

Proyección cartográfica transversa de Mercator TM

La proyección cartográfica TM es de tipo conforme, que prioriza ángulos garantizando así que un ángulo formado entre dos líneas sobre la superficie terrestre se conserve luego de aplicarse la proyección. Utiliza como superficie de referencia el área de un cilindro transverso, secante a la esfera, la escala de representación varía en función de la longitud y el parámetro de escala.

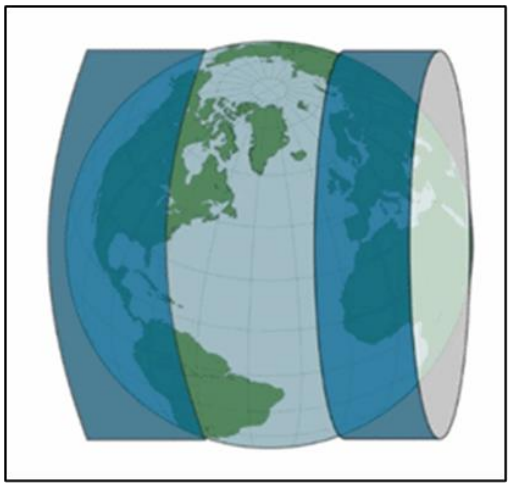


Figura 1.5 UTM.
Fuente: Salvini (2018)

La tendencia mundial, para solucionar estos problemas, en la última década no sólo es la adopción de un sistema de proyección único a nivel país (Uganda, Tanzania, etc.) sino incluso a nivel de todos los países de la Unión Europea (INSPIRE, 2014). Los cuales priorizan en el tipo de proyección el área, ángulos o distancias, de acuerdo con sus necesidades. Todos estos países convergen que la adopción de un sistema de proyección único tiene un carácter social, económico y científico que soluciona la necesidad de una infraestructura de datos espaciales integrada, actualizada y exacta que permita analizar los datos de diferentes fuentes en el marco de un desarrollo sostenible en cada territorio.

1.4.3.3 Modelo para la determinación de alturas utilizadas en Colombia

En la actualidad el modelo GEOCOL2004 proporciona las alturas geoidales que se usan en la determinación de alturas físicas. Este modelo se realizó, combinando información gravimétrica de diferentes resoluciones, primeramente, tomó como base un modelo global denominado TEG-4 (Texas Earth Gravity 4, Tepley, et al 2001), seguidamente se estandarizaron datos gravimétricos de diferentes fuentes, entre las que se encuentran el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) junto a compañías petroleras e internacionales. A la información de componente global se le agregó la información con componente regional y local en forma de cuadriculas, dando como resultado un modelo geoidal en forma de cuadricula con una separación entre cada punto consecutivo de 2’ entre ondulaciones geoidales.

Para darle las elevaciones a cada uno de los puntos coordenados que se tomaron en terreno estuvo enmarcado bajo el modelo GEOCOL2004.

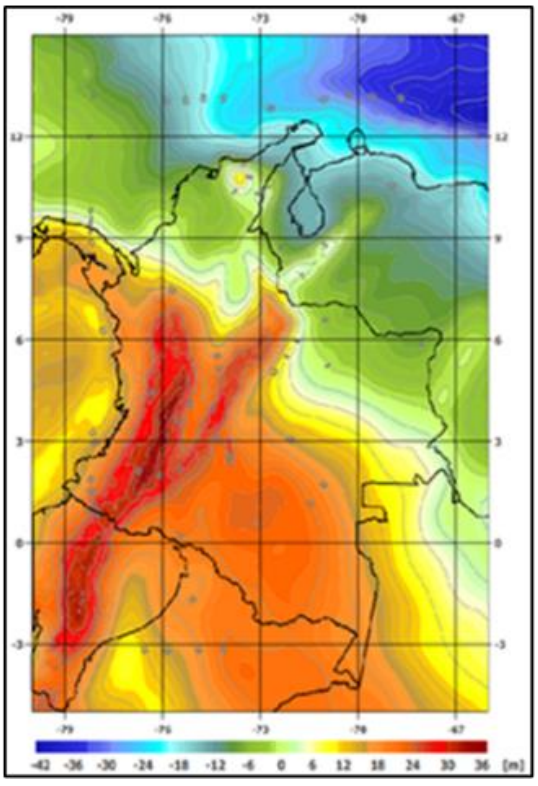


Figura 1.6 Modelo geoidal GEOCOL2004
Fuente: NASA, 2006

1.4.3.4 Sistema de referencia para el proyecto

CTM12 es una proyección cilíndrica transversa, en donde el eje del cilindro yace en el plano generado por el paralelo de referencia y la línea de tangencia está alineada con el meridiano central. La proyección CTM12 utiliza una única banda de longitud de 12°, que se extiende 6° al este y al oeste del meridiano central. CTM12 es una proyección conforme con factor de escala constante para el meridiano central. El ámbito de aplicación sugerido para la proyección se concentra en la totalidad de la parte continental del territorio nacional. Un punto dentro la zona de cobertura de la proyección CTM12 es representado mediante un par de coordenadas planas este y norte. Para evitar la utilización de coordenadas negativas y facilitar la distinción entre las coordenadas norte y este, al punto de origen de la proyección se asignan los siguientes valores.

Tabla 1.4 Valores para el falso este y falso norte en la proyección CTM12.

Parámetro	Valor
Falso Este	5 000 000 m
Falso Norte	2 000 000 m

Fuente: IGAC

Tabla 1.5 Parámetros para la proyección CTM12.

Parámetro	Valor
Proyección	Transversa de Mercator
Elipsoide	GRS80
Origen: Latitud	4° N
Origen: Longitud	73° W
Falso Este	5000000
Falso Norte	2000000
Unidades	Metros
Factor de escala	0,9992

Fuente: IGAC

1.4.4 El panorama del GPS

En los últimos años ha surgido un enfoque nuevo y único de la topografía, el sistema de posicionamiento global (GPS). Este sistema, que emergió del programa espacial, se basa en las señales transmitidas por los satélites para su operación. Es el resultado de la investigación y el desarrollo financiado por las fuerzas armadas para producir un sistema de navegación y guía global. Con el GPS, ahora es posible obtener información de posicionamiento y de sincronización precisos en cualquier parte de la tierra con una alta confiabilidad.

A partir de la información de las señales y del cronometraje, se determinan las distancias precisas desde los satélites hasta los receptores, permitiendo el cálculo de la posición de los receptores. En el sistema de

posicionamiento global, los satélites se convierten en las estaciones de referencia o de control, y los rangos (distancias) a estos satélites se usan para calcular la posición de los receptores.

1.4.4.1 La señal del GPS

Cuando los satélites GPS están orbitando, cada uno transmite continuamente una señal única en dos frecuencias portadoras. Los portadores, que se transmiten en la banda L de las frecuencias de radio de microondas, se identifican como la señal L1 con una frecuencia de 1575.42 MHz y la señal L2 a una frecuencia de 1227.60 MHz. Estas frecuencias se derivan de una frecuencia fundamental, f0, de 10.23 MHz. La banda L1 tiene frecuencia de 154 x f0, y la banda L2 tiene una frecuencia de 120 x f0.

De una manera muy parecida a como transmite una estación de radio, varios tipos diferentes de información (mensajes) se modulan en estas ondas portadoras que usan una técnica de modulación de fase. Alguna de la información que se incluye en el mensaje transmitido es el almanaque, las efemérides radiales, los coeficientes de corrección del reloj de satélite, los coeficientes de corrección ionosférica y la condición del satélite (también llamada la salud del satélite).

1.4.5 Geoposicionamiento GPS

1.4.5.1 Vértices geodésicos del IGAC empleadas para el postproceso

Para georreferenciar el proyecto se empleó dos equipos GPS doble frecuencia trabajando con el método estático diferencial con doble determinación usando como puntos de apoyo o puntos base. Para este caso se empleó el vértice GPS-S-T-89 ubicado en el municipio de Matanza departamento de Santander. El posicionamiento se realizó sobre 2 puntos denominados para el proyecto como puntos topográficos base y los tiempos de lectura o navegación se calcularon de acuerdo con las especificaciones técnicas del IGAC.

1.4.5.2 Fichas de campo

1.FORMATO DE CAMPO PARA ACTIVIDAD DE GEOPOSICIONAMIENTO — VERSION V002_2021/03/31

SIGTOP Geomática y Topografía SAS

2.ID DEL PUNTO	3.FECHA (AAAA/MM/DD)
Gps 01	2023/12/14

4.DEPARTAMENTO	5.MUNICIPIO	6.VEREDA / BARRIO / LUGAR
Bogota D.C.	Localidad USME - Pueblo	Parque Arqueologico

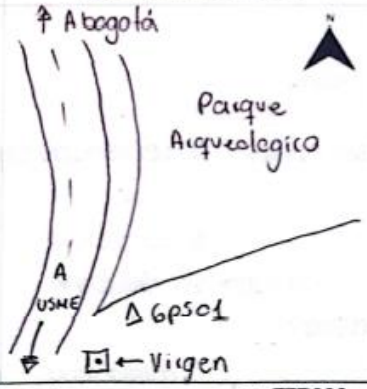
7.DATOS DEL LEVANTAMIENTO

8.MÉTODO		14.TIPO DE PUNTO			
9.ESTATICO	X	15.GEODÉSICO		16.PTO TOPOGRAFICO BASE	X
10.ESTATICO RAPIDO		17.DATOS DE ARMADA			
11.EQUIPO		18.NOMBRE DEL ARCHIVO	20231214		
12.MARCA	South G1	19.HORA INICIO	2:49	20.HORA FINAL	5:10
13.SERIAL	847	21.ALTURA INICIO	1.755	22.INCLINADA	23.VERTICAL X

24.REGISTRO FOTOGRAFICO (NOMBRE DEL ARCHIVO)

25.AL NORTE	✓	28.AL ORIENTE	✓
26.AL SUR	✓	29.AL OCCIDENTE	✓
27.PLACA	✓	30.	

31.TIPO DE MONUMENTO	32.ANCHO	33.LARGO	34.ALTO	35.DIAMETRO
Mojon en concreto	0,3m	0,3m	0,3m	—

36.DIAGRAMA DE OBSTACULOS	37. LOCALIZACION	38.DESCRIPCION DE ACCESO
		El gps 01 se encuentra ubicado sobre el parque infantil, costado sur-oeste del parque Arqueologico.

39.RESPONSABLE	Marlon Osorio
40.CARGO	Topografo
41.L. PROFESIONAL	01-21336
42.FIRMA	
43.OBSERVACIONES:	Altura Vertical.

Figura 1.7 Geoposicionamiento GPS 01
Fuente: Propia

1.FORMATO DE CAMPO PARA ACTIVIDAD DE GEOPOSICIONAMIENTO | VERSION V002_2021/03/31

SIGTOP Geomática y Topografía SAS

2.ID DEL PUNTO	3.FECHA
Gps 02	AAAA/MM/DD

4.DEPARTAMENTO	5.MUNICIPIO	6.VEREDA / BARRIO / LUGAR
Bogotá D.C.	Localidad USME-Pueblo	Parque Arqueologico

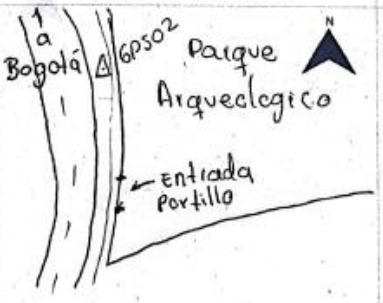
7.DATOS DEL LEVANTAMIENTO

8.MÉTODO		14.TIPO DE PUNTO			
9.ESTATICO	X	15.GEODÉSICO		16.PTO TOPOGRAFICO BASE	X
10.ESTATICO RAPIDO		17.DATOS DE ARMADA			
11.EQUIPO		18.NOMBRE DEL ARCHIVO			
12.MARCA	South G1	19.HORA INICIO	2:40	20.HORA FINAL	5:20
13.SERIAL	204	21.ALTURA INICIO	2	22.INCLINADA	23.VERTICAL X

24.REGISTRO FOTOGRAFICO (NOMBRE DEL ARCHIVO)

25.AL NORTE	✓	28.AL ORIENTE	✓
26.AL SUR	✓	29.AL OCCIDENTE	✓
27.PLACA	✓	30.	

31.TIPO DE MONUMENTO	32.ANCHO	33.LARGO	34.ALTO	35.DIAMETRO

36.DIAGRAMA DE OBSTACULOS	37. LOCALIZACION	38.DESCRIPCION DE ACCESO
		El gps 02 se encuentra ubicado al costado Occidental del predio, aprox 20m adelante del portillo de ingreso al predio.

39.RESPONSABLE	Marlen Osorio	42.FIRMA	
40.CARGO	Topografo		
41.L. PROFESIONAL	CI-21336		

43.OBSERVACIONES: Altura bastón.

Figura 1.8 Geoposicionamiento GPS 02
Fuente: Propia

Registro fotográfico



Figura 1.9 Mogon GPS 01
Fuente: Propia



Figura 1.10 Geoposicionamiento GPS 01
Fuente: Propia



Figura 1.11 Mojon GPS 02
Fuente: Propia



Figura 1.12 Geoposicionamiento GPS 02
Fuente: Propia

Consulta de información preliminar

- **Día de rastreo**: jueves 14 de diciembre de 2023.
- **Día Juliano**: 348
- **Semana GPS**: 2292
- **Época**: 2023.95

Puntos de control horizontal de orden 0

Son los puntos conformados por la red de estaciones **MAGNA ECO** del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia. Para este proyecto se empleó la base BOGA ubicada en la ciudad de Bogotá departamento de Cundinamarca y AEGU ubicada en la ciudad de Bogotá departamento de Cundinamarca.

Información de las estaciones empleadas

- **BOGA**

  Estación: BOGA 41901M002

  Nombre largo: BOGA00COL

  Localización: Bogotá, Colombia

  Estado: disponible

  Redes: MAGNA-ECO

  Agencias: IGAC, DGFI

  Instalado el: 2000-02-10

  En SIRGAS desde: 2000-02-10

  Logfile: boga00col_20220804.log

  Página web: https://geoportal.igac.gov.co/contenido/geodesia-archivos-en-formato-rinex-estaciones-red-magna-eco

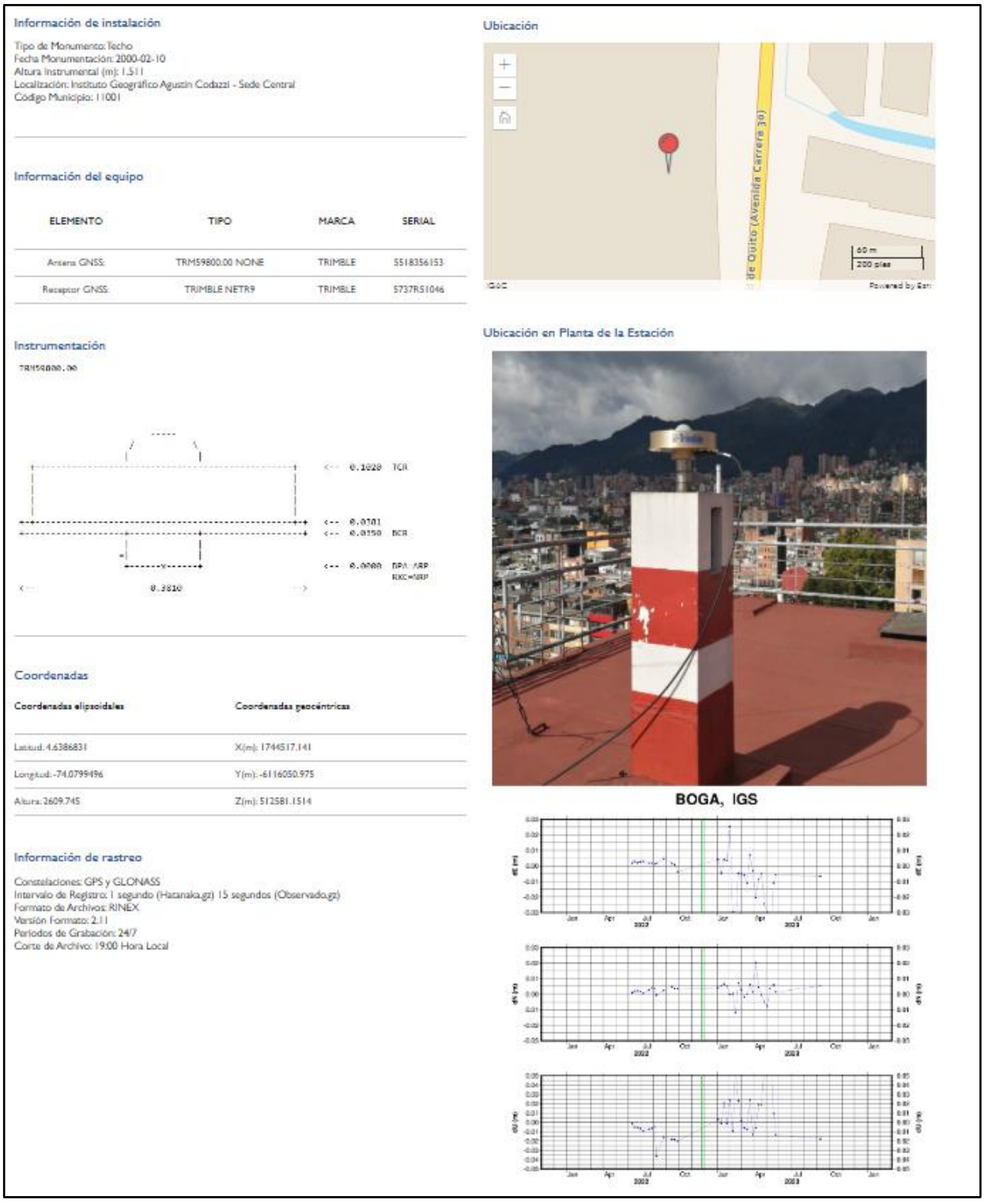


Figura 1.13 Descripción estación GNSS BOGA
Fuente: IGAC

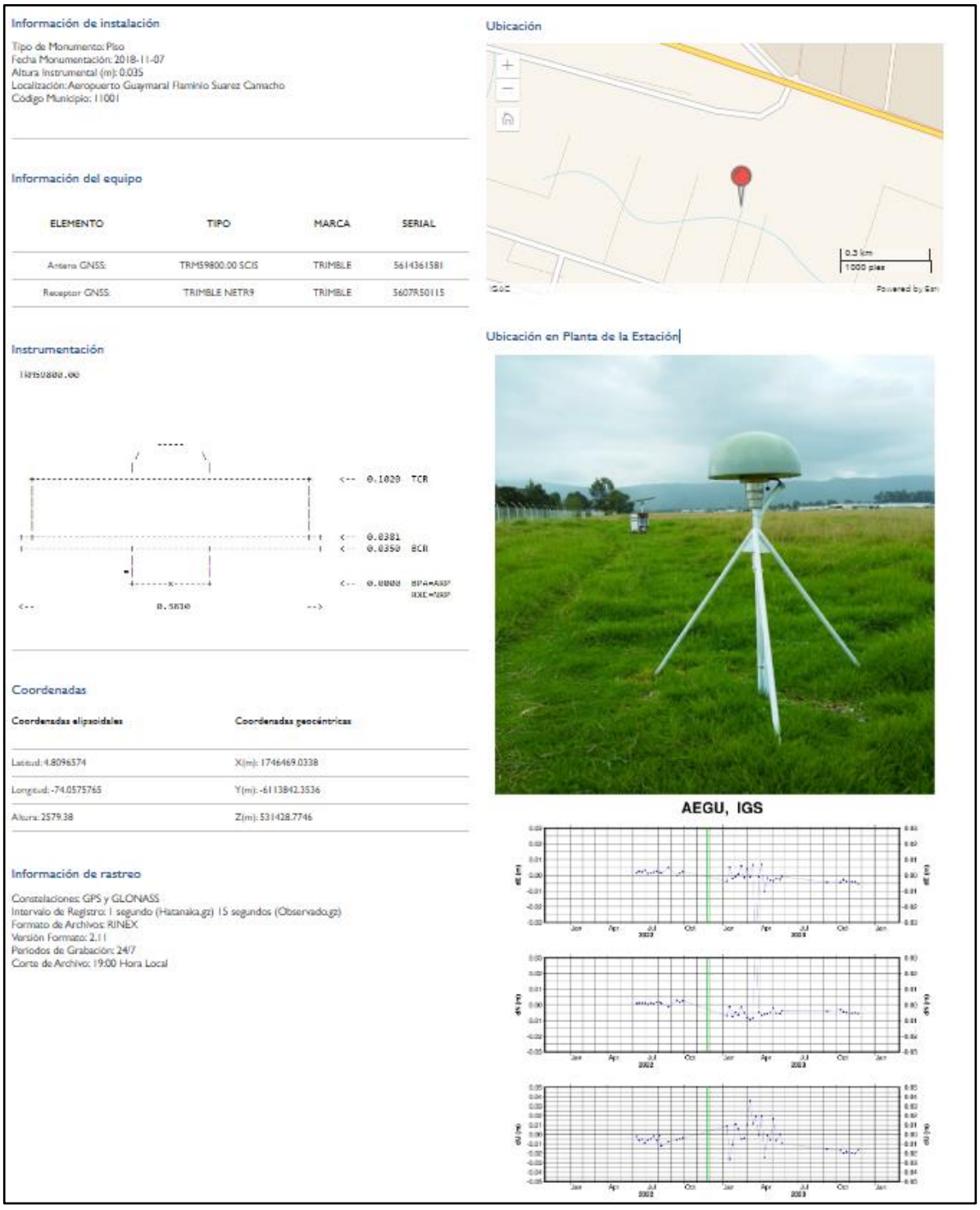


Figura 1.14 Descripción estación GNSS AEGU
Fuente: IGAC

Puntos de control horizontal de orden 1

Son los vértices pertenecientes a la red geodésica nacional pasiva. Para este proyecto no se empleó puntos de control horizontal de orden 1.

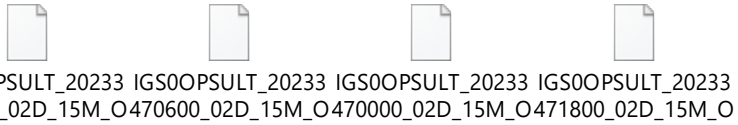
Descarga de efemérides

En este archivo se encuentra codificada la posición de los satélites dentro de una órbita GNSS en un marco de referencia. Conociendo que los sistemas GNS calculan la ubicación de un punto sobre la superficie de la tierra partiendo de la posición de los satélites como puntos de coordenadas conocidas.

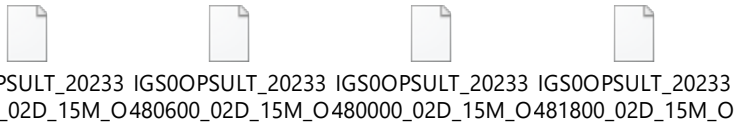
Se consultan y descargan las efemérides de la web.

Tipo de orbita día: Precisa ultra rápida GPS+GLONAS

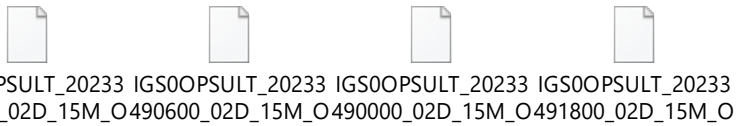
Dia 2023/12/13



Dia 2023/12/14



Dia 2023/12/15



A continuación, en el software de post proceso se cargan las efemérides y validamos si corresponden con la fecha y hora de rastreo.

SV	Date and...	tau - clo...	gamma -...	X - positi...	Y - positi...	Z - positi...
G1	13/12/20...	163.897954	0	13586.79...	-19172.9...	11698.86...
G2	13/12/20...	-516.375...	0	14893.00...	-13542.0...	17723.63...
G3	13/12/20...	50.342146	0	21939.00...	-11974.7...	-8963.03...
G4	13/12/20...	237.907612	0	11493.60...	-9878.99...	-21803.3...
G5	13/12/20...	-153.893...	0	-25795.5...	5387.184...	-3880.58...
G6	13/12/20...	479.757182	0	-8343.33...	-16428.9...	-19019.4...
G7	13/12/20...	-10.374467	0	4547.560...	-25750.7...	3283.128...
G8	13/12/20...	-156.663...	0	17787.18...	-2293.93...	19637.89...
G9	13/12/20...	24.976805	0	309.380255	-18416.7...	-19202.7...
G10	13/12/20...	-65.065302	0	9409.562...	12495.16...	21710.73...
G11	13/12/20...	-498.377...	0	-14137.9...	-5320.48...	-21822.6...
G12	13/12/20...	-456.806...	0	-22956.1...	10441.35...	-8494.72...
G13	13/12/20...	605.021949	0	-19795.6...	-9084.70...	15144.70...
G14	13/12/20...	269.196517	0	-5186.09...	-14689.1...	21542.33...
G15	13/12/20...	106.343927	0	-17692.1...	4283.160...	18922.04...
G16	13/12/20...	-405.268...	0	25255.03...	1970.491...	-9049.49...
G17	13/12/20...	722.085458	0	-10904.9...	-22317.5...	9638.81864
G18	13/12/20...	-504.656...	0	-4354.35...	25732.19...	4383.929...
G19	13/12/20...	411.658288	0	-16796.3...	-20822.5...	-16.177882
G20	13/12/20...	396.955656	0	-21420.0...	-2170.87...	-15381.4...
G21	13/12/20...	141.713457	0	15559.69...	-9037.10...	19713.31...
G22	13/12/20...	67.134806	0	-12353.8...	-12286.7...	20405.94...

Figura 1.15 Efemérides
Fuente: Propia

1.4.5.3 Calibración de la antena

Las antenas GNSS deben estar registradas en la NOAA (Administración nacional oceánica y atmosférica U.S.A), por tal razón es necesario realizar la consulta en la página de la NGS y revisar sus parámetros.

Antena South G1 S82D_T970A

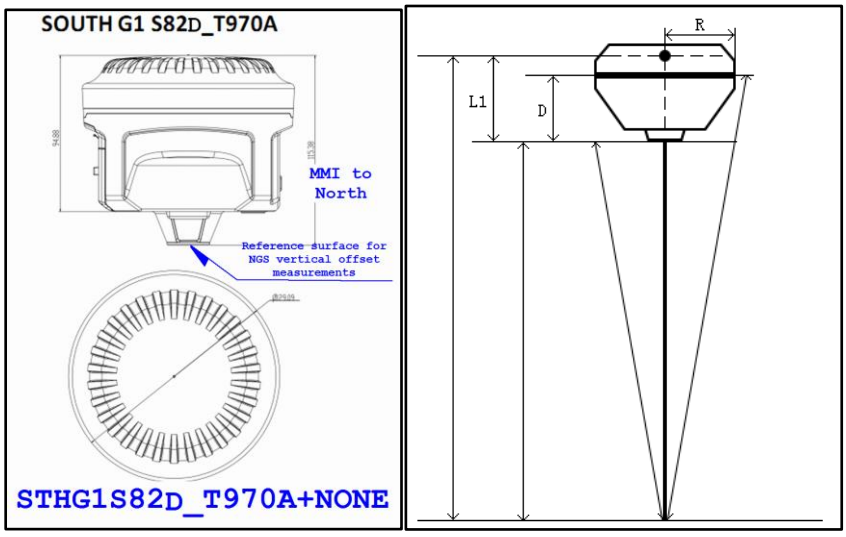


Figura 1.16 Parámetros de la antena registrada en la NOA
Fuente: NOA, 2021

```
    1.4 G ANTEX VERSIÓN / SISTEMA
UN TIPO PCV / REFANT
Esta calibración extraída del compuesto ngs14.atx. Ver comentario
el archivo compuesto ngs14.atx para obtener más información. COMENTARIO
                                                    FIN DEL ENCABEZADO
                                                    INICIO DE ANTENA
STHG1S82D_T970A NINGUNO TIPO / NÚMERO DE SERIE
CAMPO NGS 3 02-NOV-15 METH / BY / # / DATE
     0.0 DAZI
     0,0 80,0 5,0 ZEN1 / ZEN2 / DZEN
     2 # DE FRECUENCIAS
NGSRA_2136 CÓDIGO SINEX
CONVERTIDO DE LAS CALIBRACIONES DE ANTENA NGS RELATIVAS COMENTARIO
   G01 INICIO DE FRECUENCIA
      1,46 -0,03 115,74 NORTE / ESTE / ARRIBA
   NOAZI 0,00 -0,53 -0,71 -0,64 -0,54 -0,33 -0,18 0,09 0,40 0,66 0,82 0,78 0,54 -0,08 -1,01 -2,14 -3,47
   G01 FIN DE FRECUENCIA
   G02 INICIO DE FRECUENCIA
     -1,09 0,44 105,35 NORTE / ESTE / ARRIBA
   NOAZI 0,00 -2,63 -4,21 -4,98 -5,29 -5,28 -5,10 -4,77 -4,52 -4,32 -4,16 -4,06 -4,03 -4,13 -4,43 -5,03 -5,48
   G02 FIN DE FRECUENCIA
                                                    FIN DE ANTENA
```

Figura 1.17 Parámetros 1 para la calibración de la antena South
Fuente: NOA, 2021

```
STHG1S82D_T970A NONE Integrated Galaxy G1 GNSS,  MMI to North NGS (  3) 15/11/02
       1.5      -0.0     115.7
   0.0  -0.5  -0.7  -0.6  -0.5  -0.3  -0.2   0.1   0.4   0.7
   0.8   0.8   0.5  -0.1  -1.0  -2.1  -3.5   0.0   0.0
      -1.1       0.4     105.3
   0.0  -2.6  -4.2  -5.0  -5.3  -5.3  -5.1  -4.8  -4.5  -4.3
  -4.2  -4.1  -4.0  -4.1  -4.4  -5.0  -5.5   0.0   0.0
```

Figura 1.18 Parámetros 2 para la calibración de la antena South
Fuente: NOA, 2021

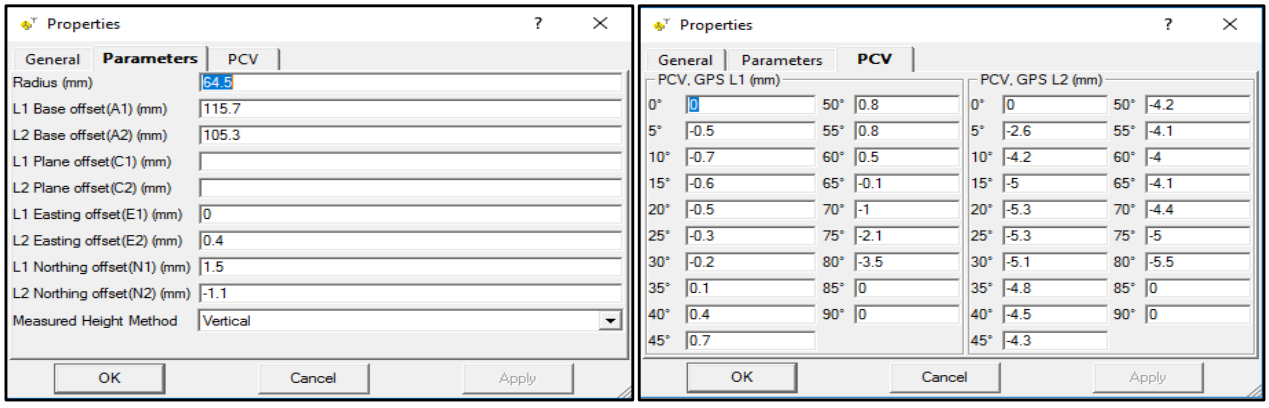


Figura 1.19 Parámetros de calibración incorporados al software de post proceso
Fuente: Propia

Estos parámetros se tienen en cuanta para el postproceso y se ajustan en el software.

1.4.5.4 Postproceso de los datos

Puntos navegados

Tabla 1.6 Coordenadas de puntos navegados

Point Summary						
Name	**X (m)**	**Y (m)**	**Z (m)**	**WGS84 Latitude**	**WGS84 Longitude**	**WGS84 Ell.Height (m)**
AEGU	1746469.350	-6113843.437	531428.910	4°48'34.76787"N	74°03'27.27536"W	2580.516
BOGA	1744517.343	-6116052.130	512581.459	4°38'19.26603"N	74°04'47.82239"W	2610.932
GPS 01	1740472.717	-6118902.280	494437.986	4°28'26.49688"N	74°07'19.28079"W	2797.586
GPS 02	1740446.869	-6118892.388	494488.682	4°28'28.18366"N	74°07'19.99912"W	2785.005

Fuente: Propia

Ocupaciones y determinaciones

Tabla 1.7 Datos de ocupaciones

GPS Occupations					
Point Name	**Original Name**	**Start Time**	**Stop Time**	**Duration**	**GPS week,day**
BOGA	BOGA	13/12/2023 7:00:00 p.m.	14/12/2023 7:00:00 p.m.	24:00:00	2292,348
AEGU	AEGU	13/12/2023 7:00:00 p.m.	14/12/2023 7:00:00 p.m.	24:00:00	2292,348
GPS 01	GPS 01	14/12/2023 2:45:45 p.m.	14/12/2023 5:16:45 p.m.	2:31:00	2292,348
GPS 02	GPS 02	14/12/2023 2:48:45 p.m.	14/12/2023 5:25:05 p.m.	2:36:20	2292,348

Fuente: Propia

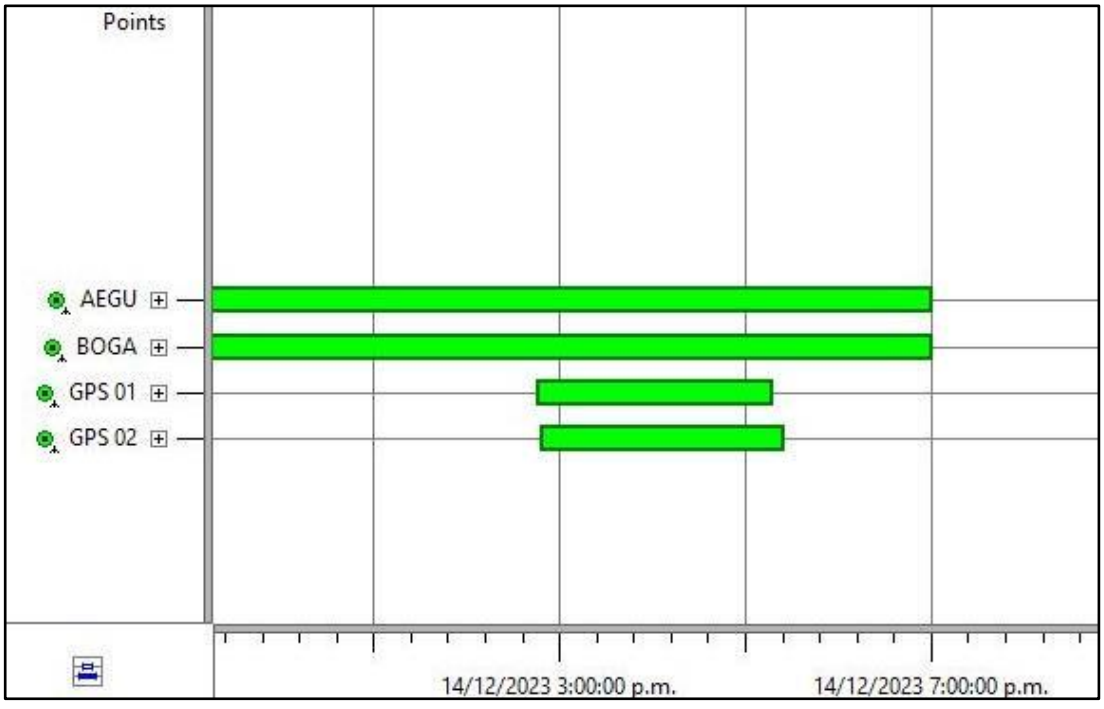


Figura 1.20 Gráfico de ocupaciones y determinaciones
Fuente: Propia

GPS Observaciones

Tabla 1.8 GPS Observaciones

GPS Observations												
Name	**dN (m)**	**dE (m)**	**dHt (m)**	**Horz RMS (m)**	**Vert RMS (m)**	**Distance (m)**	**Azimuth**	**PDOP**	**HDOP**	**VDOP**	**Solution Type**	**Orbit**
AEGU–BOGA	-18914.343	-2483.471	1.649	0.010	0.010	19076.687	187°28'48.7199"	2.106	0.965	1.872	Fixed	Precise
AEGU–GPS 01	-37131.515	-7154.093	100.682	0.031	0.011	37814.555	190°54'19.7634"	1.990	1.027	1.704	Fixed	Precise
AEGU–GPS 02	-37079.167	-7176.390	95.872	0.026	0.014	37767.372	190°57'13.4294"	2.032	1.047	1.741	Fixed	Precise
BOGA–GPS 01	-18216.890	-4670.173	155.245	0.037	0.013	18806.640	194°22'44.2619"	1.991	1.027	1.706	Fixed	Precise
BOGA–GPS 02	-18164.600	-4692.285	150.255	0.015	0.007	18761.472	194°29'02.5254"	2.033	1.048	1.743	Fixed	Precise
GPS 01–GPS 02	52.314	-22.333	-5.077	0.001	0.001	57.108	336°52'57.7334"	2.016	1.048	1.722	Fixed	Precise

Fuente: Propia

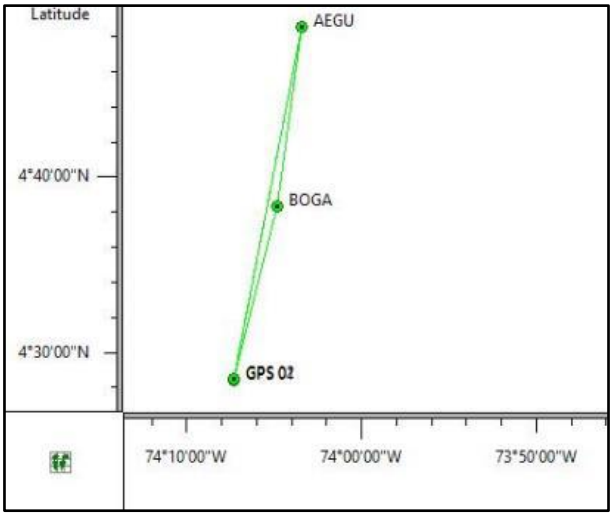


Figura 1.21 Gráfico general de vectores
Fuente: Propia

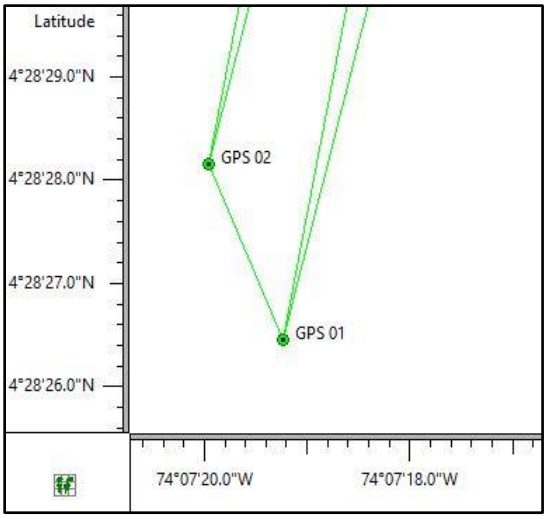


Figura 1.22 Gráfico a detalle de vectores GPS01-GPS02
Fuente: Propia

1.4.5.5 Ajuste de vectores

- Control Tie Analysis: success
- Adjustment type: Plane + Height, Minimal constraint
- Confidence level: 95 %
- Number of adjusted points: 4
- Number of plane control points: 2

- Number of used GPS vectors: 6
- A posteriori plane or 3D UWE: 0.4340006, Bounds: (0.5477226, 1.453731)
- Number of height control points: 2

Observaciones residuales

Tabla 1.9 Observaciones residuales

GPS Observations Residuals								
Name	**dN (m)**	**dE (m)**	**dHt (m)**	**Horz RMS (m)**	**Vert RMS (m)**	**Res X (m)**	**Res Y (m)**	**Res Z (m)**
AEGU−BOGA	-18914.343	-2483.471	1.650	0.010	0.010	0.002	0.001	0.001
AEGU−GPS 01	-37131.515	-7154.093	100.682	0.031	0.011	-0.020	-0.021	-0.009
AEGU−GPS 02	-37079.167	-7176.390	95.872	0.026	0.014	0.000	0.001	-0.007
BOGA−GPS 01	-18216.890	-4670.173	155.245	0.037	0.013	-0.194	-0.101	0.045
BOGA−GPS 02	-18164.600	-4692.285	150.255	0.015	0.007	0.000	0.000	0.002
GPS 01−GPS 02	52.314	-22.333	-5.077	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000

Fuente: Propia

Puntos ajustados

Tabla 1.10 Puntos ajustados

Point Summary										
Name	**X (m)**	**Y (m)**	**Z (m)**	**WGS84 Latitude**	**WGS84 Longitude**	**WGS84 Ell.Height (m)**	**Std Dev n (m)**	**Std Dev e (m)**	**Std Dev Hz (m)**	**Std Dev u (m)**
AEGU	1746469.026	-6113842.322	531428.782	4°48'34.76690"N	74°03'27.27553"W	2579.348	0.003	0.009	0.010	0.009
BOGA	1744517.121	-6116050.933	512581.179	4°38'19.26014"N	74°04'47.81866"W	2609.701	0.000	0.000	0.000	0.000
GPS 01	1740472.810	-6118897.371	494436.468	4°28'26.45956"N	74°07'19.23433"W	2792.785	0.004	0.013	0.014	0.007
GPS 02	1740448.828	-6118894.688	494488.226	4°28'28.16191"N	74°07'19.95842"W	2787.709	0.004	0.013	0.014	0.007

Fuente: Propia

1.4.5.6 Marco geocéntrico nacional de referencia

ITRF por sus siglas en inglés (International Terrestrial Reference Frame) 2014 época 2018.0 es el marco geocéntrico nacional de referencia, es decir que las coordenadas ligadas a la red geodésica nacional pasiva están representadas para la época 2018.0 y todas coordenadas amarrada o trasladada desde estos puntos deben trasladarse a la época de rastreo y devolverla a la época de referencia teniendo en cuenta las velocidades para cada punto, estas velocidades son el resultado de la dinámica terrestre como el movimiento tectónico y la variación de la orientación de la tierra en el espacio.

Cálculo de velocidades

Cálculo de un archivo de puntos por medio del software de IGAC (Magna Sirgas Pro) empleando el modelo de velocidades VEMOS 2017 para sur América.

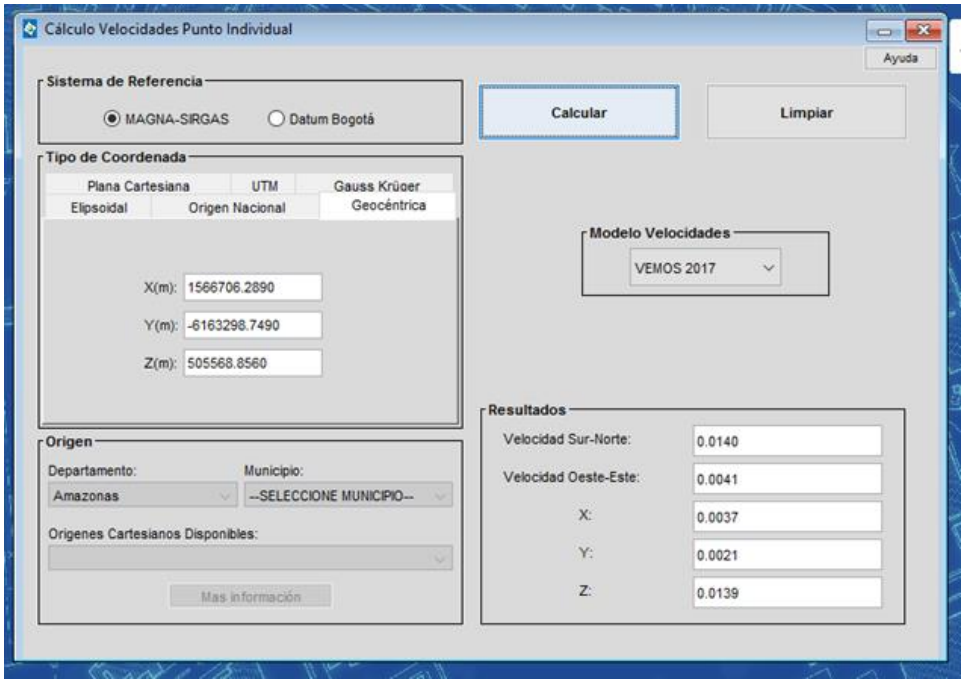


Figura 1.23 Calculo de velocidades
Fuente: Propia

Tabla de velocidades para cada punto

Tabla 1.11 Velocidades para cada punto

ID	Latitud	Longitud	V(S-N)	V(W-E)	V(X)	V(Y)	V(Z)
GPS01	4°28'26.45957"N	74°7'19.23432"W	0.014	0.003	0.002	0.002	0.014
GPS02	4°28'28.1619"N	74°7'19.95843"W	0.014	0.003	0.002	0.002	0.014

Fuente: Propia

Traslado de época de rastreo a época de referencia

La información geodésica o la red nacional geodésica de referencia para Colombia está definida por el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia ITRF 2014 época 2018.0, es decir que los resultados finales de nuestro proceso debemos llevarla a la época de referencia, época 2018.0.

Tabla 1.12 Traslado de época de rastreo

PUNTO	FECHA DE RASTREO	EPOCA DE RASTREO	RASTREO			VELOCIDADES		
			X	Y	Z	*VX*	*VY*	*VZ*
GPS 01	2023-12-14	2023.95	1740472.810	-6118897.371	494436.468	0.002	0.002	0.014
GPS 02	2023-12-14	2023.95	1740448.828	-6118894.688	494488.226	0.002	0.002	0.014

FECHA DE REFERENCIA	EPOCA DE REFERENCIA	DIFERENCIAS DE EPOCAS	REFERENCIA			PUNTO
			X	Y	Z	
2018-01-01	2018.00	5.95	1740472.797	-6118897.381	494436.388	**GPS 01**
2018-01-01	2018.00	5.95	1740448.815	-6118894.698	494488.146	**GPS 02**

Fuente: Propia

1.4.5.7 Definición de elevaciones

Para convertir las alturas elipsoidales a elevaciones fue empleado el modelo EGM96 el cual proporciona las alturas geoidales que se usan en la determinación de alturas físicas. Este fue cargado directamente al software de post proceso.

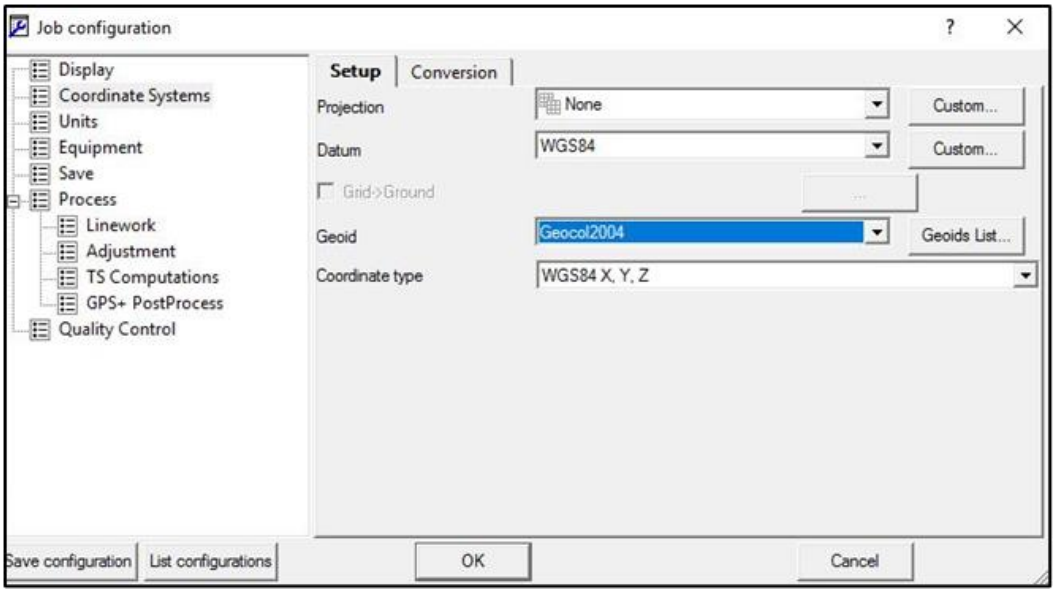


Figura 1.24 Definición de elevación
Fuente: Propia

1.4.5.8 Coordenadas finales

Como los datos fueron procesados en coordenadas geocéntricas se hace necesario llevar las coordenadas finales a coordenadas Elipsoidales, coordenadas Gauss Kruger Origen Central y Origen Nacional CTM12.

Tabla 1.13 Coordenadas finales

COORDENADAS FINALES EPOCA 2018			
SISTEMA DE REFERENCIA	Magna sirgas		
TIPO DE COORDENADA	Elipsoidal GMS		
ID	**Latitud**	**Longitud**	**Altura Elipsoidal**
GPS 01	4°28'26.45696"N	74°7'19.23482"W	2792.785
GPS 02	4°28'28.15929"N	74°7'19.95893"W	2787.709

SISTEMA DE REFERENCIA	Magna sirgas		
TIPO DE COORDENADA	Gauss Krüger		
ORIGEN	Central		
GEOIDE	Geocol 2004		
ID	**Norte**	**Este**	**Elevación**
GPS 01	986488.828	995061.082	2765.585
GPS 02	986541.120	995038.762	2760.509
SISTEMA DE REFERENCIA	Magna sirgas		
TIPO DE COORDENADA	Gauss Krüger		
ORIGEN	Único nacional		
GEOIDE	Geocol 2004		
ID	**Norte**	**Este**	**Elevación**
GPS 01	2052469.949	4875568.226	2765.585
GPS 02	2052522.241	4875545.996	2760.509

Fuente: Propia

1.4.6 Toma de detalles en terreno

La medición en un receptor GPS es representada mediante Vectores tridimensionales que contienen distancia, dirección y un diferencial de altura entre los puntos de la medición. No necesita línea directa de vista entre los puntos de estudio, pero si necesita tener una línea directa de vista a un número suficiente de satélites para que el software pueda generar el vector como la diferencia entre las coordenadas X, Y, Z de un sistema dado.

Ya en campo, la obtención del levantamiento de detalle, la metodología de observación con GPS en tiempo real es un método rápido, cómodo y capaz de dar la precisión requerida para el trabajo. El método de trabajo con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento. El receptor fijo lo situamos sobre un punto de la red básica, de coordenadas conocidas en el sistema de referencia de coordenadas elegido, el cual servirá como vértice de control. A esta estación se le llama Estación Base.

La comunicación entre el receptor de referencia y los receptores móviles es posible gracias al sistema de telecomunicaciones utilizado para la transmisión, con un alcance de 8 Km aproximadamente entre ambos receptores, es por esto por lo que no es necesario que los puntos sean visibles entre sí. Para evitar problemas de comunicación entre receptores, la estación base debe ser colocada en un punto lo más alto posible, y el estadal donde estará situada la antena móvil, de igual manera se debe poder elevar de acuerdo con las necesidades de los puntos que se deseen tomar.

1.4.6.1 Puntos de control

Dependiendo de lo que nos interese verificar en el levantamiento, se toman las lecturas de los elementos necesarios que para este caso fueron: **Puntos de control**, puntos de terreno, entre otros.

Los cuales fueron materializados temporalmente por lonas multicolor con dimensiones de 1m * 1m.

1.4.7 Sitios especiales en la zona de levantamiento

Dentro de los polígonos de estudio no se observa sitios o zonas de levantamiento especial.

1.4.8 Fotogrametría con DRON utilizando cámara DJI Zenmuse P1

1.4.8.1 Programación y planificación en oficina

Antes de iniciar los vuelos en campo, revisamos las especificaciones técnicas requeridas por el cliente, donde tenemos una resolución espacial menor a 5.0 cm por pixel. Igualmente debemos identificar la topografía del terreno, teniendo en cuenta puntos más elevados, puntos bajos, sitios de posibles zonas de despegue y aterrizaje. En base a esto se planea las misiones de vuelo, en el software del fabricante de la aeronave, donde se define altura de vuelo, está en relación de la resolución espacial, el traslape horizontal, traslape vertical entre otros.

1.4.8.2 Planificación y calibración del vuelo

Una vez en campo y realizado el montaje del sensor en la aeronave, se inició la planificación del vuelo delimitada por la ubicación de la zona a estudiar y en apoyo de la información geográfica existente sobre la plataforma de Google Earth, se ejecuta el plan de vuelo teniendo presente los alcances del proyecto y las especificaciones técnicas mínimas requeridas para este método como la resolución espacial.



Figura 1.25 Zona de vuelo
Fuente: Propia

1.4.8.3 Ejecución de vuelo y captura de datos

Del vuelo se encarga un piloto certificado con experiencia en el campo de la topografía, y es el encargado de maniobrar la aeronave y del manejo de los sensores, siendo el responsable de comprobar el correcto funcionamiento de todos los sistemas implicados en el vuelo y de anotar en un informe de vuelo cualquier incidencia ocurrida durante el mismo.

El producto final como resultado de la Misión de vuelo es el conjunto de imágenes RGB, fichero de observaciones GPS e IMU y fichero final de la trayectoria seguida por la aeronave.

Ejecutada la misión de vuelo, se realizó la descarga de datos y control de calidad mediante la generación de imágenes de intensidad, imágenes RGB o de elevación, con las cuales se verifica que el dato adquirido cubre la zona objetivo.



Figura 1.26 Pantalla principal de vuelo
Fuente: Propia

1.4.9 Procesamiento de datos

Con la información ya recolectada en campo continuamos con el proceso de los datos "crudos" capturados.

1.4.10 Datos fotogramétricos

1.4.10.1 Verificación de información adquirida

Con la información ya recolectada en campo continuamos con el proceso de los datos "crudos" capturados.

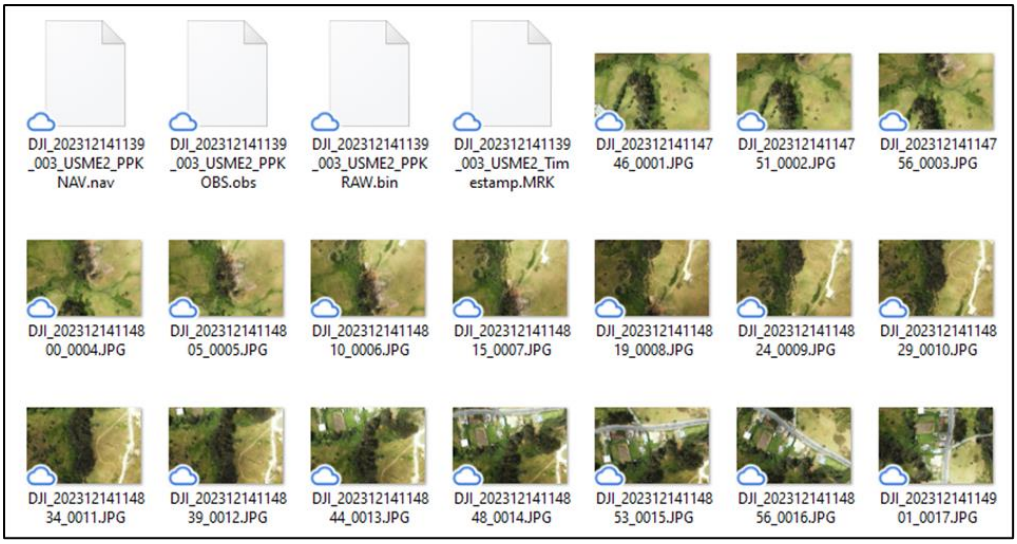


Figura 1.27 Archivos crudos de la cámara DJI Zenmuse P1
Fuente: Propia

1.4.10.2 Procesamiento ortoimagen

A continuación, se visualiza el software de procesamiento de fotografías aéreas en el cual se realiza la reconstrucción de la ortoimagen.

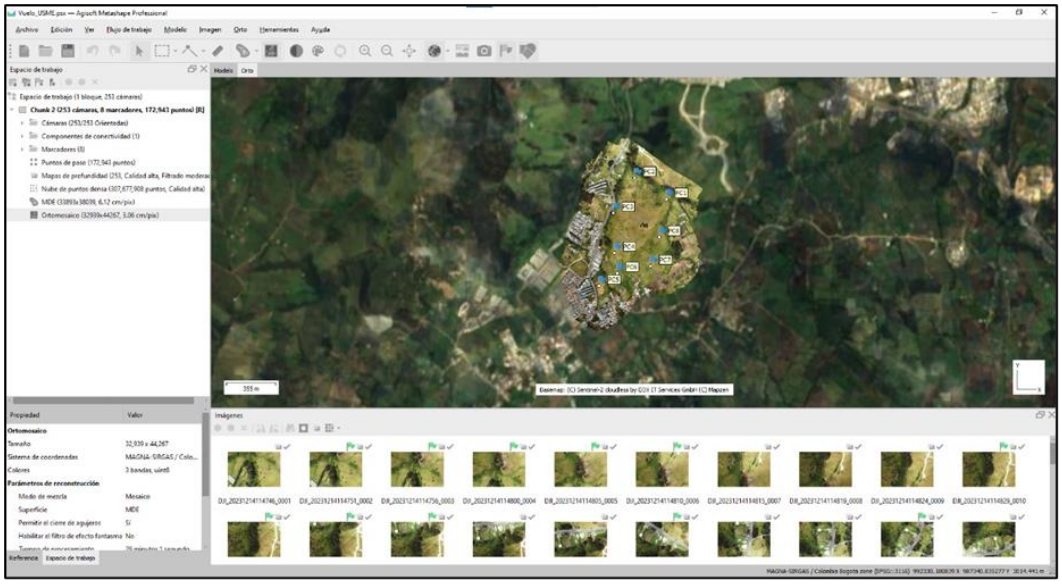


Figura 1.28 Visualización de proceso
Fuente: Propia

1.4.10.3 Posición de cámaras

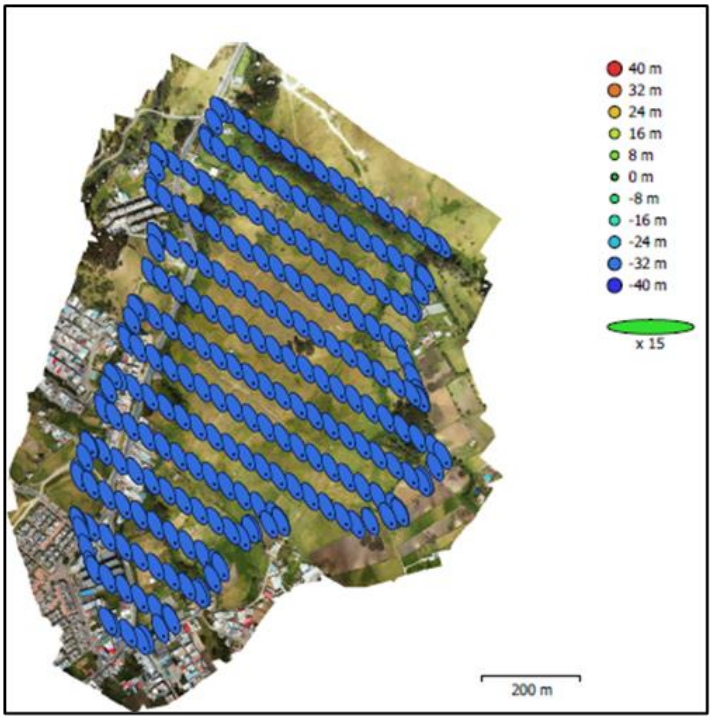


Figura 1.29 Posiciones de cámaras y estimadores de error
Fuente: Propia

El color indica el error en Z mientras el tamaño y forma de la elipse representan el error en XY.

Posiciones estimadas de las cámaras se indican con los puntos negros.

Tabla 1.14 Errores medios de las posiciones de cámaras

Error en X (m)	Error en Y (m)	Error en Z (m)	Error en XY (m)	Error combinado (m)
1.02956	2.01673	33.2247	2.26433	33.3018

Fuente: Propia

1.4.10.4 Puntos de control terrestre

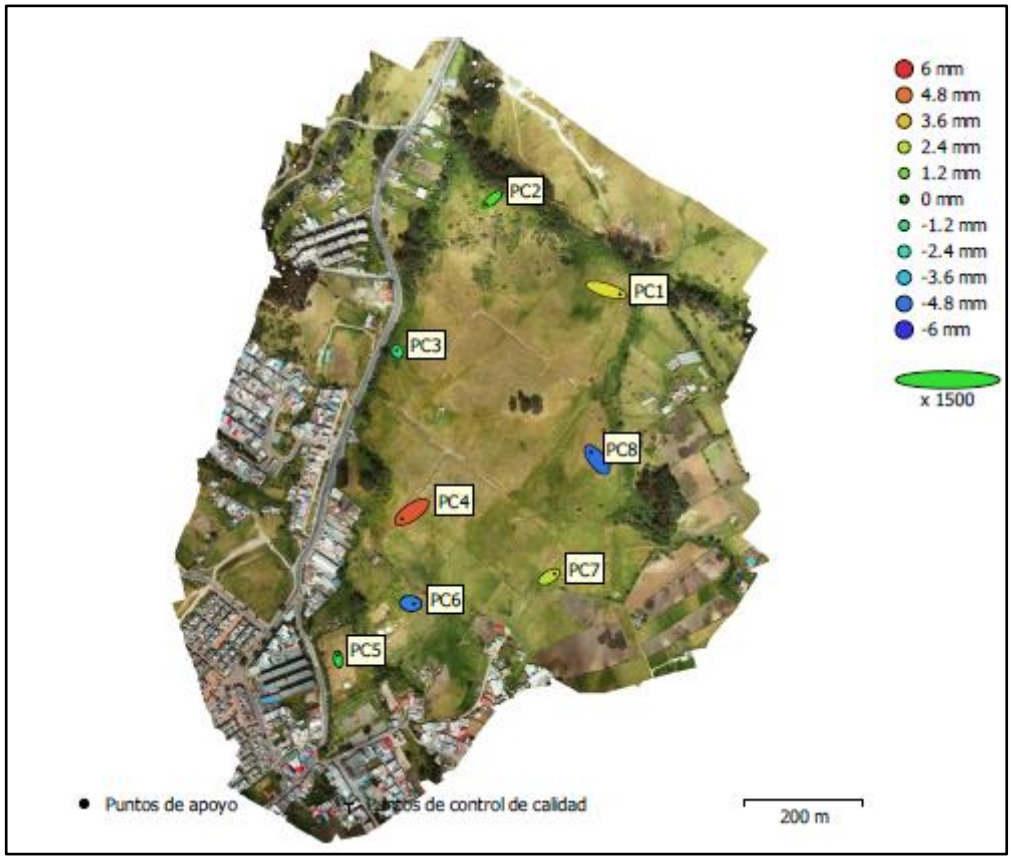


Figura 1.30 Posiciones de puntos de apoyo y estimaciones de errores
Fuente: Propia

Tabla 1.15 Cámaras

Número	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Error en XY (cm)	Total (cm)
8	1.58339	1.02638	0.337815	1.88695	1.91695

Fuente: Propia

Tabla 1.16 Puntos de apoyo

Nombre	Error en X (cm)	Error en Y (cm)	Error en Z (cm)	Total (cm)	Imagen (pix)
PC1	3.14477	-0.93905	0.303324	3.29596	0.826 (15)
PC2	-1.31881	-1.01896	0.0482077	1.66729	0.576 (16)
PC3	-0.114992	0.270514	-0.142807	0.326795	0.297 (17)
PC4	-2.17882	-1.4971	0.531592	2.69651	0.610 (19)
PC5	-0.138814	0.892563	-0.0159312	0.903434	0.382 (22)
PC6	0.729898	-0.100473	-0.465218	0.871363	0.510 (15)
PC7	1.18499	0.684264	0.234676	1.38834	0.485 (18)
PC8	-1.30821	1.70823	-0.493844	2.20756	0.605 (19)
Total	**1.58339**	**1.02638**	**0.337815**	**1.91695**	**0.548**

Fuente: Propia

1.4.10.5 Generación de ortoimagen

Con la nube de puntos densa ya generada y el modelo digital de elevación (DEM) procedemos a generar el ortofotomosaico, recordando que este es un modelo de imágenes en las cuales a nivel del terreno han sido removidos los desplazamientos causados por la inclinación de la cámara o sensor, las condiciones de toma y el relieve del terreno. Están referidas a una proyección cartográfica, por lo que poseen las características geométricas de un mapa. A continuación, se muestra el producto obtenido.



Figura 1.31 Ortoimagen
Fuente: Propia

1.4.11 Elaboración de planos

Los planos topográficos del proyecto fueron realizados en programas CAD, cada elemento que compone el dibujo se encuentran separados por capas de dibujo o layers permitiendo acceder de manera fácil y clara a toda la información disponible de acuerdo con la especialización de cada estudio.

1.4.11.1 Planos finales

Cinco planos a color en tamaño 1000mm*700mm impresos en pdf a escalas indicadas distribuidos de la siguiente manera.

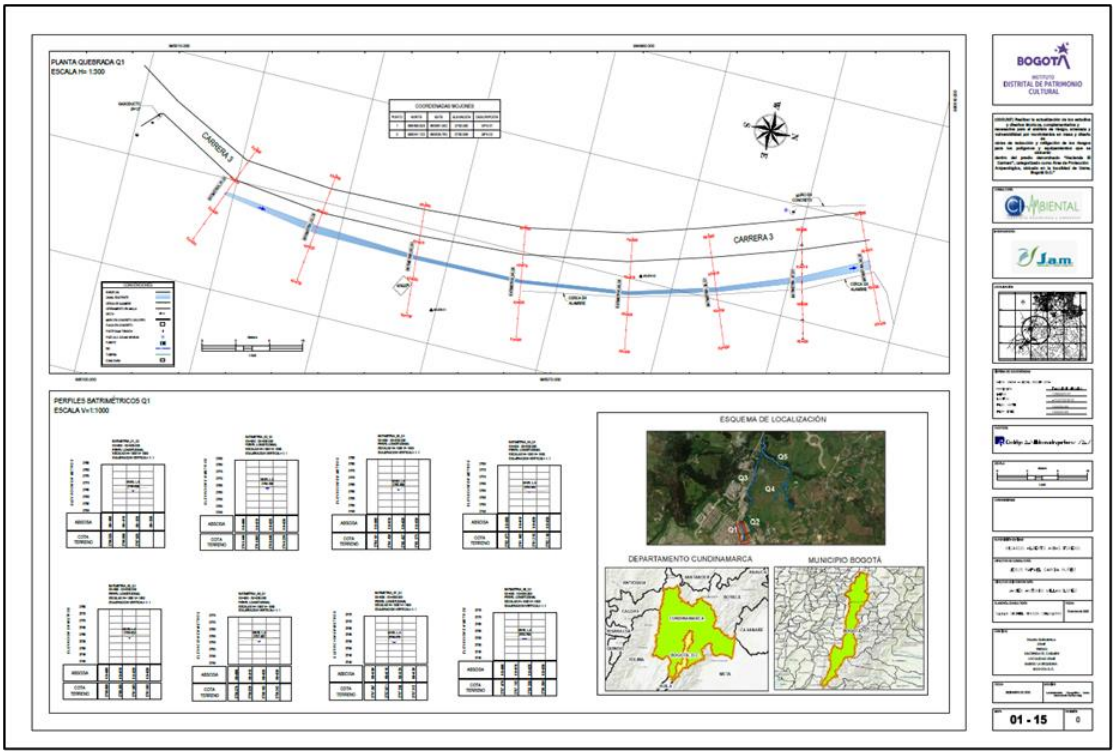


Figura 1.32 Plano modelo
Fuente: Propia

1.4.12 Puntos de control de los productos

Con el fin de garantizar la fidelidad de los productos obtenidos se materializaron en campo puntos de control, definidos por un plástico a color u pintura en zonas duras. Estos puntos fueron medidos empleando técnicas de posicionamiento cinemático en tiempo real.



Figura 1.33 Punto de control
Fuente: Propia

1.4.13 Precisión del modelo obtenido

Para estimar la precisión espacial se utiliza el error raíz media cuadrática (RMSE), éste consiste en la raíz cuadrada del promedio de las diferencias al cuadrado entre los valores de las coordenadas de los datos y los valores de las coordenadas provenientes de una fuente independiente de mayor precisión para puntos idénticos.

La precisión se presenta en distancias terrestres al 95% del nivel de confianza. Una precisión presentada al 95 % del nivel de confianza significa que el 95% de las posiciones en el grupo de datos tendrá un error con respecto a la posición verdadera en el terreno menor o igual que el valor de precisión informado. El valor de la precisión en él refleja todas las incertidumbres, incluyendo aquellas introducidas por las coordenadas del control geodésico, la compilación y el cálculo final de los valores de las coordenadas sobre el terreno en el producto.

Tabla 1.17 Estándar de precisión horizontal en posicionamiento satelital, alturas elipsoidales, nivelación y normales

Orden	Clasificación de la precisión	95% de confianza Menor o igual que:	Aplicación
1	1 mm	0.001 m	GEODESIA: Precisión cm: 0,1-0,2-0,5
2	2 mm	0.002 m	
3	5 mm	0.005 m	
4	1 cm	0.010 m	TOPOGRAFÍA: Precisión cm: 1-2-5
5	2 cm	0.020 m	
6	5 cm	0.050 m	

Orden	Clasificación de la precisión	95% de confianza Menor o igual que:	Aplicación
7	1 dm	0.100 m	SIG: Precisión cm: 10-20-50
8	2 dm	0.200 m	
9	5 dm	0.500 m	
10	1 m	1.000 m	CARTOGRAFIA: Precisión cm: 100-200-500-1000-1500-2000-5000
11	2 m	2.000 m	
12	5 m	5.000 m	
13	10 m	10.000 m	
14	15 m	15.000 m	
15	20 m	20.000 m	
16	50 m	50.000 m	

Fuente: NTC 5204, 2003

Con el fin de garantizar la fidelidad de los productos obtenidos se materializaron en campo 8 puntos de control, definidos por una lona multicolor y las coordenadas de su centroide. Estos puntos fueron medidos empleando técnicas de posicionamiento cinemático en tiempo real.

Las coordenadas levantadas son las siguientes:

Tabla 1.18 Coordenadas de puntos de control

Punto ID	Valores Verificados de puntos levantados		
	Coordenadas Este Metros	Coordenadas Norte Metros	Elevación (H) Metros
PC1	995535.858	987184.08	2710.593
PC2	995310.896	987335.898	2685.075
PC3	995160.245	987089.638	2717.739
PC4	995169.301	986805.993	2748.072
PC5	995060.52	986576.206	2758.564
PC6	995189.096	986662.634	2757.723
PC7	995425.676	986713.46	2768.956
PC8	995487.275	986918.029	2735.895

Fuente: Propia

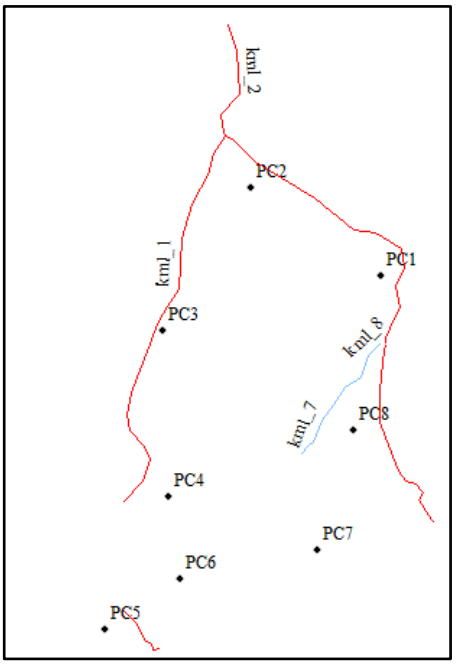


Figura 1.34 Distribución de los puntos de control
Fuente: Propia

Ingresando estos puntos a nuestro modelo o nube de puntos podemos evidenciar que existen ciertas diferencias entre el punto ingresado y el punto existente, estas diferencias corresponden a la precisión absoluta del proyecto. Lo anterior se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 1.19 Coordenadas iniciales y coordenadas obtenidas

Punto ID	Valores derivados del Mapa			Valores Verificados de puntos levantados		
	Coordenadas Este Metros	Coordenadas Norte Metros	Elevación (H) Metros	Coordenadas Este Metros	Coordenadas Norte Metros	Elevación (H) Metros
PC1	995535.901	987184.063	2710.586	995535.858	987184.08	2710.593
PC2	995310.88	987335.892	2685.08	995310.896	987335.898	2685.075
PC3	995160.255	987089.632	2717.723	995160.245	987089.638	2717.739
PC4	995169.261	986805.99	2748.063	995169.301	986805.993	2748.072
PC5	995060.507	986576.221	2758.572	995060.52	986576.206	2758.564
PC6	995189.114	986662.625	2757.733	995189.096	986662.634	2757.723
PC7	995425.702	986713.488	2768.989	995425.676	986713.46	2768.956
PC8	995487.251	986918.059	2735.876	995487.275	986918.029	2735.895

Fuente: Propia

Con el fin de evaluar la precisión obtenida para el proyecto calculamos a partir de los datos obtenidos en las lecturas GNSS y los resultados del postprocesamiento el error de la raíz media cuadrática (RMSE) teniendo en cuenta los residuales obtenidos en cada vértice, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 1.20 Estadística de precisión

Punto ID	Valores derivados del Mapa			Valores Verificados de puntos levantados			Residuales (Errores)			Residuales Cuadraticos		
	Coordenadas Este Metros	Coordenadas Norte Metros	Elevación (H) Metros	Coordenadas Este Metros	Coordenadas Norte Metros	Elevación (H) Metros	Res X (m)	Res Y (m)	Res Z (m)	Res X^2 (m)	Res Y^2 (m)	Res Z^2 (m)
PC1	995535.901	987184.063	2710.586	995535.858	987184.08	2710.593	0.043	-0.017	-0.007	0.001849	0.000289	0.000049
PC2	995310.88	987335.892	2685.08	995310.896	987335.898	2685.075	-0.016	-0.006	0.005	0.000256	0.000036	0.000025
PC3	995160.255	987089.632	2717.723	995160.245	987089.638	2717.739	0.010	-0.006	-0.016	0.000100	0.000036	0.000256
PC4	995169.261	986805.99	2748.063	995169.301	986805.993	2748.072	-0.040	-0.003	-0.009	0.001600	0.000009	0.000081
PC5	995060.507	986576.221	2758.572	995060.52	986576.206	2758.564	-0.013	0.015	0.008	0.000169	0.000225	0.000064
PC6	995189.114	986662.625	2757.733	995189.096	986662.634	2757.723	0.018	-0.009	0.010	0.000324	0.000081	0.000100
PC7	995425.702	986713.488	2768.989	995425.676	986713.46	2768.956	0.026	0.028	0.033	0.000676	0.000784	0.001089
PC8	995487.251	986918.059	2735.876	995487.275	986918.029	2735.895	-0.024	0.030	-0.019	0.000576	0.000900	0.000361
						Error Medio (m)	0.00050	0.00400	0.00063			
						Desviacion Estandar (m)	0.028	0.018	0.017			
						RMSE (m)	0.026	0.017	0.016			
						RMSE r (m)	0.031					
						NSSDA Precision Horizontal r (ACCr) a 95% de nivel de confianza	**0.054**					
						NSSDA Precision Vertical z (ACCr) a 95% de nivel de confianza	**0.031**					

OPOGRAFÍA: Precisión cm: 1-2-

Este conjunto de datos fue probado para cumplir con Estándares de Precisión posicional ASPRS para Datos Digitales Geoespaciales (2014) para 0.089 (m) RMSEx / RMSEy de Precisión Clase Horizontal. La Precisión de la posición real se encontró que era RMSEx= 0.036 (m) y RMSEy= 0.037 (m) que equivale a la Precisión Posicional Horizantal= ± 5 cm a 95% de nivel de confianza.

Fuente: Propia

2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

2.1 INTRODUCCIÓN

El marco geológico regional de la cordillera oriental define dentro su orogénesis Neógena, la generación de geoformas estructurales deprimidas definidas como "Valles Valandinos" cuyos prototipos son entre otros los de Bogotá y Boyacá (INGEOMINAS 1998), valles que presentan importantes acumulaciones de sedimentos fluviales, lacustres, glaciales y gravitacionales, generados por los cambios climáticos Plio-cuaternarios provenientes de las zonas montañosas marginales; que se caracterizan por su alta fertilidad generadoras del desarrollo agrícola y ganadero regional que hoy son pilares que sustentan el crecimiento poblacional de regiones como la cundiboyacense.

La parte sur del valle valandino de la sabana de Bogotá está conformada por una gran estructura sinclinal con cierre periclinal en el páramo del Sumapaz, de características topográficas, geológicas y climáticas especiales generadoras durante el plio-cuaternario de importantes eventos glaciares productores de una morfogénesis glaciar y fluvio-lacustres en la Sabana de Bogotá.

Este informe presenta los resultados de la investigación geológica y geomorfológica requerida por el Instituto Distrital de Patrimonio Cultural de Bogota D.C., para realizar la actualización de los diseños y estudios técnicos complementarios y necesarios para el análisis de Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad por Movimientos en Masa y diseño de obras de reducción y Mitigación de los riesgos para los polígonos y equipamientos que se ubicaran dentro del predio denominado "Hacienda el Carmen" categorizado como área de protección Arqueológica, ubicada en la localidad de Usme, Bogotá D.C.", al sur de la sabana de Bogotá.

Su contenido se presenta de la siguiente forma: primero contiene los objetivos, las técnicas metodológicas consideradas para el desarrollo de las temáticas de Geología y Geomorfología tales como: la compilación y análisis de la información temática disponible, la fotointerpretación, el análisis multitemporal, las actividades de campo y segundo consolida los resultados temáticos logrados y finalmente se presentan las conclusiones y sugerencias temáticas de susceptibilidad de la zona ante eventuales procesos generadores de amenazas para el desarrollo del proyecto.

2.1.1 Localización

El lote de la "Hacienda el Carmen" se localiza al Sur de la Sabana de Bogotá, entre el sector de la localidad de Monte Blanco del D.C. y el municipio de Usme; en la margen derecha de la vía que conduce de Usme a Bogotá, inmediatamente al sur de la quebrada Fucha y los alrededores del municipio de Usme, Figura 2.1.

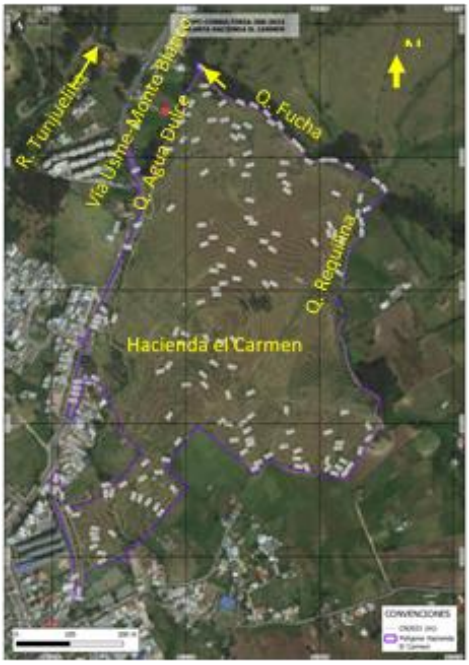


Figura 2.1 Localización de la Hacienda el Carmen, en el sector norte de la localidad Usme, Bogotá D.C.
Fuente: Propia

2.1.2 Objetivo

2.1.2.1 General

Realizar la cartografía geológica y geomorfológica requerida para realizar la actualización de los diseños y estudios técnicos complementarios y necesarios para el análisis de Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad por Movimientos en Masa y diseño de obras de reducción y Mitigación de los riesgos para los polígonos y equipamientos que se ubicaran dentro del predio denominado "Hacienda el Carmen" categorizado como área de protección Arqueológica, ubicada en la localidad de Usme, Bogotá D.C."

2.1.2.2 Específicos

- Efectuar la compilación y análisis de la información geológica y geomorfológica disponible en el lote de la "Hacienda El Carmen"
- Realizar el análisis multitemporal de sensores remotos en la "Hacienda El Carmen"
- Generar la fotointerpretación temática de Geología y Geomorfología con énfasis en los procesos de Movimientos en masa (MM), a escala 1:1000
- Desarrollar un control cartográfico geológico y geomorfológico de campo a escala 1:1.000, en los predios de la "Hacienda El Carmen"

- Consolidar a escala 1: 1.000, los mapas temáticos de Geología y Geomorfología acompañado de sus leyenda y convenciones explicativas.
- Realizar un corte geológico y uno geomorfológico a escala 1:1.000, ilustrativo de las condiciones geológicas y geomorfológicas encontradas en los predios de la "Hacienda El Carmen", debidamente referenciado en los mapas respectivos
- Elaborar la memoria explicativa, acompañada de figuras representativas identificadas en la campaña de campo y/o consideradas de interés para el desarrollo del proyecto.

2.1.3 Alcance del Estudio

Describir las condiciones geológica y geomorfológica a escala 1:1000, del predio denominado "Hacienda el Carmen" y generar un modelo temático que contribuya en los estudios técnicos complementarios y necesarios para el análisis de Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad por Movimientos en Masa y diseño de obras de reducción y Mitigación de los riesgos para los polígonos y equipamientos que se ubicaran dentro del área de referencia.

2.1.4 Aspectos Metodológicos

Se describen las técnicas de análisis utilizadas en el desarrollo del proyecto, acompañadas de los diagramas respectivos.

2.1.4.1 Compilación y análisis de la información disponible

La técnica metodológica utilizada para este ítem se fundamenta en la consideración de 4 criterios con sus identificadores básicos, requeridos para la categorización de c/u de los documentos analizados: Pertinencia, Fiabilidad, Actualidad y Calidad. criterios que son calificados por conocimiento experto entre 1 y 5; siendo 1 el menor y 5 el mayor valor asignado, acorde con la importancia de la información analizada a la luz del objetivo planteado en el numeral anterior, Figura 2.2.

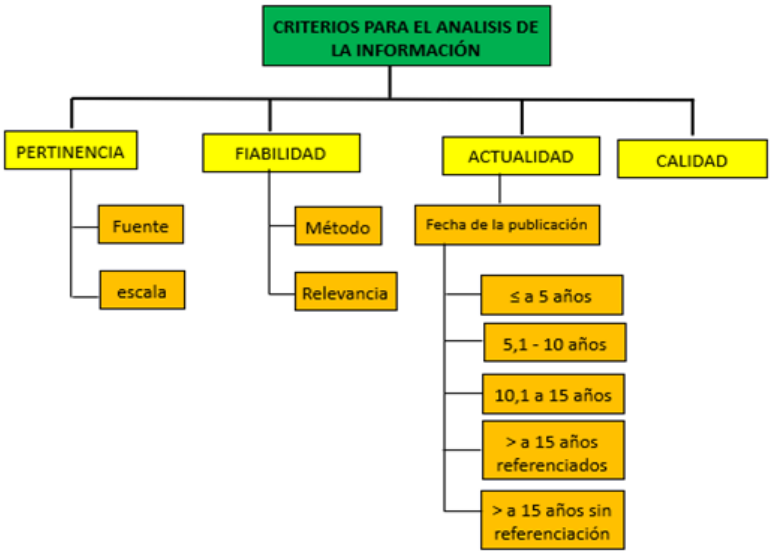


Figura 2.2 Criterios considerados para la compilación, análisis, ponderación y síntesis de la información disponible.
Fuente: Adecuado del protocolo de la Dirección de geociencias básicas del SGC-2018, para la compilación, categorización y análisis de la información disponible.

Pertinencia de la información

Un documento es pertinente en virtud a la información que contiene, en relación con cada uno de los objetivos temáticos y documentales que en el propósito del estudio se debe (n) desarrollar.

Un documento es pertinente cuando contenga información aplicable a las intenciones documentales del Proyecto. Parámetro que, aunque es subjetivo, exige que la información debe ser analizada y calificada con criterio experto temático, siguiendo los lineamientos del protocolo de la Dirección de Geociencias Básicas (Carrillo L., E et al (2021).

Este criterio se califica de 1 a 5, siendo 1 la menor calificación y 5 la apreciación más alta. Al respecto, está en la experticia temática del profesional evaluador, otorgar la calificación correspondiente a cada uno de los documentos analizados, tomando como referencia los criterios explicados en la Figura 2.3.

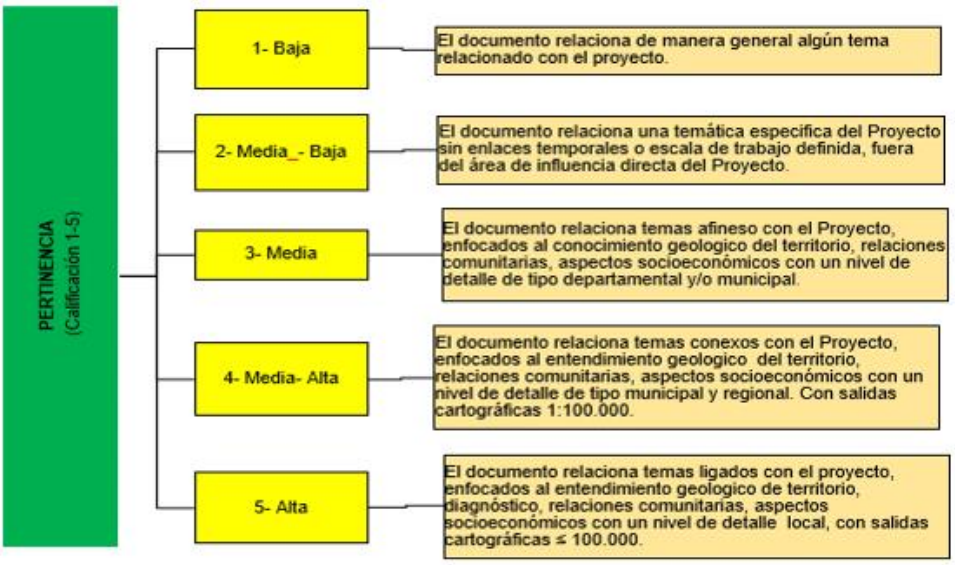


Figura 2.3 Directrices para la calificación del criterio de pertinencia.
Fuente: Adecuado del protocolo de la Dirección de geociencias básicas del SGC-2018, para la compilación, categorización y análisis de la información disponible.

Fiabilidad de la información

La valoración de la fiabilidad de un documento, está en la credibilidad de la información que aporta al proyecto, información que debe ser certificada, competente y debidamente referenciada, tales como: metodologías de investigación y generación de información que se sustentan con procedimientos de credibilidad, confianza y objetividad reconocidas, de conformidad con el carácter institucional, corporativo, empresarial, colectivo, público o privado.

Es de anotar que la fiabilidad de la información se califica de 1 a 5, siendo 1 la menor calificación y 5 la ponderación más alta. Al respecto, está en la experticia temática del profesional evaluador, otorgar la calificación correspondiente a cada uno de los documentos analizados, tomando como referencia los criterios explicados en la Figura 2.4**.**

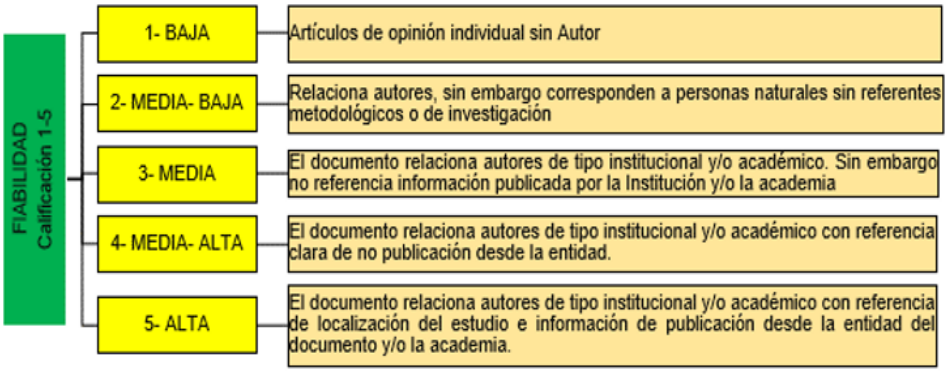


Figura 2.4 Consideraciones requeridas para la valoración del Criterio de Fiabilidad de la información.
Fuente: Adecuado del protocolo de la Dirección de geociencias básicas del SGC-2018, para la compilación, categorización y análisis de la información disponible.

Actualidad de la información

La información se considera actual con respecto a su vigencia del estado del arte del conocimiento temático, determinada por su temporalidad; criterio de evaluación que puede tornarse abstracto, en virtud al enfoque de temporalidad que se le otorgue, de tal forma que, para determinar la actualidad de la información, se toma en consideración la fecha de publicación del documento, fundamentado en cuatro escenarios:

El primero, es la información publicada en los últimos 5 años; el segundo es la información publicada entre los 5,1-10 años; el tercero es la información publicada entre los 10,1 y 15 años; el cuarto es información publicada mayor a los 15 años, referenciada, y la quinta es la información publicada mayor a los 15 años sin referenciación, considerada como histórica. Entre la información actualizada están los temas científicos de interés temático del Proyecto "*Es importante recordar que la publicación de un libro puede tomar años, el publicar un artículo en una revista puede tomar meses y que la información contenida en estas fuentes será más antigua que la fecha de publicación"* (Figueroa, Brunilda, 2007). Sin embargo, es criterio del experto definir la categorización de la información para los requerimientos del proyecto.

Con base en la conceptualización anotada, la actualidad de la información se calificó de 1 a 5, siendo 1 la menor calificación asignada a la información histórica publicada mayor a 15 años, sin referenciación; 2 a la información histórica publicada mayor 15 años, referenciada; 3 a la información publicada entre 15 y 10,1 años; 4 a la información publicada entre 10 y 5,1 años; y 5 si la información es publicada es menor a 5 años. Al respecto, está en la capacidad del profesional evaluador otorgar la calificación correspondiente a cada uno de los documentos analizados y en concordancia con su importancia y actualidad, puede a criterio experto recategorizarla, Figura 2.5**.**

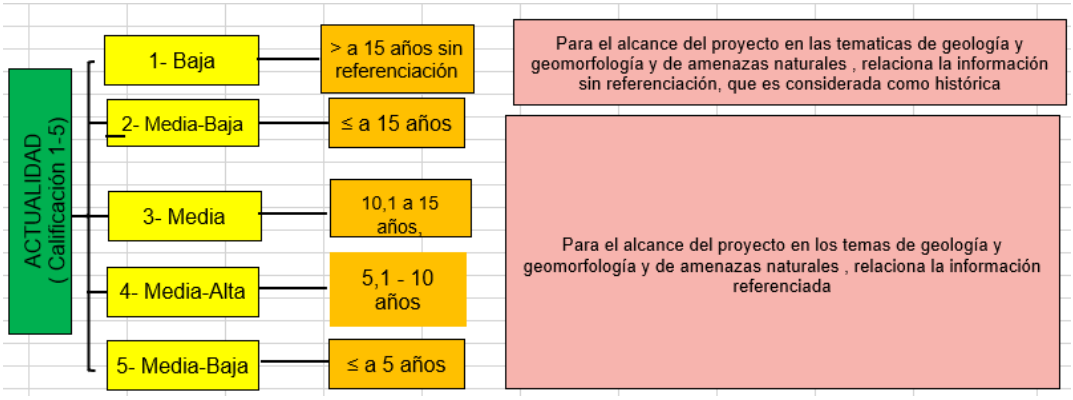


Figura 2.5 Conceptos generales requeridos para la valoración del Criterio de Fiabilidad de la información.
Fuente: Adecuado del protocolo de la Dirección de geociencias básicas del SGC-2018, para la compilación, categorización y análisis de la información disponible.

Calidad de la información

La calidad de un documento está valorada en función de la sumatoria de los criterios antes mencionados, es decir, si un documento es pertinente, fiable y actual, además evidenció orden, método, objetividad y exactitud, entre otras bondades, se puede concluir que reporta elementos de calidad innegables.

De acuerdo con la conceptualización la calidad de la información se califica de 1 a 5, siendo 1 la menor calificación y 5 la ponderación más alta. La capacidad de objetivación del profesional evaluador, otorgará la calificación correspondiente a cada uno de los documentos analizados según los criterios de calificación que se ilustran en la Figura 2.6**.**

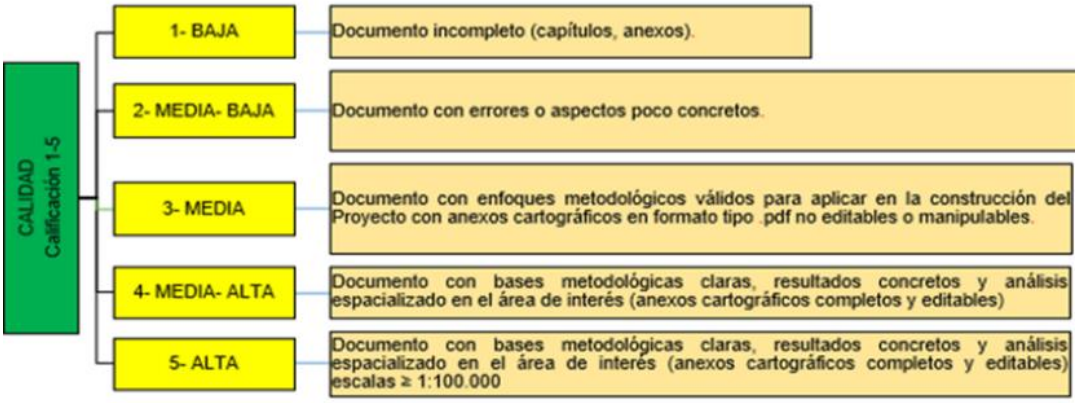


Figura 2.6 Percepciones requeridas para la ponderación de la calidad de un documento.
Fuente: Adecuado del protocolo de la Dirección de geociencias básicas del SGC-2018, para la compilación, categorización y análisis de la información disponible.

Una vez, analizada y categorizada la información se agrupan los valores obtenidos para determinar su importancia en el desarrollo del Proyecto: **Alta** los documentos con categorización mayores e iguales a 4, documentos considerados relevante para el uso durante el desarrollo del Proyecto, que requieren una síntesis por parte del evaluador; **Media** los documentos con categorizados entre 2,6 y 3,99 considerados

como documentos que contribuyen a definir conceptos para la toma de decisiones; **Baja** son los documentos de muy bajo aporte para las necesidades del proyecto, Figura 2.7**.**

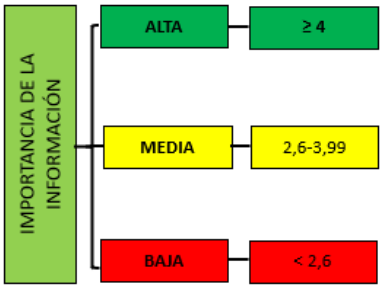


Figura 2.7 Parámetros considerados de importancia para definir la importancia de la información.
Fuente: Adecuado del protocolo de la Dirección de geociencias básicas del SGC-2018, para la compilación, categorización y análisis de la información disponible.

2.1.4.2 Interpretación de imágenes

La interpretación de sensores remotos geológica y geomorfológica se soporta sobre el MDT de planeación Distrital de Bogotá. D.C., de 2 m., de resolución, en donde se consolida la interpretación de imágenes satelitales tipo Lider, y Google Earth tomadas para diferentes años, mediante el uso del software ArcMap, SAGA y la fotointerpretación de vuelos Aero-fotográficos seleccionados en el IGAG, utilizando estereoscopio de espejos tipo WILD. Información que fue debidamente georreferenciada en el MDT. La Tabla 2.1, muestra la información utilizada. Sin embargo, dada la escala requerida para el desarrollo del proyecto 2(1.1000) en sus alcances el análisis fotogeológico se fundamentó en la imagen LiDAR, el Modelo Digital del Terreno-**MDT**, la topografía de detalle y la experticia en el análisis temático.

Tabla 2.1 Imágenes y vuelos aerofotográficos interpretados.

VUELOS AEROFOTOGRAFICO E IMÁGENES SATELITALES INTERPRETADAS			
Año	**Vuelo-Imagen**	**Fotos**	**Escala Aprox.**
2000	Google Earth		
2007	Google Earth		
2010	Google Earth		
2015	Google Earth		
2020	Google Earth		
2021	Google Earth		
2023	LiDAR		1:1000-1:1250
2023	MDT		
2023	Topografía		
2007	C-2802	0115-0116	1:42000
1996	R-1212	0139-0140	1:30.000
1992	R-1183	0110-0115	1:30.000

Fuente: Propia

2.1.4.3 Control de campo

Para el inicio del control de campo se diseñó una cartera (libreta) que contiene la referenciación de cada una de las estaciones, la información geológica, geomorfológica y de procesos morfodinámicos identificada, sustentada con fotografías de campo debidamente georreferenciadas, (Figura 2.8) apoyada de tablas y cuadros temáticos que sustentan la información tomada, siguiendo los protocolos temáticos de las direcciones de Geociencias Básicas y Amenazas del SGC.

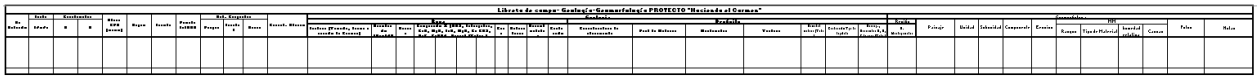


Figura 2.8 Libreta de campo diseñada para la toma de información según los requerimientos del proyecto.
Fuente: Propia

2.1.4.4 Consolidación del informe final

El Informe final se estructuró siguiendo el organigrama de la Figura 2.9**.**

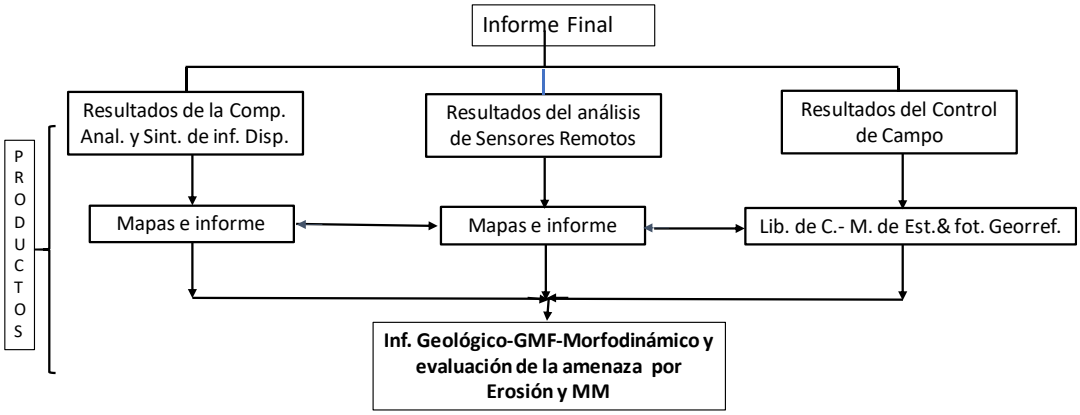


Figura 2.9 Organigrama metodológico para la consolidación del informe temático final.
Fuente: Propia

2.2 RESULTADOS

2.2.1 Compilación y análisis de la información disponible

Se compilaron 18 documentos análogos y digitales de información disponible relacionada con el propósito del proyecto: 12 categorizados de importancia **Alta**, 4 de importancia **Media** y 2 de importancia **Baja.** A continuación, a manera de ejemplo, entre otros, se resume los títulos de las publicaciones temáticas categorizadas como altas por su importancia para el desarrollo del proyecto.

- Temática: Geología
  - **Título:** Lexique Internationale Stratigraphique. América Latina. Vol. V. CNRS. Paris.G101974. Lexique Internationale Stratigraphique. América Latina. Vol. V. CNRS. Paris.
    Autor: DE PORTA DE J. 1974.
    Síntesis: Define las características geológicas de la estratigrafía del sector donde se localiza el proyecto de la Hacienda el Carmen

- **Título:** Memoria explicativa de los mapas del Neógeno y Cuaternario de la sabana de Bogotá. Cuenca alta del río Bogotá.
  Autor: HELMENS, K & VAN DER HAMMEN, T. 1995
  Síntesis: Mapas cartográficos explicativos del Neógeno y Cuaternario de la sabana de Bogotá. Que incluye el área donde se localiza el proyecto de la Hacienda el Carmen.
- **Título:** Geología de la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS.
  Autor: MONTOYA, D & REYES, G.
  Síntesis: Describe las condiciones estratigráficas y estructurales de la sabana de Bogotá en donde incluye el área de interés del proyecto
- **Título:** Elaboración de los estudios y diseños urbanísticos, paisajísticos, sociales y técnicos. así como la revisión, ajustes, actualización y complementación de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgos por fenómenos de remoción en masa fase II para la construcción de las obras de urbanismo correspondientes a la unidad de gestión uno que hace parte del polígono uno en la operación estratégica nuevo Usme.
  Autor: Consorcio Urbanismo- BOGOTÄ D.C, ERU- Bogotá D.C
  Síntesis: Describe detalladamente las condiciones geomorfológicas detalladas ubicadas inmediatamente al Norte del área de interés. Documento que junto con la memoria es considerado de alta prioridad para el desarrollo de las hipótesis de trabajo planteadas para la fase de campo.

- Temática: Geomorfología
  - **Título:** Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia.
    Autor: CARVAJAL, J.H., 2012.
    Síntesis: Describe la técnica metodológica adoptada por el SGC para los levantamientos de la Geomorfología en las evaluaciones misionales de procesos de Movimientos en Masa, que es la guía para el levantamiento cartográfico de la geomorfología en la "Hacienda el Carmen"
  - **Título:** Planos geomorfológicos detallados del Proyecto Tres Quebradas
    Autor: Consorcio Urbanismo- BOGOTÁ D.C, ERU- Bogotá D.C.
    Síntesis: Describe detalladamente las condiciones geomorfológicas detalladas ubicadas inmediatamente al Norte del área de interés. Documento que junto con la memoria es considerado de alta prioridad para el desarrollo de las hipótesis de trabajo planteadas para la fase de campo.

- Temática: Geología, Geomorfología y Amenazas Naturales
  - **Título:** Estudios detallados de amenaza y riesgo de la etapa 1 de la unidad de gestión 1 del plan parcial tres quebradas y obtener el concepto técnico favorable de FOPAE
    Autor: JAM Ingeniería
  - **Título:** ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS URBANÍSTICOS, PAISAJÍSTICOS, SOCIALES Y TÉCNICOS. ASÍ COMO LA REVISIÓN, AJUSTES, ACTUALIZACIÓN Y COMPLEMENTACIÓN DE LOS ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA -FASE II PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE URBANISMO CORRESPONDIENTES A LA UNIDAD DE GESTIÓN UNO QUE HACE PARTE DEL POLÍGONO UNO EN LA OPERACIÓN ESTRATÉGICA NUEVO USME.
    Autor: JAM Ingeniería
    Síntesis: Documento guía que integra el estado del arte de Geología, Geomorfología y zonificación de la Amenaza del sector norte del área de interés, existen perforaciones debidamente descritas.

- Temática: Arqueología
  - **Título:** Prospección con GPR de la Hacienda El Carmen, Usme. Arqueología
    Autor: Carlos Miguel Montenegro P.
    Síntesis: Documento que describe la técnica GPR utilizada para la definición indirecta de excavaciones con fines antropológicos que delimita sectores en donde se han evidenciado hallazgos y áreas potenciales para hallazgos de utensilios arqueológicos. Por lo tanto, son áreas restringidas para la localización de sitios para la exploración del subsuelo programada.

La tabla de revisión completa, cuadro 2, se presenta en los anexos.

2.2.2 Interpretación de imágenes

2.2.2.1 Multitemporal

El análisis multitemporal de sensores remotos, geológico y geomorfológico se efectuó sobre vuelos aerofotográficos del IGAC de diferentes años, utilizando estereoscopio de espejos tipo wild, imágenes satelitales multitemporales de Google Earth y LiDAR. mediante el uso del software ARCMAP, SAGA información que fue debidamente georreferenciada en el MDT de planeación distrital de Bogotá. D.C., de 2 m., de resolución, la Tabla 2.1, muestra la información utilizada.

Dadas las limitantes estereoscópicas que presentan los vuelos aerofotográficos de la zona, y teniendo en cuenta los alcances del proyecto, el análisis multitemporal se efectuó sobre imágenes satelitales a partir del año 2000 a 2021.

La imagen satelital Google Earth del 2000, muestra un área con calvas de erosión generadas por el uso de la tierra, 2 movimientos en masa en el sector norte del predio, escasa vegetación tipo matorrales y arboles especialmente asociado con el cauce de la quebrada Fucha y un pequeño parche sobre la quebrada La Requilina, para esta época se evidencia caminos veredales y de penetración para la producción agropastoril, linderos de la tenencia de la tierra y la construcción de vivienda, a lo largo del tramo vial Usme- Monte Blanco, Bogotá D.C. Figura 2.10.



Figura 2.10 Estado del área del proyecto para el año 2000.
El contorno rojo identifica el límite aproximado del área de interés.
Fuente: Imagen satelital Google 2000, Tomada de Google Earth

Para el año 2007, se evidencia un cambio en el uso de la tierra, se construye un desarrollo vial adicional con una perspectiva urbana (?) en la parte central del área del proyecto, y se intensifica el proceso erosivo de los suelos superficiales en la parte central y sur; se conserva estable la presión de la construcción de viviendas alrededor del área del proyecto, Figura 2.11**.**

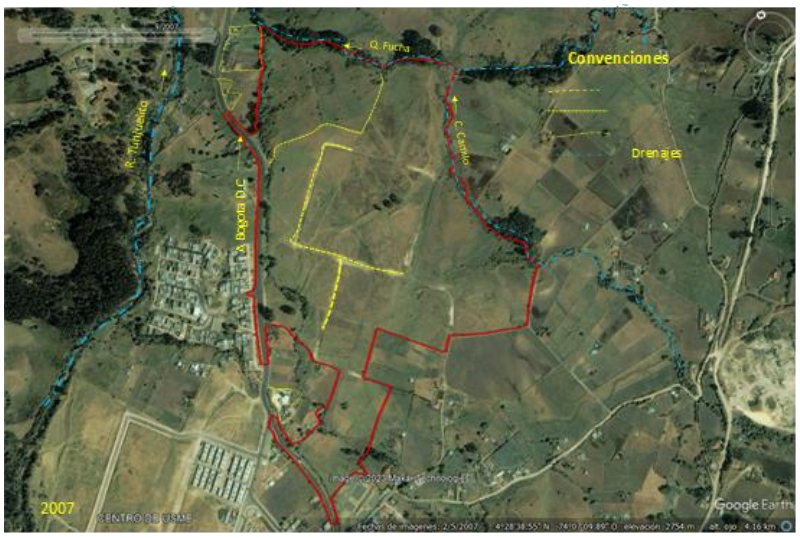


Figura 2.11 Estado del área del proyecto para el año 2007.
El contorno rojo identifica el límite aproximado del área de interés.
Fuente: Imagen satelital Google 2007, Tomada de Google Earth

En este lapso 2007-2010, se evidencia cambio en el uso de la tierra en aprox., el 90% del área, la infraestructura vial se mantiene y se intensifica el proceso erosivo de los suelos superficiales en toda el área; se incrementa levemente la presión de la construcción de viviendas alrededor del área del proyecto, Figura 2.12**.**



Figura 2.12 Estado del área del proyecto para el año 2010.
El contorno rojo identifica el límite aproximado del área de interés.
Fuente: Imagen satelital Google 2010, Tomada de Google Earth

Para el año 2015, se mantiene la infraestura vial y se evidencia la construcción de campamentos para iniciar el desarrollo urbanístico en la parte central del á rea de interés, se incrementa en forma importante la construcción de vivienda en el sur y noroeste del área y se intensifica el proceso erosivo de los suelos superficiales en toda el área; Figura 2.13**.**

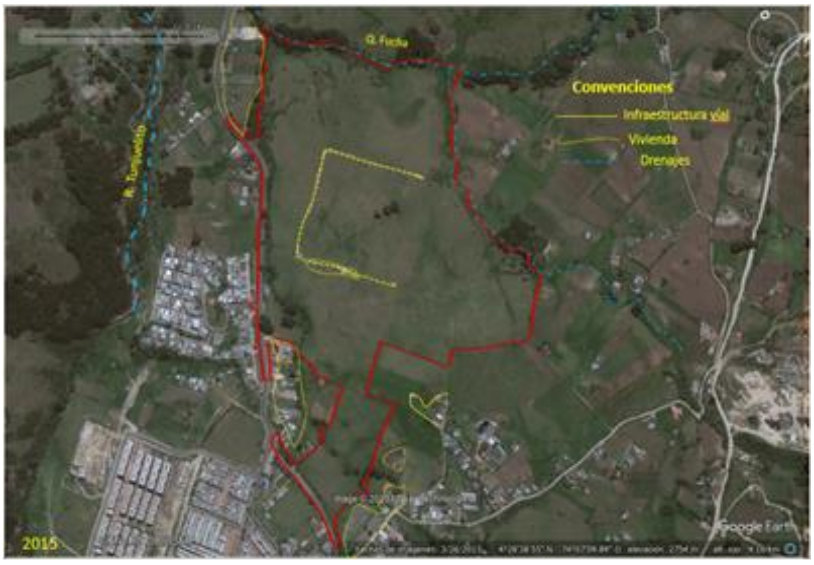


Figura 2.13 Estado del área del proyecto para el año 2015.
El contorno rojo identifica el límite aproximado del área de interés.
Fuente: Imagen satelital Google 2015, Tomada de Google Earth

Para el 2020 se mantiene el desarrollo vial y se evidencia la construcción de campamentos, y poca actividad urbanizadora; en la parte central del área de interés, se frena la actividad antrópica y se mantiene la erosión de la capa superficial de los suelos, Figura 2.14**.**

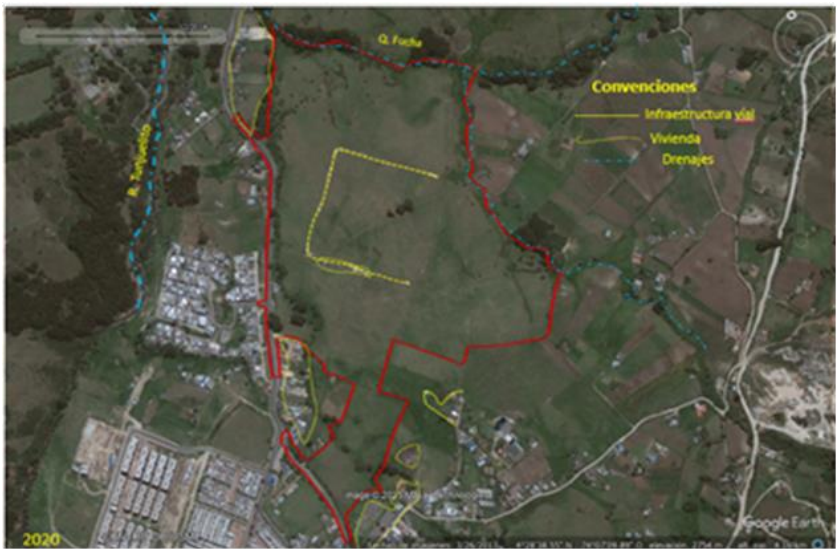


Figura 2.14 Estado del área del proyecto para el año 2020.
El contorno rojo identifica el límite aproximado del área de interés.
Fuente: Imagen satelital Google 2020, Tomada de Google Earth

Para el año 2021 destaca el incremento de la actividad erosiva de erosión superficial en un 30% del área de interés, generadas probablemente por la acción antrópica como se evidencia por la generación de caminos de penetración; al parecer la visión urbanizadora se detiene y el uso del suelo; se estabiliza la presión de la construcción de viviendas, Figura 2.15**.**

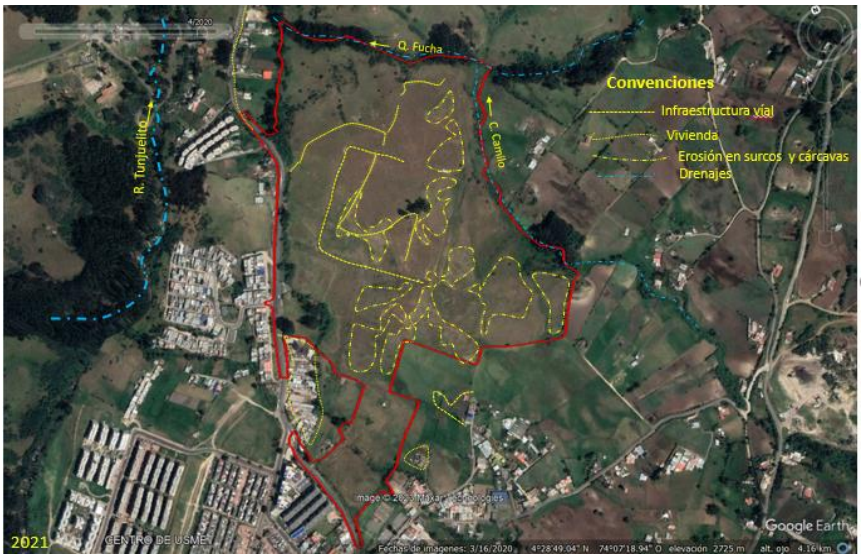


Figura 2.15 Estado del área del proyecto para el año 2021.
El contorno rojo identifica el límite aproximado del área de interés.
Fuente: Imagen satelital Google 2021, Tomada de Google Earth

En general se concluye que el área del proyecto ha cambiado la visión de uso del suelo de actividad agrícola a constructora, deteniéndose en los últimos años, pero incrementándose la erosión superficial al parecer por acción antrópica, que no es significativa geomorfológicamente para los alcances del proyecto.

mediante el uso del software ARCMAP, SAGA se interpretó la imagen LiDAR y se obtuvo los siguientes productos:

Drenajes: La Figura 2.16 muestra la red de drenajes subparalela identificada en el área del proyecto, definida mediante el uso de la Técnica Saga, que muestra una red de drenaje de tendencia predominante sub-paralela, paralela, irregular y modificada parcialmente por la acción del hombre, iniciada por el proceso de urbanización en el sector central de los predios de la “Hacienda El Carmen”.

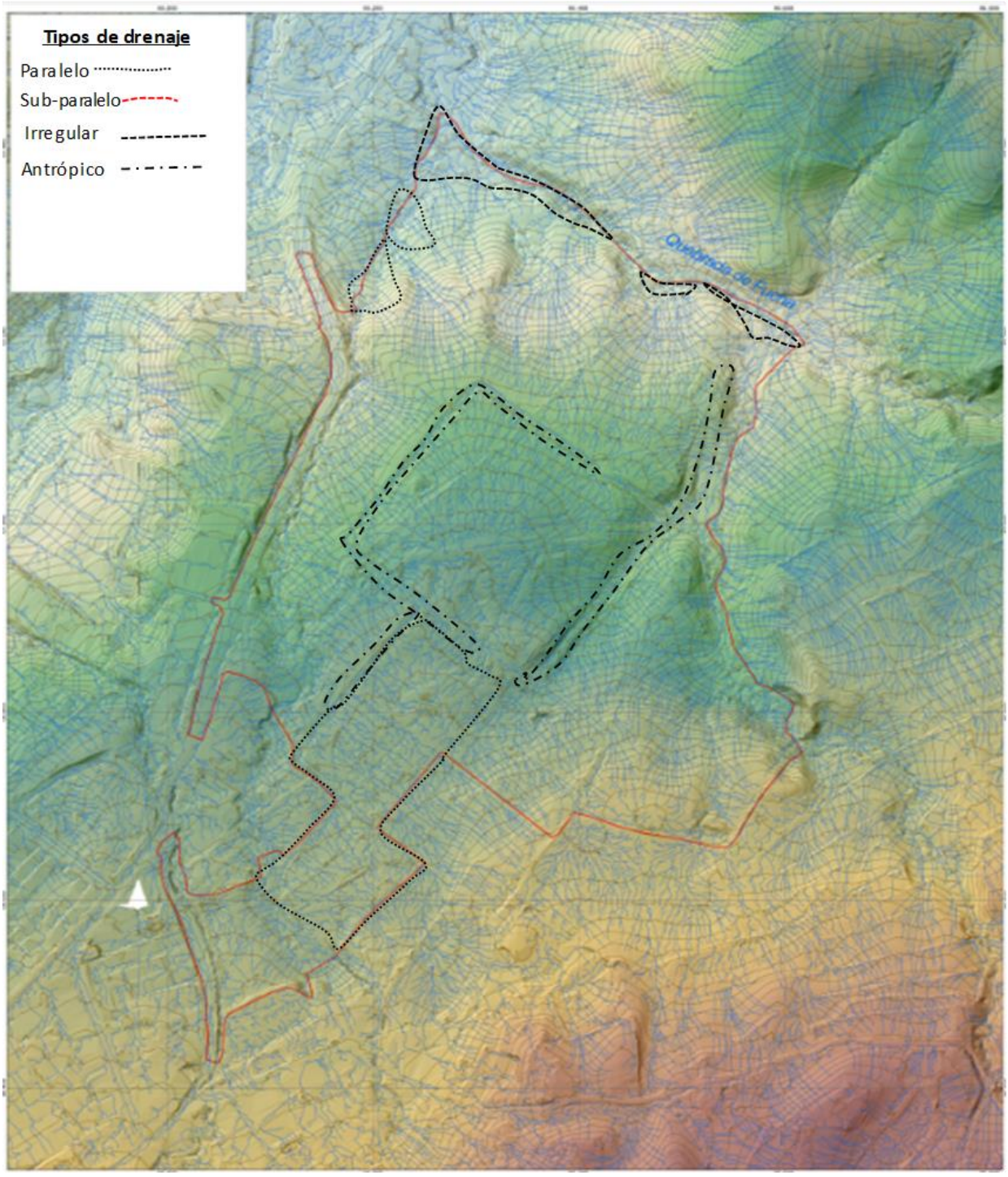


Figura 2.16 Mapa de la Red de drenaje sub-paralela identificada en el área del proyecto.
Fuente: Técnica SIG SAGA.

Pendientes: La Figura 2.17, muestra el mapa de pendientes identificadas.

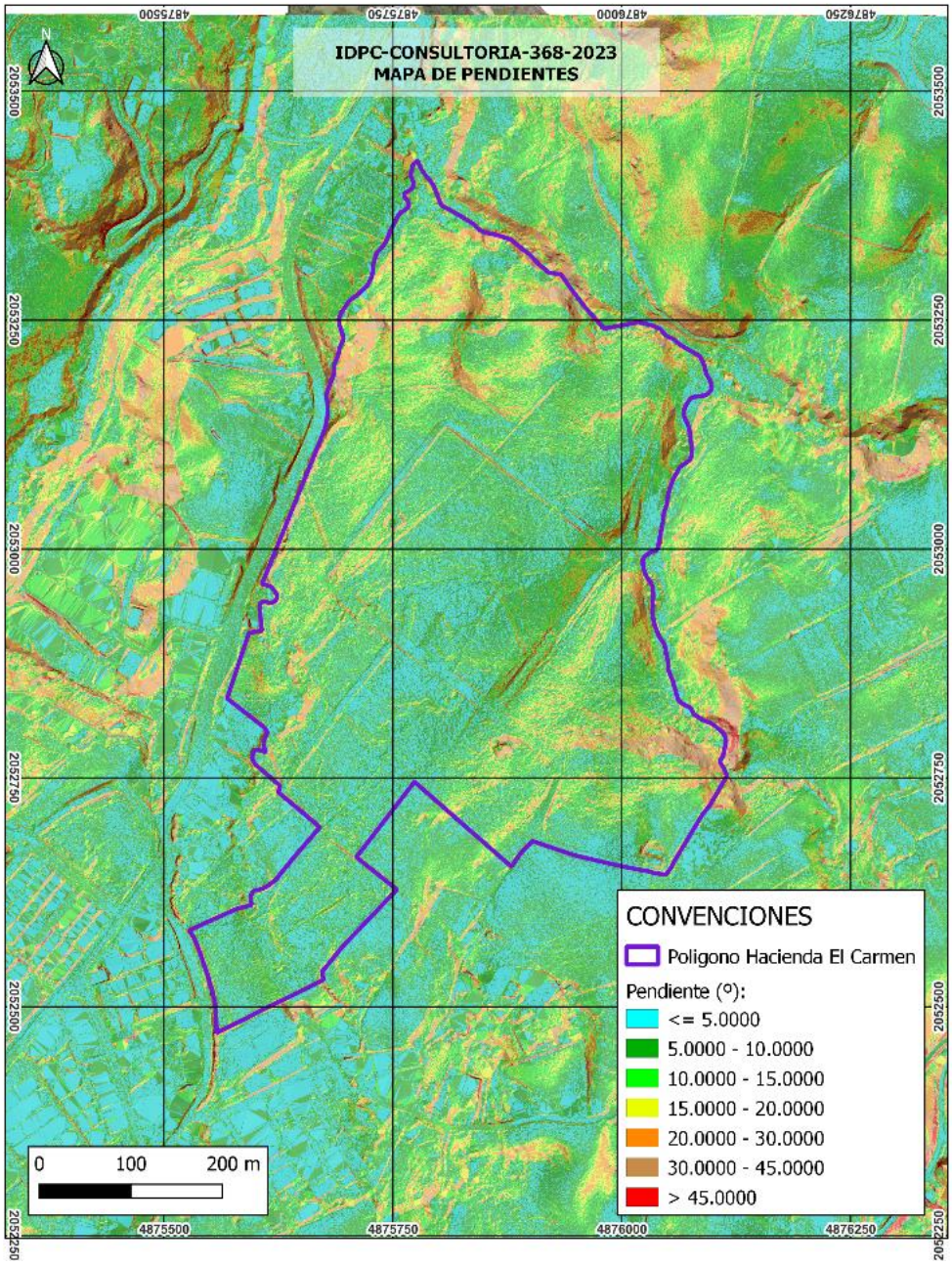


Figura 2.17 Mapa de pendientes del predio "Hacienda el Carmen" del municipio de Usme Bogotá D.C.
Fuente: Propia

Fotointerpretación geológica: no se identificaron unidades roca dentro del predio de interés. Por lo tanto, el estudio de Zonificación geomecánica de la Sabana de Bogotá, INGEOMINAS (2004), que incluye las formaciones Marichuela del Mioceno-Plioceno (N1m) y la Formación Usme (E2u) del Eoceno medio a superior, con el fin de utilizarlas como referencia para el control de campo; solamente la fotointerpretación de las imágenes permiten la identificación de depósitos coluviales antiguos (Qca) y recientes (Qcr) y depósitos aluviales muy restringidos, localizados especialmente a lo largo del límite norte del predio con la Quebrada Fucha, Figura 2.18.

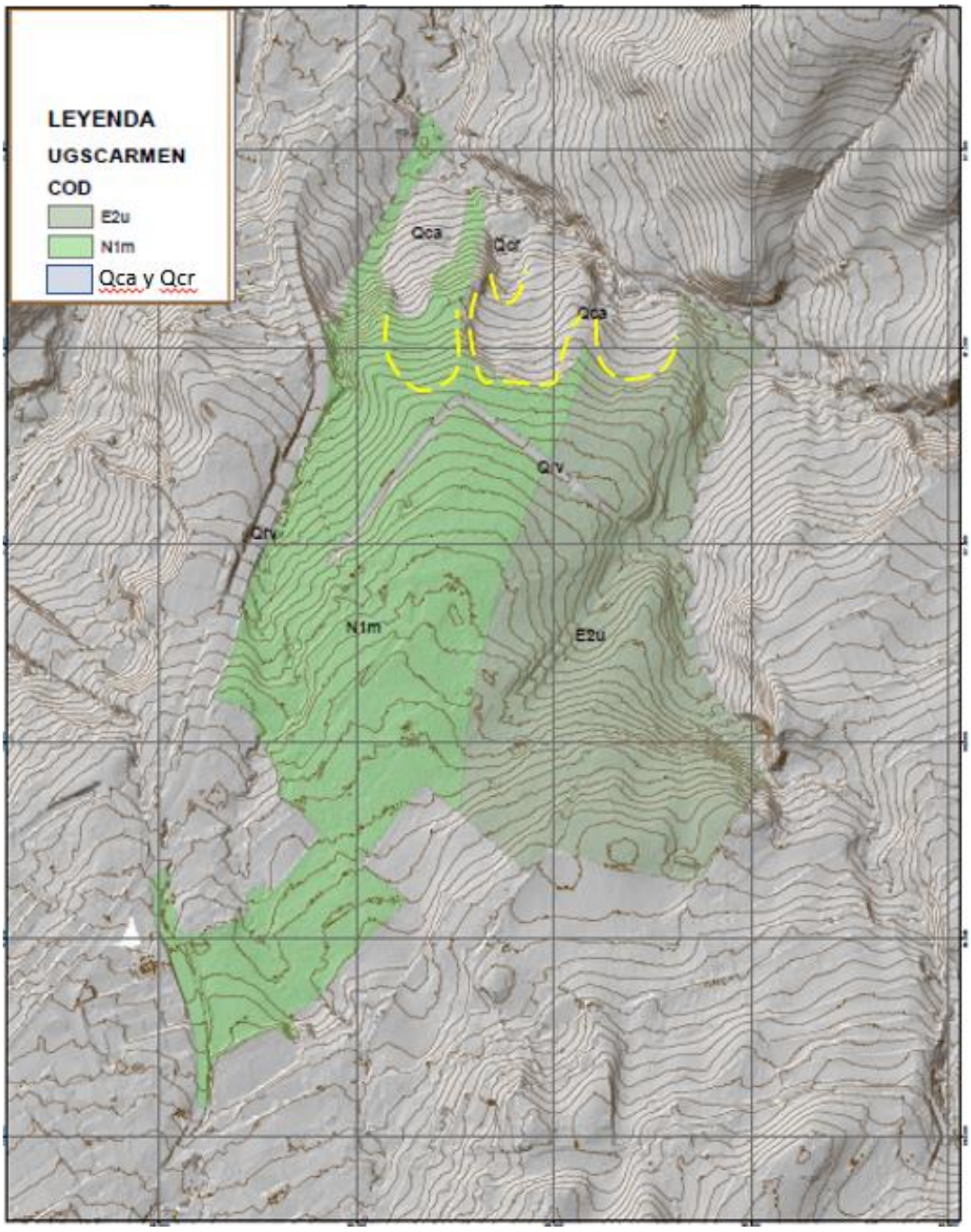


Figura 2.18 Mapa fotogeológico del área del predio "Hacienda el Carmen" del municipio de Usme Bogotá D.C.
Fuente: Modificado del Estudio de zonificación geomecánica de la sabana de Bogotá, Ingeominas, 2004.

2.2.3 Control de campo

Con base en la información programada en el formato para la toma de información de campo, se efectuaron 28 estaciones, distribuidas estratégicamente en el área del proyecto, (La tabla de estaciones efectuadas, cuadro 3, se presenta en los anexos.), y se generó el mapa de estaciones, Figura 2.19.



Figura 2.19 Mapa de estaciones de campo.
Fuente: Propia

2.2.4 Geología

2.2.4.1 Marco Geológico Regional

El área del predio “Hacienda El Carmen”, se localiza en la parte más septentrional de la cadena andina, dentro de la parte media inferior de la Cordillera Oriental, al noroeste del páramo de Sumapaz, dentro de un área deprimida rodeado de un relieve abrupto, denominado geográficamente como la parte sur de la sabana de Bogotá.

Su evolución geológica, está implícita en la evolución histórica del levantamiento de la Cordillera oriental iniciada desde el Eoceno medio conocida como la orogenia pre-andina (Duque-Caro, 1980, Villamil y Restrepo, 1997) y cuya máxima deformación se inició desde finales del Mioceno (10,5 Ma) (Cooper, et al., 1995), hasta comienzos del Plioceno; evento responsable de la generación de la mayor parte de estructuras de la cordillera Oriental (Acosta, 2002) y la generación de cuencas intra-cordilleranas (INGEOMINAS, 2003), como la sabana de Bogotá, registrado por la flora encontrada y estudiada en las secciones del Salto de Tequendama y Chocontá (Hooghiemstra, 1984; en Copper, et al., 1995 en INGEOMINAS, 2003).

Tectónicamente, el sector sur de la Sabana de Bogotá, se caracteriza por presentar un fallamiento inicialmente normal, reactivado a fallas inversas por la deformación compresiva Miocena, interpretación ayuda a entender la morfotectónica de la Sabana de Bogotá, la cual se formó a un nivel mucho más bajo que el actual y luego se levantó como "un bloque rígido" durante el Plioceno, como lo evidencian las fallas de Bogotá, Juan Rey y Tunjuelito, localizadas en la parte sur de la sabana de Bogotá, al Este y Oeste del predio de la hacienda el Carmen, Figura 2.20..

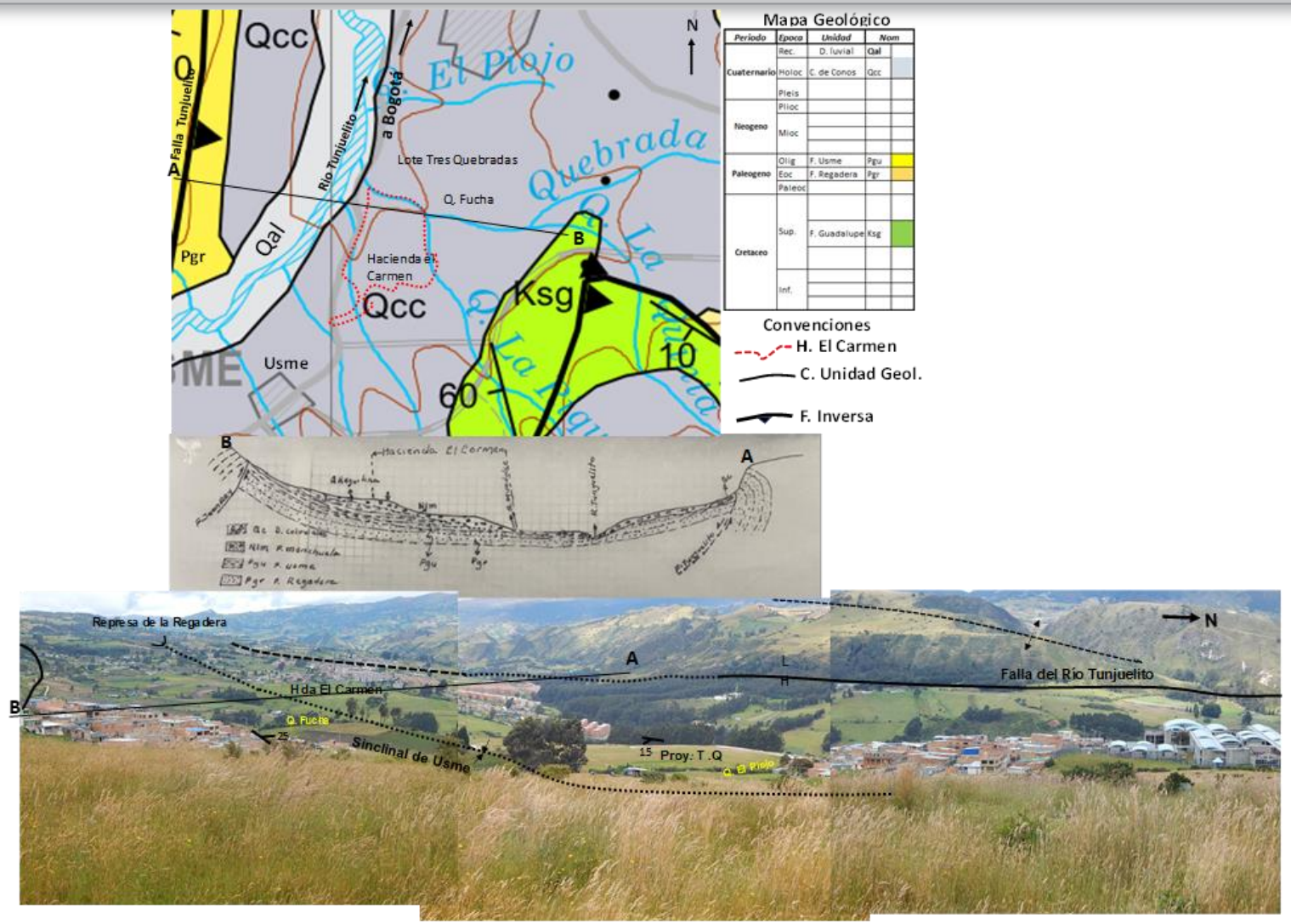


Figura 2.20 Esquema ilustrativo del marco geológico regional del área del predio de la "Hacienda el Carmen".

Parte superior: Geología regional. Fuente Plancha geológica 146 "Fusagasugá". Parte media, corte geológico esquemático del área. Parte inferior: Vista fotográfica de norte a sur del área de interés.

Fuente: Propia

Según estudios realizados por Helmens y Van der Hammen, (1995), existen cuatro factores principales que han influenciado la evolución del relieve y el desarrollo de la cuenca en el área de la sabana de Bogotá durante el Plio–Pleistoceno: el levantamiento tectónico, los cambios climáticos, la cubierta vegetal y la sedimentación.

Estratigráficamente en un marco regional, en la parte sur de la sabana de Bogotá afloran rocas sedimentarias del Cretáceo-superior, y Neógeno pertenecientes al grupo Guadalupe y las formaciones Regadera y Marichuela, cubiertas parcialmente por depósitos aluviales y coluviales del Cuaternario.

2.2.4.2 Geología Local

En los límites prediales definidos para el desarrollo del proyecto no se identificaron unidades roca, solamente depósitos fluvioglaciares (tipo Tils - N1m), depósitos coluviales antiguos (**Qca**) y recientes (**Qcr**) y depósitos aluviales (**Qal**), que se describen cronológicamente a partir de su antigüedad, ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**,** y a su vez se muestra en el mapa geológico (ver en anexo)**.**

Estratigrafía

Se describen cronológicamente la Unidad litoestratigráfica y los depósitos reconocidos, siguiendo su orden cronológico de mayor a menor antigüedad:

- *Formación Marichuela (N1m)*

Ulloa y Herrera (2014), en la plancha 246 “Fusagasuga” referencian a Van der Hammen (1957), como autor de la descripción de varios eventos de glaciación tipo morrenas de edad Pleistocena en el Páramo de Sumapaz. Posteriormente, Helmes (1990) distingue cuatro complejos» de morrenas diferentes, que del más reciente al más antiguo son: Complejo de morrenas 4, formado hace cerca de 13.000 - 12.400 años; Complejo de morrenas 3, formado cerca de 18.000 - 14.000 años; Complejo de Morrenas 2, formado hace cerca de 22.500 - 19.500 años y Complejo de morrenas 1, formado durante el pleniglacial medio; estos depósitos se disponen con dirección E-W y están constituidos por bloques y cantos, angulares a subredondeados, de areniscas, provenientes del Grupo Guadalupe - Olini, embebidos en una matriz de arena gruesa a arcilla.

Padilla J., y Calderón Y, (2004) en el estudio de la ”CARTOGRAFIA APLICADA A LA ZONIFICACION GEOMECANICA DE LA SABANA DE BOGOTA” mencionan informalmente en los depósitos fluvioglaciares, de la Formación Marichuela que aflora especialmente en los bordes sureste de la Sabana (Valle de Usme, La Calera–Sopo), como un enorme sistema de abanicos (Conos del Valle del Tunjuelito), descritos por Julivert (1961), como una secuencias de gravas que incluyen cantos y bloques de arenisca de forma principalmente, redondeada. Cerca al fondo del valle de Usme, los depósitos de granulometría gruesa se interdigitan con arenas compactas, limos y abundantes arcillas de color grisáceo a parduzco (originalmente orgánicas).

Bernal., L. (2018) en el estudio Geológico y Geomorfológico del lote Tres Esquinas, (contrato 188 de 2017 entre el ERU y el consorcio urbanismo), localizado inmediatamente al norte de este proyecto, toma como

referencia la información antes mencionada y con base en datos de campo sustenta que la Formación Maimachi en este sector, está compuesta por tres eventos genéticamente relacionados a un ambiente de tipo fluvio-glacial y torrencial, depositado discordantemente sobre un paleo relieve inclinado al oeste (Formación Usme), el primer evento es de tendencia fluvial con un nivel hacia la base de cantos redondeados, sub-redondeados y sub-angulares de hasta 65 cm de diámetro mayor a tamaños grava distribuidos en una matriz gravo-arenosa clasto-soportada beige a parda, de aprox., 2.0 a 2.5 m., de espesor, de características semilitificadas con pseudo-estratificación gradada normal de rumbo N50W/22NE**.**

Supra yaciendo este primer nivel, se observa un depósito fluvioglaciar de espesor variable (hasta 5.5 m) de cantos subredondeados a subangulares de tamaños métricos a grava de areniscas distribuidos en una matriz soportada gravo-arenosa gris; en las partes frontales de estos depósitos se observan bloques y cantos sub-redondeados con estrías de huellas glaciales, (que corresponde a morrenas frontales del avance del depósito); el espesor interpretado mediante sondeos geofísicos, perforaciones y control de campo es variable entre los 10-12 m., especialmente en las zonas donde se evidencia presencia de paleocanales en la secuencia fluvial Figura 2.21**.**



Figura 2.21 N=89317, E=95529. Az=240. Vía a Usme, secuencia fluvioglaciar de la formación marichuela (N1m), cerca de la estación de policía del barrio Monte Blanco. nótese el carácter de paleocanal del depósito fluvio-glacial b) N=87727, E=95311. az=95, parte baja del lote tres quebradas, secuencia aluvial de la formación Marichuela. c) N=87937, E=95206. az=95. margen derecha de la desembocadura de la Q. el piojo, al río Tunjuelito. Fuente: Figura tomada informe del Eru, 2018.
Fuente: Propia

El ultimo evento observable al Suroriente, en la parte topográficamente más alta del lote tres Quebradas, es de tipo fluvio-torrencial; está compuesto por bloques angulares de areniscas distribuidos en un matriz

clasto soportada gravo-arenosa gruesa de color beige con estratificación grada invertida típico de depósitos torrenciales de montaña, de un espesor variable estimado entre 2-12 m, Figura 2.22.



Figura 2.22 N=87399, E=96391. AZ=15. Depósito fluvio-torrencial en la parte suroriental del lote tres quebradas. nótese la pseudo-estratificación (líneas punteadas) de rumbo N30W, buzando 32-35NE, comparable con la figura 1a. Fuente: Figura ligeramente modificado del informe del ERU (2018).

Fuente: Propia

Esta unidad geológica con base en muestras colectadas en afloramientos por las carreteras entre Bogotá y Chipaque y al noroeste del Embalse del Neusa mediante la técnica de trazas de fisión en circones de origen volcánico, les definen una edad comprendida entre 5 y 2.3 M.a, (Toro, Van der Hammen y otros, 2003).

Dentro del área del lote de la Hacienda el Carmen, solamente aflora la parte media fluvioglaciar de esta Unidad Geológica (**N1m**), descrita por Bernal, L (2018), afectada por depósitos coluviales antiguos (Qca) y recientes (Qcr) y cubierta en el norte por depósitos aluviales (Qal) de las Quebradas Fucha y Requilina.

Este depósito de tilitas de tipo morrenico frontal generado por la erosión intensa de una gran masa de hielo intermitente, que se nutrió de bloques y sedimentos que viajaron desde la parte alta, periglacial y fría del páramo del Sumapaz en dirección norte esculpiendo las formaciones preexistentes cretácicas, paleógenas y Neógenas del sinclinal de Usme. Se caracteriza por la presencia 2 eventos de crecimiento en procesos de litificación “semilitificado”. Se presenta la planta geológica en la Figura 2.23 y como ejemplo el corte AB en la Figura 2.24. Los demás perfiles se presentan en los planos anexos.

El primero de una morfología ondulada y escalonada, convexa, de pendientes fuertes a escarpadas con procesos de asentamientos locales tipo pisadas de patas de vaca y un drenaje de tendencia subparalelo, Figura 2.25.

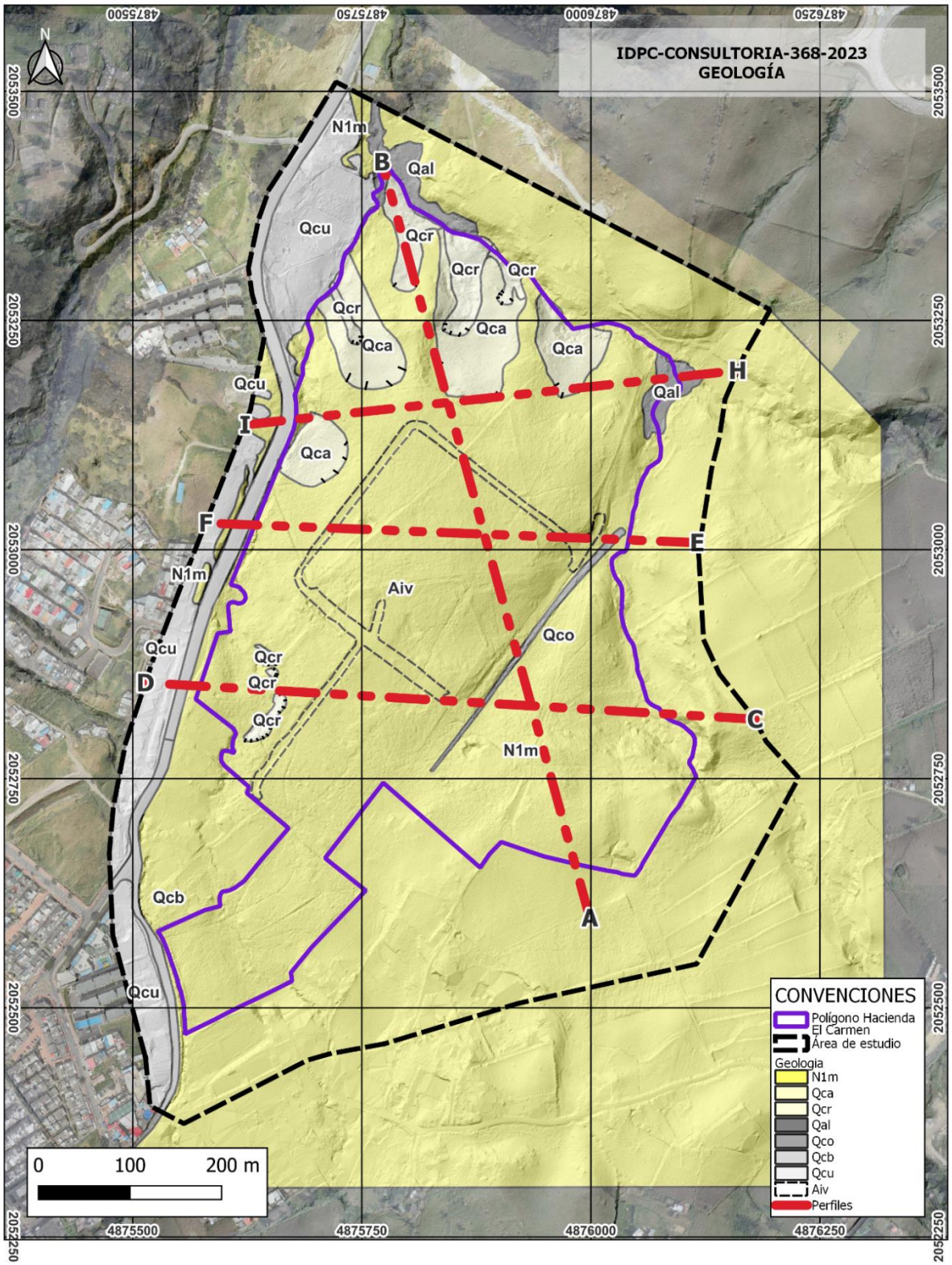


Figura 2.23 Planta geológica Hacienda El Carmen.
Fuente: Propia

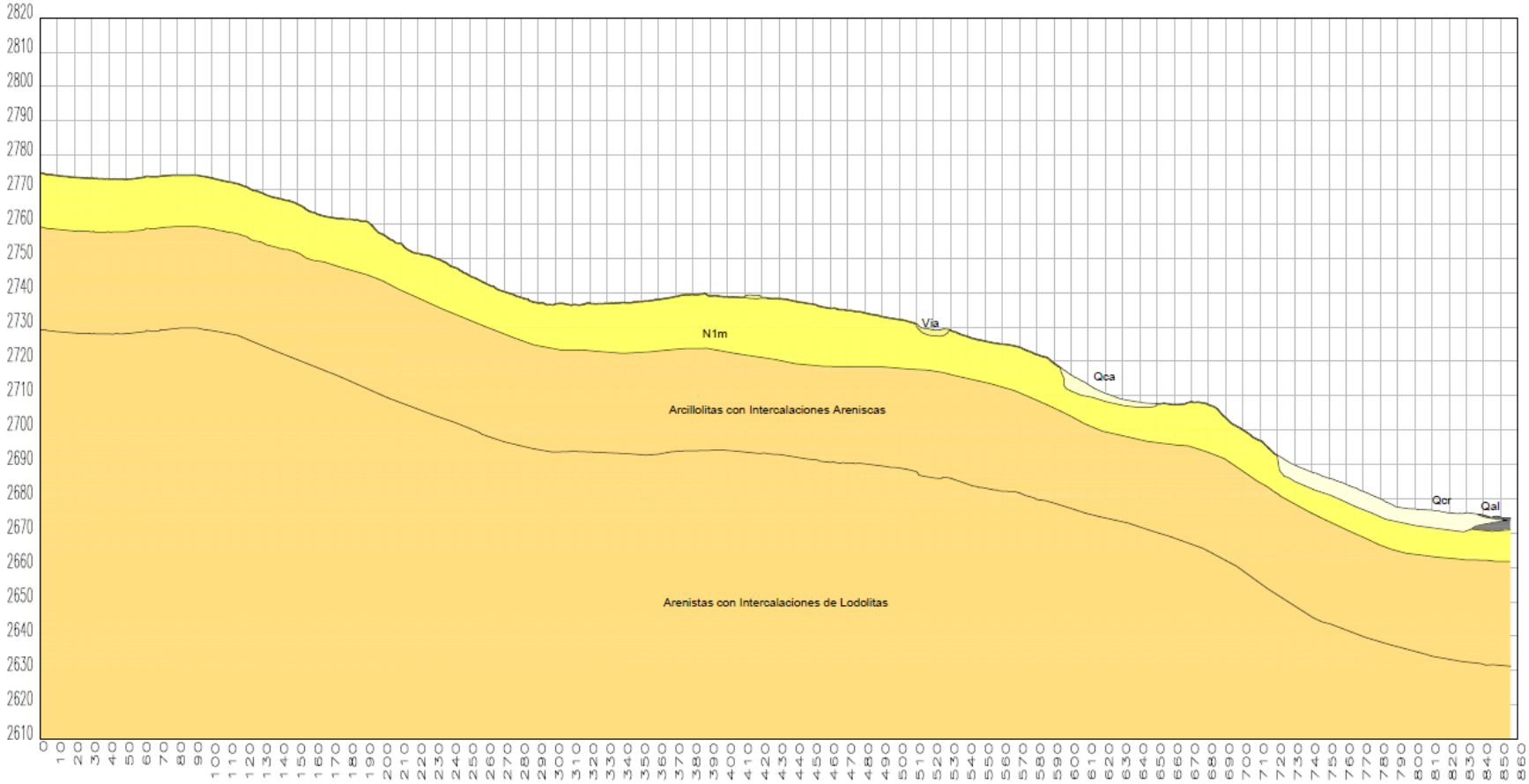


Figura 2.24 Corte geológico AB del depósito fluvioglaciar en la "Hacienda el Carmen" de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C. Escala: H=1:2000, V=1:1000. N1m= F. Marichuela. N2U= F Usme. Qca= Depósitos coluviales Cuaternarios. Qcr= Depósitos Cuaternarios recientes.
Fuente: Propia

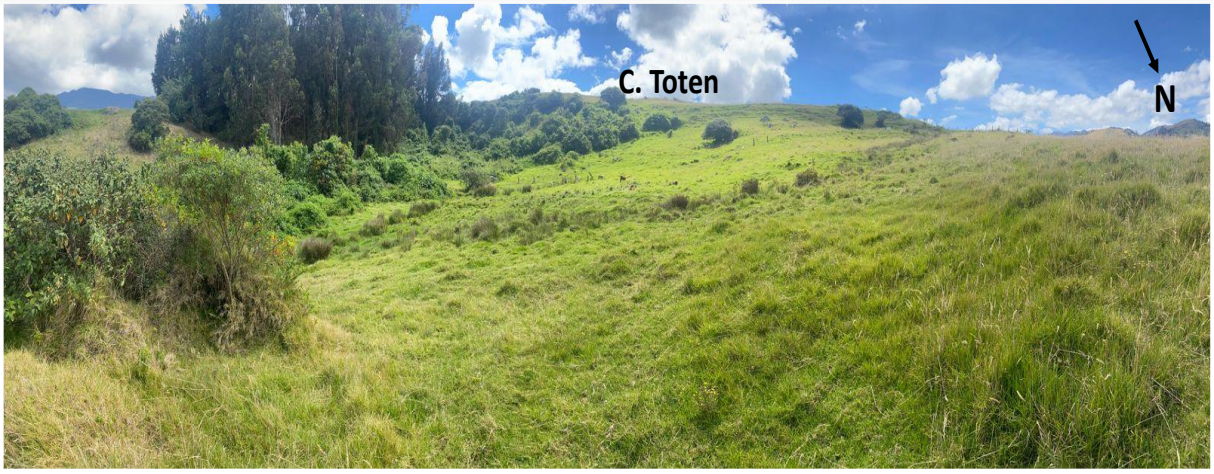


Figura 2.25 Estación LBV 13. N=4°28'39,8 E= -74°.07'.04,5'', base oriental del cerro Toten. Muestra la morfología convexa, ondulada, de alta pendiente observable en la ladera norte del cerro Totem.
Fuente: Propia

Este primer evento de crecimiento del depósito fluvio-glaciar está compuesto de grandes bloques de areniscas blancas y gris claras de grano grueso a medio, tendencias subangulares y en menor proporción subredondeados, de areniscas blancas, beige y gris claras de grano fino a grueso de hasta 1,5 m de diámetros mayor a tamaños de gravas gruesas tipo guijos y guijarros embebidos en una matriz soportada areno-gravosa media y fina, gris claro. En las laderas es notoria la presencia de grandes bloques predominantes angulares y subredondeados con canales de erosión hídrica y grietas de gelifracción, que sobresalen en la morfología cubierta de pastos nativos, Figura 2.26.



Figura 2.26 N=4°.28'. 36,4 '' E=-74°07'.04,5''. Ladera norte del cerro Toten. Nótese la presencia de bloques de areniscas que sobresalen en las laderas del cerro Toten, afectados por canales de erosión hídrica y grietas de gelifracción.
Fuente: Propia

El segundo evento de crecimiento del depósito, es de una morfología de tendencia poco inclinada, ligeramente ondulada plano cóncavo a ligeramente convexa e inclinada hacia el norte, que permite el desarrollo de humedales que hoy son nichos de flora y fauna local (Figura 2.27). Este sector muestra evidencias de la expansión urbanística de Bogota D.C, con la apertura de vías, que modifican el paisaje del entorno y la red del drenaje local,Figura 2.28.

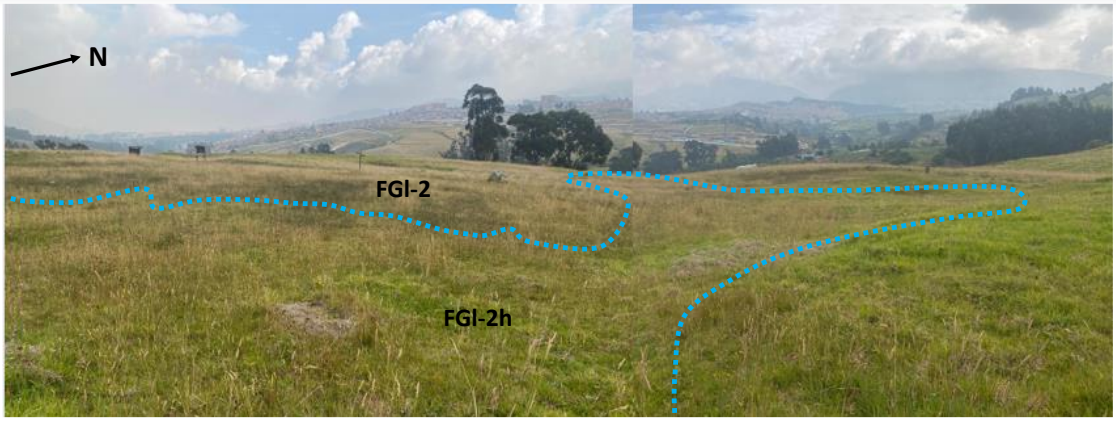


Figura 2.27 Estación LBV 28. N=4°.28´. 38,3''; E=-74°07'13´´. En punteado azul, identifica planicies cóncavas de humedales localizados en la zona plana y cóncava del evento de crecimiento 2, del depósito fluvioglaciar morrenico.
Fuente: Propia



Figura 2.28 Estación LBV02 N=4°.28´44,6'; W=-74°07'06,7''. Planicie ligeramente inclinada al norte de morfología convexa. Afloramiento por cruce de vía de penetración urbanística, del depósito fluvioglaciar.
Fuente: Propia

Este segundo frente de avance de la Tilita (Morrena frontal) continua hacia el norte con una morfología convexa y una textura muy gruesa compuesta por grandes cantos métricos (hasta 2 m), soportados hacia la base; textura que varía hacia la parte superior del depósito a bloques subredondeados y subangulares de areniscas blancas, beige y gris claras de grano fino a grueso de hasta 1,5 m., de diámetros mayores a tamaños guijos y guijarros, distribuidos en una matriz soportada areno-gravosa gruesa, media y fina, gris

clara, hacia la parte media y el techo, Figura 2.29. Este evento avanzo hasta el sector de Monte Blanco, es decir mucho más al norte del lote de la "Hacienda el Carmen".



Figura 2.29 a) Estación LBV 03. N=4°28´44,9 W=-74°07´05,3. Margen Izquierda de la Q. Requilina. Afloramiento natural del techo del frente morrenico de crecimiento, compuesto de bloques angulares de 65x68x50 cm a tamaños gravas medias (guijos y guijarros) embebidos en una matriz soportada de gravas finas (gránulos) y arenas lodosas gris claras. b) Base del depósito (N=4°28'45,8''; E=-74°07'17''), compuesto por grandes cantos de areniscas de hasta 2 m., de diámetro mayor clasto soportados con matriz gravo arenosa gris y parda, observado en el fondo del cauce de la Q. Agua Dulce, muy cerca de la vía de acceso Usme-Bogotá.
Fuente: Propia

- *Depósitos coluviales (Qca-Qcr)*

Dentro del segundo evento de crecimiento del depósito fluvioglaciar, en su parte media es afectado por la disección y profundización de las quebradas Fucha y Agua Dulce que en su proceso de apertura afectan el depósito fluvio glaciar, generando asentamientos antiguos amplios (**Qca**) compuestos de bloques subredondeados y subangulares de areniscas blancas, beige y gris claras de grano fino a grueso de hasta 1,5 m., de diámetros mayores a tamaños guijos y guijarros, distribuidos en una matriz soportada areno-gravosa gruesa, media y fina, gris clara, Figura 2.30.



Figura 2.30 Imagen Izquierda. Estación-LBV23. N=4°28'12,5''; E=-74°07'12,5''. Depresiones cóncavas de asentamientos antiguos (Qca) reactivado en la pata (Qcr) por la socavación del cauce de la quebrada Agua Dulce. Imagen Derecha-LBV18, N=4°28'37,3''; E-74°07´17,2'', movimientos en masa recientes por socavación del cauce de la Q. Agua Dulce.
Fuente: Propia

El depósito fluvioglaciar de la F. Marichuela (**N1m**) y el coluvial antiguo (**Qca**) continúan siendo afectados por la profundización de los cauces de las quebradas Fucha en el norte y Agua Dulce en el occidente generando MM recientes y depositación de coluviones recientes (**Qcr**), Figura 2.31.

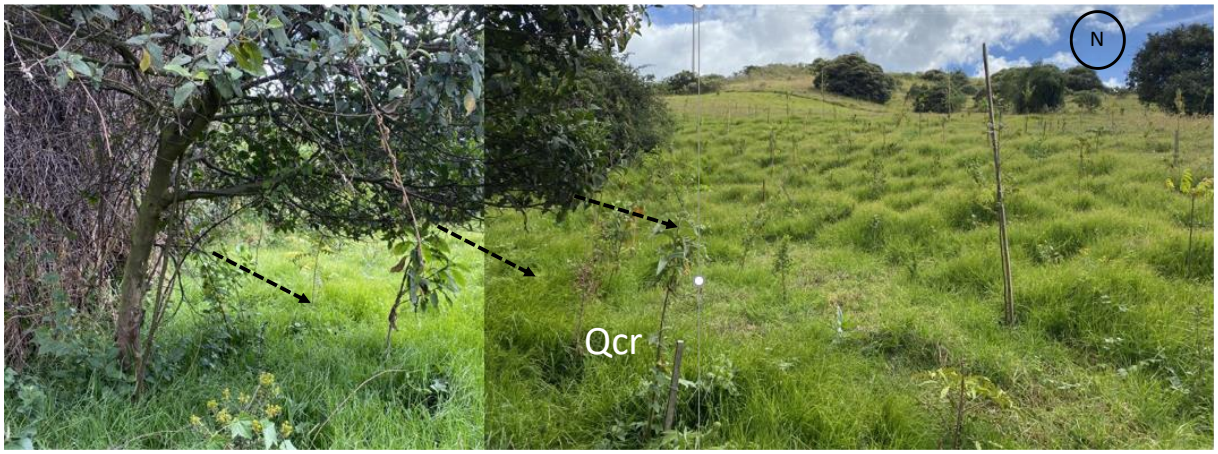


Figura 2.31 Estación-LBV05. N=4°28'55,7''; W=-74°07'12,1''. Pata de deslizamiento activo en la margen Izquierda de la Q. Fucha. Nótese la afectación de la vegetación.
Fuente: Propia

- *Depósitos aluviales (Qal)*

Estos depósitos se localizan en la parte baja de la Q. Requilina que limita parte del tramo oriental del área de la "Hacienda el Carmen" y en la margen izquierda de la Q. Fucha. Son áreas planas de poca extensión de una granulometría arenosa lodosa fina, húmedas, muy apetecida por los moradores del sector para el cultivo de pan coger, especialmente frutales, Figura 2.32.



Figura 2.32 Izquierda-Estac-LBV04. N=4°28'56,9''; W=-74°07'12,5'', deposito aluvial en la margen Izquierda de la Q. Fucha, sector noroeste del área. Derecha-Estac LBV11 N=4°28'49,8''; W=-74°07'03'', depósito aluvial de la Q. Requilina, parte noreste del área.
Fuente: Propia

Condiciones estructurales

Estructuralmente en superficie dada la cobertura de especies nativas de pastos, no se observan rasgos estructurales en superficie, que evidencien la presencia de características tales como plegamientos y/o fallas geológicas. Sin embargo, las unidades infrayacentes pertenecientes a la formaciones Usme y La Regadera relacionadas en el esquema de la, Figura 2.24, muestran en la ladera oriental del valle del Tunjuelito una estructura sinclinal denominada cartográficamente a nivel regional como el sinclinal de Tunjuelito, afectado en sus flancos por las fallas Tunjuelito al oeste y Juan Rey al este.

2.2.5 Geomorfología

La geomorfología es la ciencia que estudia las formas de la superficie terrestre enfocada a describir, entender su génesis y su actual comportamiento.

Para su descripción se siguen las directrices de la técnica metodológica del Servicio Geológico Colombiano- SGC, entidad que tiene como misión generar los estándares y técnicas geomorfológicas para caracterizar la cartografía geológica y las amenazas naturales generadas por los procesos morfodinámicos, tales como: los movimientos en masa (MM) y las avenidas torrenciales q, siguiendo un proceso analítico del terreno desde un punto de vista regional hasta llegar a uno local. Para tal efecto desarrolla una propuesta de jerarquización geomorfológica, que relaciona las escalas de trabajo con las jerarquías geomorfológicas, donde la base regional está fundamentada en la génesis geológica de las geoformas y los ambientes morfogenéticos, y el detalle lo sustentan en los ambientes morfogenéticos, la expresión morfológica, la litología y procesos morfodinámicos, Figura 2.33.

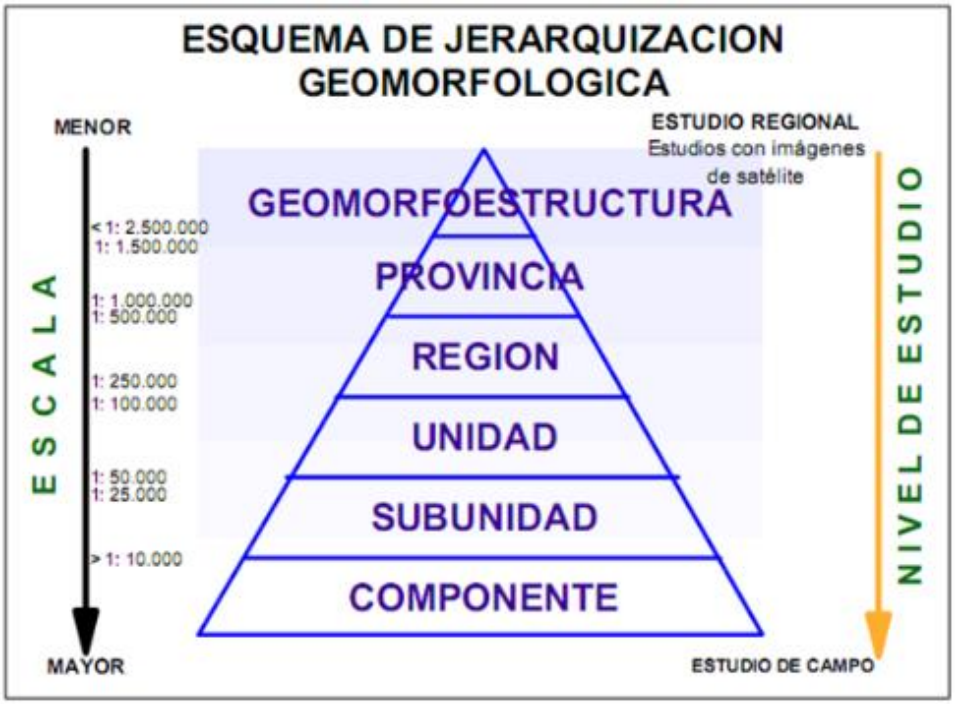


Figura 2.33 Jerarquía Geomorfológica utilizada por el SGC.
Fuente: Guía Metodológica de Carrillo et al (2021).

El esquema Jerárquico agrupa el alcance del nivel del estudio acorde con la escala de trabajo en 6 grandes niveles:

- Geomorfoestructura: "Referencia la jerarquía geomorfológica definida por el SGC para grandes macrounidades, que pueden ser representadas a escalas a nivel de país (< 1:2.500.000), e incluyen espacios marinos, continentales e intracontinentales, caracterizados por sus condiciones litológicas composicionales, naturaleza de las rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas), su cronología, deformaciones tectónicas y estructuras geológicas que han generado deformaciones o basculamientos y rasgos geográficos propios de su entorno. Se consideran Geomorfoestructuras los escudos, cratones, los plateaux orogénicos o epirogénicos, grandes cuencas de sedimentación tales como: cuencas intracratónicas y rift valley, plataformas y cinturones orogénicos, entre otros (SGC, 2004; Zink, A. 2012)" Tomada del protocolo de Geomorfología de la Dirección de Geociencias Básicas del SGC- 2021, Figura 2.34.

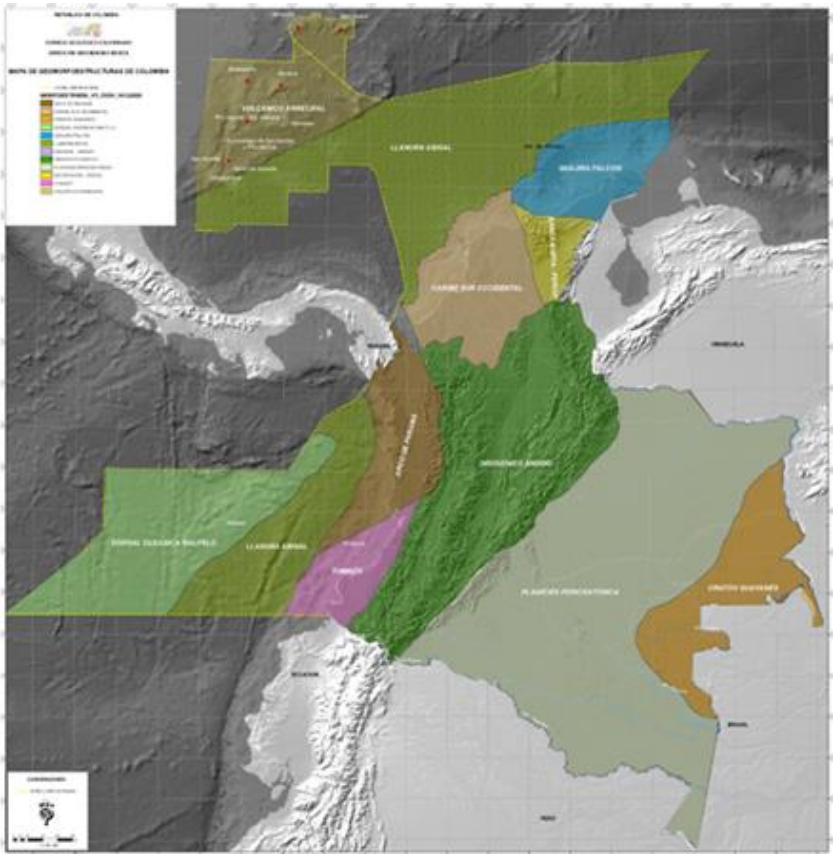


Figura 2.34 Geomorfoestructura de Colombia.
Fuente: Tomada protocolo de Geomorfología de la Dirección de Geociencias Básicas del SGC- 2021

- Provincia: "Son conjuntos de regiones con geoformas parecidas y definidas por un macro relieve y una génesis geológica similar. Localmente, se corresponden con las regiones naturales y con los terrenos geológicos de Colombia, los cuales están demarcados por fallas regionales y continentales definidas o inferidas. Se definen en términos tales como: cinturones montañosos, llanuras, peneplanicies, cordilleras y serranías", Figura 2.35. Tomada de la "Propuesta de procedimiento para elaboración de la cartografía geomorfología en la Dirección de Geociencias Básicas del Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2021.

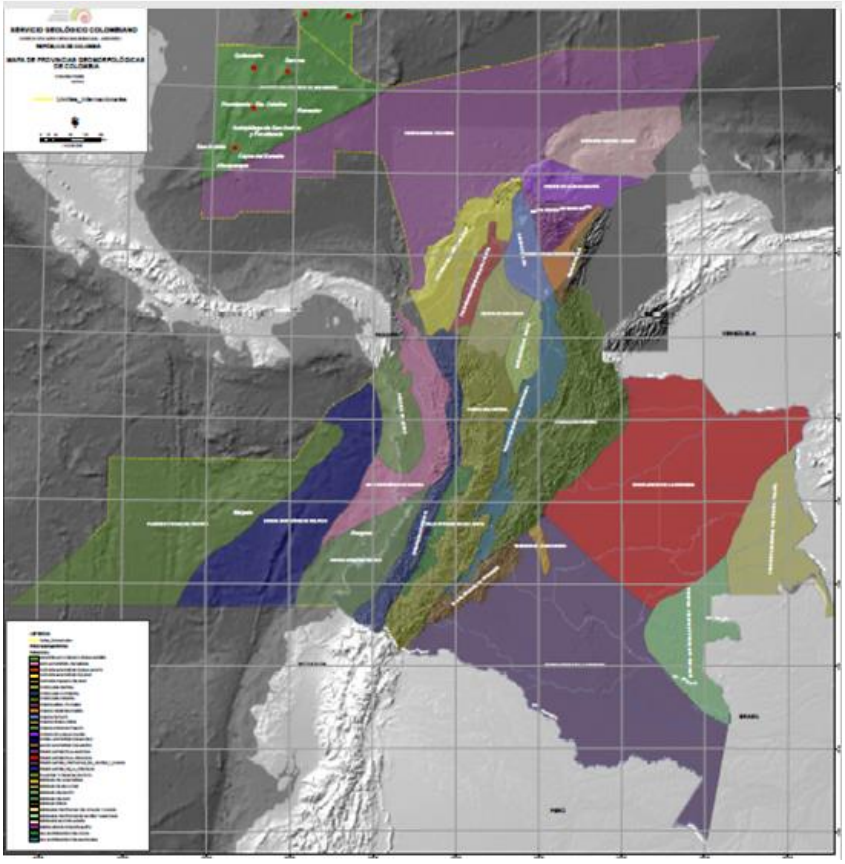


Figura 2.35 Provincias geomorfológicas de Colombia.
Fuente: Tomada de la "Propuesta de procedimiento para elaboración de la cartografía geomorfología en la Dirección de Geociencias Básicas del Servicio Geológico Colombiano-SGC, 2021"

- Región: "Agrupación de geoformas del terreno definidas por el ambiente y sub-ambiente morfogenético y las expresiones del paisaje que pueden ser cartografiados a escalas entre 1:250.000 a 1:500.000. Se refiere a un tipo general de medio biofísico, originado y controlado por un estilo de geodinámica interna generadora del relieve y/o la acción externa como el clima generador del modelado, se consideran los tipos de paisajes y subpaisajes y los siguientes siete (7) tipos de ambientes morfogenéticos:
    1. *Estructural: relieve controlado por la geodinámica interna a través de la tectónica (basculamiento, plegamiento, corrimiento, fallamiento) y/o vulcanismo. Incluye el ambiente geotectónico (Geoformas originadas por la actividad tectónica reciente y que se ha prolongado durante el Cuaternario).*
    2. *Deposicional o agradacional: modelado de paisajes controlados por la depositación de materiales detríticos, solubles y/o biogénicos, transportados por agua, viento, hielo, movimientos en masa, o gravedad. Dentro de este ambiente se involucran los sub-ambientes fluvial, marino costero y eólico, glacial y volcánico, entre otros.*
    3. *Disolucional: controlado por procesos de disolución de rocas generando erosión química (carst en rocas calcáreas, pseudocarst en rocas no-calcáreas).*
    4. *Residual: caracterizado por la presencia de rasgos de relieve en sobrevivencia (p.e. inselberg, cerros, peneplanicies).*
    5. *Mixto: son producidos por la combinación de cualquiera de los ambientes antes descritos. Por ejemplo, un ambiente estructural disectado por erosión.*

6. *Antrópico: geoformas asociadas a la actividad del hombre que modifican la superficie del terreno.*
7. *Extraterrestre: son todas aquellas geoformas producidas por fenómenos astrofísicos (caída de meteoritos).*

- Unidad: Se define como una Geoforma individual genéticamente homogénea, generada por un proceso geomorfológico construccional (relieve) o destruccional (modelado, acción de los agentes externos como el clima y la acción del hombre), típico de un ambiente Morfogenético dado (Zink, A.,2012). Está determinada con criterios genéticos, morfológicos y geométricos (Modificado de Carvajal, 2012).

- Subunidad: Está determinada fundamentalmente por los contrastes morfológicos y morfométricos, que relacionan el tipo de material o la disposición estructural de éstos con la correspondiente topografía del terreno. Igualmente, está definida por el contraste dado por las formaciones superficiales asociadas a procesos morfodinámicos actuales de meteorización, erosión, transporte y acumulación bien definidos o determinados. La escala de trabajo oscila entre 1:10.000 y 1:25.000. Carvajal 2012.

- Componente o elemento geomorfológico: Esta categoría está establecida por los rasgos del relieve (escarpes naturales o antrópicos, relieves internos de laderas o flancos, crestas, formas de valle), definidos en sitios puntuales y determinados por la morfometría detallada del terreno en una subunidad geomorfológica. Igualmente, puede estar definida por micro relieves asociados con una característica litológica o sedimentaria establecida con base en análisis detallados. Cartográficamente, se plantea hacer la diferenciación de elementos geomorfológicos acorde con las características de los tipos de material (rocas o sedimentos), utilizando los achurados estándar de geología. Carvajal 2012.

2.2.5.1 Geomorfología del predio de la "Hacienda El Carmen"

Para su clasificación y descripción se sigue la metodología del SGC relacionando las formas actuales del terreno y los procesos morfodinámicos que han y/o las están afectando.

Geomorfoestructura y Provincia

Las geoformas identificadas en el área de la Hacienda el Carmen están ubicadas en la geomorfoestructura del Orógeno Andino; en la provincia de la cordillera oriental (Figura 2.36).

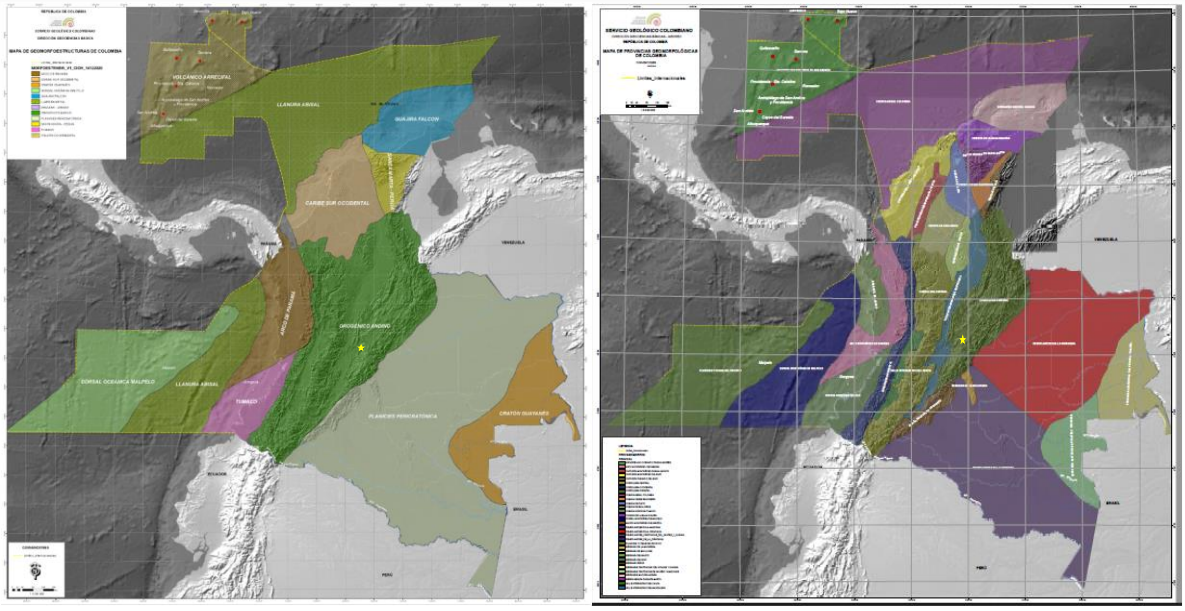


Figura 2.36 Mapas de morfoestructuras de Colombia (Izquierda) y de Provincias geomorfológicas (derecha) de Colombia. Las estrellas amarillas ubican el área del proyecto.
Fuente: GT de Cartografía de la Dirección de Geociencias Básicas del SGC.

Regiones (Ambientes Morfogenéticos)

Cuatro (4) ambientes morfogenéticos caracterizan el modelado identificado en predio de la Hacienda El Carmen:

1. Glacial: define el evento fluvio glacial morrenico.
2. Fluvial: ambiente generado por la acción dinámica de las quebradas Fucha y Requilina.
3. Denudacional: relacionado con los asentamientos e inestabilidades identificados en el frente morrenico por la acción dinámica de las Quebradas Fucha y Agua Dulce.
4. Antrópico: generado por las actividades desarrolladas por la acción del hombre sobre el depósito.

Unidades y subunidades

Dentro del ambiente morfogenético deposicional, relacionado con el evento fluvio-glacial se identifican 3 unidades asociadas con el depósito fluvio Glaciar:

- La primera identifica el primer Frente del Avance Morrenico (M1-Figura 2.37), definida como **FGl-1**, (Figura 2.39), observado desde las inmediaciones del cerro Toten hasta su piedemonte, caracterizada por presentar una morfología ondulada, de geometría convexa y ligeramente escalonada.
  Esta unidad geomorfológicamente la caracteriza dos subunidades: La primera subunidad es de pendientes suaves a ligeramente onduladas, desarrolladas sobre el depósito fluvioglaciar de bloques de areniscas blancas y gris claras de grano grueso a medio, de tendencias subangulares distribuidas en una matriz gravo-arenosa con desarrollo de suelos arenosos pardos muy pobres en materia orgánica, porosas y permeables, muy apetecidos por los moradores de la región para el cultivo de cebollas y hortalizas. La segunda subunidad

presenta laderas inclinadas y abruptas, de longitudes media moderadamente largas, soportada sobre material superficial de tipo morrenico de bloques de areniscas blancas y gris claras de grano grueso a medio, de tendencias subangulares y en menor proporción subredondeados, de grano fino a grueso de hasta 1,5 m de diámetros mayor a tamaños de gravas gruesas tipo guijos y guijarros embebidos en una matriz soportada areno-gravosa media y fina, gris clara, sub-litificada, de bajo grado de meteorización, de porosidad y permeabilidad estimada media, con pendientes fuertemente inclinadas a escarpadas (25-75%), e índice de relieve muy bajo (<50 m), y el desarrollo de un drenaje subparalelo.

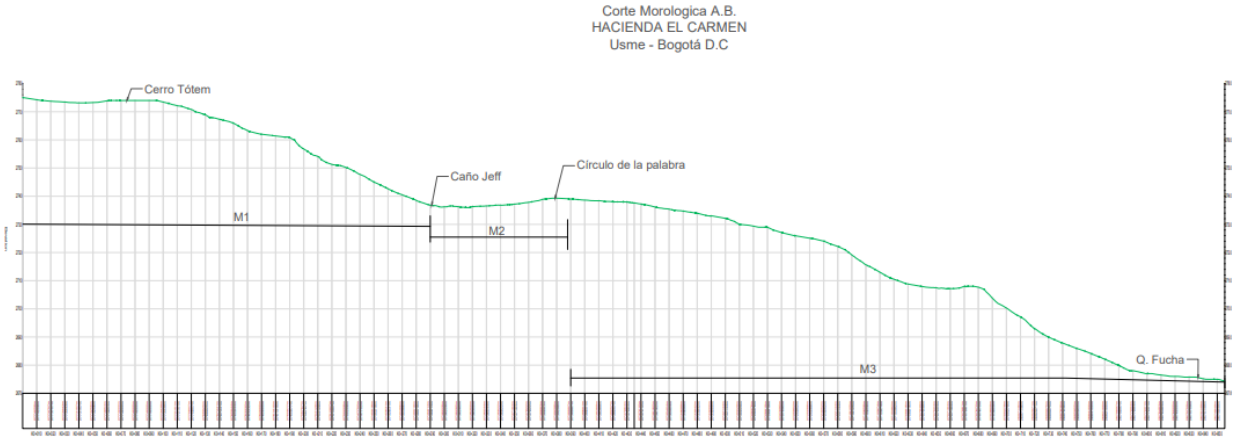


Figura 2.37 Corte topográfico A-B. Escala H: 1:2000 y V: 1:1000; desde el Cerro Toten hasta la Q. Fucha, muestra las 3 morfologías predominante en la "Hacienda el Carmen".
Fuente: Propia

- La segunda Unidad identifica la continuidad del frente de avance, (M2-Figura 2.37), definido como **FGL-2** (Figura 2.39), caracterizada por presentar una morfología de tendencia plano-cóncava poco inclinada, de superficies cubiertas de pastos nativos y el desarrollo de humedales.
  Esta unidad la caracteriza una subunidad constituida por material fluvio-glaciar morrenico con menor contenido de grandes bloques de areniscas blancas y gris claras de grano grueso a medio embebidas en una matriz soportada gravo-arenosa media y fina, algo lodosa, gris clara, de grado de meteorización estimado medio a alto, un índice de relieve muy bajo de morfología tendencia plana y desarrollo de risados y montículos, de poca altura; un drenaje superficial de tipo paralelo, parcialmente intervenido por acción antrópica, con procesos de erosión superficial baja, el desarrollo de suelos arenoso grises a ligeramente grises oscuros de hasta 40 cm de espesor, muy pobre en contenido de materia orgánica.

- La tercera Unidad desarrollada sobre la parte media del Modelado Morrenico Frontal deposicional, ilustrada en la Figura 2.37-M3 y cartografiada como **FGl-3**, de la Figura 2.39, inicialmente hizo parte del frente fluvio-glacial, que obturo el paleocauce de la quebrada Fucha y Aguadulce.

- El segundo ambiente morfogenético es de tipo denudacional y está relacionado con el proceso denudativo generado por la apertura del paleocauce de las quebradas Fucha y Aguadulce generando la cuarta unidad geomorfológica, con acentuados procesos erosivos de socavación, que han hecho que actualmente se observen geometrías cóncava-convexa en una morfología de pendientes moderadas a fuertemente inclinadas, índices de relieve bajo, laderas inclinadas a muy

inclinadas, de longitudes muy cortas en donde se desarrollan subunidades de depresiones amplias soportadas en bloques angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable que dadas las condiciones erosivas de los caudales de las Quebradas Fucha y Aguadulce han generado los asentamientos cartografiados como (Dmma) y recientes (Dmmr), de geometrías cóncavas producto de la reacomodación del depósito fluvioglaciar en respuesta a el proceso de profundización de los cauces de las quebradas Fucha y Agua Dulce. , con formas deprimidas que han generado los asentamientos de 10 movimientos en masa identificados.

- Con el ambiente morfogenético Fluvial se presenta la quinta Unidad de Modelado Plano Aluvial (Fpi) que identifica las superficies planas a ligeramente inclinadas fangosas y secas de poca extensión y espesor variable, desarrolladas sobre suelos aluviales arenosos gris oscuro a negros soportados en cantos y bloques subredondeados de areniscas blancas y grises depositados por la acción dinámicas de las Quebradas Requilina y Fucha respectivamente.

- La sexta unidad está relacionada con las adecuaciones generadas por la acción del hombre en los predios de la "Hacienda El Carmen" y su área de influencia, en donde se evidencias subunidades, tales como: las adecuaciones viales de primer orden (Av1) que ocasionaron excavaciones y adecuaciones ingenieriles efectuadas sobre el depósito fluvioglaciar para el desarrollo vial de primer orden que comunica el municipio de Usme con los barrios periféricos del sur de Bogotá D.C; vías de penetración de tercer orden (Aiv), caracterizadas por su amplitud de hasta 8,5 m, desarrolladas especialmente en el depósito fluvioglaciar plano cóncavo a convexo con cortes máximos de hasta 1,3 m, sin adecuación del talud; Unidad de adecuaciones para tubería de conducción de agua potable (Aao) de la tubería de conducción de la represa de la Regadera a la planta de tratamiento de Vitelma; finalmente la Unidad de urbanizaciones (Aed) que relaciona las adecuaciones tipo explanaciones, excavaciones y obras de infraestructura para el desarrollo urbanístico del sector

Se presenta la planta geomorfológica en la Figura 2.38 y el ejemplo del corte AB en la Figura 2.39. Se presentan los perfiles y el mapa Geomorfológico en el anexo.

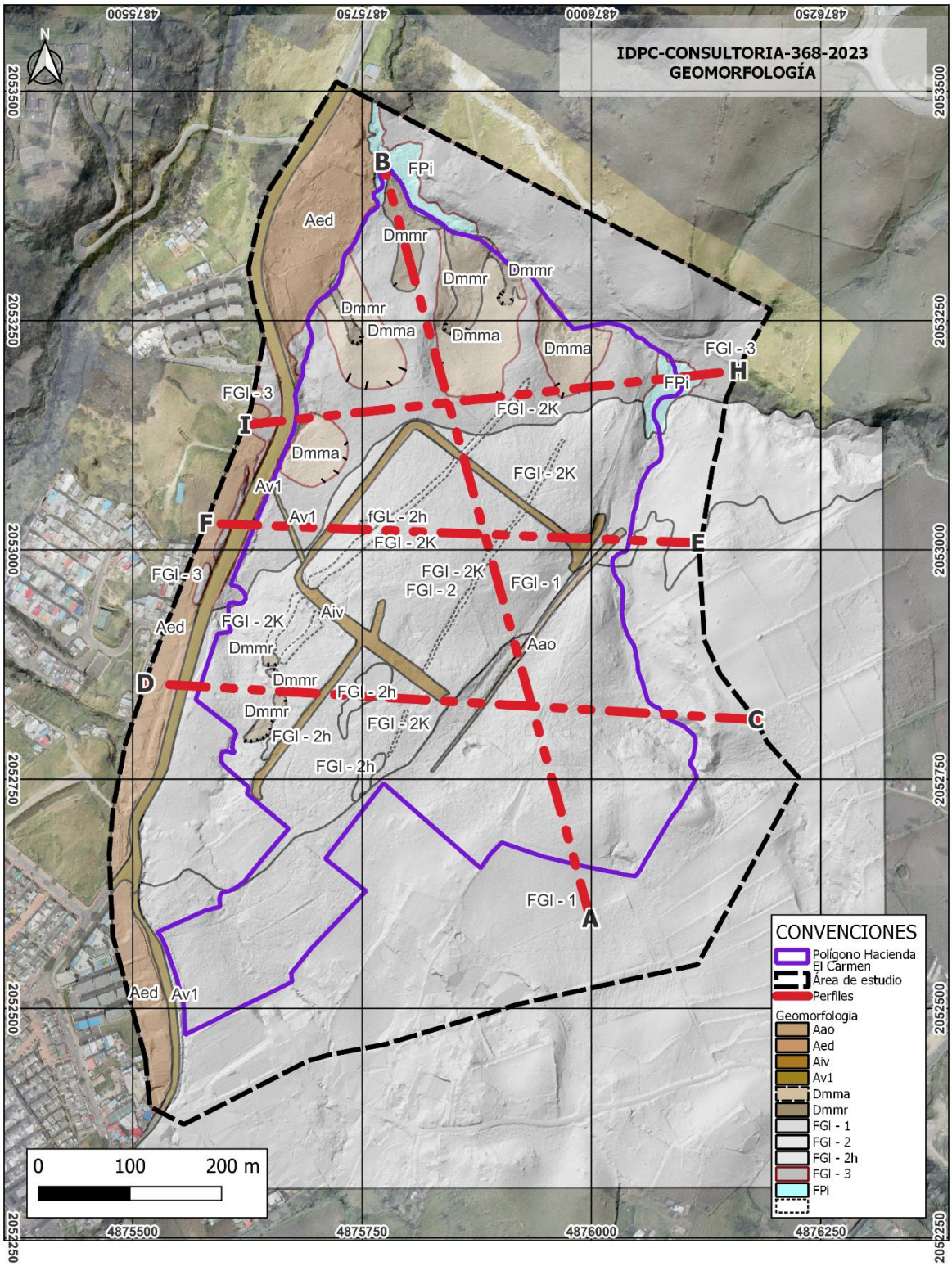


Figura 2.38 Planta geomorfológica Hacienda El Carmen.

Fuente: Propia.

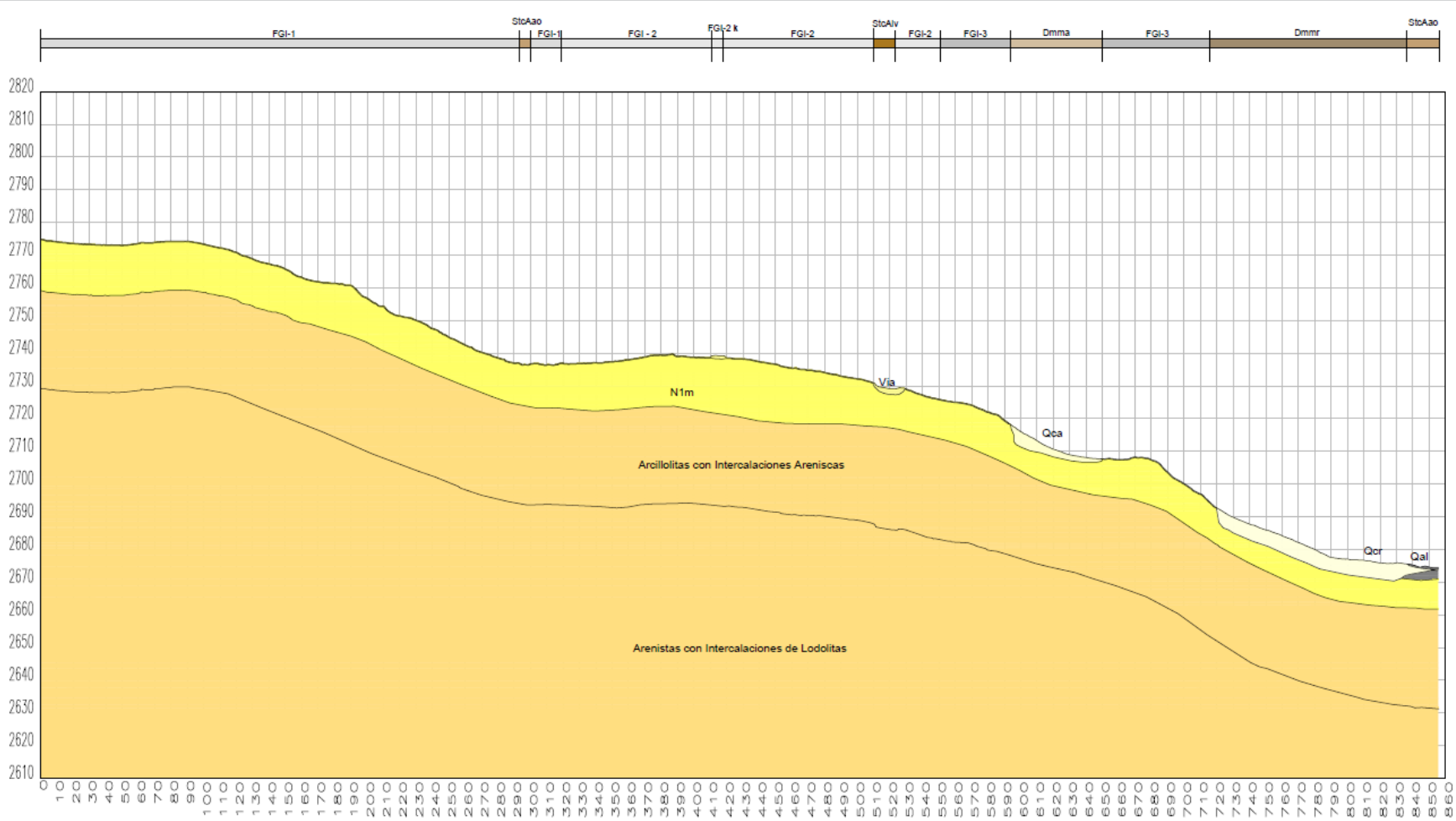


Figura 2.39 Corte geomorfológico AB del depósito fluvioglaciar en la "Hacienda el Carmen" de la localidad de Tunjuelito, Bogotá D.C. Escala: H=1:2000, V=1:1000. Notese el perfil estimado de erosión, generado por el cauce de la Quebrada Fucha sobre la parte media del depósito fluvio-glaciar de la formación Marichuela (N1m).
Fuente: Propia

Elementos o componentes

Asociado con la subunidad de la primera Unidad, se presentan dos elementos: el primero se localiza en la parte alta y superior, de morfometría suave a ligeramente inclinada localizada en las inmediaciones del cerro Totem con desarrollo de un suelo residual de poco espesor (cm) con erosión superficial incipiente (Calvas de erosión); el segundo relacionado con el escalonamiento en la laderas de pendientes inclinadas y abruptas asociadas a un proceso de movimiento en masa incipiente (pisadas de patas de vaca), producidas por el uso de la tierra para labores agropastoriles en el sector. Asociado a los anteriores elementos se presentan bloques métricos, predominantes angulares y sub-redondeados con canales de erosión hídrica y grietas de gelifracción, que sobresalen en la morfología cubierta de pastos nativos, Figura 2.25 y Figura 2.26.

En la segunda unidad de tendencia plana, se evidencia la presencia de un elemento angosto (delgado) de crestas rectas, de longitudes de hasta de 100 m, y alturas que no superan el metro; cuyas expresiones topográficas están cubierta de pastos naturales de especies mejoradas que enmascaran el cuerpo del elemento, constituido por gravas tipo guijarros, guijos y gránulos de areniscas blancas a grises cartografiados en el mapa geomorfológico como, **FGL-2k**. Adicionalmente, asociado a la subunidad plana a cóncava se desarrollan humedales cartografiados como **FGl-2h** de morfología risada (tatucos), Figura 2.40.

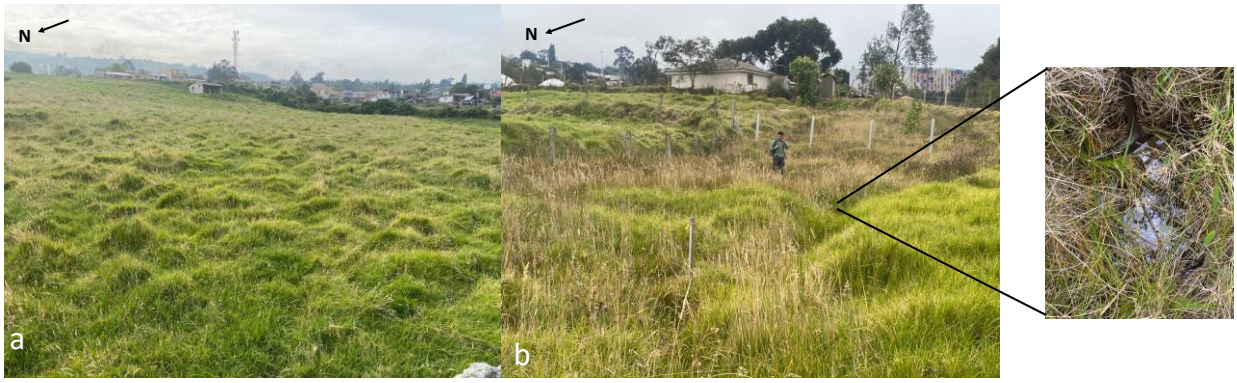


Figura 2.40 a) Estación LBV N=4°28´34,9''; W=-74°07´13,4''. Tatucos, b) LBV17, N=4°28´36,3''; W=-74°07´16,8''. Humedales.
Fuente: Propia

En el ambiente morfogenético denudativo de la cuarta unidad, caracterizada por presentar una geometrías cóncava-convexa en una morfología de pendientes moderadas a fuertemente inclinadas, se presentan 10 sitios con movimientos en masa (MM) cartografiados en el mapa geologico y geomorfologico, como depósito coluvial (Qca) y QCr y (**Dmma**) y recientes (**Dmmr**) respectivamente,, de geometrías cóncavas producto de la reacomodación del depósito fluvioglaciar, en respuesta a el proceso de socavación y profundización de los cauces de las quebradas Fucha y Aguadulce.

Los 10 MM están localizados en el sector norte del área y en la margen izquierda de la quebrada la Fucha y en el sector occidental del área siguiendo la margen derecha de la quebrada aguadulce; elementos numerados en el mapa geomorfológico del 1 al 10, cuyas características se describen a continuación:

Margen Izquierda Quebrada Fucha

MM-1: X= 4875974,63; Y=2053219,76

- Estado: Latente
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: Gravitacional moderadamente profundo de subtipo traslacional
- Humedad superficial: Húmedo
- Diferencia de altura: 16 m.
- Longitud: 90 m
- Pendiente de la ladera 20°
- Ancho: 70
- Ancho estimado de la corona: incierto
- Longitud de la masa desplazada:20 m
- Severidad: Leve
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 2: X= 4875874,54; Y= 2053233,94

- Estado: Latente
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: Gravitacional moderadamente profundo de subtipo traslacional
- Humedad superficial: Húmedo
- Diferencia de altura: 35 m.
- Longitud: 170 m
- Pendiente de la ladera 20°
- Ancho: 100
- Ancho estimado de la corona: incierto
- Longitud de la masa desplazada:20 m
- Severidad: Leve
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 3: X=4875864,16; Y= 2053284,58

- Estado: Activo
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial

- Tipo de movimiento: deslizamiento traslacional
- Humedad superficial: Húmedo
- Diferencia de altura: 16 m.
- Longitud: 40 m
- Pendiente de la ladera 25 a 15°
- Ancho: 20
- Ancho estimado de la corona: 20
- Longitud de la masa desplazada:40 m
- Severidad: media
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 4: X= 4875915,41; Y= 2053296,81

- Estado: Latente
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: Gravitacional moderadamente profundo de subtipo traslacional (¿)
- Humedad suoerficial: Humedo
- Diferencia de altura: 16 m.
- Longitud: m
- Pendiente de la ladera 18°
- Ancho:
- Ancho estimado de la corona: incierto
- Longitud de la masa desplazada:Incierto
- Severidad: Leve
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 5: X= 4875800,75; Y= 2053326,81

- Estado: activo
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: traslacional
- Humedad superficial: Muy Húmedo
- Diferencia de altura: 19 m.
- Longitud: 130 m
- Pendiente de la ladera 25°
- Ancho: 25
- Ancho estimado de la corona: 20 m
- Longitud de la masa desplazada:60 m
- Severidad: Leve

- Uso del suelo: Agropastoril

Margen Derecha Quebrada Aguadulce

MM 6: Figura 2.37, X= 4875760,33; Y= 2053208,90

- Estado: Latente
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: Gravitacional moderadamente profundo de subtipo traslacional
- Humedad superficial: Húmedo
- Diferencia de altura: 33 m.
- Longitud: 120 m
- Pendiente de la ladera 20°
- Ancho: 100
- Ancho estimado de la corona: 60
- Longitud de la masa desplazada:70 m
- Severidad: Leve
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 7: Figura 2.37, X= 4875733,32; Y= 2053253,75

- Estado: activo
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: traslacional
- Humedad superficial: Muy Húmedo
- Diferencia de altura: 28 m.
- Longitud: 62 m
- Pendiente de la ladera 35°
- Ancho: 10 m
- Ancho estimado de la corona: 20 m
- Longitud de la masa desplazada:40 m
- Severidad: Media
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 8: X= 4875699,74; Y= 2053105,66

- Estado: Latente
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.

- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: Gravitacional moderadamente profundo
- Humedad superficial: Muy Húmedo
- Diferencia de altura: 13 m.
- Longitud: 53 m
- Pendiente de la ladera 17°
- Ancho: 75
- Ancho estimado de la corona: incierto
- Longitud de la masa desplazada: Incierto
- Severidad: Leve
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 9: X= 4875647,87; Y= 2052883,15

- Estado: activo
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: traslacional
- Humedad superficial: Muy Húmedo
- Diferencia de altura: 6,5 m.
- Longitud: 18 m
- Pendiente de la ladera 40°
- Ancho: 6
- Ancho estimado de la corona: 10 m
- Longitud de la masa desplazada:14 m
- Severidad: Severa
- Uso del suelo: Agropastoril

MM 10: Figura 2.37, X= 4875646,22; Y= 2052814,05

- Estado: activo
- Tipo de Material: Deposito fluvioglaciar de bloques métricos angulares a sub-redondeados de areniscas blancas a gris claras, distribuidos en una matriz de gravas gruesas a medias y arenas lodosas parda con desarrollo de un material superficial poroso y permeable.
- Tipo de suelo: Residual
- Tipo de depósito: Glacial
- Tipo de movimiento: traslacional
- Humedad superficial: Muy Húmedo
- Diferencia de altura: 5 m.
- Longitud: 20 m
- Pendiente de la ladera 15°
- Ancho: 60

- Ancho estimado de la corona: 50 m
- Longitud de la masa desplazada:11 m
- Severidad: Severa
- Uso del suelo: Agropastoril

2.2.5.2 Procesos Morfodinámicos

Los procesos morfodinámicos identificados en el área de la "Hacienda el Carmen" son movimientos en Masa (MM) antiguos y recientes; producto de la incisión y profundización de las quebradas Fucha y Agua dulce que han afectado las partes norte y occidental del depósito fluvioglaciar perimetral de la "Hacienda el Carmen". La erosión solamente se presenta en la parte superior occidental (C. Toten) en donde el proceso tradicional de la actividad agrícola y uso de la tierra, genera calvas de erosión superficial de fácil recuperación y en la zona plno-convexa de la Unidad FGl-2, por la actividad humana que ha generado perdida de la capa vegetal.

- *Movimientos en Masa Antiguos (Dmma)*

Los antiguos movimientos en masa se localizan en la ladera norte y noroeste del área, generados por la incisión y socavación de profundización de los cauces de las Quebrada Fucha y Agua Dulce sobre el cuerpo del depósito morrenico, cuyo perfil de erosión evidencia la actividad dinámica del cauce de la quebrada sobre las laderas generando asentamientos amplios de morfologías cóncavas de coronas redondeadas y cuerpos relativamente estables, Figura 2.41.

- *Movimientos en Masa Recientes (Dmmr)*

Referencia morfologías cóncavas de coronas definidas angulares y cuerpos deprimidos húmedos, vegetación inclinada que evidencia su actividad. Están compuestos de gravas finas areno-lodosas húmedas, con evidencias de inclinación de la vegetación y la pata de los deslizamientos húmedos y rizados.

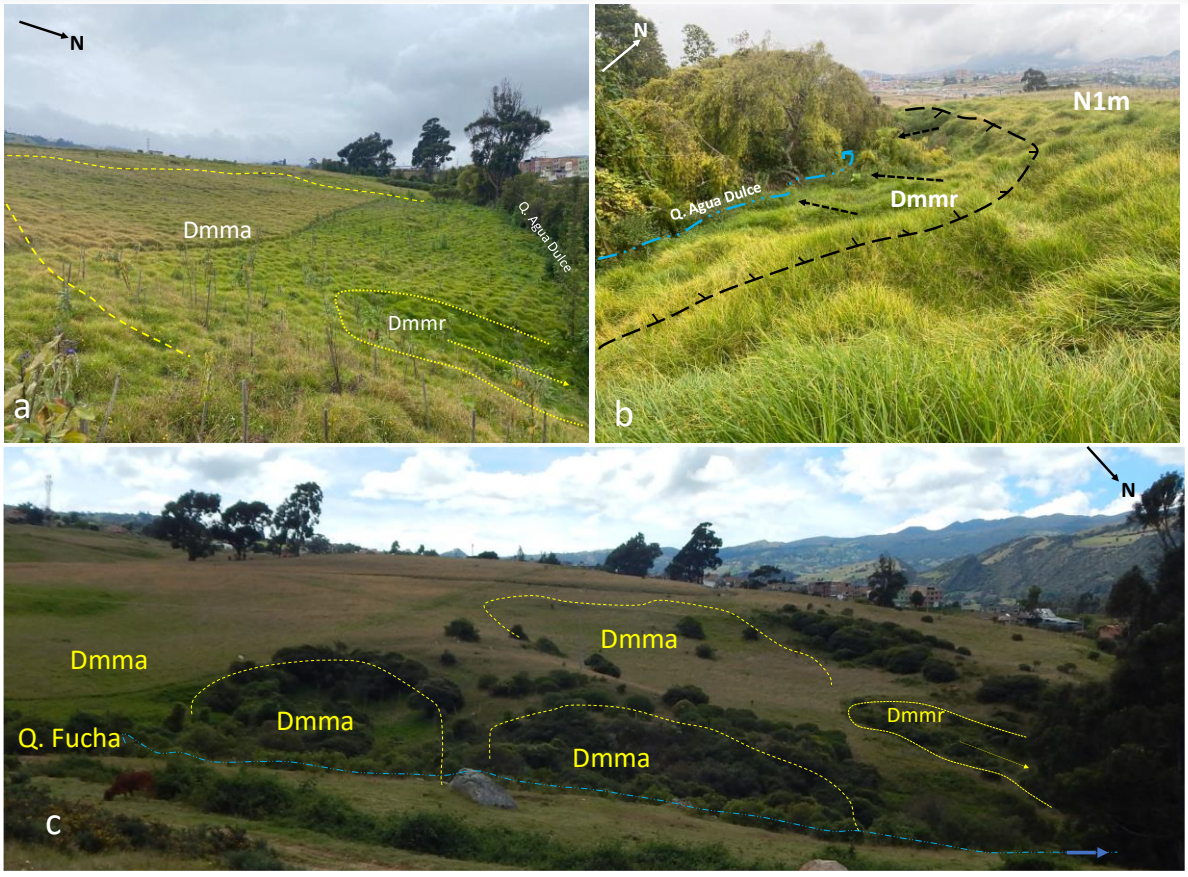


Figura 2.41 a) Est-LBV23. N=4°28'12,5''; E=-74°07'12,5''. Depresiones cóncavas de asentamientos antiguos (Qca) reactivado en la pata (Qcr) por la socavación del cauce de la quebrada Agua Dulce. B) Estac-LBV18, N=4°28'37,3''; E-74°07´17,2'', movimientos en masa recientes (Dmmr) por socavación del cauce de la Q. Agua Dulce. c) Parte norte del área de interés, con movimientos en masa antiguos (Dmma) y recientes (Dmmr) generadas por los caudales de la Q. Fucha.
Fuente: Propia

2.2.5.3 Susceptibilidad a los Movimientos en Masa

Sustentado en la evaluación geológica, geomorfológica y morfodinámica elaborado en el área de la Hacienda el Carmen, se evidencia que el sector norte y oeste del proyecto, dadas las condiciones morfodinámicas de MM antiguos y recientes identificados, es un sector susceptible a que se acentúen los procesos morfodinámicos por la socavación y profundización de las quebradas Fucha y Agua dulce.

Por lo anterior, es necesario conocer en la cuenca de la Q. Fucha las condiciones hidráulicas y efectuar un reconocimiento del estado de erosión y MM e identificación con énfasis en los procesos morfodinámicos y depósitos torrenciales, proceso que permitirá deducir la potencialidad torrencial y capacidad de socavación del caudal de la quebrada en la margen izquierda, sector norte del lote de la "Hacienda el Carmen".

2.2.6 Unidades Geológicas superficiales

Este Item muestra la memoria del mapa de unidades geológicas superficiales identificados en los predios de la "Hacienda el Carmen ", en donde se hace énfasis en el comportamiento genético de la litología

(composición y textura), la dureza, la resistencia, el grado de meteorización y humedad, junto con la consistencia y resistencia estimada de los depósitos glaciar, fluvial y los antrópicos identificados en el área, siguiendo los lineamientos definidos por el SGC-2004,(Padilla, J. Calderón, Y. 2004).

En el área no se identificaron unidades roca, solamente afloran materiales superficiales de suelos transportados por el hielo (Glaciar), fluviales, coluviales y antropogénicos generados por la expansión urbanística de Bogotá, D.C.

Unidad Geológica Superficial Glaciar (Stg)

Unidad transportada por procesos de la glaciación en un estado de litificación (diagénesis), generada durante el Plioceno y el Pleistoceno en el sector sur de la Sabana de Bogotá, tipo Tilita compuesta por grandes bloques de areniscas blancas y gris claras de grano grueso a medio, de tendencias subangulares y en menor proporción subredondeados, de areniscas blancas, beige y gris claras de grano fino a grueso de hasta 1,5 m de diámetros mayor a tamaños de gravas gruesas tipo guijos y guijarros embebidos en una matriz soportada areno-gravosa media y fina, gris claro. Los cantos son de rocas sedimentarias duras, de textura gruesa. En las laderas es notoria la presencia de grandes bloques predominantes angulares y sub-redondeados con canales de erosión hídrica y grietas de gelifracción, que sobresalen en la morfología cubierta de pastos mejorados.

Este depósito se puede considerar como en proceso de litificación, de porosidad y permeable media, con desarrollo de un suelo residual de hasta 40 cm de espesor, algo húmedo, muy densa y de una consistencia alta.

Unidad Fluvial (Stf)

Depósitos generados por la acción dinámica de desborde de los caudales de las quebradas Fucha y Requilina compuestos por arenas de grano fino a medio y lodos, húmedas, de densidad relativa suelta, de consistencia alta.

Unidad Coluvial

Referencia los depósitos generados por la actividad denudativa en el sector norte y oeste del área, cartografiados geológicamente como depósitos coluviales antiguos (Qca) y depósitos coluviales recientes (Qcr).

- Stc1: depósito coluvial antiguo generando por asentamiento gravitacional e hidráulica por la socavación de las quebradas Fucha y Aguadulce del depósito glaciar, compuestos de bloques subredondeados y subangulares de areniscas blancas, beige y gris claras de grano fino a grueso de hasta 1,5 m., de diámetros mayores a tamaños guijos y guijarros, distribuidos en una matriz soportada areno-gravosa gruesa y lodosa, media y fina, gris claro. Considerados geológicamente como estable de una susceptibilidad latente ante los procesos de socavación de los cauces mencionados.
- Stc2: Reactivación de los depósitos Stc1 por la acción hidrometereologica, el uso de la tierra y la socavación de las quebradas Fucha y Aguadulce. Clasificados como deslizamientos traslacionales, muy húmedos.

Unidad Antropogénica

Agrupa los depósitos y suelos de escombros generadas por el hombre dentro del proceso de ampliación urbanística de Bogotá D.C.:

- StcAiv: vías de penetración de tercer orden efectuadas dentro del lote de la Hacienda el Carmen
- StcAv1: vías de penetración de primer orden efectuadas dentro del lote de la Hacienda el Carmen
- StcAao: depósito generado por la excavación efectuada para el cruce de la tubería del acueducto de la represa de la Regadera a la planta de tratamiento de Vitelma.
- StcAed: relaciona los escombros y las viviendas construidas.

Se presenta a continuación la planta de unidades geológicas superficiales en la Figura 2.42 y se anexa el plano correspondiente.

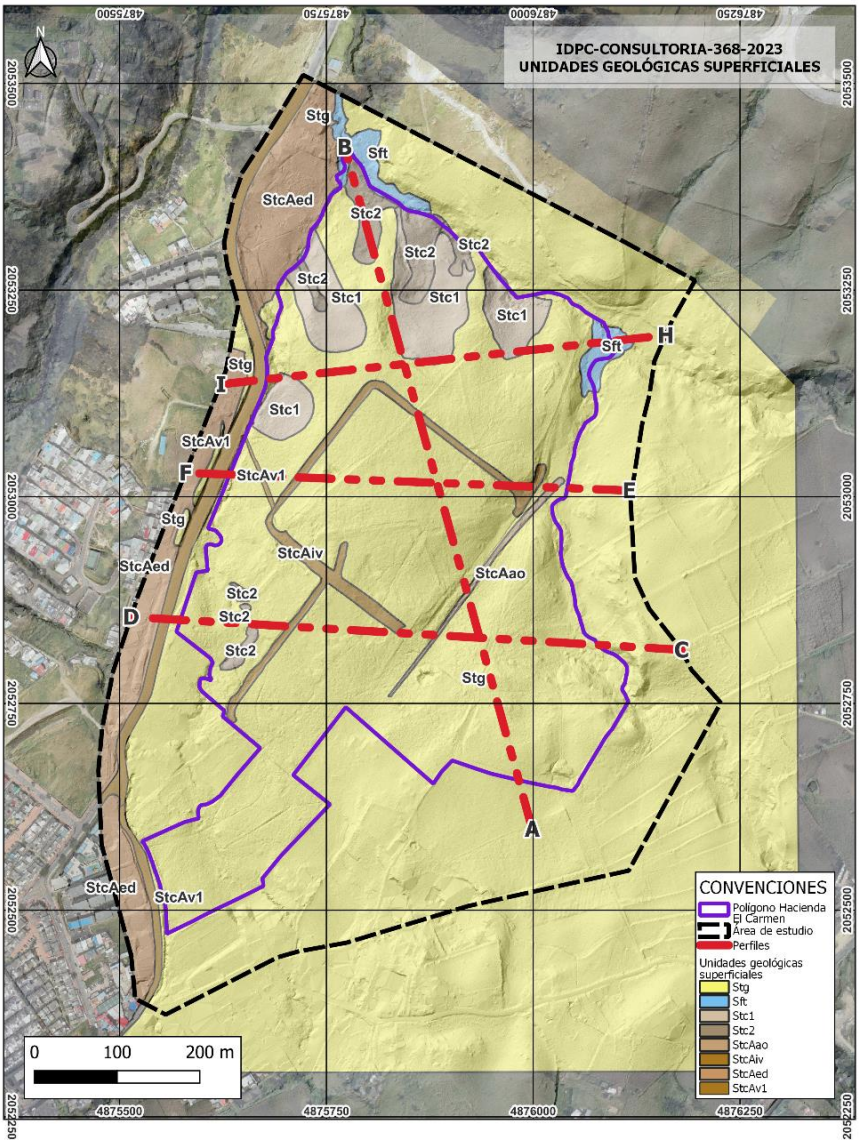


Figura 2.42 Planta de Unidades Geológicas Superficiales Hacienda El Carmen.
Fuente: Propia

3 COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

Las unidades de coberturas representan espacial y temporalmente los diferentes atributos de la superficie terrestre tales como territorios artificializados, cultivos, pastos, vegetación natural y cuerpos de agua. El uso, por su parte, comprende las actividades que el hombre adelanta en cada una de las coberturas bien sea para mantenerlas, cambiarlas o acondicionarlas a sus necesidades materiales, económicas, emocionales y/o ambientales (IGAC, 2007).

El análisis y representación espacial de estas dos variables geoambientales contribuye al conocimiento de las formas de apropiación y construcción territorial, a la explicación de la interrelación entre los sistemas natural y social y a la indagación sobre las dinámicas de los procesos de ocupación del territorio; necesarios para adelantar los procesos de planificación territorial.

Las coberturas vegetales muestran cambios en la dinámica natural de la superficie terrestre, participan en la regulación de los procesos erosivos, generan un equilibrio de la humedad natural, controlan los procesos de escorrentía superficial y permiten la reducción de las probabilidades de ocurrencia de eventos de remoción en masa.

Por otro lado, la temática de cobertura y uso del suelo es útil también en los procesos de gestión del riesgo, en la medida que ayuda a inferir la influencia o contribución de una determina cobertura y su uso en la condición de amenaza y riesgo por movimientos en masa.

A hora bien, en la generación del mapa de coberturas de la tierra del proyecto, se utilizaron herramientas de teledetección y como insumos fotos aéreas (OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif), además se realizaron comprobaciones de campo las cuales validaron y mejoraron la interpretación de Coberturas de la tierra y recolección de información para usos del suelo, generando una base de datos adecuada para ser procesada y analizada.

Finalmente, este capítulo describe las diferentes unidades de cobertura y usos del suelo identificadas en el área de estudio (hacienda el Carmen), que se encuentran en los mapas, de tal manera que sea útil para el ordenamiento territorial, y contribuya a la comprensión de la incidencia de las coberturas en los procesos de remoción en masa.

3.1 METODOLOGÍA

3.1.1 Recopilación de información secundaria

Se realizó una búsqueda minuciosa de fuentes de información que provean datos acerca de la dinámica actual e histórica de los diferentes tipos de cobertura de la tierra y los usos del suelo, con énfasis en las coberturas vegetales, el tipo, densidad y profundidad efectiva de las raíces, prácticas culturales de manejo del suelo que promuevan la inestabilidad del terreno.

3.1.2 Información cartográfica y sensores remotos

Para la elaboración del mapa de Cobertura y Uso del suelo se contó con la información que se relaciona en la Tabla 3.1. Como sensor remoto principal se utilizó el OrtoGSD (3.06 cm) _Bogota_20231218-001.tif, con el apoyo de la cartografía básica y temática del área de estudio, la cual fue suministrada por el proyecto.

Tabla 3.1 Características Ortofoto.

Sensor remoto	Año	Insumo	Resolución	Apoyo
OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif	2023	Mapa Cobertura de la Tierra	3.06 cm	Basemap de ArcGIS

Fuente: Propia

La anterior información se organizó en una Geodatabase (GDB), que almacena el shapefile del mapa de cobertura y usos del suelo. La información contenida en el shapefile posee tres campos principales asociados que contienen: NOMBRE_COB: describe el nombre que identifica la cobertura del suelo, el CODIGO_COB: describe un número único que identifica la cobertura de la tierra; los campos anteriores según la metodología Corine Land Cover, y la capa de usos del suelo.

3.1.3 Estructuración de la leyenda

Tomando como base la leyenda oficial de coberturas de la tierra a escala 1:100.000 incluida dentro de la adaptación para Colombia de la Metodología Corine Land Cover (IDEAM) y el ajuste de la leyenda por parte del Servicio Geológico Colombiano (SGC) en la Guía Metodológica Para La Zonificación De Amenaza Por Movimientos En Masa Escala 1: 25.000 2017 “Página 79, Tabla 3.14 y con respaldo de los trabajos de campo realizados por el SGC en los diferentes estudios de zonificación de amenaza por movimientos en masa realizados en el país ejemplo el estudio de Zonificación de amenaza por movimientos en masa suelo rural del municipio de Recetor – Casanare - escala 1:25.000, en este orden de ideas se definió una leyenda para el mapa de cobertura y uso del suelo del proyecto a escala 1:1.000, que incluye a un nivel más detallado coberturas propias de la escala de trabajo. Se destaca la inclusión de nuevas categorías de acuerdo a las discusiones temáticas del equipo de profesionales y el trabajo de campo, y donde se acentuó la importancia de incluir nuevas categorías en territorios agrícolas, áreas naturales y seminaturales especialmente asociadas a nuevas unidades de coberturas de pastos como los son los pastos degradados e inundados (2.3.4. y 2.3.6.) la utilización de estas nuevas categorías en la interpretación de la zona de estudio permite afirmar que tienen un sentido práctico asociado a su identificación e interpretación en

imágenes de sensores remotos y aportan elementos que permiten enriquecer la representación espacial de los tipos de coberturas asociadas o cercanas al área de estudio de la Hacienda el Carmen y que constituyen un elemento que apoya su caracterización y análisis de los procesos de intervención.

Para este caso, se considera el propósito para el cual se requiere dicha información dentro del estudio "realizar la actualización de los estudios y diseños técnicos, complementarios y necesarios para el análisis de riesgo, amenaza y vulnerabilidad por movimientos en masa y diseño de obras de reducción y mitigación de los riesgos para los polígonos y equipamientos que se ubicarán dentro del predio denominado hacienda el Carmen, categorizado como área de protección arqueológica, ubicada en la localidad de Usme, BOGOTÁ D.C.". Por lo anterior, la caracterización de la unidades de coberturas se enfocó en diferenciar y describir cualitativamente aspectos tales como el tipo, densidad y profundidad efectiva de las raíces, tipología, tamaño y características de las especies vegetales como generadoras de carga y resequedad del suelo, zonas de bosques, áreas afectadas por prácticas culturales de manejo del suelo para cultivos que promuevan la inestabilidad, áreas urbanizadas con distinto grado de impermeabilización de la superficie del terreno, y áreas con presencia de obras de drenaje y alcantarillado. Estos aspectos se centrar en analizar las causas y posibles soluciones de los movimientos de masas.

3.1.4 Interpretación de los sensores remotos

Se realizó la interpretación digital supervisada de las diferentes coberturas de la tierra directamente en pantalla, cuya unidad mínima de mapeo es de 0,005 hectáreas, teniendo en cuenta características como, el nivel de detalle del estudio, geométricas, tales como forma, tamaño, textura, sombras y reflectancia, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.1.5 Fase de campo

La interpretación se verificó in situ, evaluando visualmente los polígonos catalogados como no confiables y el punto patrón de los diferentes tipos de cobertura, con su respectivo registro fotográfico indicando su azimut de los diferentes patrones de cobertura e información adicional secundaria que sirve de apoyo en el análisis de los datos.

Para este propósito se establecieron aproximadamente 61 puntos de control de campo tal como se indica en la Figura 3.1 y su respectiva descripción se plasmó en formatos y libreta de campo, de esta forma se ajustó la interpretación para obtener la capa de cobertura de la tierra y usos del suelo con su respectiva descripción y códigos acordes a la metodología Corine Land Cover (CLC). Esta fase de validación de unidades de coberturas y uso del suelo se realizó durante el mes de enero de 2024.

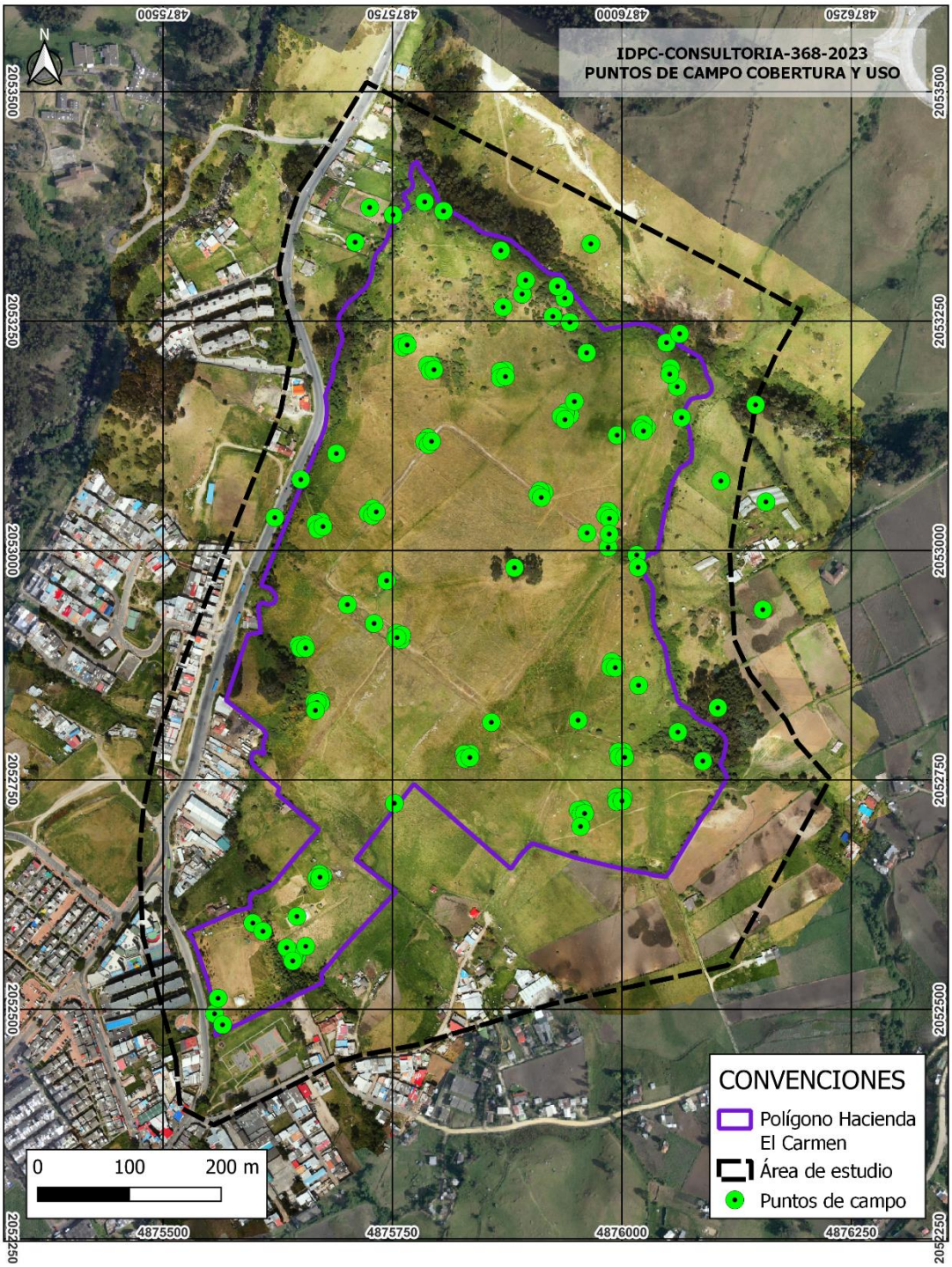


Figura 3.1 Puntos de control de campo.
Fuente: Propia

Una vez ajustada la interpretación con el trabajo de campo se hizo el control de calidad, entendido como el proceso de revisión y corrección continua y sistemática de la interpretación. Su finalidad es garantizar la calidad temática, topológica y geométrica del producto final.

3.2 RESULTADOS

3.2.1 Cobertura de la tierra

El mapa de cobertura de la tierra muestra la clasificación y la distribución de las 27 unidades de coberturas de la tierra identificadas en el área arqueológica Hacienda El Carmen, de acuerdo con la metodología Corine Land Cover (IDEAM-IGAC, 2010). (Figura 3.2**,** Tabla 3.2).

A continuación, se describen las diferentes unidades de cobertura de la tierra identificadas en el área de estudio y su posible influencia como factor condicionante en la ocurrencia de procesos morfodinámicos.

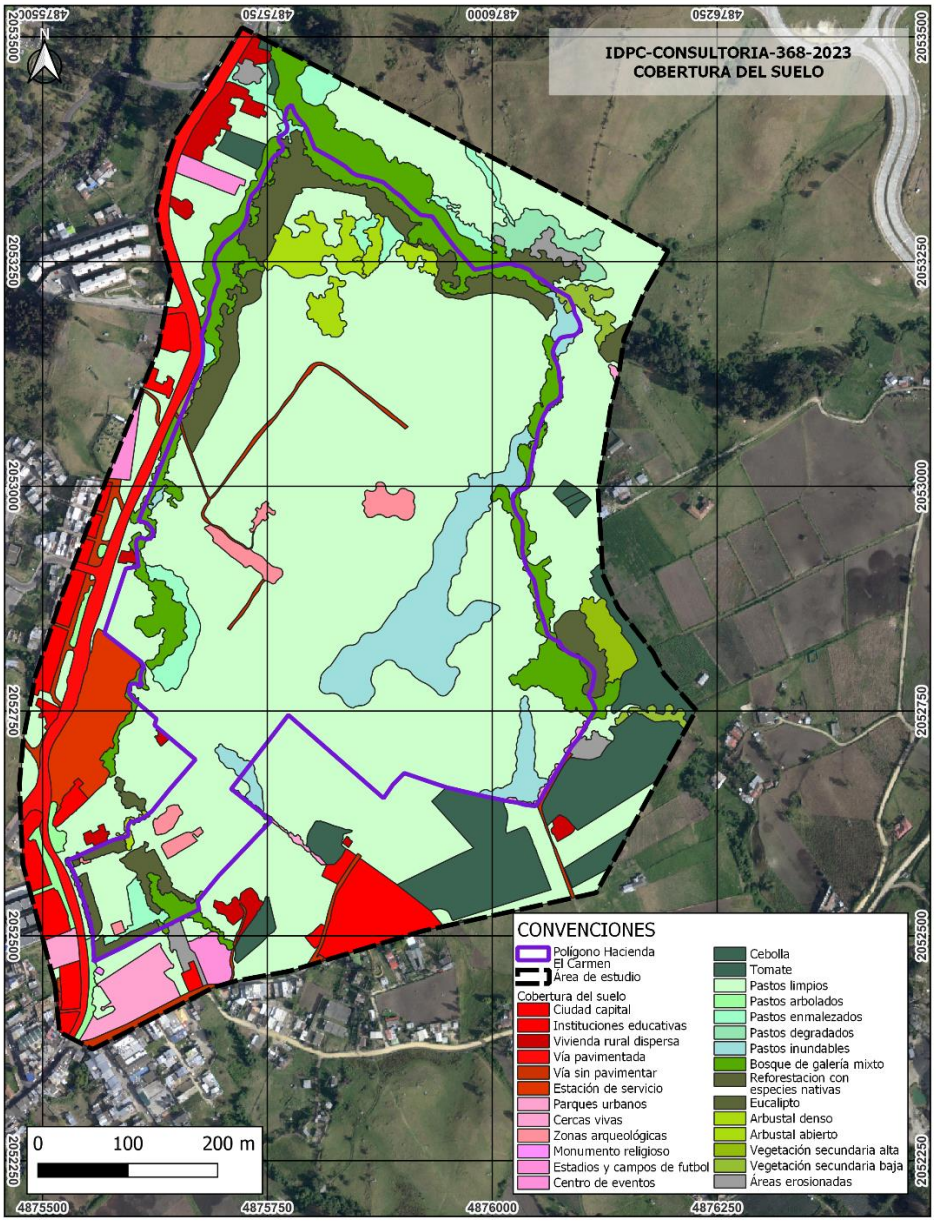


Figura 3.2 Mapa de Cobertura actual de la tierra del área de estudio.
Fuente: Propia

Tabla 3.2 Leyenda del mapa de cobertura de la tierra del área de estudio.

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Área	%
1. Territorios artificializados	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continúo	1.1.1.1. Ciudad capital			1,94	3,46
			1.1.1.3. Edificaciones de servicios públicos	1.1.1.3.1. Instituciones educativas		0,18	0,31
		1.1.3. Construcciones rurales	1.1.3.1. Vivienda rural dispersa - Vivienda Campesina o del productor agrícola			0,65	1,16
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial y territorios asociados	1.2.2.1.1. Red vial	1.2.2.1.1.1. Vía pavimentada	1,57	2,79
					1.2.2.1.1.2. Vía sin pavimentar	0,67	1,20
				1.2.2.1.2. Terrenos asociados a la red vial	1.2.2.1.2.2. Estación de servicio y/o taller automotriz	0,99	1,77
	1.4. Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas y rurales	1.4.1.5. Parques urbanos			0,65	1,17
			1.4.1.7. Cercas vivas			0,13	0,24
		1.4.2 Instalaciones recreativas	1.4.2.1. Áreas culturales	1.4.2.1.1. Zonas arqueológicas		0,51	0,90
				1.4.2.1.2. Zonas religiosas	1.4.2.1.2.1. Monumento religioso	0,01	0,01
			1.4.2.2. Áreas deportivas	1.4.2.2.1. Estadios y campos de futbol		0,13	0,24
			1.4.2.3. Áreas turísticas	1.4.2.3.1. Centro de eventos		0,34	0,60
2. Territorios agrícolas	2.1. Cultivos transitorios	2.1.4. Hortalizas	2.1.4.1. Cebolla			3,52	6,27
			2.1.4.4. Tomate			0,02	0,04
	2.3. Pastos	2.3.1. Pastos limpios				32,13	57,23
		2.3.2. Pastos arbolados				0,31	0,55
		2.3.3. Pastos enmalezados				1,08	1,93
		2.3.4. Pastos degradados				0,36	0,65
		2.3.6. Pastos inundables				2,35	4,19
3. Bosques y áreas seminaturales	3.1. Bosques	3.1.4. Bosque de galería o ripario	3.1.4.4. Bosque de galería mixto			4,13	7,35
		3.1.5. Plantación forestal	3.1.5.2. Plantación de latifoliadas	3.1.5.2.1. Otras plantaciones de latifoliadas	3.1.5.2.1.1. Reforestación con especies nativas	1,95	3,47
				3.1.5.2.2. Eucalipto		0,61	1,08
		3.2.2. Arbustal	3.2.2.1. Arbustal denso			0,14	0,25

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Nivel 5	Nivel 6	Área	%
	3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva		3.2.2.2. Arbustal abierto			0,75	1,33
		3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	3.2.3.1. Vegetación secundaria alta			0,28	0,50
			3.2.3.2. Vegetación secundaria baja			0,37	0,65
	3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas	3.3.3.1. Áreas erosionadas			0,38	0,67
Total						56,14	100,00

Fuente: Propia

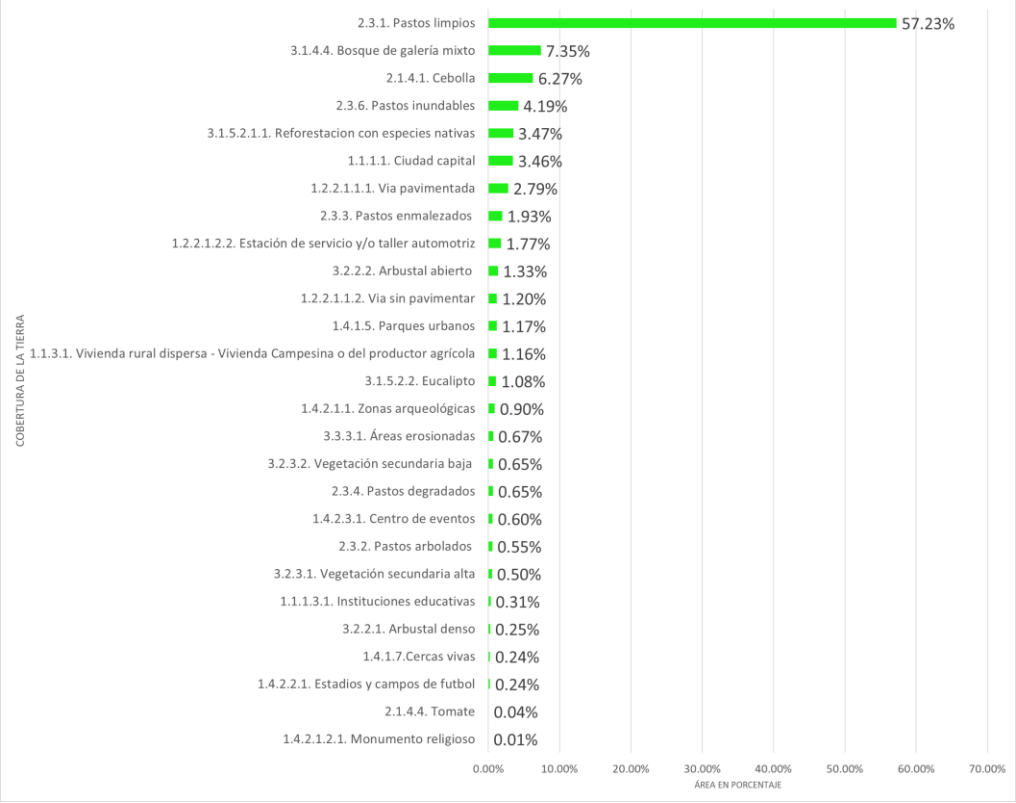


Figura 3.3 Tipos de cobertura de la tierra identificados en el área de estudio.
Fuente: Propia

De acuerdo con la información de la Figura 3.3 y Tabla 3.2, las zonas urbanizadas del área de estudio, ocupan 2,77 Ha que representan el 4,93% distribuidas en las unidades de cobertura ciudad capital, construcciones rurales y edificaciones de servicios públicos, la primera es la de mayor área ocupada con

1,94 Ha (3,46%) seguida de la unidad de cobertura Vivienda rural dispersa - Vivienda Campesina o del productor agrícola con 0,65 Ha (1,16%). Dentro de los territorios artificializados se puede observar que la unidad de cobertura Vía pavimentada ocupa un área de 1,57 Ha (2,80%) y las vías si pavimentar con 0,67 ha (1,19%). Por otra parte, la macrounidad zonas verdes artificializadas, no agrícolas, la cual incluye la unidad de coberturas Zonas arqueológicas representa el 3,15% del área estudio.

En relación con la actividad agropecuaria se destaca la unidad de cobertura Pastos limpios con 32,13 ha es decir 57,23% siendo la cobertura con mayor ocupación en el área de estudio, seguida de la unidad Pastos inundables con 2,35 Ha que representan el 4,19% del área, Pastos enmalezados con 1,08 hectáreas (1,92%). Por último, dentro de la actividad agropecuaria se destaca la presencia de la cobertura cultivo cebolla que ocupan 3,52 ha (6,27%).

Los bosques y las áreas seminaturales cubren 8,61 hectáreas que representan el 15,33% del área total de la zona de estudio, destacándose por su extensión la unidad de cobertura bosque de galería la cual se asocia a las quebradas la Fucha, La Requelina y agua dulce con 4,13 Ha (7,36%), la unidad de coberturas reforestación con especies nativas con 1,95 ha (3,47%) y la macrounidad Vegetación secundaria o en transición con 0,65 ha es decir el 1,16%; estas unidades de coberturas contribuyen a la conservación del suelo, sistema hídrico y a mejorar la conectividad ecológica. Por último, es importante mencionar que la unidad de coberturas Áreas erosionadas ocupando un área de 0,38 ha es decir el 0,68%. En la Figura 3.3 se indican los diferentes tipos de cobertura y el porcentaje que ocupa cada unidad en el territorio.

3.2.1.1 Descripción de unidades de cobertura a escala 1:1.000

La definición y descripción de las unidades de cobertura identificadas al interior del área de estudio a escala 1:1.000, se presenta por niveles desde lo general a lo especifico, con la finalidad de aportar elementos técnicos que permitan definir su contribución como agente condicionante de los movimientos en masa.

Territorios artificializados (1)

Se presentan las unidades que se identificaron como territorio artificializado del área de estudio, es decir las áreas cubiertas por algún tipo de infraestructura artificial, como edificaciones, vías y aquellos desarrollos urbanísticos que están siendo incorporadas a la zona urbana y rural del municipio, mediante un proceso gradual de urbanización o cambio de uso del suelo hacia fines agrícolas, residenciales, comerciales, industriales, de servicios o recreativos.

- Zonas urbanizadas (1.1)

Tejido urbano continúo (1.1.1)

Delimita unidades conformadas por edificaciones y sus espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Ocupa un área de 2,12 hectáreas que representa el 3,78 % del total del área de estudio y está integrado por la unidad de coberturas ciudad capital (1.1.1.1) y las edificaciones de servicios públicos (1.1.1.3.), cuyas principales características se describen a continuación:

Cuidad capital (1.1.1.1)

En esta unidad se incluye el conjunto de edificaciones contiguas, sus calles y parques o zonas verdes (Figura 3.4), de la ciudad capital; los cuales se caracterizan por su desarrollo en lugares de menor pendiente y con mayor planeación urbanística. Cubre una extensión de 1,94 hectáreas que representan el 3,46% del área.



Figura 3.4 Cuidad Capital (1.1.1.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.511,620; Y: 2.052.526,921 AZ N 10 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Edificaciones de servicios públicos (1.1.1.3)

Esta categoría incluye las edificaciones destinadas a la prestación de servicios públicos las cuales ocupan 0,18 hectáreas es decir 0,32% del área de estudio, está macrounidad es integrada por las instituciones educativas (1.1.1.3.1).



Figura 3.5 Instituciones educativas (1.1.1.3.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.492,090; Y: 2.052.576,378 AZ 12; y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Construcciones rurales (1.1.3)

Por lo general, están destinadas a servir como vivienda de alguna familia campesina, aunque en ocasiones pueden corresponder a escuelas de enseñanza rural. Como también una concentración de mínimo veinte (20) viviendas contiguas, vecinas o adosadas entre sí, ubicada en el área rural de un municipio o de un Corregimiento Departamental (DANE 2007). Para su identificación correcta, es necesario analizar algunas particularidades de los detalles circundantes a la edificación tales como corrales huertos, cobertizos, en el caso de las viviendas o canchas de deporte en el caso de las escuelas.

En esta unidad se diferencia la vivienda rural dispersa – Vivienda campesina o del productor agrícola y la unidad Vivienda rural nucleada - Centro poblado - Asentamientos rurales Inspecciones de policía.

Vivienda rural dispersa-Vivienda campesina o del productor agrícola (1.1.3.1)

Esta tipología de vivienda es aquella ubicada en la zona rural y ligada a las actividades agropecuarias que realiza la familia y por tanto se encuentra inmersa en ecosistemas naturales que cultiva, conserva o transforma Figura 3.6, donde la relación trabajo-producción-vida familiar está en clara interacción con el entorno, no sólo comprende la unidad de habitación, también el espacio de producción que diseñan, construyen y modifican sus moradores con técnicas tradicionales y con materiales y componentes básicos. En total esta unidad ocupa 0,65 hectáreas (1,16%).



Figura 3.6 Vivienda rural dispersa-Vivienda campesina o del productor agrícola (1.1.3.1)
a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.561,874; Y: 2.052.609,781 AZ 350 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: Propia

- Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación (1.2)

Red vial, ferroviaria y terrenos asociados (1.2.2)

Define e identifica la intervención primaria del ser humano sobre el territorio, para acceder a él y aprovechar su potencial de desarrollo (CAF, 2010). Está constituida por todos aquellos espacios artificializados relacionados con infraestructuras de comunicaciones necesarios para la movilidad de las personas como avenidas, carreteras, calles, su infraestructura conexa tales como andenes, áreas verdes estaciones de servicios.

En el área de estudio, esta unidad comprende vías pavimentadas (1.2.2.1.1.1.), sin pavimentar (1.2.2.1.1.2.) y Estación de servicio y/o taller automotriz (1.2.2.1.2.2.). En total, ocupan un área de 3,23 hectáreas que representan el 5,75 % del territorio estudiado.

- *Vía pavimentada (1.2.2.1.1.1)*

Son las vías que tienen en su última capa de conformación material como asfalto, lozas de cemento, placa huellas o adoquines (ver Figura 3.7). Este tipo de infraestructura se presenta distribuida por toda el área de estudio y su densificación es directamente proporcional al número de habitantes de una determinada zona. Ocupan 1,57 hectáreas (2,80%) del área.



Figura 3.7 Vía pavimentada (1.2.2.1.1.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.605,530; Y: 2.052.998,191 AZ 350 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

- *Vía sin pavimentar (1.2.2.1.1.2)*

Corresponde a las vías que presentan en su última capa de conformación, agregados pétreos de diferentes granulometrías como gravas o arenas (ver Figura 3.8) y pueden tener o no afirmado. Por lo general son vías inmersas dentro de las zonas agrícolas o con vegetación seminatural, sin manejo de aguas de escorrentía, y ausencia de obras de arte o colectoras de aguas de escorrentía. Cubren una extensión de 0,67 hectáreas (1,19%).

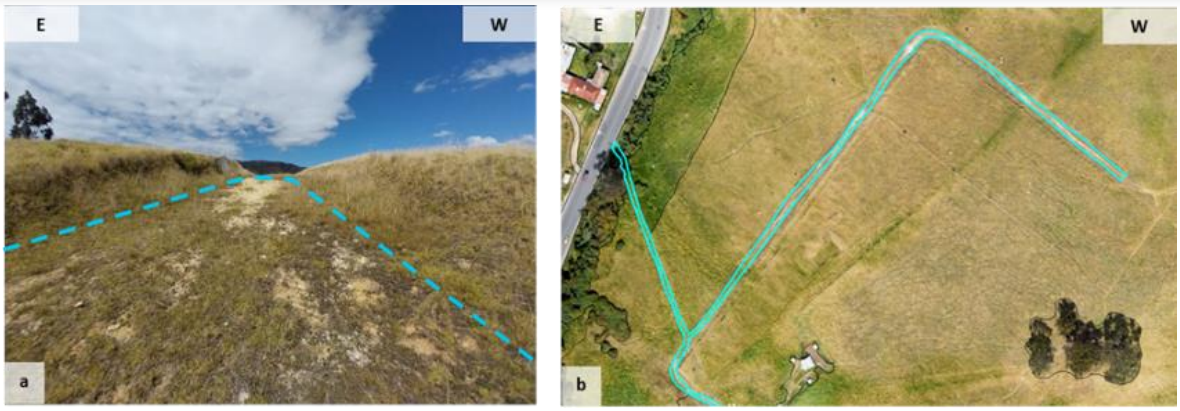


Figura 3.8 Vía sin pavimentar (1.2.2.1.1.2)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.886,844; Y: 2.053.079,484 AZ 50 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

- *Estación de servicio y/o taller automotriz (1.2.2.1.2.2)*

Hace referencia al establecimiento dedicado a realizar trabajos manuales o artesanos. En relación a la automoción existen los talleres mecánico- automotriz. Generalmente se ubican en puntos convenientes de zonas urbanas y próximas a las carreteras. Esta unidad de cobertura ocupa un área de 0,99 hectáreas es decir 1,76%.



Figura 3.9 Estaciones de servicio (1.2.2.1.2.2)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.574,834; Y: 2.052.788,799 AZ 15 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

- Zonas verdes artificializadas, no agrícolas (1.4)

Comprende las zonas verdes en las cuales se desarrollan actividades culturales, comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, con infraestructura construida apreciable. Ocupa un área de 1,77 hectáreas que representan el 3,15% del total del área entre las zonas verdes urbanizadas y las instalaciones recreativas; las cuales se describen a continuación:

Zonas verdes urbanas (1.4.1)

Esta cobertura hace referencia a las zonas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano, incluyendo parques urbanos y cementerios. Esta unidad se dividió en las siguientes unidades.

Parques urbanos (1.4.1.5)

Los parques urbanos son espacios verdes destinados al esparcimiento, recreación, bienestar social y el cuidado ambiental. Son lugares públicos, es decir, cualquier persona tiene acceso a ingresar a los parques, siendo diseñados y conservados por los gobiernos nacionales, municipales u organizaciones privadas. Esta unidad de cobertura ocupa un área de 0,65 hectáreas es decir (1,16%).



Figura 3.10 Parques urbanos (1.4.1.5)
a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.532,170; Y: 2.052.487,835 AZ 354y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: Propia

Cercas vivas (1.4.1.7)

Las cercas vivas son una forma de establecer límites entre predios, mediante la siembra de hileras de árboles y/o arbustos a corta distancia con el propósito de controlar el movimiento de las personas. Generalmente, se utilizan para el control de los animales domésticos, pero en el área de estudio no se observó actividad pecuaria. Este tipo de barreras contribuye a prevenir la erosión y pérdida del suelo, a disminuir la velocidad del agua lluvia, a la retención de sedimentos y mejoran la estabilidad del suelo a través del amarre que proporciona el sistema radicular. A pesar de su importancia, esta cobertura ocupa una extensión de sólo 0,13 hectáreas (0,23%).

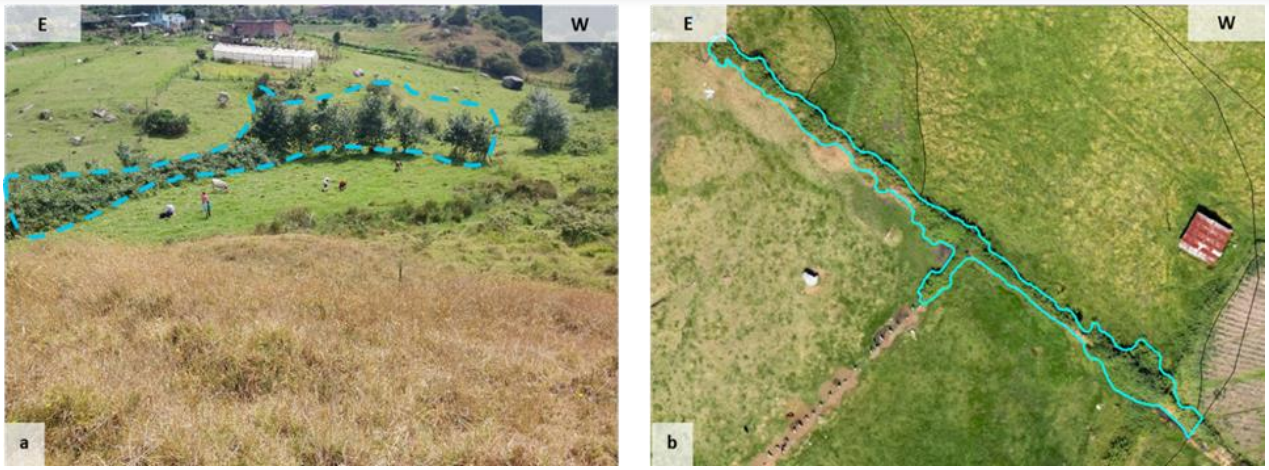


Figura 3.11 Cercas vivas (1.4.1.7)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.727,813; Y: 2.052.649,361 AZ 235 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Instalaciones recreativas (1.4.2)

Esta unidad incluye aquellos equipamientos destinados a la práctica del deporte y actividades recreativas. Están conformadas por las áreas deportivas y parques recreativos, las cuales se describen a continuación:

Áreas culturales (1.4.2.1)

Lugar donde se contienen y desarrollan acciones culturales se le ha denominado de diferentes maneras: "equipamiento cultural", Zonas arqueológicas", "Áreas religiosas" y/o "espacio cultural", entre otras variaciones. Estas zonas abarcan los distintos lugares para la creación, exhibición y encuentro cultural en el municipio que son producidos tanto por agentes públicos, como privados y de la sociedad civil.

- **Zonas arqueológicas (1.4.2.1.1)**

Corresponde a las áreas de la hacienda El Carmen que en la actualidad cuentan con concentraciones de restos arqueológicos (partes, ruinas o conjuntos de objetos) bajo la superficie de la tierra que dan cuenta de la actividad humana desarrollada en el pasado. Esta unidad de cobertura ocupa un área de 0,51 ha es decir el 0,91%.

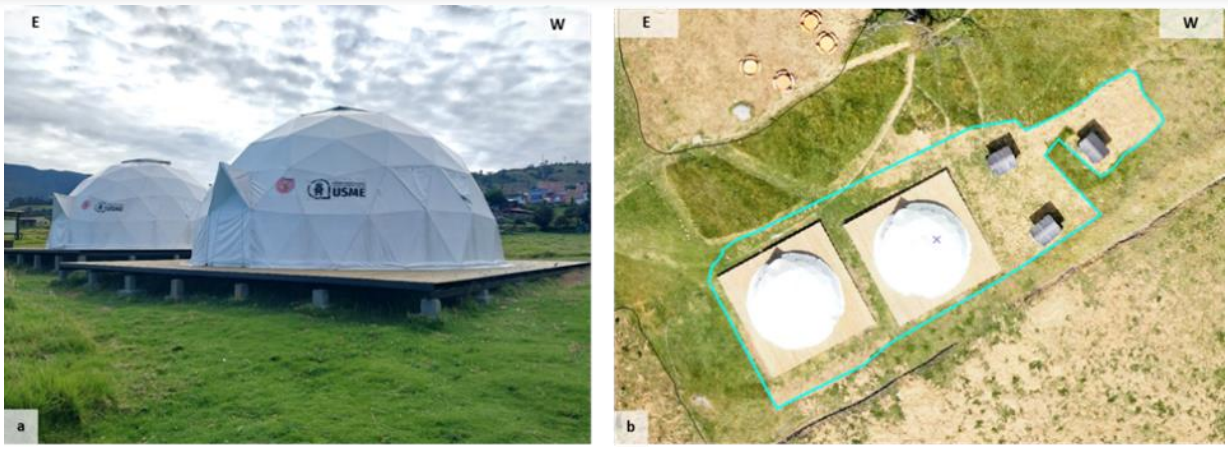


Figura 3.12 Áreas culturales (1.4.2.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.641,974; Y: 2.052.595,571 AZ 90 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

- **Zonas religiosas (1.4.2.1.2)**

  1. *Monumento religioso (1.4.2.1.2.1)*

Área y/o edificación relacionadas con el fervor religioso perteneciente a una determinada época de la historia. Estos monumentos religiosos son los referentes de la arquitectura del lugar en el que se establecen, esta unidad de cobertura ocupa un área de 0,01 ha es decir (0,02%).

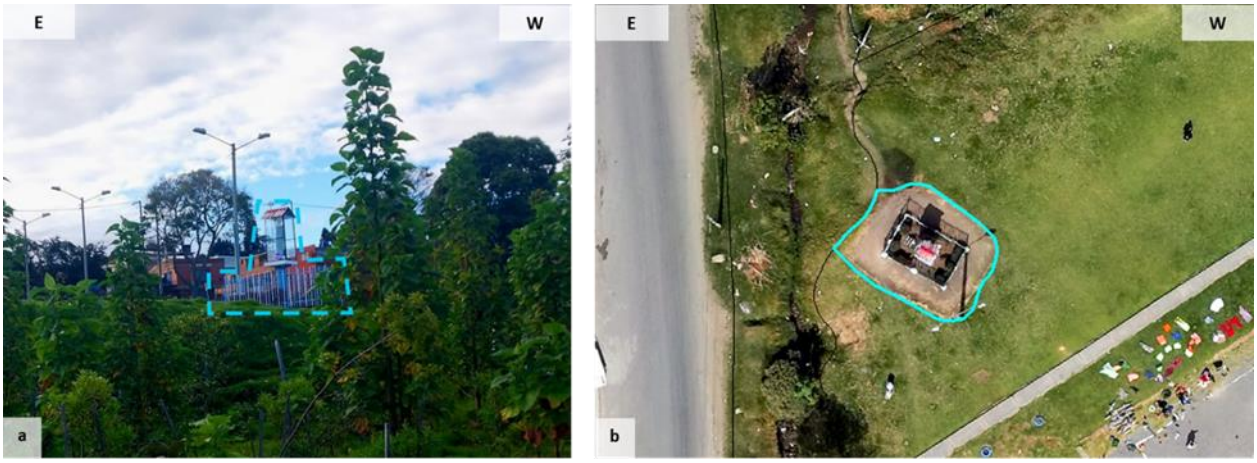


Figura 3.13 Monumento religioso (1.4.2.1.2.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.563,367; Y: 2.052.460,818 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Áreas deportivas (1.4.2.2)

Definen áreas equipadas con los medios necesarios para el aprendizaje, la práctica y la competición en uno o más deportes (Figura 3.14). En el área de estudio está integrada por las canchas de futsal, baloncesto y voleibol.

- **Estadios y campos de futbol (1.4.2.2.1)**

Construcción especialmente diseñada para la práctica de deportes, en este caso, el fútbol. Se compone de un terreno de juego rodeado de gradas para que los espectadores puedan presenciar los partidos. También cuenta con vestuarios, palcos, cabinas de prensa, taquillas, zonas de restauración y servicios para el público. Esta unidad de cobertura ocupa un área de 0,13 hectáreas es decir (0,23%).

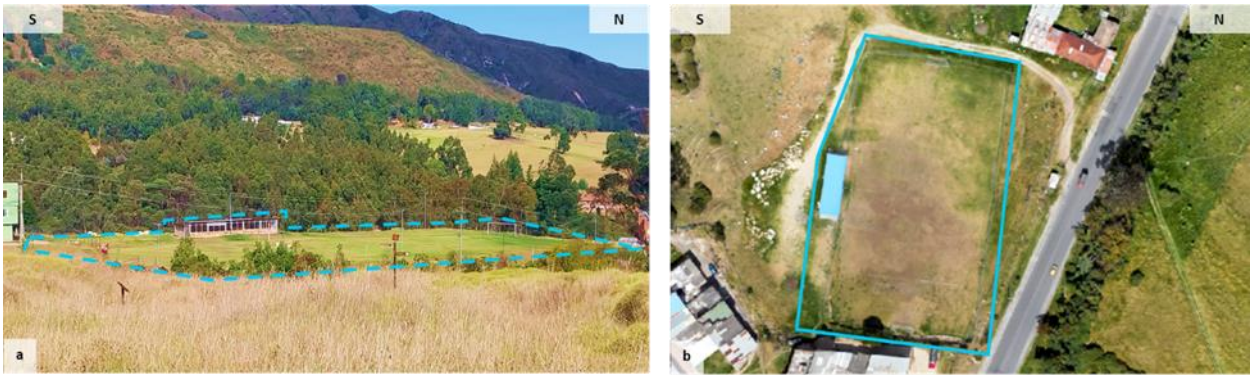


Figura 3.14 Estadios y campos de futbol (1.4.2.2.1)
a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.587,009; Y: 2.053.026,175 AZ 357y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: Propia

Áreas turísticas (1.4.2.3)

Los sitios turísticos también llamados puntos de interés son lugares de referencia para propios y extraños que cumplen diferentes roles como: encuentro, recreación, cultural, histórico, natural entre otros. Que están ubicados en áreas urbanas y/o rurales.

- **Centro de eventos (1.4.2.3.1)**

Lugar desarrollado para la organización de eventos, generalmente de tamaño mediano a grande, que ofrecen varias temáticas diferentes. No es una regla, pero la mayoría de las veces un centro de eventos es el escenario de reuniones, ya sean académicas, científicas, comerciales, profesionales, espirituales o con fines de entretenimiento, esta unidad de cobertura ocupa un área de 0,34 ha (0,61%)



Figura 3.15 Centro de eventos (1.4.2.3.1)
a) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: Propia

Territorios agrícolas (2)

En el área de estudio, los territorios agrícolas comprenden las áreas dedicadas a cultivos, transitorios y pastos. Estos territorios ocupan un total de 39,77 hectáreas que representan el 70,84%. Esta macrounidad se destaca por ser la de mayor extensión en el área de estudio.

- Cultivos transitorios (2.1)

Corresponden a las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de solo unos pocos meses, como por ejemplo la cebolla y tomate, únicos cultivos de este tipo que se identificó en el área de estudio y cuyas características se describen a continuación:

Hortalizas (2.1.4)

Cobertura terrestre de manejo intensivo caracterizada por ser un conjunto de plantas herbáceas, cultivadas generalmente en huertas, que se consumen como alimento humano. Se hace en pequeñas extensiones, dándole el máximo de cuidados y manteniendo el suelo constantemente ocupado.

Cebolla (2.1.4.1)

Cobertura compuesta por cultivo de cebolla larga (Allium Fistulosum Linnaeu.), plantas herbáceas perennes, las raíces se producen en la base del tallo, son fasciculadas y poco abundantes; verticalmente miden hasta 30-45 cm y horizontalmente unos 3 cm. esta unida de cobertura ocupa un área de 3,52 Ha es decir 6,27%.

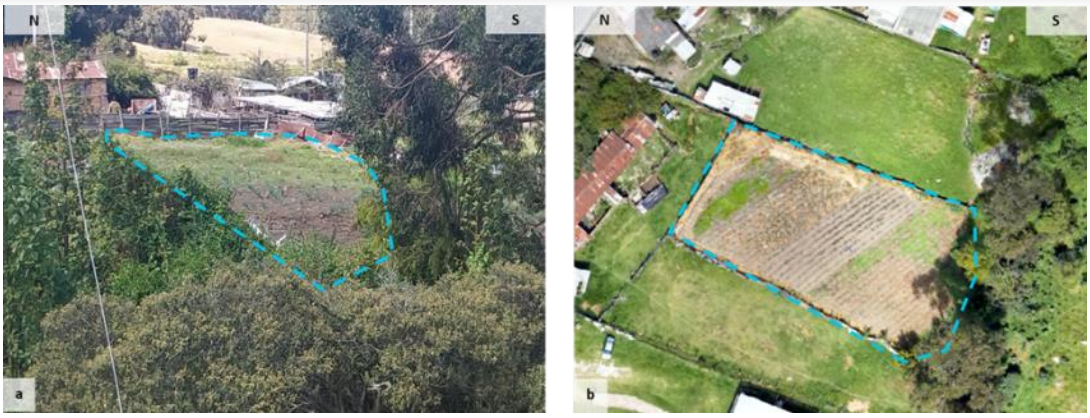


Figura 3.16 Cultivos transitorios (2.1) – Cebolla (2.1.4.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.725,775; Y: 2.053.372,767 AZ 19 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm

Fuente: Propia

Tomate (2.1.4.4)

Cobertura compuesta por cultivo de Tomate (Solanum lycopersicum.), plantas herbáceas perennes, el tallo es erguido y cilíndrico en la planta joven; a medida que ésta crece, el tallo cae y se vuelve anguloso, presenta vellosidades en la mayor parte de sus órganos y glándulas que segregan una sustancia de color verde aromática, puede llegar a medir hasta 2,50 m, ramifica de forma abundante y tiene yemas axilares. esta unida de cobertura ocupa un área de 0,02 ha es decir 0,04%.

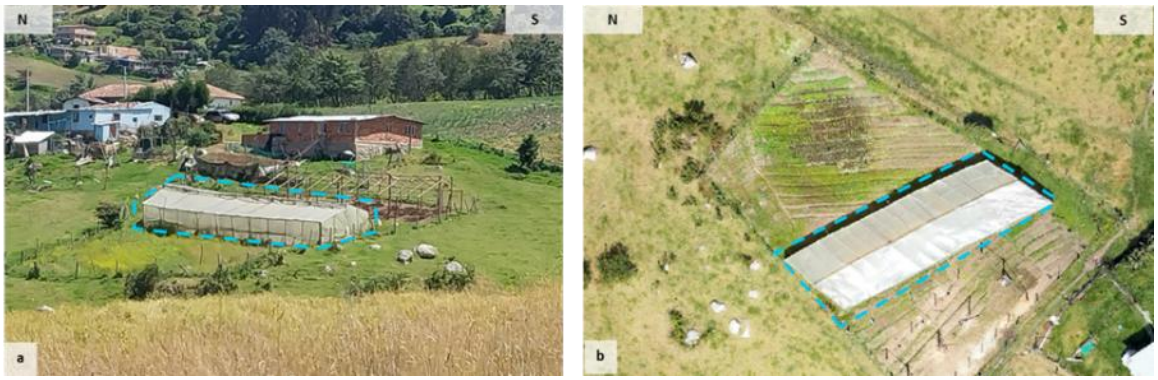


Figura 3.17 Cultivos transitorios (2.1) – Tomate (2.1.4.4)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X 4.876.081,561; Y: 2.052.982,109 AZ 15 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm

Fuente: Propia

- Pastos (2.3)

Comprende las tierras cubiertas con plantas herbáceas generalmente establecidas por la acción antrópica referida especialmente a su plantación, con la introducción de especies no nativas principalmente la especie Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Los pastos ocupan un área total de 36,23 hectáreas (64,54%)

distribuidas en toda la zona de estudio y está integrada por pastos limpios, pastos arbolados, enmalezadas y degradados. A continuación, se describe cada tipo de pasturas.

Pastos limpios (2.3.1)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas con pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento del 57,23% del área es decir 32,13 hectáreas; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y la actividad de pastoreo bovino impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas. Los pastos ayudan a reducir la erosión eólica ya que su regeneración natural es rápida y tiende a cubrir toda la capa del suelo reduciendo actividad del sol y del viento sobre el horizonte superficial. Figura 3.18. Por otra parte, el sobrepastoreo en esta cobertura puede generar problemas de erosión (pate vaca), pérdida de suelo y compactación, la cual puede destruir o reducir enormemente las dimensiones de los poros del suelo y por ende, reducir la tasa de infiltración del agua precipitada.

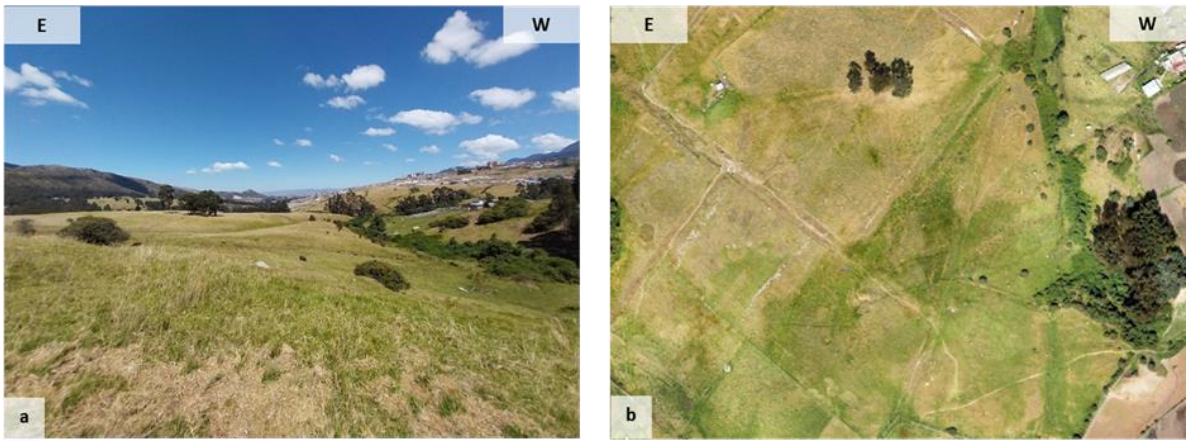


Figura 3.18 Pastos limpios (2.3.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.762,936; Y: 2.052.753,508 AZ 262 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Pastos arbolados (2.3.2)

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos con presencia de árboles de altura inferior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. En los pastizales donde se integran árboles y se hace pastoreo rotacional, se recupera la condición del suelo, se disminuye la compactación, principalmente por la recuperación de los organismos benéficos, la producción de hojarasca y la reducción de insumos químicos. La acción conjunta de las lombrices, los escarabajos y los milpiés contribuye a mejorar la calidad de los suelos debido a que participan en la degradación de hojarasca y materia orgánica y durante este proceso, remueven grandes cantidades de suelo, lo cual permite mejorar las condiciones físicas de los potreros. La presencia de microfauna en este tipo de suelos mejora los procesos de aireación y descompactación del suelo, con importantes repercusiones para la producción de pasto y la capacidad de filtración y retención de agua. (Figura 3.19). Esta unidad de cobertura Ocupa un área de 0,31 hectáreas del área es decir el 0,55%.



Figura 3.19 Pastos arbolados (2.3.2)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.762,936; Y: 2.052.753,508 AZ 351 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Pastos enmalezados (2.3.3)

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria en general, la altura de la vegetación secundaria es menor a 1,5 m, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono (ver Figura 3.20). la importancia de esta cobertura se centra en la recuperación de suelos y en la dinámica sucesional de la vegetación. Pues a mayor presencia de cobertura vegetal mejor serán los procesos de estabilidad en los suelos, debido a la capacidad que tienen las plantas para actuar con el suelo en los procesos hidrológicos como evotraspiracion e infiltración y en términos de estabilidad de laderas y taludes es benéfico. Ocupan un área significativa, 1,08 ha que corresponden al (1,92%) y se localizan en toda el área de estudio.

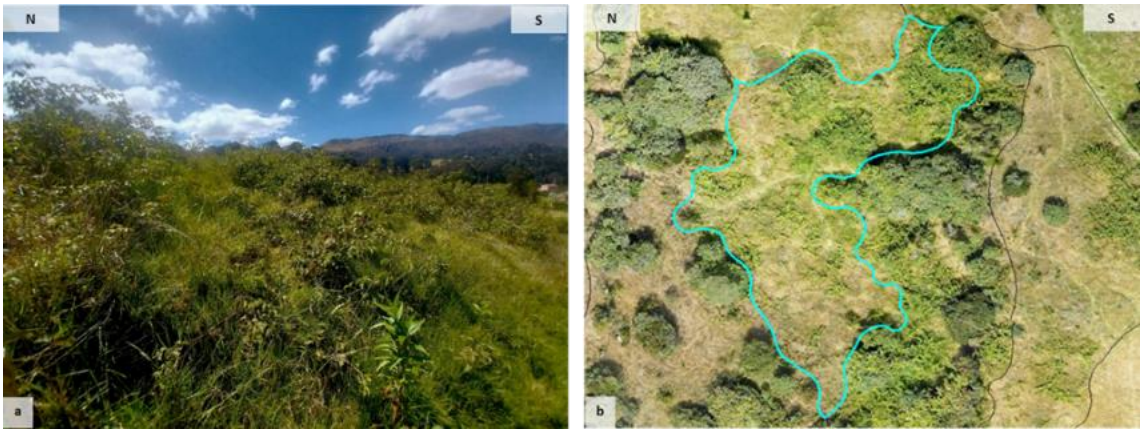


Figura 3.20 Pastos enmalezados (2.3.3)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.762,936; Y: 2.052.753,508 AZ 17 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Pastos degradados (2.3.4)

Corresponde a la cobertura de pastos que han sido afectados por procesos erosivos, los cuales afectan tanto el crecimiento como el desarrollo de los mismos. Esta unidad de cobertura ocupa 0,36 hectáreas (0,64%) del área de estudio.

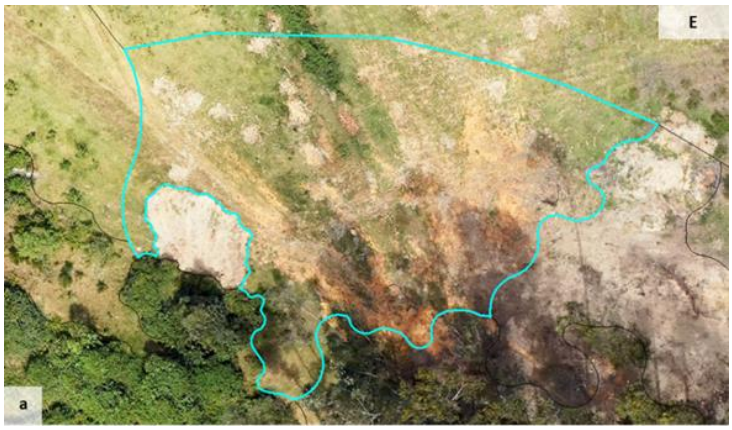


Figura 3.21 Pastos degradados (2.3.4)
a) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: Propia

Pastos inundables (2.3.6)

Cobertura compuesta de pastos y herbazales donde se evidencia altos contenidos de humedad, principalmente en época de invierno, en donde se presentan encharcamientos permanentes o temporales en aquellas unidades localizadas en zonas bajas o depresiones del terreno. También en épocas de verano debido al escurrimiento superficial derivado de los procesos hidrológicos de los bosques o instalaciones hidráulicas se presentan encharcamientos en las zonas bajas. Esta unidad de cobertura ocupa 2,35 ha es decir el 4,19% del área de estudio.

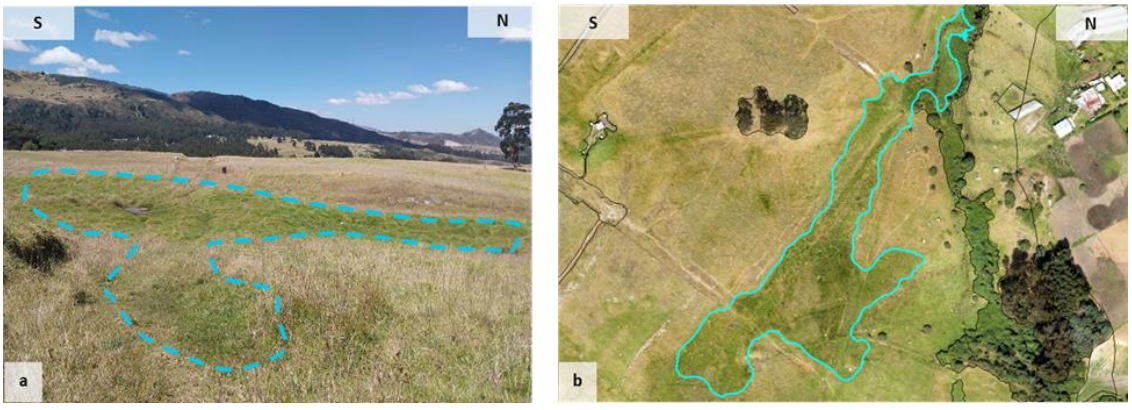


Figura 3.22 Pastos inundables (2.3.6)
a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.921,128; Y: 2.052.832,021 AZ 347 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: propia

Bosques y áreas seminaturales (3)

Esta unidad comprende un grupo de coberturas vegetales de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo desarrolladas sobre diferentes ambientes edáficos. En esta unidad también se incluyen aquellas áreas denominadas tierras desnudas y degradadas, resultantes de la ocurrencia de procesos naturales o inducidos por la actividad antrópica.

- Bosques (3.1)

Dentro de esta categoría, los bosques alcanzan una superficie de 6,69 hectáreas que representan el 11,92% del total del área. En el presente estudio se identificaron las siguientes categorías:

Bosque de galería mixto (3.1.4.4)

Corresponde a la cobertura constituida por vegetación arbórea, arbustiva y herbacea ubicada en las márgenes de cursos de aguas permanentes o temporales. Este tipo de cobertura está limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Esta unidad de cobertura ocupa un área de 4,13 Ha es decir un 7,36%.



Figura 3.23 Bosque de galería mixto (3.1.4.4)
a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.845,549; Y: 2.053.354,941 AZ 270 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: Propia

Plantación forestal (3.1.5)

Se refiere a las coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal. En este proceso se constituyen rodales forestales, establecidos mediante la plantación o la siembra durante el proceso de forestación o reforestación, para la producción de madera (plantaciones comerciales) o de bienes y servicios ambientales (plantaciones protectoras).

- *Reforestación con especies nativas (3.1.5.2.1.1)*

Esta cobertura, en la fotografía aérea, presenta un patrón geométrico regular, constituido por las hileras de árboles generalmente de la misma edad. Dentro de esta categoría se encuentran las plantaciones con especies nativas. Esta unidad de cobertura ocupa una superficie de 1,95 Ha es decir el 3,47% del área de estudio. Esta cobertura contribuye con la recuperación y protección de suelos degradados.

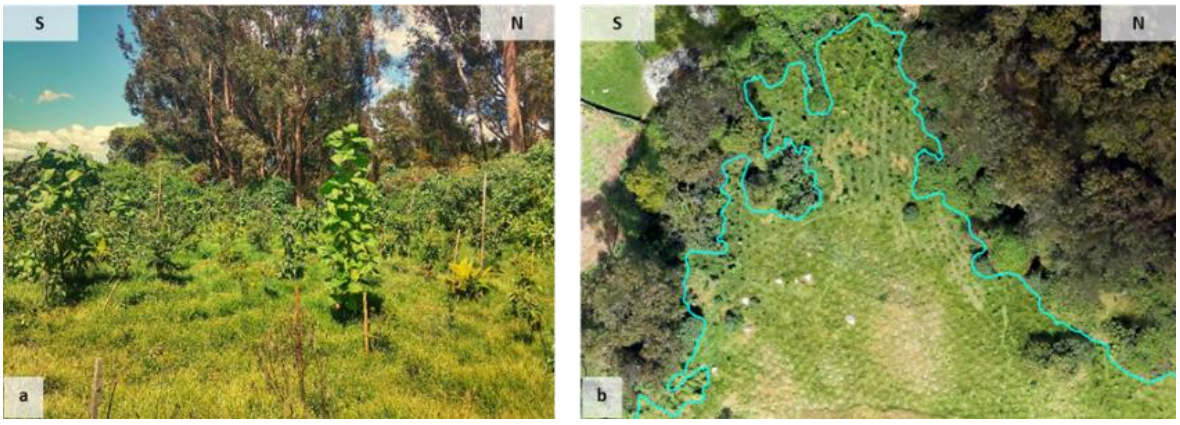


Figura 3.24 Reforestación con especies nativas (3.1.5.2.1.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.543.823,062; Y: 1.716.278,028 AZ 18 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

- **Eucalipto (3.1.5.2.2)**

Coberturas constituidas por plantaciones de vegetación arbórea de la especie eucalipto, realizada por la intervención directa del hombre con fines de manejo forestal, esta unidad de cobertura ocupa una extensión de 0,61 Ha es decir el 1,09%.

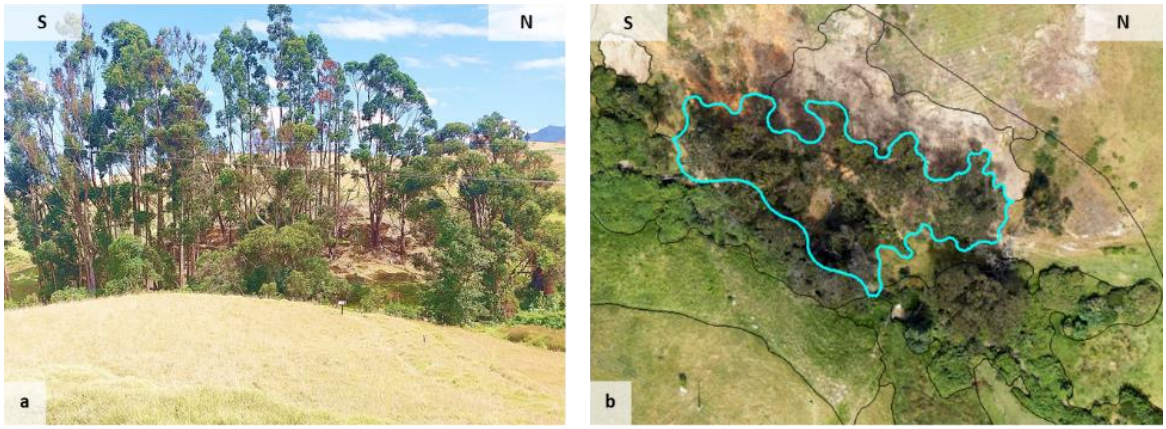


Figura 3.25 Eucalipto (3.1.5.2.2)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.857,455; Y: 2.053.352,957 AZ 10 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Arbustal (3.2.2)

Comprende los territorios cubiertos por vegetación arbustiva desarrollados en forma natural en diferentes densidades y sustratos. Están constituidos por vegetación natural de porte alto, con un dosel irregular en donde predominan los elementos arbustivos, pero que puede presentar elementos arbóreos dispersos. Esta vegetación puede ser producto de las condiciones naturales o de la acción antrópica. Un arbusto es una planta perenne, con una altura entre 0.5 y 5 m y sin una copa definida.

Arbustal denso (3.2.2.1)

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente arbustivos, los cuales forman un dosel irregular, el cual representa más de 70% del área total de la unidad. La unidad puede contener elementos arbóreos dispersos. Esta formación vegetal no ha sido intervenida o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y sus características funcionales (IGAC, 1999). Esta unidad de cobertura ocupa un área de 0,14 Ha lo que equivale al 0,25%.

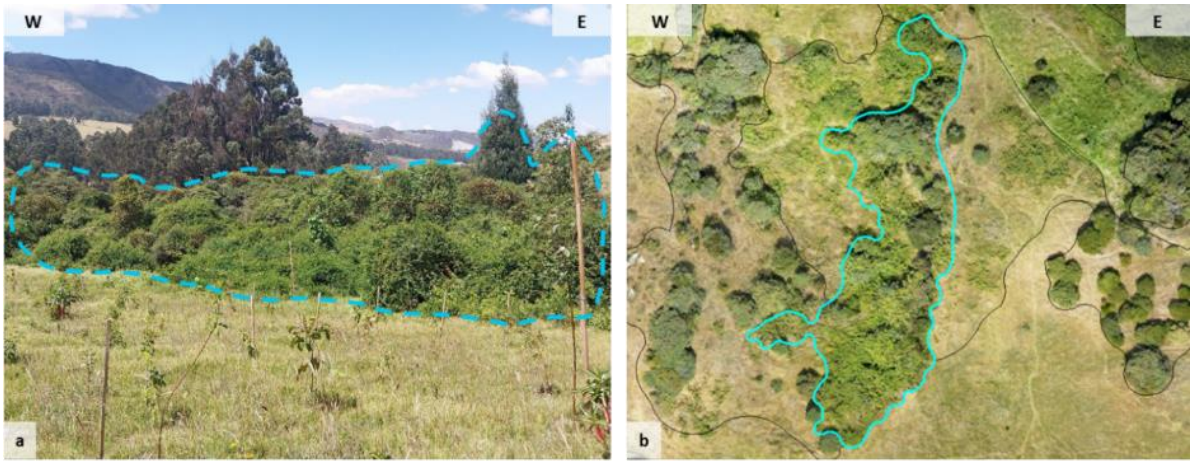


Figura 3.26 Arbustal denso (3.2.2.1)
a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.871,082; Y: 2.053.278,247 AZ 94 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.
Fuente: Propia

Arbustal abierto (3.2.2.2)

Corresponde a las coberturas constituidas en donde predominan los elementos arbustivos; que se caracterizan debido a la cantidad de individuos que conforman la comunidad vegetal es baja y dispersa con respecto al área que ocupan. En el área de estudio esta cobertura abarca un área de 0,75 Ha (1,33%).

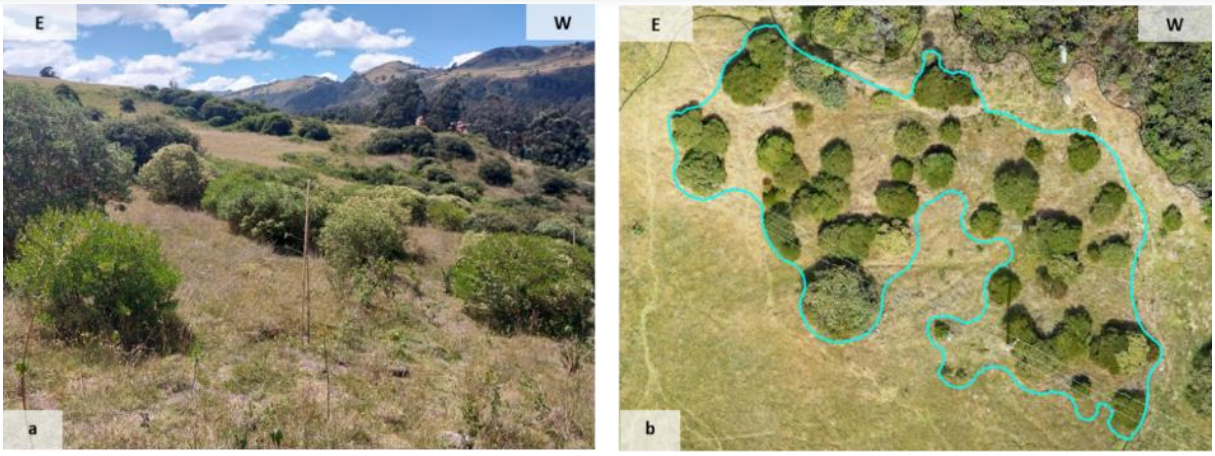


Figura 3.27 Arbustal abierto (3.2.2.2)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.875.917,135; Y: 2.053.260,309 AZ 110 y b) Imagen de la cobertura en OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Vegetación secundaria o en transición (3.2.3)

Comprende aquella cobertura vegetal originada por el proceso de intervención y sucesión de la vegetación natural, o por la destrucción de la vegetación primaria, que puede encontrarse en recuperación tendiendo al estado original; en otros casos presenta un aspecto y composición florística diferente. Se desarrollan en zonas desmontadas para diferentes usos y en áreas agrícolas abandonadas. No se presentan elementos intencionalmente introducidos por el hombre.

Vegetación secundaria alta (3.2.3.1)

Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbórea con dosel irregular y presencia ocasional de arbustos, palmas y enredaderas, que corresponde a los estadios altos e intermedios de la sucesión vegetal, después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales. Se desarrolla luego de varios años de la intervención original, generalmente después de la etapa secundaria baja. Según el tiempo transcurrido, se podrán encontrar comunidades de árboles formadas por una sola especie o por varias. Esta unidad de cobertura ocupa un área considerable de 0,28 Ha es decir 0,50%.

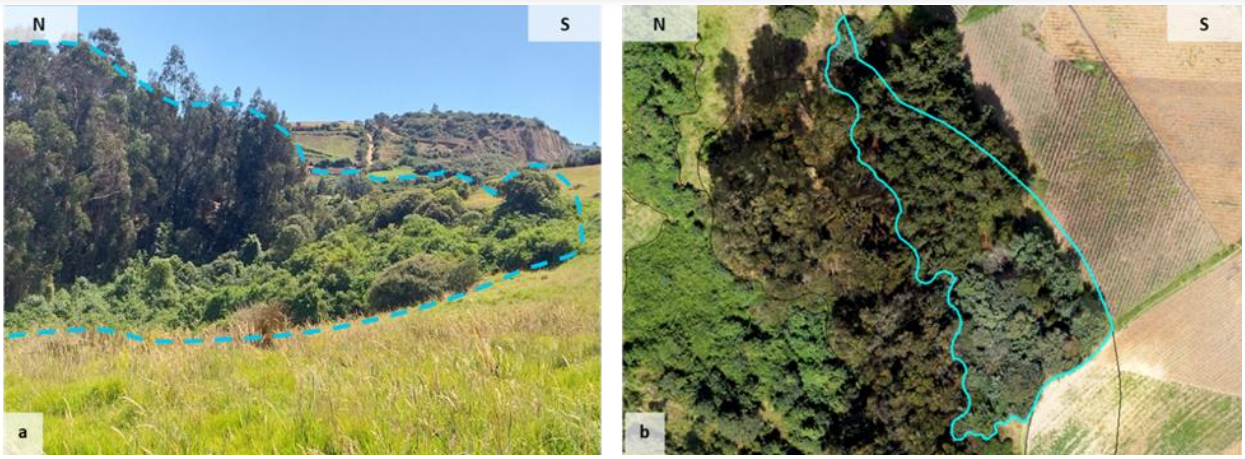


Figura 3.28 Vegetación secundaria alta (3.2.3.1)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.876.130,103; Y: 2.052.826,684 AZ 250 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Vegetación secundaria baja (3.2.3.2)

Corresponde a las áreas cubiertas por vegetación principalmente arbórea con dosel irregular y presencia ocasional de arbustos, palmas y enredaderas, que corresponde a los estadios bajos de la sucesión vegetal, después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales. De igual manera, se desarrolla luego de varios años de la intervención original. Según el tiempo transcurrido, se podrán encontrar comunidades de árboles formadas por las especies heliófilas o de rápido crecimiento. Esta unidad de cobertura se localiza principalmente en las áreas que han cambiado para dar desarrollo a actividades agrícolas y áreas de pastoreo de ganado, en este sentido la vegetación secundaria baja ocupa un área de 0,37 hectáreas que representan el 0,66% del área de estudio. Su importancia se da por los procesos de recuperación ecológica, de suelos y estabilidad de los mismos. La vegetación secundaria baja comúnmente corresponde a una vegetación de tipo arbustivo herbáceo de ciclo corto, con alturas que no superan los cinco metros y de cobertura densa. Por lo general corresponde con una fase de sucesiones vegetales, donde especies de una fase más avanzada se establecen y comienzan a emerger.

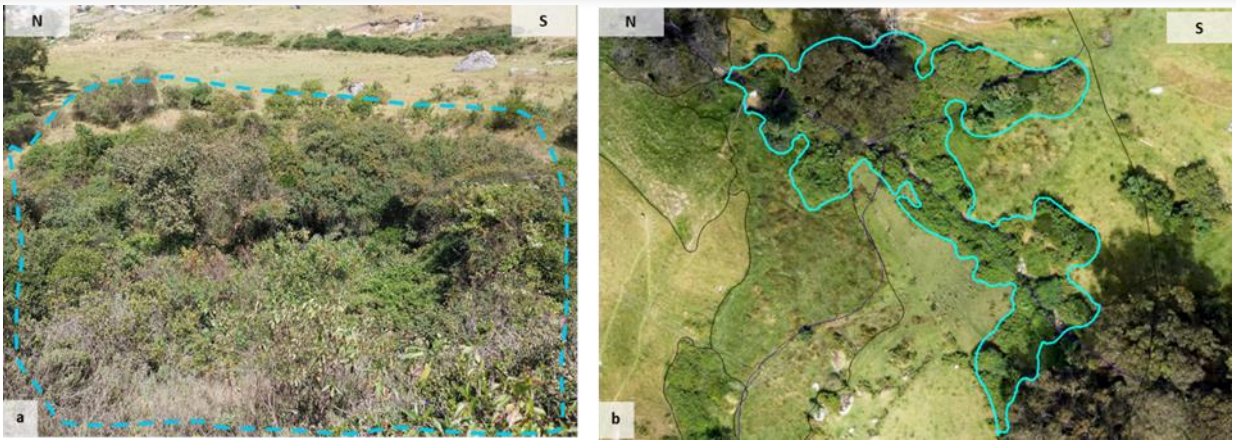


Figura 3.29 Vegetación secundaria baja (3.2.3.2)

a) Fotografía de la unidad de cobertura ubicada en las coordenadas Magna Sirgas origen Nacional X: 4.876.126,750; Y: 2.053.177,342 AZ 341 y b) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

Tierras desnudas y degradas (3.3.3.1)

Dentro de esta unidad se incluyen las áreas erosionadas (3.3.3.1) ver Figura 3.30, son áreas desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos erosivos o de movimientos en masa tanto naturales como antrópicos donde se evidencia un alto nivel de deterioro paisajístico y la pérdida parcial o total de los primeros horizontes de suelo. Ocupan un área de 0,38 hectáreas que representa el 0,68% del área de estudio.

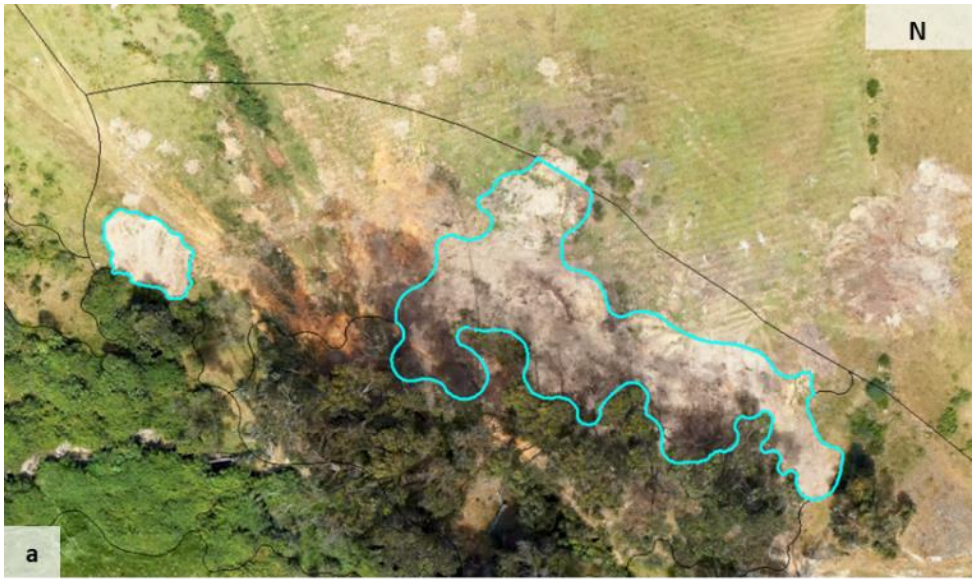


Figura 3.30 Áreas erosionadas (3.3.3.1)

a) Imagen de la cobertura en el OrtoGSD(3.06cm) _Bogota_20231218-001.tif con resolución espacial de 3.06 cm.

Fuente: Propia

3.2.2 Usos del suelo

El término uso del suelo se refiere a cómo la sociedad utiliza o destina una determinada cobertura para satisfacer sus necesidades económicas, sociales, ambientales y espirituales. Comprende el uso y la vocación que se le asigna y que puede ser urbana, agrícola, pecuaria, forestal, conservación.

El mapa de usos del suelo se elaboró en el marco de la metodología del IGAC generada en el año 2005 y adaptada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2014. El insumo principal para elaborar esta capa es el mapa de cobertura de la tierra antes descrito y la información recolectada en campo, de acuerdo con los lineamientos establecidos en la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2017). Este mapa se presenta en la Figura 3.31, la Figura 3.32 y en la Tabla 3.3.

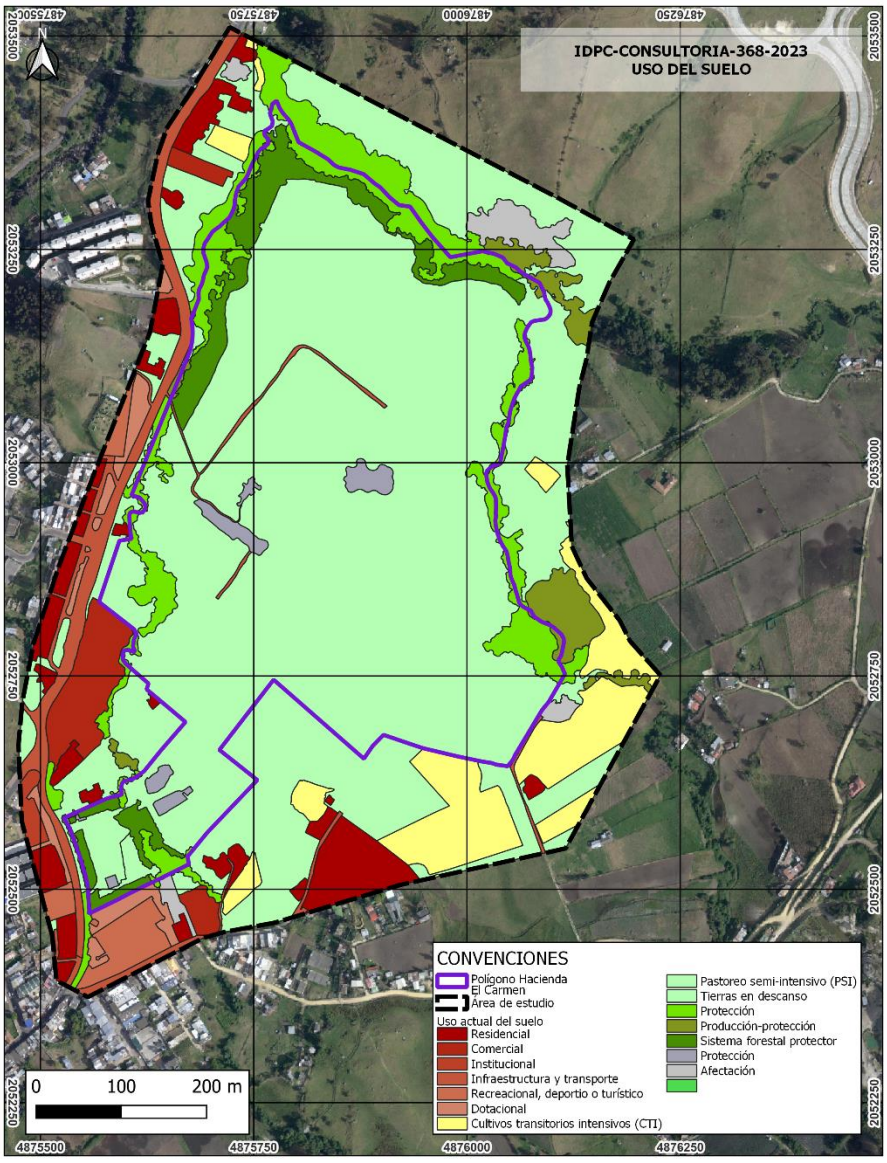


Figura 3.31 Mapas de usos del suelo del área de estudio.
Fuente: Propia

A continuación, se analiza el uso del suelo, es decir cómo los habitantes del área de estudio utilizan las diferentes coberturas para satisfacer sus necesidades económicas, sociales, ambientales y espirituales, con el fin de proporcionar una visión integrada de los problemas ambientales y su posible influencia en la ocurrencia de movimientos en masa.

Tabla 3.3 Leyenda uso actual del suelo del área de estudio (CUS-T1).

Nivel 1	Grupo de uso	Código Uso	Uso actual	Área	%
Territorios Artificializados	Asentamiento	1101	Astm - Residencial	2,59	4,61
		1102	Astm - Comercial	1,33	2,37
		1103	Astm - Institucional	0,17	0,30
	Infraestructura	1202	Infr - Infraestructura y transporte	2,24	3,99
		1203	Infr - Recreacional, Deportivo o Turístico	0,79	1,41
		1205	Infr - Dotacional	0,72	1,28
Territorios Agrícolas	Agricultura	2101	Agrc - Cultivos transitorios intensivos	3,62	6,45
	Ganadería	2202	Gndr - Pastoreo semi-intensivo	35,75	63,70
		2204	Gndr - Tierras en descanso	0,14	0,25
Áreas Naturales y Seminaturales	Conservación	3101	ANS Cnsv - Protección	4,36	7,78
		3103	ANS Cnsv - Producción-protección	1,21	2,15
	Forestal	3202	Frst - Sistema forestal protector	1,95	3,47
	Otros usos	3403	ANS Otr - Protección	0,51	0,90
		3406	ANS Otr - Afectación	0,74	1,32
TOTAL				56,11	100,00

Fuente: Propia

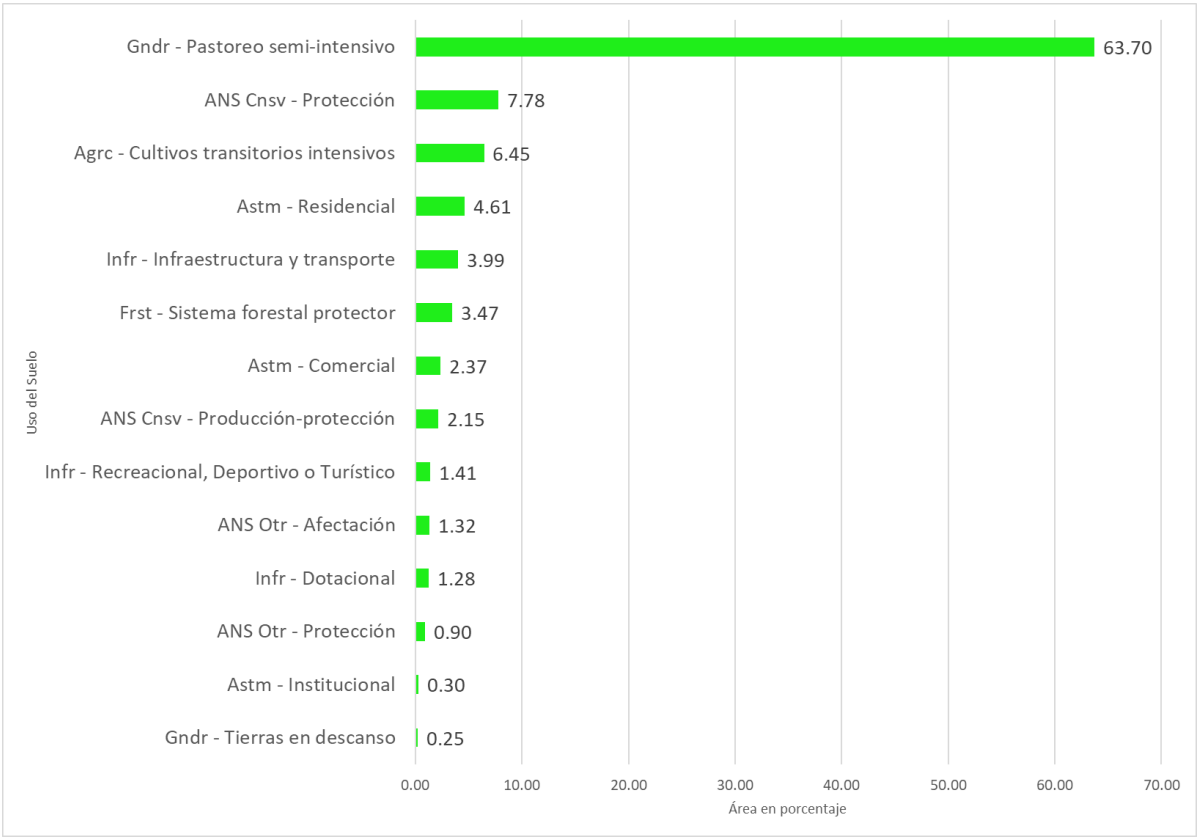


Figura 3.32 Cuantificación en porcentaje del uso del suelo.
Fuente: Propia

De acuerdo con la Tabla 3.3 y la Figura 3.32; el Uso del Suelo pastoreo semi-intensivo (PSI) ocupa una extensión de 35,75 hectáreas que representan el 63,70%, siendo el uso con mayor representatividad en toda el área de estudio, cabe mencionar que esta categoría de uso asocia lo que son las unidades de cobertura pastos limpios, arbolados y enmalezados.

En segundo orden se encuentra el uso del suelo Protección con 4,36 hectáreas (7,78%), esta categoría de uso se asocia principalmente a las Áreas Naturales y Seminaturales. A hora bien el uso del suelo ocupado por el Área Arqueológica Protegida corresponde a 0,51 ha es decir el 0,90%.

El grupo de uso del suelo cultivo transitorios intensivos asociados a las Áreas agrícolas heterogéneas ocupa el tercer lugar en extensión con 3,62 Ha es decir 6,45% del territorio, representado por el cultivo de cebolla y tomate por medio de invernaderos.

En cuarto lugar, encontramos el uso del suelo - Residencial con 2,59 hectáreas (4,61%). Es importante mencionar que este uso del suelo se asocia a las unidades de coberturas tejido urbano continuo y construcciones rurales, las cuales a nivel hidrológico son muy importante, toda vez que indica áreas impermeables en la zona de estudio.

3.2.2.1 Asentamiento (Astm)

Corresponde tanto a las costumbres como a las características tanto de los asentamientos urbanos como rurales. Los primeros, se caracteriza porque el uso actual del suelo está encaminado a los servicios de utilidad pública. Mientras que los asentamientos rurales, usan el suelo para generar servicios que dependen fundamentalmente de la producción primaria.

Uso Residencial (1.1.0.1.)

Es el destinado a proporcionar alojamiento permanente a las personas a través de diferentes tipologías de viviendas. Este uso ocupa un área de 2,59 hectáreas que representan el 4,61%.

Uso Comercial (1.1.0.2)

Corresponde a las áreas cubiertas por infraestructura o terrenos artificializados, sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales. Representan un área del 1,33 ha (2,37%).

Uso institucional (1.1.0.3.)

Áreas donde se localizan construcciones destinadas al ejercicio de la institucionalidad en el contexto educativo Y administrativo. En el caso del área de estudio este uso ocupa un área de 0,17 hectáreas que representan el 0,30%.

3.2.2.2 Infraestructura (Infr)

Corresponde a los territorios artificializados por el ser humano, los cuales son usados como soporte para el desarrollo de otras actividades y su funcionamiento, necesario en la organización estructural tanto de la zona urbana como de la rural.

Uso Infraestructura y transporte (1.2.0.2.)

Comprende las áreas relacionadas con la infraestructura vial, tales como carreteras y puentes, así como las áreas asociadas; ya sean, zonas verdes, separadores y zonas de estacionamiento; las cuales son usadas como medio de comunicación terrestre. Este uso ocupa un área de 2,24 hectáreas que representan el 3,99%.

Uso Recreacional, Deportivo o Turístico (1.2.0.3.)

Son los terrenos dedicados al esparcimiento, ya sea pasivo o activo; en donde, las actividades de recreación, deporte, parques de atracción y otras; hacen parte de las actividades de recreación y esparcimiento, Este uso ocupa un área de 0,79 hectáreas que representan el 1.41%.

Uso Dotacional (1.2.0.5.)

Son aquellos suelos que se destinan a servicios o usos para todo el municipio, convirtiéndose en parte básica de su estructura. Suele tratarse de zonas verdes para el ocio, suelos destinados a calles y avenidas para su movilidad, suelos destinados a equipamientos educativos o suelos destinados a equipamientos sanitarios para ambulatorios y hospitales para la salud, esta categoría de uso ocupa un área de 0,72 ha es decir 1,28%

3.2.2.3 Agricultura (Agrc)

Principalmente, corresponde a las tierras usadas para la producción de alimentos o servicios mediante la implementación de cultivos transitorios intensivos, semi-intensivos o de producción.

Uso Cultivos transitorios intensivos (CTI) (2.1.0.1.)

Cultivos que Tienen un ciclo de vida menor de un año y exigen para su establecimiento moderada o alta inversión de capital, adecuada tecnología y mano de obra calificada; generalmente las tierras no soportan una explotación intensiva o están expuestas a algún riesgo de deterioro. Este uso del suelo ocupa un área 3,62 hectáreas que representan el 6,45% del área de estudio

3.2.2.4 Ganadería (Gndr)

Tierras dedicadas a la cría de animales o a la ganadería, los usos principales son consumo humano (carne y leche), utilización artesanal (lana, cuero, plumas, etc.) y conservación de fauna (zoocría), el área de explotación está directamente relacionada con los usos mencionados a continuación.

Uso Pastoreo semi-intensivo (Agsp) (2.2.0.2.)

Áreas con arreglos o infraestructuras que se construyen de manera tradicional (establos) y requiere de prácticas de manejo. Las características que limitan el uso actual del suelo a pastoreo semi-intensivo son la pendiente del terreno (25-50 %) o la baja productividad de las tierras. Esta categoría de uso ocupa un área de 35,75 ha (63,70%).

Uso Tierras en descanso (2.2.0.4.)

Concierne a los periodos en que la tierra se deja inactiva o sin manejo, ya sea desde el punto de vista agrícola, forestal o ganadero. Las tierras en descanso se llevan a cabo en coberturas relacionadas con los pastos enmalezados. Esta categoría de uso del suelo abarca un área de 0,14 Ha es decir el 0,25%.

Agropecuario

Tierras destinadas al cultivo agrícola y/o ganado forman parte de este tipo de uso de suelo. Del mismo modo, el uso silvopastoril asignado a espacios cubiertos por vegetación natural cuya finalidad.

3.2.2.5 Conservación (AHu Cnsv)

Incumbe a los ecosistemas frágiles y estratégicos para la generación y la regulación tanto del agua como de los suelos. En esta categoría están incluidos los arbustales (abiertos y densos), bosque (abierto alto, abierto bajo, abierto bajo de tierra firme, denso alto, denso bajo, fragmentado con vegetación secundaria, herbazal denso de tierra firme y la vegetación secundaria alta).

Uso Protección (3.1.0.1.)

Este tipo de uso comprende aquellas áreas que albergan coberturas vegetales destinadas a la producción de bienes y servicios ambientales para satisfacer necesidades económicas, sociales, ambientales y espirituales. Este uso ocupa 4,36 hectáreas es decir (7,78%) asociado a bosques, áreas naturales y seminaturales principalmente.

Uso Producción-protección (3.1.0.3.)

Hace relación a las opciones para establecer sistemas productivos que garanticen la producción y protección, entre ellos: Ganado; cultivos transitorios semi intensivos - bosque protector productor - Ganado; cultivos permanentes - bosque protector-productor - Ganado; o cualquier otra combinación de sistemas que garantice la Producción-protección. Este uso ocupa 1,21 Ha es decir 2,15% asociado áreas naturales y seminaturales como la vegetación secundaria en asocio con la actividad productiva.

3.2.2.6 Forestal

Sistemas forestales destinados a satisfacer la demanda industrial de productos derivados del bosque; este tipo de productos está relacionado con maderas, pulpas y materias primas farmacéuticas y de perfumería. Las tierras de vocación forestal, en general, son aquellas que por la topografía quebrada y escarpada con pendientes superiores al 25% necesitan cobertura vegetal permanente como escudo contra la acción de

los procesos erosivos; la plantación forestal meramente productora se ubica en los suelos de ladera con pendientes 25-50-75%, bien drenados, moderadamente profundos y con un nivel bajo o mayor de fertilidad.

Uso Sistema forestal protector (Frst) (3.2.0.2.)

Se enfoca en el uso de las tierras tanto para la siembra o plantación de latifoliadas como la plantación de especies nativas. El área de este uso corresponde a 1,95 (3,47%)

3.2.2.7 Otros usos

Uso Protección (ANS Otr) (3.4.0.3)

Áreas que contienen de manera excepcional cuantitativa y cualitativamente, bienes arqueológicos en el territorio nacional y que son objeto de reconocimiento por alguna entidad territorial. Las declaratorias nacionales de ordenamiento territorial para la protección arqueológica se denominan como Área Arqueológica Protegida. Esta categoría de uso del suelo ocupa una extensión de 0,51 es decir el 0,90%.

Uso Afectación (Ans Otr) (3406)

Se entiende como la degradación de la cobertura de pastos que bajo condiciones antrópicas afecta tanto la cantidad como la calidad de las gramíneas, impactando la productividad. Se desarrolla sobre tierras desnudas y degradadas. Esta categoría de uso del suelo ocupa un área de 0,74 ha lo que equivale a 1,32% del área de estudio.

3.2.3 Relación de la cobertura y uso del suelo con la generación de movimientos en masa

La capa vegetal influye en la estabilidad de los depósitos de suelos y macizos rocosos mediante mecanismos que se pueden clasificar como hidrológicos y mecánicos. Los hidrológicos comprenden la capacidad de infiltración, la humedad y la evapotranspiración, entre otros. Por otro lado, los mecánicos traducen el aumento de resistencia que proporcionan las raíces y la protección frente a la erosión (Geenway, 1987; Mulder, 1991). De acuerdo a lo anterior, la vegetación cumple dos funciones principales: en primer lugar, ayuda a regular el contenido de agua en la superficie y, en segundo lugar, da estabilidad por el entramado mecánico de sus raíces. Dentro de los factores más importantes de estabilidad la vegetación cumple con las siguientes funciones:

- Intercepta la lluvia.
- Aumenta la capacidad de infiltración.
- Extrae la humedad del suelo.
- Las raíces refuerzan el suelo, aumentando en cierta medida su resistencia.
- Anclan el suelo superficial a mantos más profundos.
- Retienen las partículas del suelo, disminuyendo la susceptibilidad a la erosión.

Sin embargo, la vegetación puede causar efectos adversos, dependiendo de las condiciones de suelo, tipo de raíz de la cobertura y de la pendiente en la estabilidad de los mismos, por ejemplo: el viento, se dice que afecta especialmente a árboles de edades maduras o enfermos, como es el caso los ventarrones bajos, los cuales corren paralelos a la superficie y crean disturbios sobre su capa superficial. Otro caso real

es la forestación con especies no nativas debido a una ineficiente planeación o de manera natural por dispersión de semillas de comunidades no endémicas de la región, que se instalan en áreas de ladera inestables cuya sobrecarga de la vegetación podría generar procesos de inestabilidad.

3.2.4 Análisis índice de protección hidrológica (IPH) de las coberturas vegetales del área arqueológica protegida Hacienda el Carmen en función de la estabilidad del suelo

Una de las funciones principales de las coberturas vegetales es dar protección al suelo frente al impacto agresivo del agua, toda vez que la precipitación es causante del fenómeno de erosión hídrica o laminar, teniendo en cuenta la importancia de la vegetación se procede a evaluar su acción a través del análisis de índice de protección hidrológica IPH según la metodología de la FAO.

Así mismo La cobertura vegetal tiene múltiples competencias dentro del ciclo hidrológico, especialmente la producción de agua dentro de una cuenca hidrográfica, influyendo directamente en la escorrentía superficial, adicionalmente regula el régimen hídrico y permite una mayor infiltración y por tanto impide máximas crecidas y mejora el estiaje en época seca. Su importancia es fundamental, puesto que actualmente se evidencia intervención en toda el área de la microcuenca de la quebrada el Botadero y zonas aledañas a esta, provocando el cambio del uso del suelo, con el consecuente aceleramiento de los procesos erosivos y de remoción en masa.

A través del análisis de IPH conoceremos el efecto positivo que produce la vegetación y por tanto lograr identificar y zonificar las coberturas que mayor aporte realizan con respecto a la protección del suelo, dentro de los cuales está el de mantener la estabilidad superficial del terreno y evitar su degradación, ya que las raíces cohesionan las partículas del suelo y disminuyen la disgregación de los niveles superficiales. La presencia de una cobertera vegetal también favorece el drenaje por la absorción del agua superficial del terreno, al tiempo que disminuye el efecto producido por la erosión hídrica.

Por otra parte, los agentes geológicos, como el viento y el agua arrancan y transportan los materiales del suelo, así mismo la pendiente presente en la zona favorece el desplazamiento a favor de la gravedad y la pérdida de la poca vegetación que existe, esto impide la retención del suelo por las raíces predominando la erosión, asimismo estos fenómenos se producen en suelos poco cohesivos y en rocas muy meteorizadas, fracturadas o de otro tipo de discontinuidad, acelerado por las precipitaciones de la zona cuando se presentan usos inadecuados del suelo. En este sentido, el conocimiento de la cobertura, el uso de la tierra y el IPH constituye uno de los aspectos importantes dentro del análisis físico biótico para el ordenamiento territorial por ser indispensable no sólo en la caracterización y espacialización de las unidades de paisaje, sino también, para evaluar su influencia en la protección del suelo ante fenómenos de remoción en masa.

Tipo de Vegetación	Estado de la vegetación	Pendiente *	Índice IPH	Símbolo
Arborea	Bosque denso (densidad > 0.7)	Cualquiera	1.0	1 a
	Bosque densidad < 0.7 con sustrato arbustivo o herbáceo no degradado	Cualquiera	1.0	1 b
	Bosque densidad < 0.7 con sustrato arbustivo o herbáceo degradado	1 2 3	1.0 0.8 0.4	1 c
Arbustiva	Arbustal no degrado	Cualquiera	1.0	2 a
	Arbustal degradado	1 2 3	0.8 0.6 0.2	2 b
Herbacea	Pastizal bien conservado	< 30 % > 30 %	0.9 0.6	3 a
	Pastizal degradado	Cualquiera	0.3	3 b
Agrícola	Cultivo con prácticas de conservación	1 y 2 3	1.0 0.3	4 a
	Cultivo sin prácticas de conservación	1 2 3	0.9 0.5 0.0	4 b
Suelo Desnudo		1 2 3	0.9 0.5 0.0	5
* 1 Pendiente inferior a iniciación de la erosión (aproximadamente hasta 2 %) 2 Pendiente comprendida entre iniciación de la erosión y arrastre total (aprox. 2 – 18 %) 3 Pendiente superior a la de arrastre total (aprox. Mayor 18 %)				

Figura 3.33 Índice de Protección Hidrológica FAO
Fuente: López cadena del llano et al

IPH	Condicion
1.0	Muy Buena
0.8-0.99	Buena
0.6-0.79	Moderadamente Buena
0.4-0.59	Regular
0.2-0.39	Moderadamente Mala
0.1-0.19	Mala
0.0-0.09	Muy Mala

Figura 3.34 Interpretación de Índice de Protección Hidrológica (IPH)
Fuente: Gil M. 1985

Entrando más en detalle en la evaluación del IPH teniendo en cuenta la clasificación propuesta por la FAO según la cobertura de la tierra. Para este análisis se excluyeron los terrenos artificializados.

Tabla 3.4 Caracterización de unidades de cobertura por Índice de Protección Hidrológica IPH y raíces.

CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES							
Unidades de coberturas	Coeficientes del cultivo KC.	RAIZ			IPH (INDICE DE PROTECCION HIDROLOGICA)		Aptitud
		Tipo	profundidad efectiva (mt)	Profundidad efectiva clasificación	IPH	calificativo (FAO)	calificativo de Urbina (1997), Henao (1998) y Jaramillo (2006).
Arbustal abierto bajo	0,85	adventicias	5,1	Muy profunda	0,8	buena	Conservación

CARACTERIZACIÓN DE UNIDADES							
Unidades de coberturas	Coeficientes del cultivo KC.	RAIZ			IPH (INDICE DE PROTECCION HIDROLOGICA)		Aptitud
		Tipo	profundidad efectiva (mt)	Profundidad efectiva clasificación	IPH	calificativo (FAO)	calificativo de Urbina (1997), Henao (1998) y Jaramillo (2006).
bosque de galería y ripario mixto	0,50	adventicias	8,2	Muy profunda	1	muy buena	Conservación
Cercas vivas		adventicias	3,4	Muy profunda	0,2	moderadamente mala	Recuperación
Herbazal abierto	0,89	adventicias	3,4	Muy profunda	0,9	buena	Conservación
Herbazal denso inundable no arbolado	0,81	adventicias	3,4	Muy profunda	0,9	buena	Conservación
Mosaico de cultivos (cebolla, tomate y papá)	0,66	adventicias	4,3	Muy profunda	0,3	moderadamente mala	Recuperación
mosaico de cultivos y espacios naturales arbóreos	0,7	adventicias	3,7	Muy profunda	0,8	buena	Conservación
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0,76	adventicias	3,3	Muy profunda	0,8	buena	Conservación
Mosaico de pastos y cultivos	0,93	adventicias	3,4	Muy profunda	0,8	buena	Conservación
pastos arbolados	0,8	adventicias	0,10 - 0,40	Muy profunda	0,9	buena	Conservación
pastos enmalezados	0,88	fibrosa, adventicias	0,10 - 0,40	Superficial	0,9	buena	Conservación
pastos limpios	1	fibrosa, adventicias	0,10 - 0,40	Superficial	0,9	buena	Conservación
vegetación secundaria o en transición alta	0,6	adventicias	3,4	Muy profunda	0,4	regular	Protección
vegetación secundaria o en transición baja	0,78	adventicias	3,4	Superficial	0,4	regular	Protección

Fuente: Propia

Con respecto a lo anterior la cobertura con mayor presencia en el área de estudio corresponde a los Pastos incluyendo todas sus categorías como lo son (limpios, arbolados, enmalezados e inundables). El uso del suelo principalmente es destinado a pastoreo vacuno; el IPH de esta cobertura en promedio es de 0,9 lo que es calificado como una condición buena.

Esta clase de cobertura es de suma importancia con respecto a la estabilidad de los agregados del suelo, dado que el tamaño de agregados y estado de agregación puede ser influenciada por diferentes actividades agrícolas que alteran el contenido de carbono orgánico del suelo y la actividad biológica del mismo (Mills y Fey, 2003; Wick et al., 2009; Fonte et al., 2014). En este sentido los pastos pueden contribuir a la conservación de la estructura del suelo si se da un manejo óptimo.

Sin embargo, Reid y Goss (1980), demostraron que después de un crecimiento de sólo 4 semanas las raíces vivas de hierba de centeno perenne (Lolium perenne) aumento de la estabilidad de los agregados de un suelo franco arenoso, medido por tamizado turbidimétrico y húmedo análisis que fue más fuertemente asociada con los agregados más grandes. En conclusión, el crecimiento de pastos perennes mejorar la formación de agregados debido a la producción de grandes cantidades de agentes de unión de polisacáridos y fenólicos por la gran biomasa microbiana en la rizosfera del pasto (Milne y Haynes, 2004).

Este efecto probablemente es causado por sustancias orgánicas liberadas de las raíces que o bien estabilizan los agregados directamente o indirectamente después de la colonización microbiana (Leifeld, et al., 2005; Franchini, et al., 2007). Sin embargo, durante largos períodos de tiempo, la estabilidad de los agregados del suelo disminuye a medida que el contenido de carbón orgánico del suelo declina como resultado de él que es utilizado como fuente de energía por los microorganismos en el suelo (Mills y Fey, 2003). Por lo tanto, la Pérdida de carbón orgánico del suelo reduce la fertilidad del suelo, degrada la estructura del suelo y la capacidad de retención de agua y en última instancia, conduce a la degradación de la tierra. Por eso, aunque Las arvenses, presentan el mayor efecto sobre la agregación y la estabilidad de los agregados debido a su extenso sistema de raíces (Harris et al., 1996) se debe manejar y controlar debido a lo anterior, en este sentido se debe realizar rotación de potreros con el fin de dar descanso y recuperación al suelo.

Ahora bien, para el área de estudio la especie de pasto que más se encuentra es la Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) siendo positivo en término de estabilidad de agregados dado que esta especie tienen la capacidad de secuestrar y acumular grandes cantidades de carbón orgánico a través de su gran y extenso biomasa de las raíces, lo que ayuda a reducir las emisiones de N 2 O y CH 4 por unidad de producción ganadera, y sobrevivir en las zonas secas de baja fertilidad del suelo debido a su sistema de raíces profundo y abundante (Pescador et al., 2007; Peters et al., 2012). Esto hace que sean pastos tolerantes a la sequía y mejor se adaptan a los suelos pobres y por lo tanto puede ofrecer una mejor opción para la producción de alimento para el ganado y el mejoramiento del suelo.

No obstante cabe aclarar que este tipo de pasturas debido a su uso extensivo actual deben contemplar el exceso de ganado, toda vez que este compacta los suelos de laderas, disminuyendo la infiltración, favoreciendo la erosión hídrica, en sentido de la pendiente alterando la estructura del suelo, esto es

común debido al tipo inherente del suelo que tienen una estructura débil, a causa del sobrepastoreo, la compactación y la malas prácticas de la tierra, que tiene consecuencias negativas sobre el almacenamiento de carbono orgánico del suelo (SOC) y la degradación de la estructura del suelo.

Adicionalmente por acción del sobrepastoreo se presenta una alteración en la composición florística, con disminución de las especies nativas arbóreas, dado que, en Pastizales, arbustales, y en los relictos de bosques riparios presentes en el perímetro del área de la hacienda el Carmen y alrededor de las rondas hídricas, el ganado afecta la regeneración natural de las especies arbóreas nativas ya sea por su dieta o aplastamiento del material vegetal.

Continuando con el análisis del IPH tenemos en segundo lugar las coberturas boscosas, los valores del IPH muestran que las áreas con mayor aptitud para la prestación del servicio ambiental hídrico dentro de la zona son los: bosques los cuales se están compuestos (vegetación secundaria o en transición alta, o baja y los bosque de galería y riparios) con 0,9 de IPH, constituyendo estos como los que mayor índice de protección hidrológica para la conservación de los recursos y protección del suelo; de ahí la importancia en programas de educación ambiental que promuevan la protección y conservación de estas coberturas.

También es muy importante resaltar, que la cobertura vegetal con menor IPH presentado fue el cultivo de cebolla, presenta un IPH de 0,3 condición moderadamente mala de acuerdo con la tabla de interpretación de la FAO, esta ponderación se debe principalmente a causas con su sistema de producción, ya que estas deben remover el suelo para dar cosecha de sus rizomas lo que puede generar como consecuencias mayor erosión laminar en las laderas y esto a su vez contribuye al desencadenamiento de procesos de remoción en masa como flujos de detritos, deslizamiento, reptación, hundimiento entre otros, toda vez que la falta de buenas prácticas agrícolas son evidentes y es posible que la generación de cicatrices o surcos de erosión.

Las buenas prácticas agrícolas podrían mejorar la presencia del carbono orgánico del suelo (SOC), junto con aumento de la superficie cubierta del suelo, aumentarían de manera significativa la estabilidad de los agregados del suelo y contribuirían a reducir la degradación del suelo. Teniendo en cuenta que la estabilidad de los agregados del suelo, se define como la capacidad de los agregados para permanecer intacta cuando se somete a una tensión determinada, es una importante propiedad del suelo que afecta el movimiento y el almacenamiento de agua, la aireación, la erosión, la actividad biológica y crecimiento de las plantas (Spohn y Giani, 2011; Pohl et al., 2012).

Por otro lado, tenemos un caso apartado que se presentó en la evaluación del IPH; este es el de la cobertura tierras erosionadas; ya que el valor promedio del índice de protección hidrológica es 0,5, no se concede el valor de cero debido a la pendiente ya que esta no superan el 18% y de acuerdo a la metodología de la FAO su ponderación del IPH es 0,5; igualmente también se observan procesos de regeneración natural de la cobertura vegetal, entonces en este orden de ideas esta sería la cobertura que menor defensa expone con respecto a la protección de la vegetación frente a la erosión. Que, si bien no presenta un índice alto de protección, es de mucha importancia que se ejecuten acciones de recuperación a través de un proceso de gestión ambiental que sea integrado y que permita obtener beneficios tanto en

el aspecto de estabilidad como en el aspecto socio-ambiental, considerando el comportamiento ecológico de la zona.

Finalmente, es necesario que el proceso de gestión ambiental permita que los usuarios/as participen en la toma de decisiones. Ya que estas áreas degradadas se encuentran ubicadas en cercanía a los barrios Andalucía e Higinio Patiño, siendo de suma importancia la recuperación de estas zonas con el fin de brindar mayor protección frente a fenómenos de erosión y por consecuentes de remoción en masa. Este conjunto de acciones puede ser a través de implementación de prácticas agroecológicas y silvopastoriles o simplemente de reforestación con fines de protección y conservación.

4 EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL

La evaluación del drenaje superficial corresponde a un componente fundamental en el marco de la estimación de la amenaza por inundación y de igual forma contribuye al conocimiento dentro del análisis hidrogeológico para involucrar dentro de la estimación de la amenaza por movimientos en masa. La comprensión minuciosa de cómo las aguas pluviales interactúan con la topografía circundante se revela como un factor crítico para anticipar y mitigar los impactos negativos de estos fenómenos naturales.

Partiendo del interés de definir qué tan susceptible es nuestra área de estudio frente a movimientos en masa e inundaciones, nuestro análisis de drenaje superficial se enmarca en el contexto geográfico y climático regional. La topografía y los patrones de precipitación significativos de la zona amplifican la importancia de entender cómo el agua fluye a través del predio Hacienda El Carmen. Este capítulo pretende cartografiar la red de drenaje existente y explorar cómo los eventos climáticos extremos pueden alterar significativamente la dinámica de las aguas superficiales, contribuyendo a la amenaza.

4.1 IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE DRENAJES SUPERFICIALES

En cuanto a los drenajes principales que atraviesan el lote de estudio, se cuenta con la presencia de cuatro (4) quebradas identificadas dentro de los estudios previos y que corresponden a:

- Quebrada Fucha
- Quebrada Aguadulce
- Quebrada La Requilina
- Quebrada La Taza

Quebrada Fucha: Corresponde al cuerpo de agua más grande que interactúa con nuestra área de estudio, con un cauce de carácter más constante y que genera zonas húmedas en sus márgenes. Coincide con el límite norte del lote Hacienda El Carmen. Entrega sus aguas al río Tunjuelo por fuera del área de estudio.

Quebrada Aguadulce: Quebrada que atraviesa el lote en su zona sur y posteriormente corresponde al límite occidental del predio quedando a su vez como borde lateral de la Carrera 14. Aunque recibe aguas de drenajes internos del lote su caudal es mucho menor al de la Q. Fucha, sin embargo, atraviesa uno de los accesos importantes al lote para posteriormente entregar sus aguas a la Q. Fucha en la esquina noroccidental del lote.

Quebrada La Requilina: Quebrada que bordea al lote por su costado oriental, recibiendo además aguas de drenajes internos del área de estudio. Entrega sus aguas a la quebrada Fucha sobre la esquina nororiental del lote.

Quebrada La Taza: Quebrada que pasa por el borde inferior del lote en sus límites con la Carrera 14. Si bien su interacción con el predio es mínima en comparación con los otros drenajes identificados, cruza en el acceso sur del lote, por lo cual su importancia aumenta. Entrega sus aguas al río Tunjuelo pro fuera del área de estudio.

El trazado de los drenajes fue obtenido a partir de las páginas de datos abiertos del IDECA en su geoportal y se presenta en la Figura 4.1:

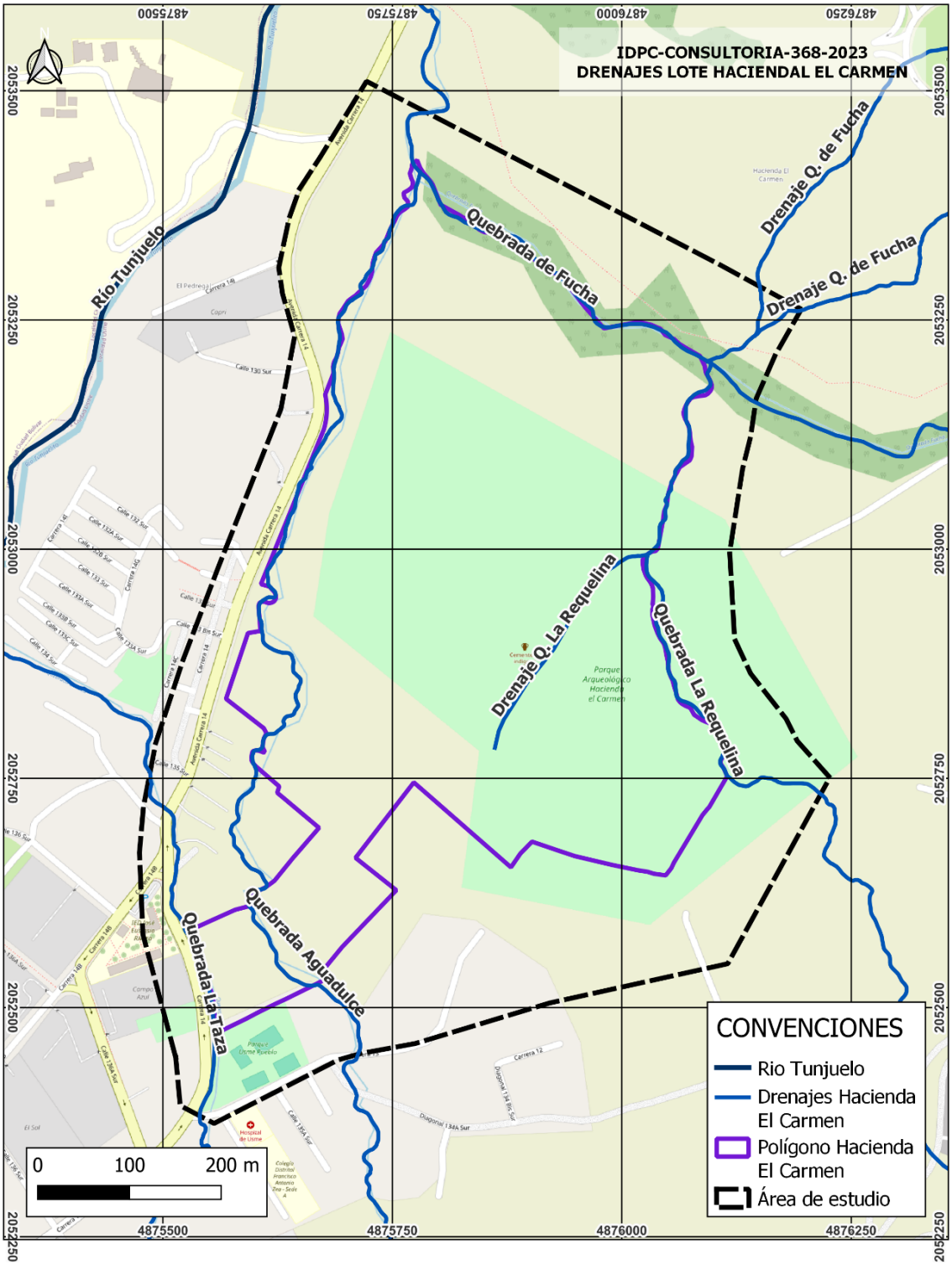


Figura 4.1 Drenajes identificados en el lote Hacienda El Carmen. Elaborado a partir de capas del IDECA.
Fuente: Propia

4.2 DEMARCACIÓN DE RONDAS HÍDRICAS DE CUERPOS DE AGUA

Teniendo en cuenta la información suministrada por la entidad referente a los contratos de consultorías previas (N.º IDPC-CC-534-2021 y N.ºIDPC-INT-538-2021) y la información disponible en los geoportales de la red de Datos Abiertos para el distrito de la ciudad de Bogotá D.C., fue posible obtener la delimitación de rondas hídricas de los cuerpos de agua que interactúan con el lote Hacienda El Carmen. El mapa de drenaje superficial en que se indican las rondas hídricas se presenta en el anexo mientras que la imagen de las rondas hídricas se presenta en la Figura 4.2.

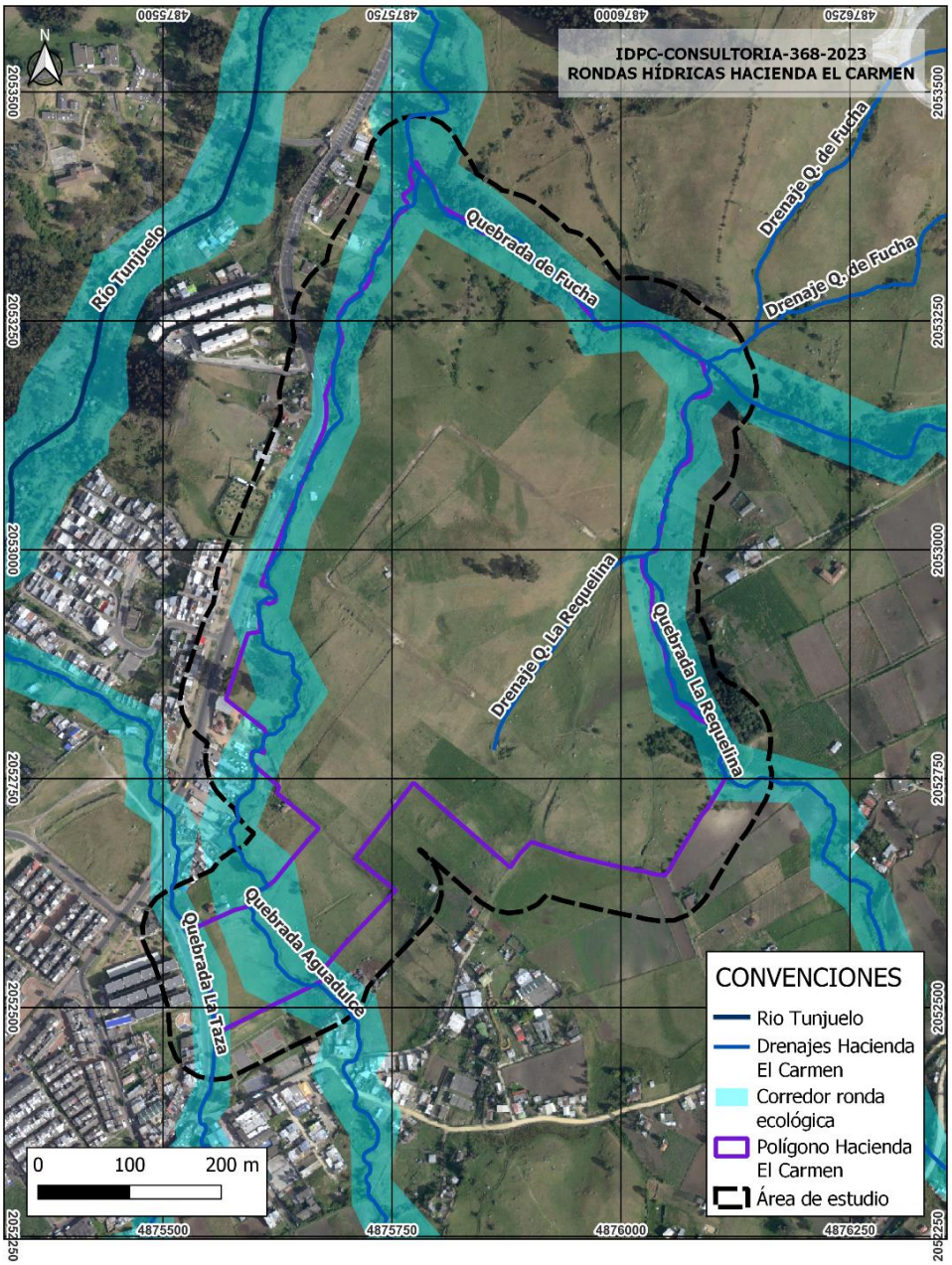


Figura 4.2 Demarcación de rondas hídricas para las quebradas en la Hacienda El Carmen.
Fuente: Propia

4.3 VERIFICACIÓN DE DRENAJES ARTIFICIALES

Para la verificación de los drenajes se incluye además la revisión de drenajes artificiales y vertimientos por parte de alcantarillados pluviales o sanitarios presentes en la zona de estudio. Se resalta el hecho que en el interior del lote no existen infraestructuras asociadas a viviendas sino únicamente domos instalados desde el IDPC con el propósito de brindar espacios a los arqueólogos e investigadores que laboran en el predio.

En este sentido se consultan las bases de datos de la EAAB en donde se indica que no existen vertimientos dentro del lote ni del lote hacia sus alrededores. Existen vertimientos de parte del acueducto pluvial sobre el costado opuesto de la carrera 14 en zonas aledañas por el sur que descargan en la quebrada la Taza pero aguas abajo del cruce con el predio, como se puede observar en la Figura 4.4 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Se resalta el cruce de la tubería de acueducto de la red matriz de 20” en material de hierro acerado por el lote de la Hacienda El Carmen.

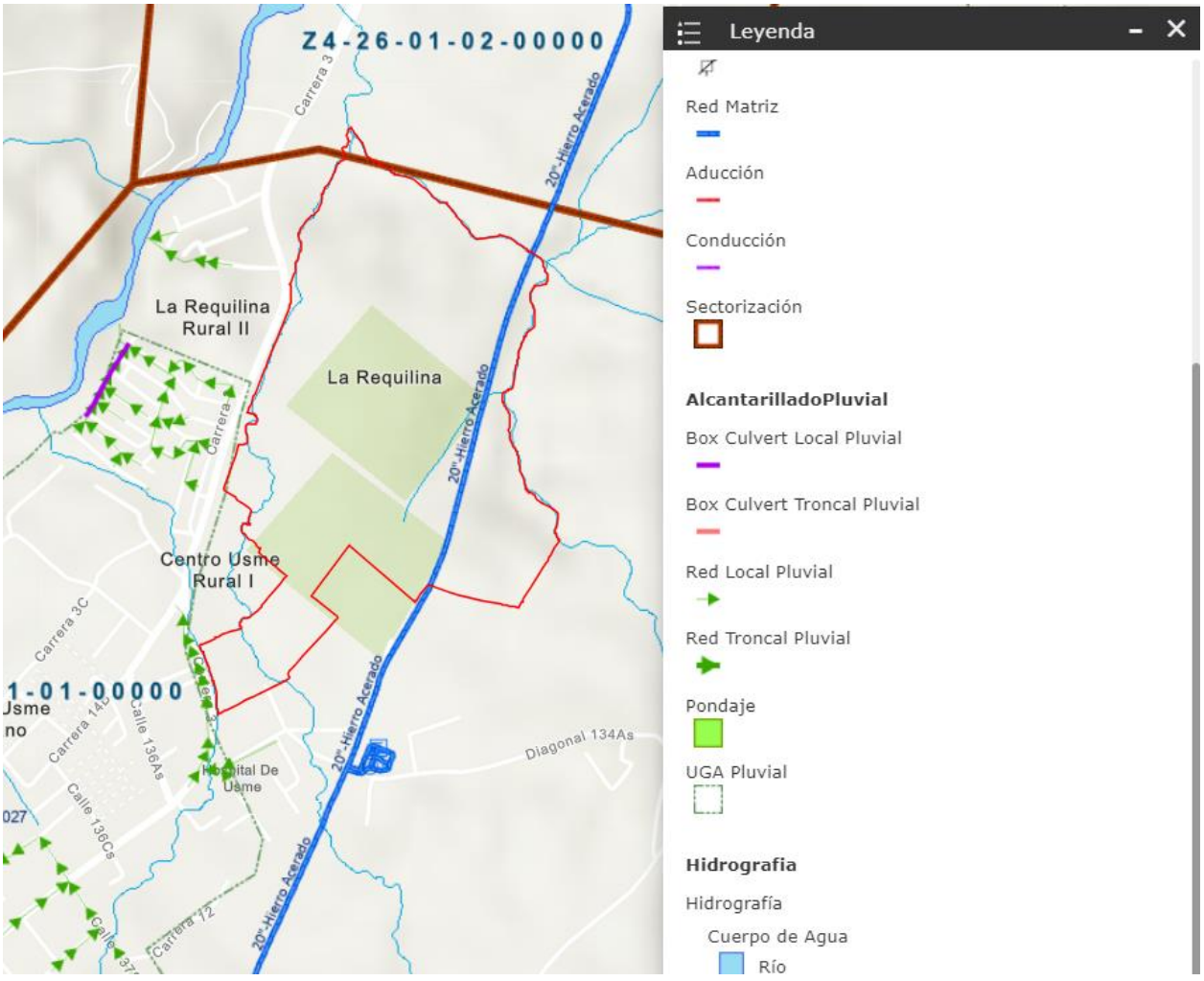


Figura 4.3 Verificación de drenajes artificiales en cercanías al predio.
Fuente Geoportal EAAB.

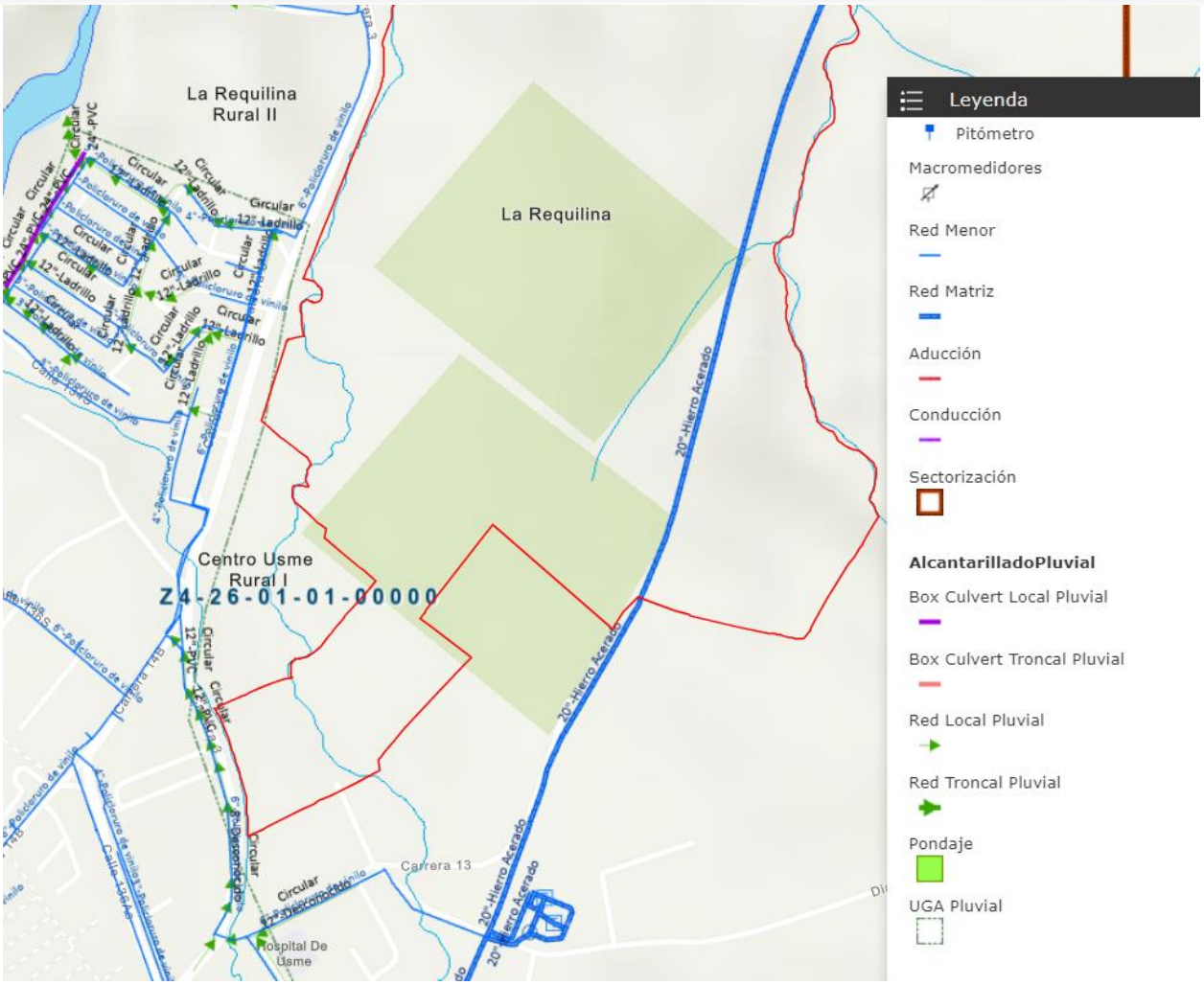


Figura 4.4 Verificación de drenajes artificiales en cercanías al predio, ampliación del sector sur.
Fuente Geoportal EAAB.

4.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO DE CUENCAS

El análisis de las cuencas comprende una parte esencial de la modelación hidrológica para el predio de la Hacienda el Carmen, si se considera que el posible efecto de las quebradas está condicionado no solamente por los sectores que cruzan sino por el posible caudal que las quebradas son capaces de movilizar. Con el propósito de acotar de forma adecuada este aspecto es necesario definir las áreas aportantes, es decir, las cuencas de los afluentes.

Para el análisis propuesto se obtiene el modelo de elevaciones regional a partir de la página del Alaska Satellite Facility (https://asf.alaska.edu) de donde es posible obtener imágenes ráster ALOS-PALSAR del proyecto © JAXA/METI ALOS PALSAR. Se obtiene el archivo ALPSRP249450070 de modelo de elevación corregido de alta resolución (12.5 m de tamaño de celda).

La imagen del modelo digital del terreno obtenido se presenta en la Figura 4.5:

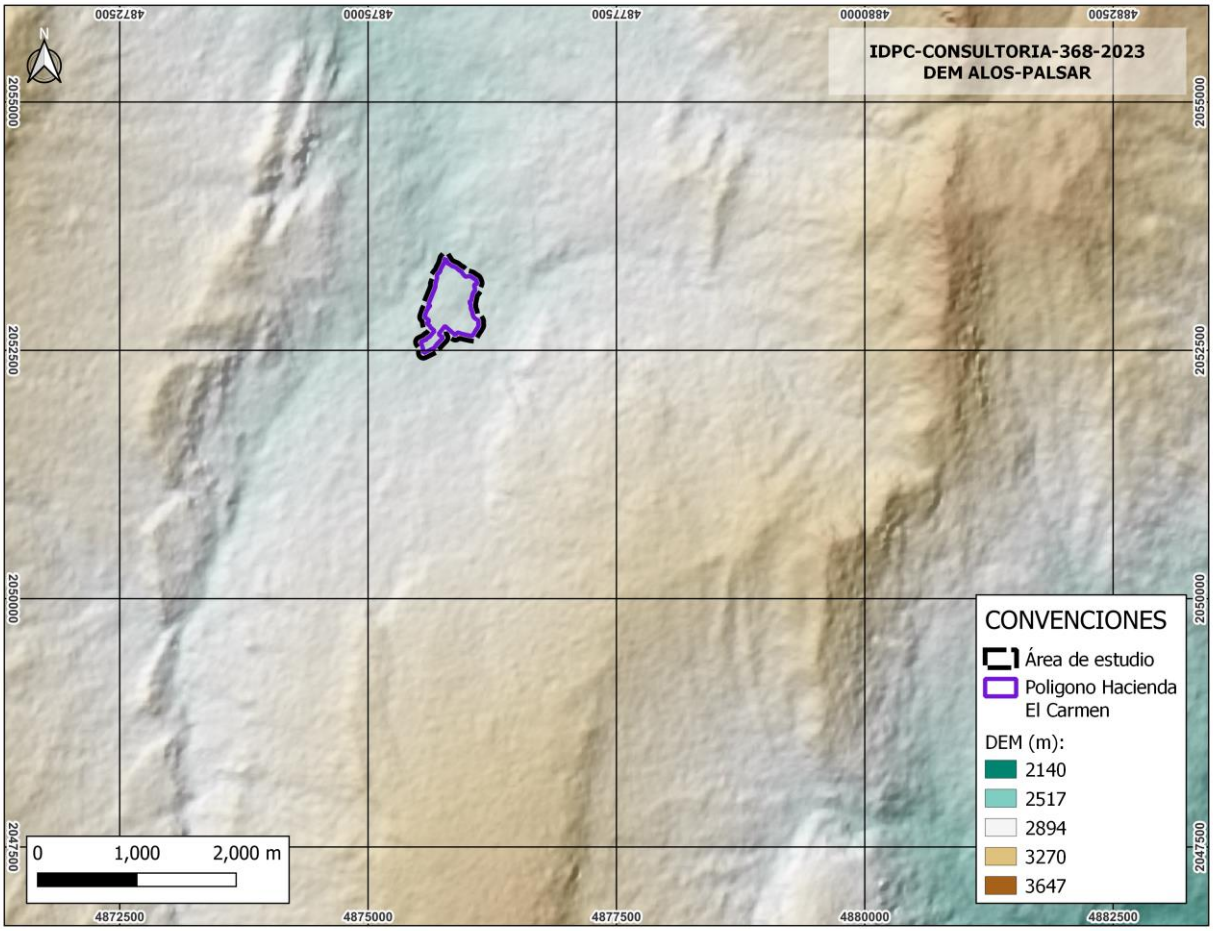


Figura 4.5 Imagen del modelo de elevaciones ALOS-PALSAR obtenido.
Fuente https//asf.alaska.edu.

El análisis hidrológico de las cuencas se realiza mediante procesamiento SIG, siguiendo el siguiente procedimiento (QGIS Project, 2023):

1- A partir del modelo de elevaciones (DEM) se genera un modelo en que se "llenan" los encharcamientos o zonas deprimidas, esto con el fin que los posibles canales tengan continuidad hasta las partes bajas del modelo, generando un "FILLED_DEM"
2- Sobre el "FILLED_DEM" se corre un procesamiento de acumulación por área, en el cual a cada pixel del ráster se le asigna el valor de área total de flujo que descarga por dicho pixel. Esto permite obtener un ráster de acumulación de flujo "FlowAccumulation".
3- A partir del modelo de elevación "Filled_DEM" y de la acumulación de flujo "Flow_Accumulation", se definen los canales para el modelo. Esta capa corresponde a los cauces naturales o "Channels".
4- Finalmente, a partir de las capas anteriores y considerando las direcciones de flujo, se define finalmente las divisorias de agua que alimentan a cada cauce y los polígonos que delimitan las cuencas topográficas de la zona.

Posterior a este procesamiento se obtienen como resultado la delimitación de cada una de las cuencas y los cauces que se forman en la zona. La delimitación de las cuencas para el sector se presenta en la figura en donde se aprecia además que se ha hecho la separación por cada una de las quebradas.

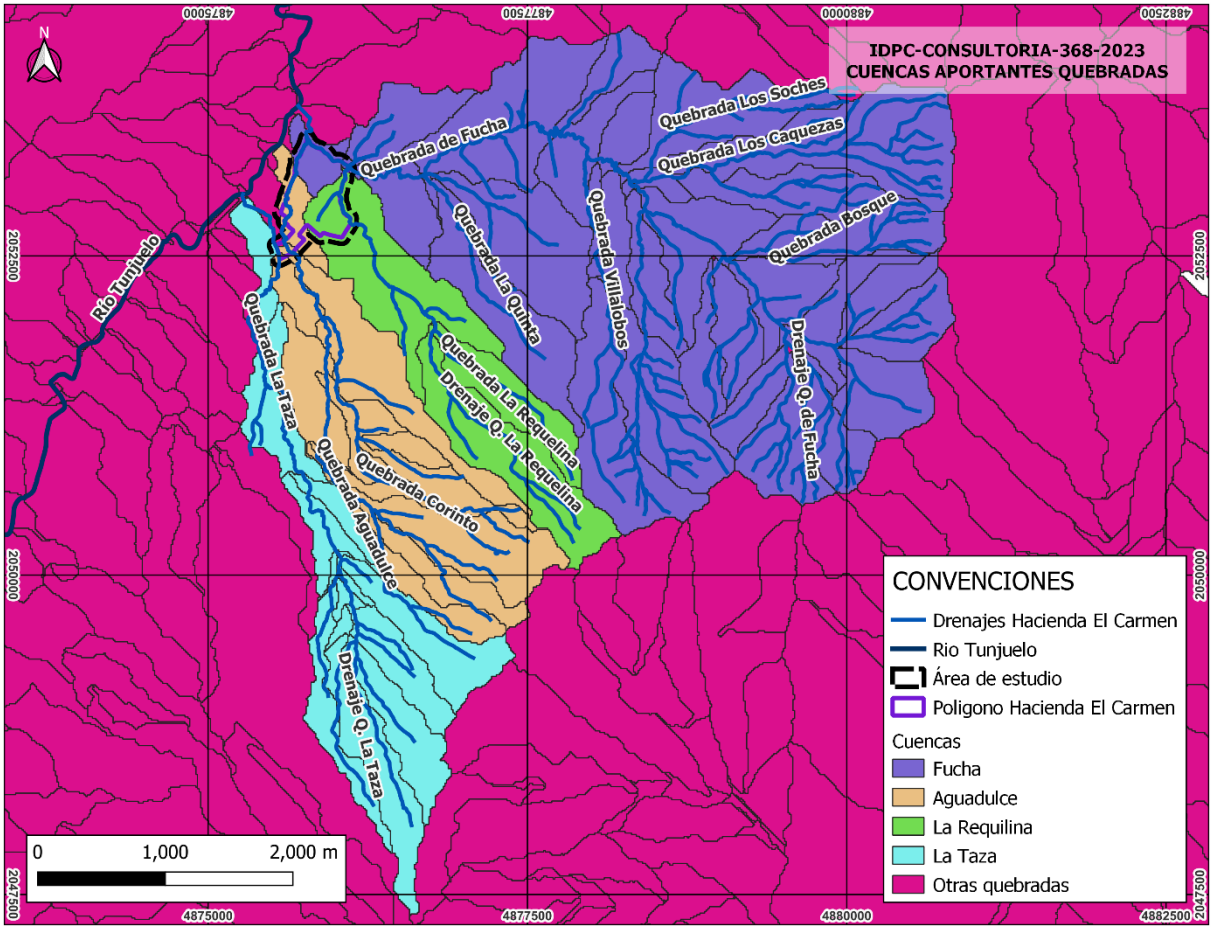


Figura 4.6 Cuencas aportantes para cada una de las quebradas identificadas en el predio. Fuente elaboración propia.
Fuente: Propia

En función de las áreas aportantes se computa el valor del área total de la cuenca de cada una de las quebradas como se muestra en la tabla:

Tabla 4.1 Áreas aportantes para las quebradas de la Hacienda El Carmen. Fuente propia.

Quebrada	Área cuenca (Km^2)
Fucha	12.675
Aguadulce	3.196
La Taza	2.956
La Requilina	2.174

Fuente: Propia

Tal como se estimaba la quebrada con mayor área de aportación correspondió a la quebrada Fucha con 12.7 Km^2 por lo que se espera sea la que tenga mayores caudales. El tamaño y forma de las quebradas Aguadulce, La Taza y La Requilina son bastante comparables entre sí, por lo que se estima que manejan caudales muy similares.

4.5 CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA

Continuando con la evaluación hidrológica para la zona se verifican las condiciones de intensidad, duración y frecuencia para la zona del área de estudio. Para esto se realizó la consulta a la EAAB la cual tiene jurisdicción en la zona y en particular para las zonas de rondas de las quebradas que atraviesan el lote.

La respuesta de la EAAB corresponde a los valores de creación de las curvas IDF para el punto centroide del polígono de la Hacienda El Carmen. La información para la generación de las curvas IDF se presenta en la Figura 4.7:

acueducto
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

Ecuación cálculo curvas IDF

$$INTENSIDAD = C_1 \left(DURACIÓN + X_0 \right)^{C_2}$$

Tabla coeficientes ecuación IDF

Id	Punto (E,N) EPSG:3116	Tiempo de retorno 3 años			Tiempo de retorno 5 años			Tiempo de retorno 10 años			Tiempo de retorno 25 años			Tiempo de retorno 50 años			Tiempo de retorno 100 años		
		C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2	C1	Xo	C2
0	995315,986968	624.77	11.4	-0.81514	786.88	11.1	-0.82923	977.70	10.7	-0.83941	1133.12	9.6	-0.83579	1382.72	9.8	-0.85038	1482.90	9.1	-0.84617

Figura 4.7 Captura de la respuesta de parte de la EAAB para las IDF en el lote Hacienda El Carmen.
Fuente EAAB.

A partir de los datos recibidos fue posible generar la matriz de intensidad de precipitaciones para diferentes valores de duración de lluvias críticas y de tiempos de retorno, como se ve en la Tabla 4.2 y como se ilustra en la .

Tabla 4.2 Valores de intensidad de lluvias para diferentes duraciones y frecuencias para el Lote Hacienda el Carmen.

Tiempo	Periodo de Retorno (años)					
(min)	3	5	10	25	50	100
10	51.43	62.77	76.84	94.24	109.16	122.22
20	37.63	45.51	55.19	66.77	77.11	85.59
30	30.04	36.11	43.56	52.35	60.29	66.66
40	25.18	30.15	36.22	43.37	49.82	54.98
50	21.78	25.99	31.14	37.20	42.64	46.99
60	19.26	22.92	27.40	32.68	37.39	41.17
120	11.72	13.80	16.36	19.43	22.06	24.26
180	8.62	10.10	11.91	14.14	15.97	17.56
240	6.90	8.05	9.47	11.24	12.64	13.91
300	5.80	6.74	7.91	9.39	10.53	11.59
360	5.02	5.82	6.82	8.09	9.06	9.97

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recibidos de la EAAB.

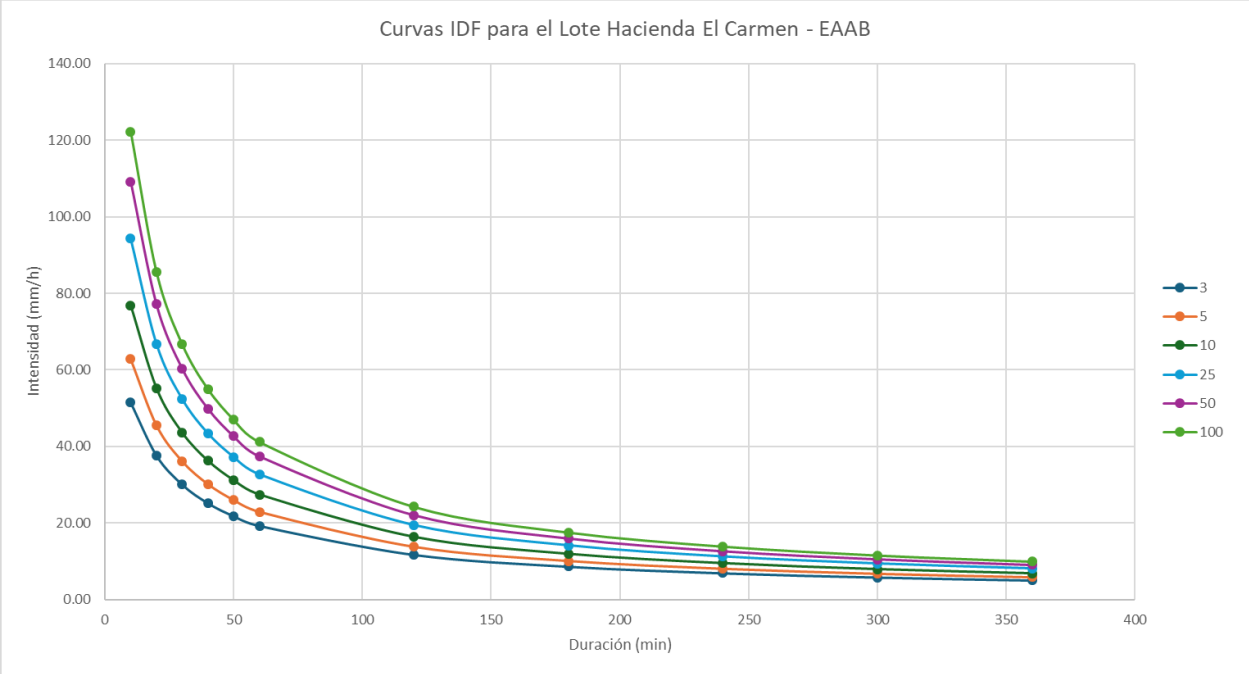


Figura 4.8 Curvas de intensidad-duración-frecuencia para el Lote Hacienda el Carmen.
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recibidos de la EAAB.

4.6 MODELACIÓN HIDRÁULICA REGIONAL

Preliminarmente se realiza la modelación hidráulica regional con el fin de poder obtener los caudales esperados en las quebradas de análisis y que sean de utilidad para los análisis de detalle por inundación que se pretenden realizar en el marco del estudio de amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

A partir de las curvas IDF fue posible la generación de un hietograma de precipitaciones mediante el método de bloques alternos (Ven Te Chow) el cual permite generar bloques de lluvia de tamaños consistentes que permitan modelar una lluvia crítica para un periodo de retorno dado pero que incluya en la misma eventos de precipitación críticos de múltiples duraciones. Así entonces se propone una lluvia de duración total de 6 horas calculada a partir de bloques de 10 minutos, con lo cual el hietograma producto incluirá todas las lluvias críticas de duraciones 10, 20, 30, …, 350 y 360 minutos para el periodo de retorno de 100 años.

El hietograma resultante se presenta en la Figura 4.9:

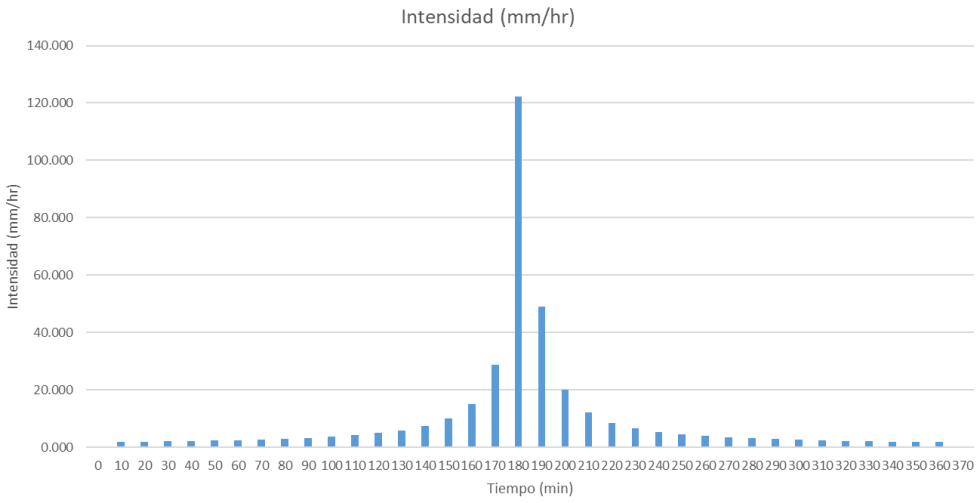


Figura 4.9 Hietograma de intensidad de precipitación para la estación El Bosque.
Fuente: Propia

Respecto al área se cuenta con la delimitación de las cuencas, así como un modelo digital de resolución 1:10.000. De las anteriores condiciones se determinan las siguientes consideraciones iniciales para el modelo:

- El modelo hidráulico se plantea a realizar en un software de modelación de dos dimensiones (como lo es el RiverFlow2D de la casa Hydronia).
- La modelación se hará sobre una única área con régimen de lluvias como generador de la escorrentía del modelo.

Se contempló llevar a cabo una modelación en dos dimensiones (bajo la plataforma RiverFlow2D®), debido a que este software permite modelar el flujo con dos componentes de movimiento, lo que indica que permite el análisis del flujo saliente. Adicionalmente por cada celda del modelo es posible obtener valores discretizados para los flujos modelados.

4.6.1 Bases del modelo bidimensional

RiverFlow2D® es un software de modelación hidráulica, que utiliza el método de elementos finitos, y mediante un poderoso motor numérico permite determinar el comportamiento de un flujo aplicando las ecuaciones diferenciales de Navier-Stokes (conservación de masa y momento), conocida como ecuaciones promediadas de Navier-Stokes como se muestra en las siguientes ecuaciones (Hydronia, 2018):

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F(U)}{\partial x} + \frac{\partial G(U)}{\partial y} = S(U, x, y)$$

Donde el vector de variables observadas con respecto a la altura h promedio es:

$$U = (h, q_x, q_y)^T;\ q_x = uh;\ q_y = vh$$

Los vectores de flujo son dados por las siguientes expresiones:

$$F = \left(q_x, \frac{{q_y}^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2, \frac{q_x q_y}{h}\right)^T ; \; G = \left(q_y, \frac{q_x q_y}{h}, \frac{{q_y}^2}{h} + \frac{1}{2}gh^2\right)^T$$

El modelo funciona generando una matriz de elementos a partir de un modelo de elevaciones, asignándoles además propiedades a los mismos, acorde a los parámetros de entrada ingresados, como el coeficiente de Manning, parámetros de infiltración, precipitación en el tiempo, entre otros.

4.6.2 Parámetros de entrada del modelo hidráulico

Como datos de entrada para el montaje de este modelo, se necesitó la información listada a continuación:

- Refinamiento de la malla del modelo (incluyendo elevaciones).
- Hietograma de lluvia.
- Coeficientes de Manning.
- Parámetros de infiltración.
- Condiciones de frontera de la modelación.

Respecto a la malla se propone una malla con celdas triangulares de tamaño 10 m, acorde a la escala del DEM por lo que proporcionará un resultado adecuado a nivel regional, tomando un área superior a las áreas de las cuencas de las quebradas. El hietograma de diseño se mostró anteriormente, correspondiente a una lluvia por el método de Bloques alternos para una duración final de 6 horas y tiempo de modelación total de 30 horas de modelo para garantizar la evacuación de las aguas por los tránsitos de crecientes.

Para la definición de los parámetros de rugosidad y de infiltración del suelo se consideraron las coberturas regionales para el distrito de Bogotá (2016) que coinciden con la divisoria de agua superior para el modelo de cuencas afluentes al lote. El coeficiente de Manning y el modelo de infiltración basado en el número de curva se definieron a partir de los valores de coberturas regionales basados en las tablas de asignación propuestas por Ven Te Chow et al. (1994), como se muestra en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3 Valores de n de Manning y CN para las coberturas regionales.

Cobertura	n	CN
Arbustal	0.050	86
Bosque abierto	0.080	77
Bosque de galería o ripario	0.100	70
Bosque denso	0.120	70
Bosque fragmentado	0.080	77
Cereales	0.040	78
Construcciones rurales	0.015	83
Herbazal	0.035	86
Mosaico de cultivos	0.040	78
Mosaico de pastos con espacios naturales	0.035	86
Mosaico de pastos y cultivos	0.040	78
Oleaginosas y leguminosas	0.035	78
Otros cultivos transitorios	0.040	86

Cobertura	n	CN
Pastos arbolados	0.080	77
Pastos enmalezados	0.050	86
Pastos limpios	0.030	78
Plantación forestal	0.080	77
Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0.016	89
Ríos (quebradas y rondas)	0.030	71
Tejido urbano continuo	0.017	90
Tejido urbano discontinuo	0.017	90
Tierras desnudas y degradadas	0.025	87
Tubérculos	0.040	78
Zonas de extracción minera	0.050	89
Zonas industriales o comerciales	0.017	91
Zonas verdes urbanas y rurales	0.030	74

Fuente: Propia

Finalmente, para las condiciones de frontera del modelo se estableció sobre el borde de las áreas de análisis condición de salida libre, puesto que el área misma de modelación es superior a las divisorias de agua. Adicional a las condiciones de contorno se ubicaron perfiles transversales de medición de caudal sobre los cauces de las quebradas de interés.

El esquema del modelo se presenta en la Figura 4.10:

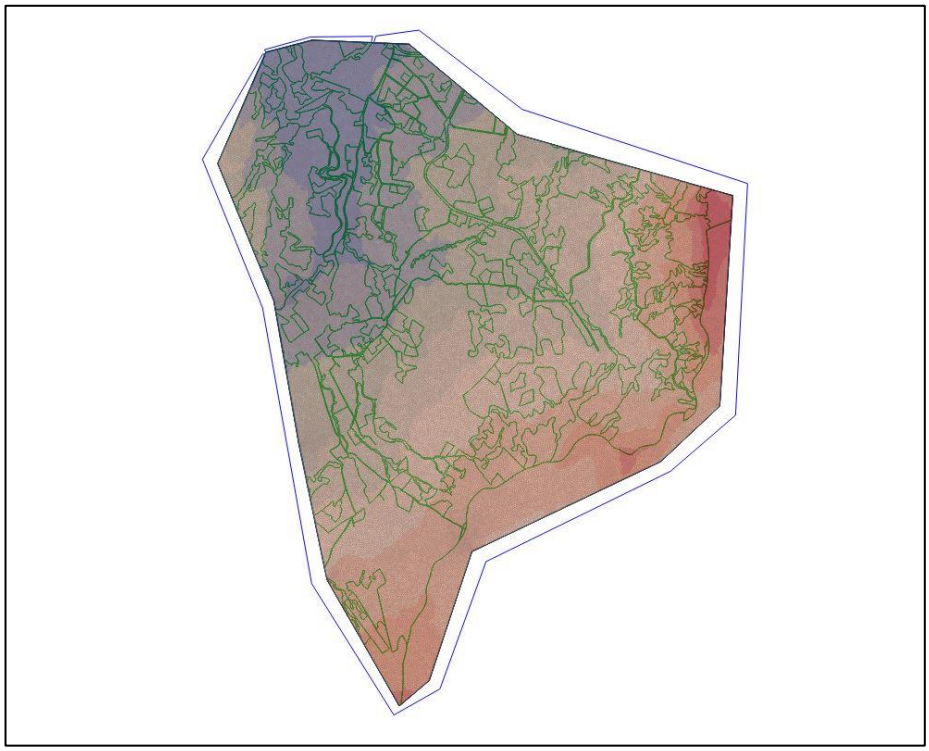


Figura 4.10 Esquema modelo regional en RF2D. La malla de elementos se presenta con tonos azul (zonas bajas) a rojo (zonas altas), la delimitación de coberturas en polilíneas verdes y las condiciones de frontera polilíneas azules.
Fuente: Propia

4.6.3 Resultados de la modelación

Los resultados de profundidad máxima del agua y velocidad máxima se presentan en la Figura 4.11 y Figura 4.12:

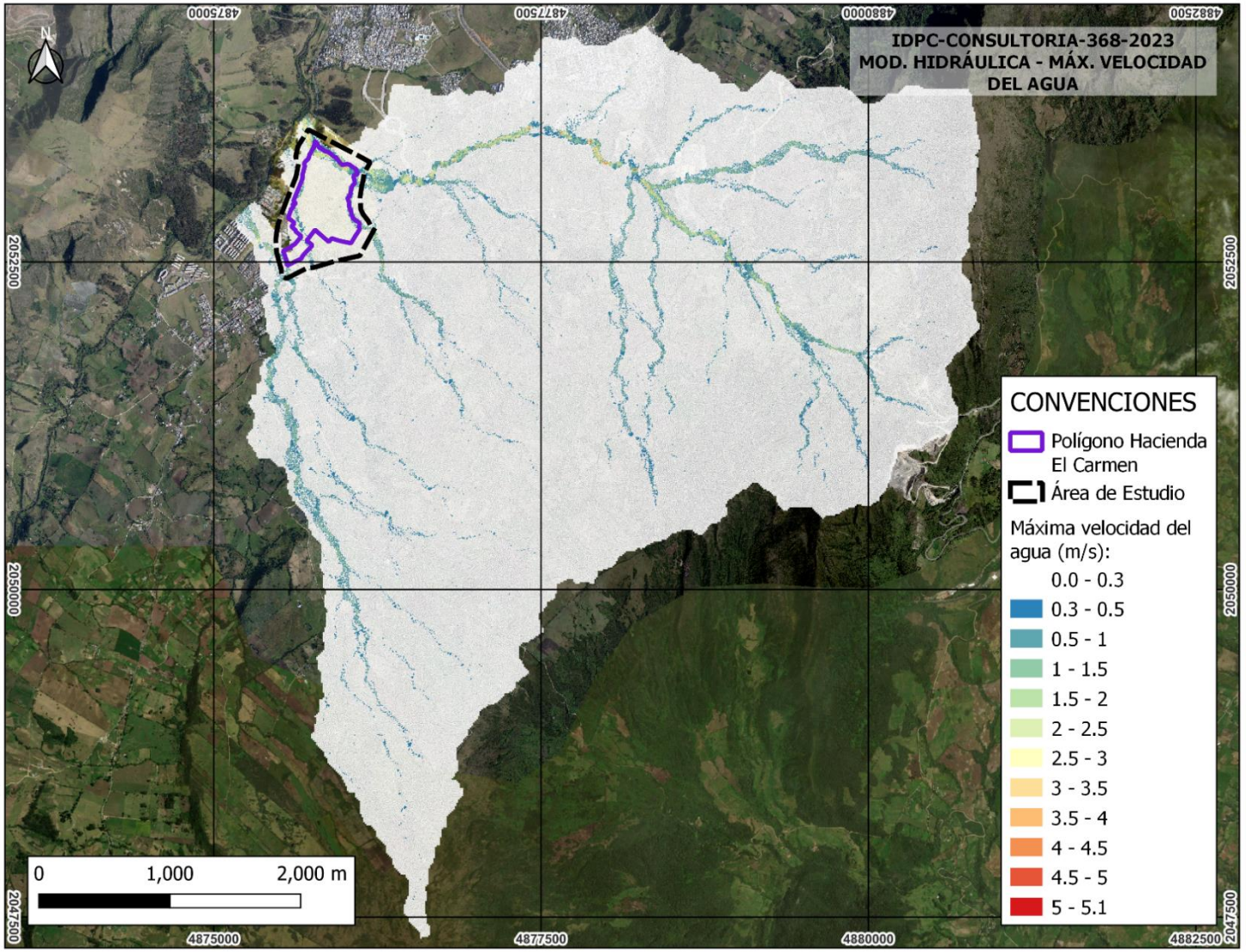


Figura 4.11 Velocidad máxima del agua para la modelación hidráulica regional.
Fuente: Propia

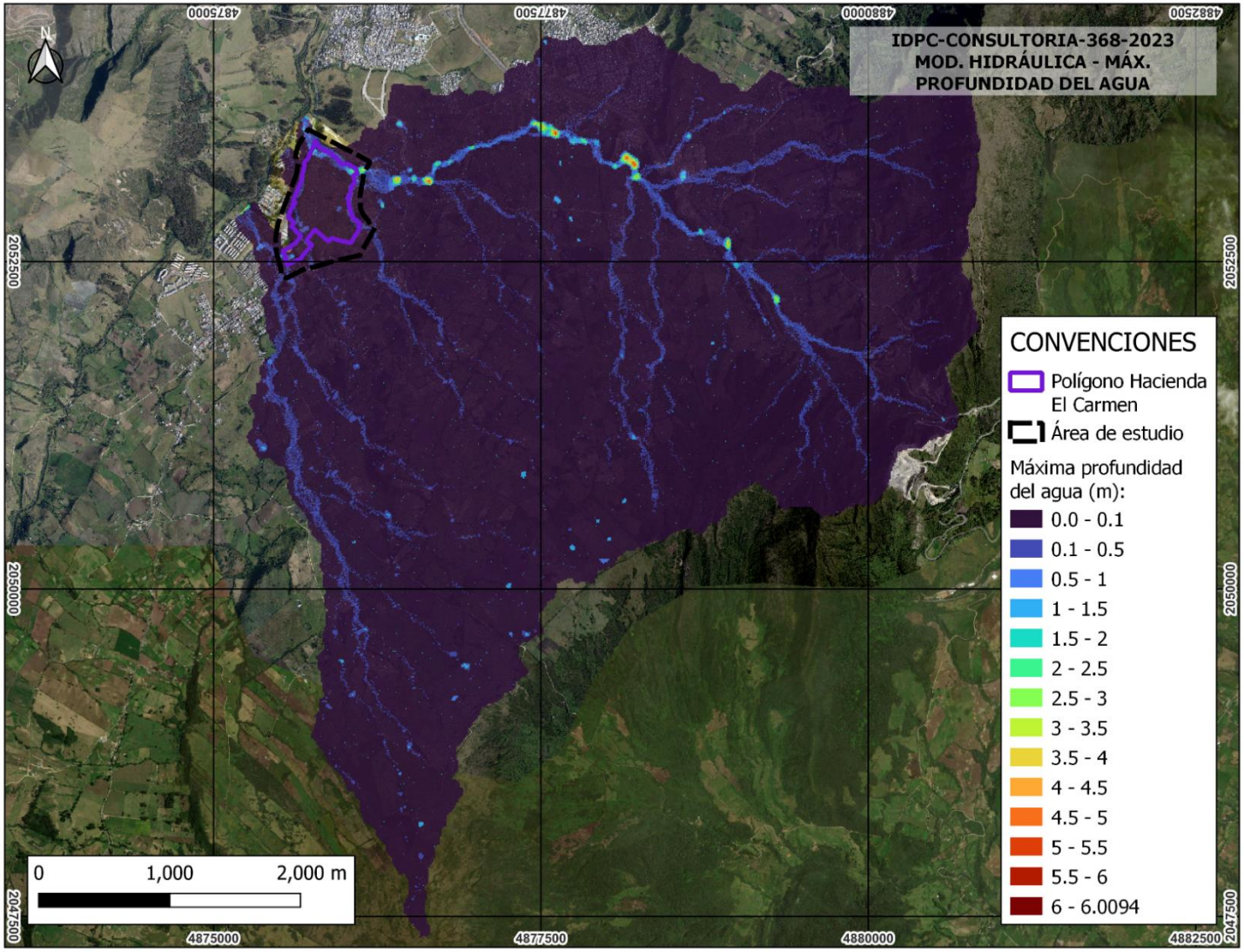


Figura 4.12 Profundidad máxima del agua para la modelación hidráulica regional.
Fuente: Propia

El análisis hidráulico mostró que la concentración de las aguas de escorrentía coincide con la delimitación de drenajes naturales de parte del IDECA y del análisis de las cuencas mediante herramientas GIS. Por otro lado, fue posible obtener los hidrogramas de caudal de cada una de las quebradas que atraviesa el lote, como se muestra de la Figura 4.13 a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**:

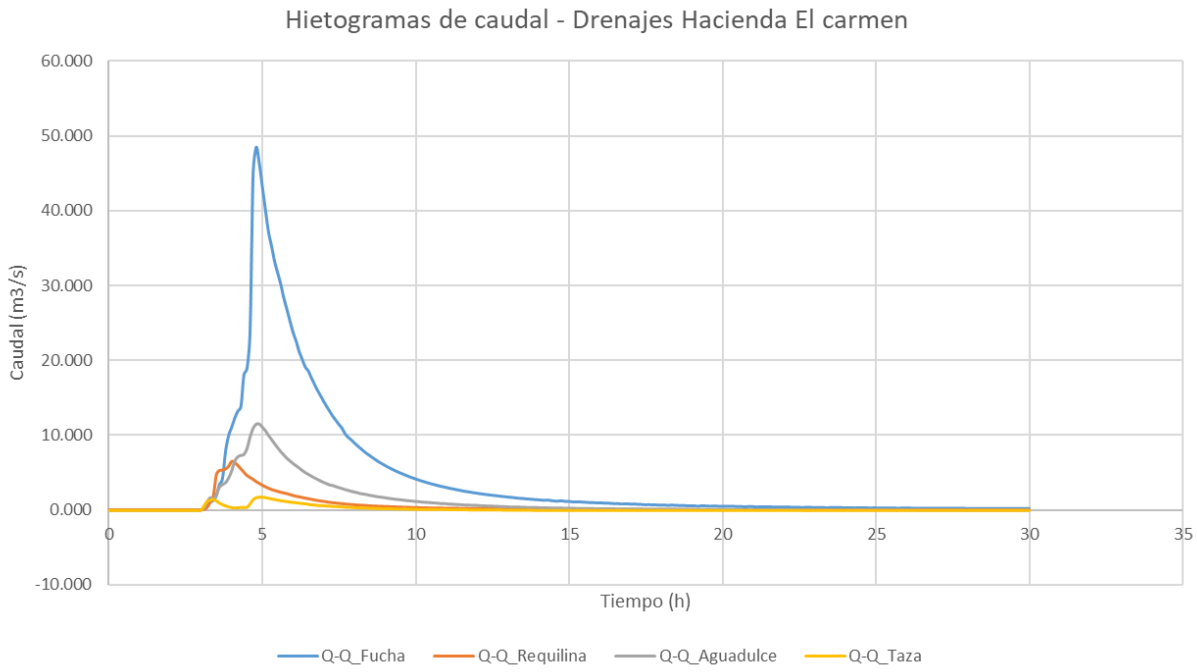


Figura 4.13 Hidrograma de caudal para las quebradas Fucha, Aguadulce, Requilina y La Taza.
Fuente: Propia

Los hidrogramas de caudal permitirán analizar de forma particular los componentes de amenaza por inundación que a su vez indicarán los caudales y cotas de las estructuras de paso que se plantean construir en el marco de la Fase 1 del componente dotacional. Los valores máximos de caudal encontrados fueron:

- Quebrada Fucha: 48.54 m^3/s
- Quebrada Aguadulce: 11.56 m^3/s
- Quebrada Requilina: 6.48 m^3/s
- Quebrada la Taza: 1.71 m^3/s

4.7 MODELACIÓN HIDRÁULICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

De manera análoga a la modelación regional se propone un modelo de análisis para el área de estudio, en el cual se designan elementos que indiquen una mejor resolución, de forma que se cumpla con la escala del proyecto 1:1.000. siguiendo lo establecido en la resolución IDIGER 503 del 2023, se analiza la condición de desbordamiento actual. En el capítulo de evaluación de amenaza se entraría a verificar la condición de desbordamiento con el proyecto propuesto.

4.7.1 Parámetros de entrada del modelo hidráulico local

Como datos de entrada para el montaje de este modelo, se necesitó la información listada a continuación:

- Refinamiento de la malla del modelo (incluyendo elevaciones).
- Hietograma de lluvia.
- Coeficientes de Manning.
- Parámetros de infiltración.
- Condiciones de frontera de la modelación.

Para la malla del modelo se consideró la topografía realizada, en particular a lo que concierne a los levantamientos batimétricos de las quebradas, obteniendo un modelo de elevaciones del terreno en las zonas de los cuerpos de agua, como se ve en la Figura 4.14.

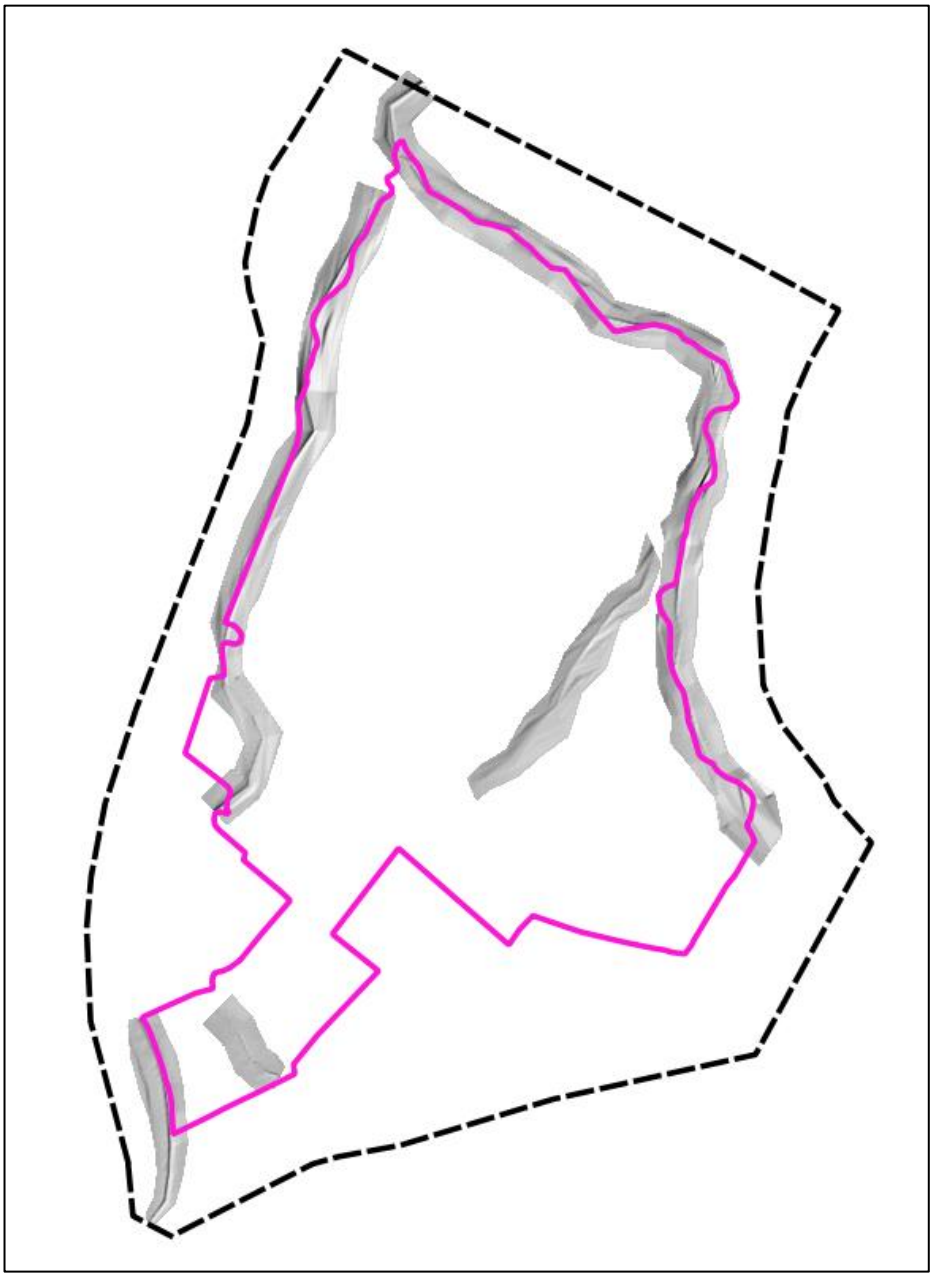


Figura 4.14 Modelo de elevaciones a partir de las batimetrías.
Fuente: Propia

No obstante, puesto que este modelo no representa la totalidad del área de estudio, se realizó un mosaico con la información LiDAR. La información LiDAR se encontraba desfasada 3.18m respecto a la información de topografías realizadas en el lote por CI Ambiental S.A.S. y por la Fundación Trenza, por lo que se desfasó -3.18 en la dirección z y se mezcló con los datos de la topobatimetría, generando el modelo definitivo para el análisis hidráulico (Figura 4.15):

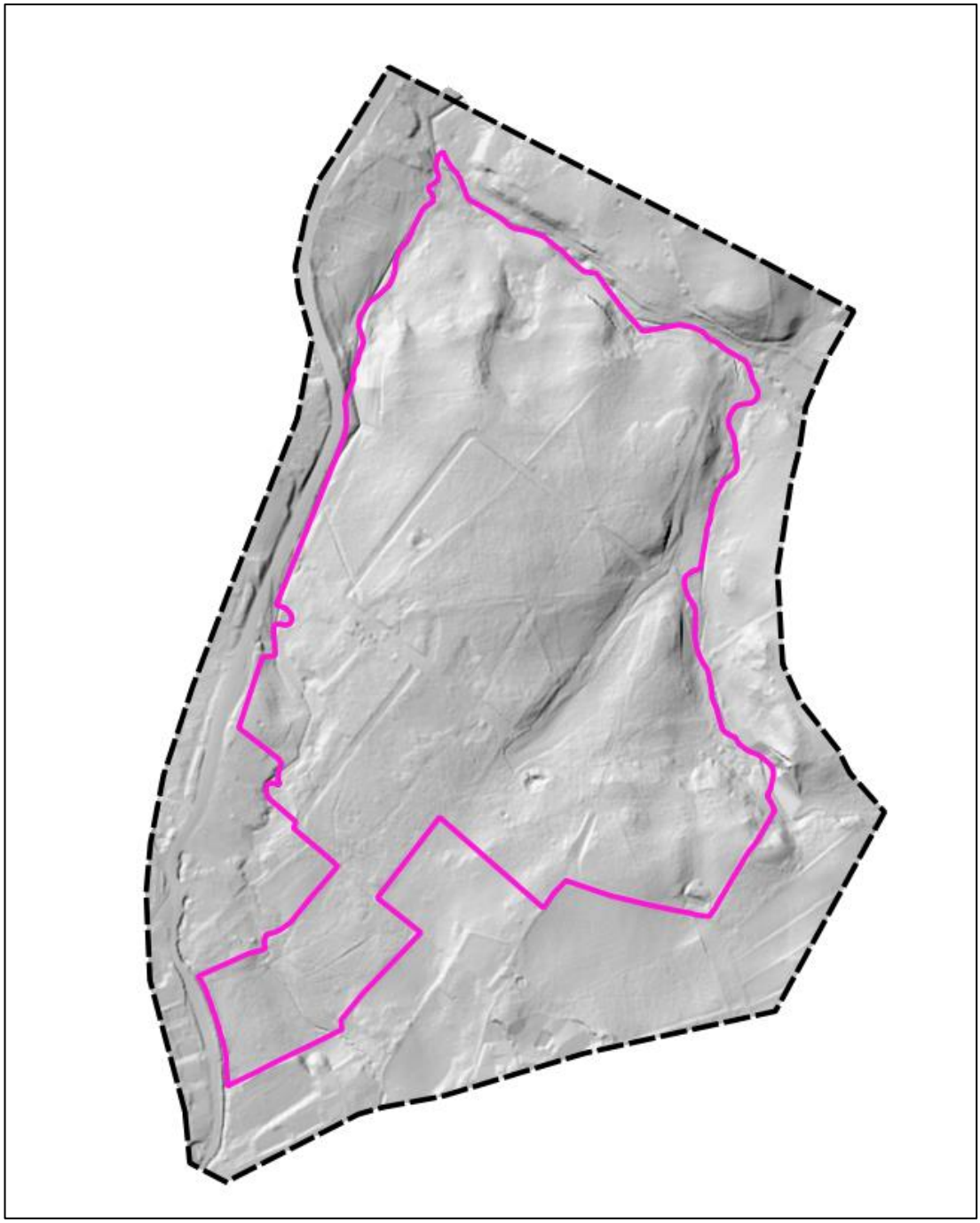


Figura 4.15 Modelo de elevaciones mixto a partir de las batimetrías y el LiDAR (EAAB).
Fuente: Propia

El modelo discretizado consistió en una malla triangular con tamaño predominante de 1.0 m para los elementos. Para el hietograma de lluvia se utilizó el mismo empleado en el análisis regional.

En cuanto a los parámetros de infiltración y rugosidad del suelo, se usaron los valores de cobertura del suelo en el ámbito local para asignar parámetros congruentes con los tipos de vegetación y superficies existentes en el área de estudio (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Valores de n de Manning y CN para las coberturas locales.

Cobertura	n	CN
Arbustal abierto	0.05	86
Arbustal denso	0.06	86
Áreas erosionadas	0.025	87
Bosque de galería mixto	0.1	70
Cebolla	0.04	78
Centro de eventos	0.017	90
Cercas vivas	0.08	77
Ciudad capital	0.017	90
Estación de servicio y/o taller automotriz	0.017	90
Estadios y campos de futbol	0.017	90
Eucalipto	0.08	77
Instituciones educativas	0.017	90
Monumento religioso	0.017	90
Parques urbanos	0.03	78
Pastos arbolados	0.08	77
Pastos degradados	0.04	86
Pastos enmalezados	0.05	86
Pastos inundables	0.05	86
Pastos limpios	0.03	78
Reforestación con especies nativas	0.08	77
Tomate	0.04	78
Vegetación secundaria alta	0.05	86
Vegetación secundaria baja	0.035	86
Via pavimentada	0.016	89
Vía sin pavimentar	0.025	87
Vivienda rural dispersa - Vivienda Campesina o del productor agrícola	0.025	80
Zonas arqueológicas	0.017	90

Fuente: Propia

En cuanto a los componentes de las condiciones de frontera, se incluyeron los cuatro caudales de entradas obtenidos del análisis regional y adicionalmente se indicó el borde occidental como una salida libre. Puesto que la quebrada Fucha es el cuerpo de agua principal, su condición de frontera se estableció como de salida de flujo uniforme con inclinación del 8%, consistente con pendientes medidas para los cauces. La planta esquemática del modelo de análisis se presenta en la Figura 4.16:



Figura 4.16 Esquema modelo local en RF2D. La malla de elementos se presenta con tonos azul (zonas bajas) a rojo (zonas altas), la delimitación de coberturas en polilíneas verdes y las condiciones de frontera polilíneas azules.
Fuente: Propia

4.7.2 Resultados de la modelación

Los resultados de profundidad máxima del agua y velocidad máxima se presentan en la Figura 4.17 y Figura 4.18:

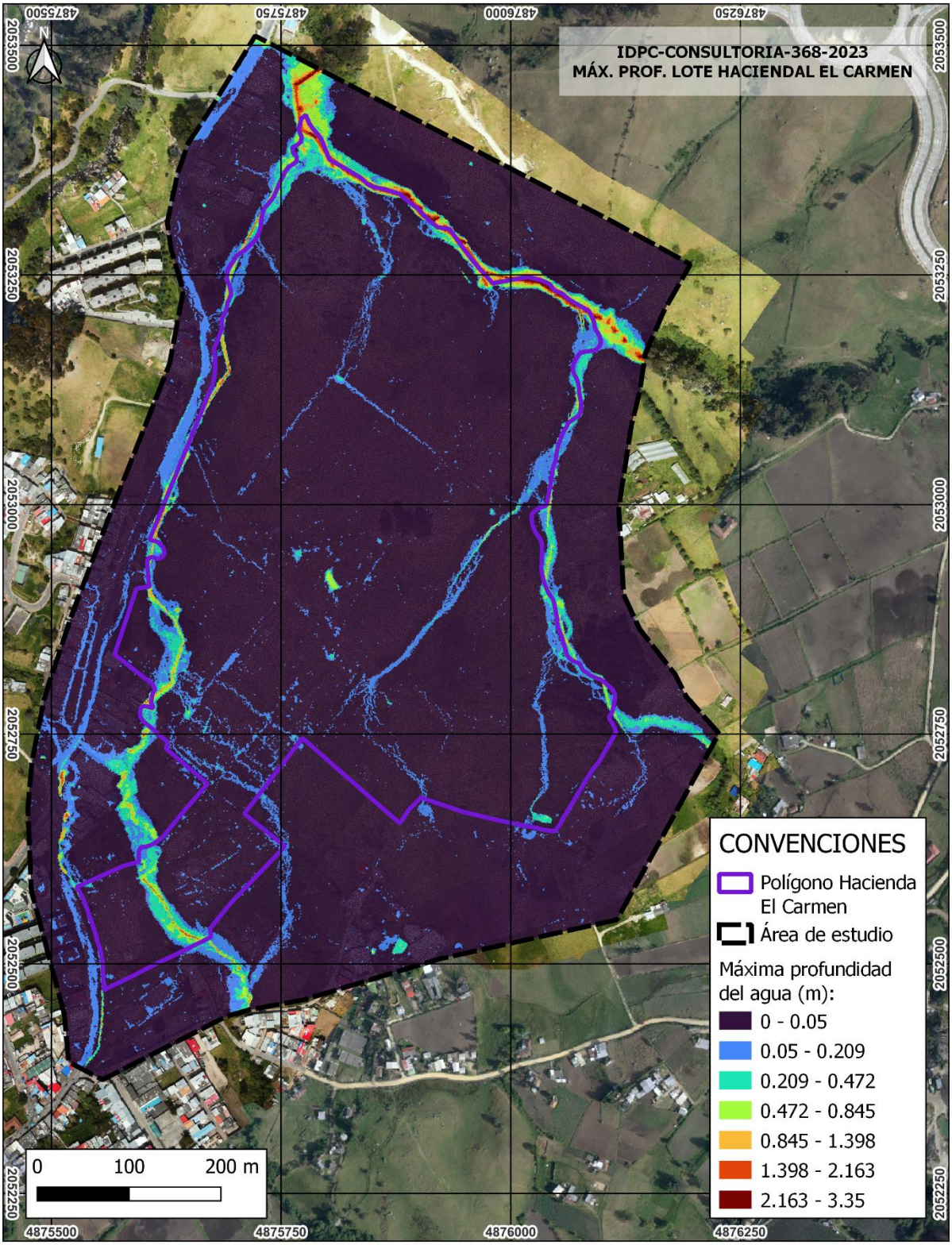


Figura 4.17 Profundidad máxima del agua para la modelación hidráulica local.
Fuente: Propia

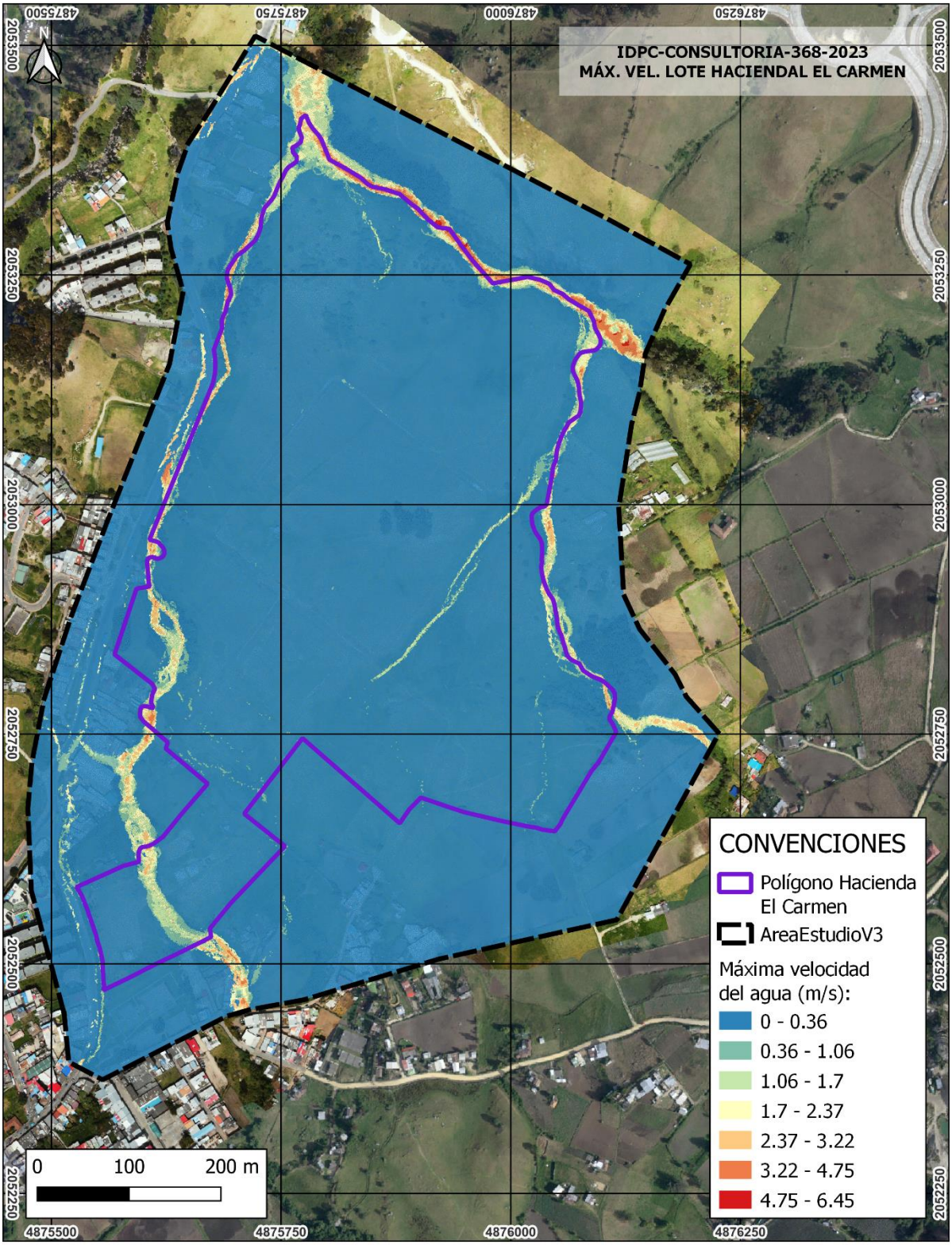


Figura 4.18 Velocidad máxima del agua para la modelación hidráulica local.
Fuente: Propia

Los valores de velocidad y profundidad serán considerados en el producto de evaluación de amenaza por inundación para definir la zonificación y condición de amenaza de los diferentes sectores. Considerando que los valores de velocidades y profundidades fueron altos en los cauces de las quebradas Aguadulce y Fucha, se espera que estas dos concentren la mayor parte de las zonas en amenaza alta para el lote.

4.8 ANÁLISIS DE LA DINÁMICA FLUVIAL

Las Quebradas Fucha y Aguadulce, atraviesan el lote Hacienda el Carmen por el sector norte y occidental respectivamente, presentando una dinámica fluvial caracterizada por una pendiente media de cauce del 8% (equivalente a 4.57°) y velocidades máximas del flujo de agua que alcanzan los 6.45 m/s (sobre la quebrada Fucha). Estos valores indican cauces con una elevada capacidad erosiva y de transporte de sedimentos.

Los sedimentos presentes en el lecho de las quebradas son principalmente materiales aluviales compuestos por arenas y gravas, lo que sugiere un proceso de transporte de sedimentos de gran tamaño impulsado por la alta velocidad del flujo de agua.

La vegetación en las riberas de las Quebradas Fucha y Aguadulce se caracteriza por la presencia de bosques de galería mixta, lo que contribuye a la estabilización de los suelos y a la reducción de la erosión en las márgenes del cauce. Sin embargo, se han observado procesos de movimientos en masa en las márgenes de ambas quebradas, posiblemente generados por la socavación del pie de las laderas y por elevación del nivel freático asociado a aumentos en el nivel de la quebrada.

Aunque en la actualidad no se aprecia obstaculización en el cauce, estos procesos pueden haber incidido en la dinámica fluvial pasada y pueden representar un riesgo potencial para la estabilidad de las márgenes en el futuro. Estos procesos de movimientos en masa sugieren la importancia de monitorear y gestionar adecuadamente los riesgos asociados a la dinámica fluvial en esta área.

5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

5.1 HIDROGEOLOGÍA PRELIMINAR

Se tomó como referencia los estudios previos correspondientes a:

- *Estudio Fase II El Carmen, Informe 3, Versión 1 de 2014*
- *Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Superficial o Somero en el Perímetro Urbano del Distrito Capital, 2018*

El primero a una escala más local y el segundo a una escala más general, con lo cual se parte preliminarmente del segundo documento de referencia.

5.1.1 Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Superficial o Somero en el Pe

5.1.2 rímetro Urbano del Distrito Capital, 2018

5.1.2.1 Modelo Hidrogeológico

Para la identificación del acuífero del distrito capital, este estudio planteo unos perfiles geológicos mediante los cuales realizo las modelaciones hidráulicas de los materiales, basadas en parámetros de permeabilidad, entre otros. Los perfiles se observan en la siguiente imagen, donde se representa el punto de interés mediante los segmentos color rojo.

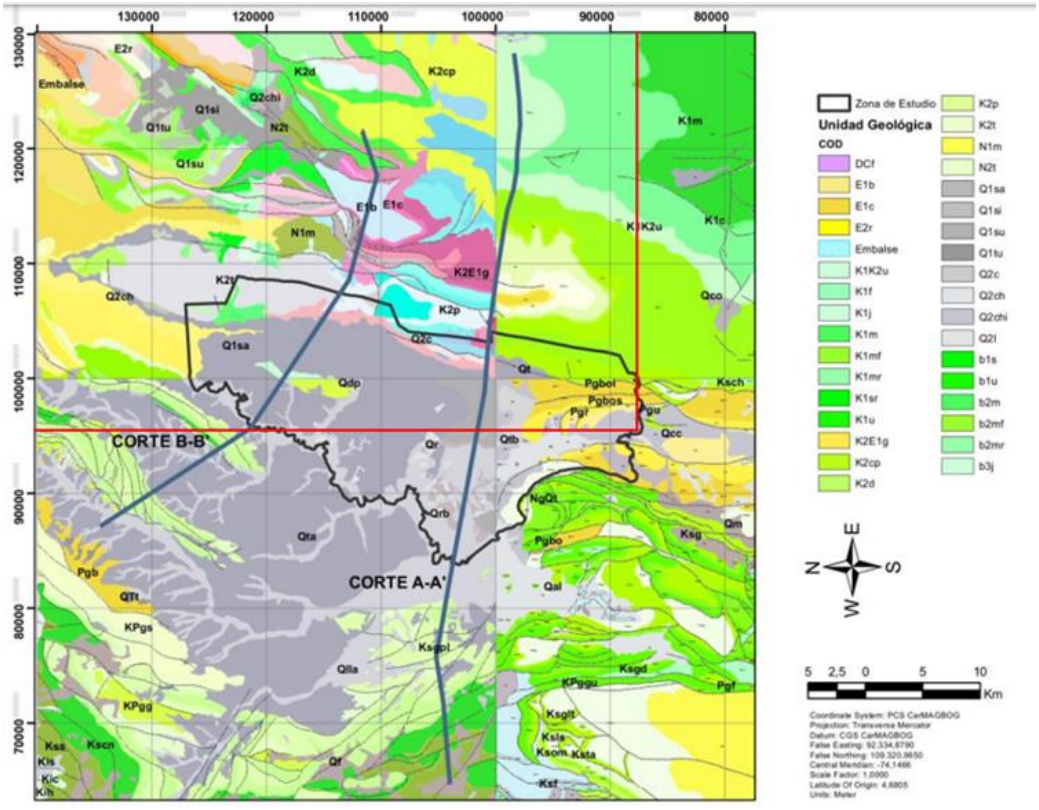


Figura 5.1 Modificado de Figura 4-8. Representación de los perfiles en planta sobre los mapas geológicos (227, 228, 246 y 247).

Fuente: PUJ (2018).

De acuerdo a este mapa, se reconoce la zona de estudio como parte del depósito cuaternario, más específicamente de la Formación Río Tunjuelo (Qrt). No obstante, es importante mencionar que, dada la escala, lo más probable es que se encuentren variaciones respecto a la geología local, en la cual se puede identificar también la Formación Usme (Tiu), la cual, según el mismo documento, se puede encontrar cubierta por el material no consolidado del Neógeno Cuaternario, como lo es la Formación Rio Tunjuelo.

Lobo-Guerrero (1992) define esta formación como el complejo de conos fluvio-glaciares del río Tunjuelito, de los Ríos San Cristóbal, San Francisco y Arzobispo, y de las Quebradas Las Delicias, La Vieja, Rosales y Chicó, en el sur y oriente de Santafé de Bogotá, y el cono del Rio Subachoque. Es un extenso depósito del curso bajo del Rio Tunjuelito, en el sur de la ciudad. Los sedimentos que lo constituyen son bloques de hasta 2m de diámetro, grava, arena, limo y arcilla.

A partir de lo anterior, el estudio extrajo las características hidrogeológicas de cada formación. Se resaltan entonces:

Qrtsa	Río Tunjuelito	Acuífero de extensión local, libre a confinado. Conformado por secuencias de gravas con intercalaciones de arenas arcillosas, arcillas, arcillas orgánicas y arcillas turbosas; las gravas pueden mostrar gradación, los cantos son redondeados con diámetros hasta de 40 cm. De moderada importancia hidrogeológica.	Espesor máx. (m): 220
Tiu	Usme	Acuitardo de extensión local. Conformado por lodolitas grises claras, con esporádicas intercalaciones de areniscas de cuarzo y feldespato de grano fino. El miembro superior compuesto por arcillolitas limosas varicoloreadas con intercalaciones de areniscas de grano fino a medio. Al tope de la formación aparecen capas de lignito y restos de materia orgánica. Sin importancia hidrogeológica.	Espesor máx. (m): 300

Figura 5.2 Modificado de Tabla 3-4. Propiedades físicas de las formaciones geológicas de la zona de estudio.
Fuente: PUJ (2018).

De acuerdo a la representación de la AIH (1995), aplicada en el estudio de la Universidad Javeriana, se clasifica a estas formaciones como:

- Sedimentos y rocas con flujo esencialmente intergranular – Formación Rio Tunjuelito (Qrtsa)
- Sedimentos y rocas con limitado o ningún recurso de agua subterránea – Formación Usme (Tia)

Cabe mencionar que, para este estudio, se asumió un nivel piezométrico 5 metros bajo el nivel del terreno, y los resultados globales del estudio arrojaron un error medio cuadrático de 6.13 metros. No se especifica un nivel estático del acuífero en esta zona de Bogotá dada la cantidad de información en las cercanías.

5.1.2.2 Recarga Natural

Otro de los resultados del estudio fue el mapa de recarga natural del acuífero del distrito capital. De acuerdo a este mapa, en el área de estudio del presente proyecto se encuentran zonas de recarga media a baja, es decir entre 0 y 30 mm/año de recarga natural.

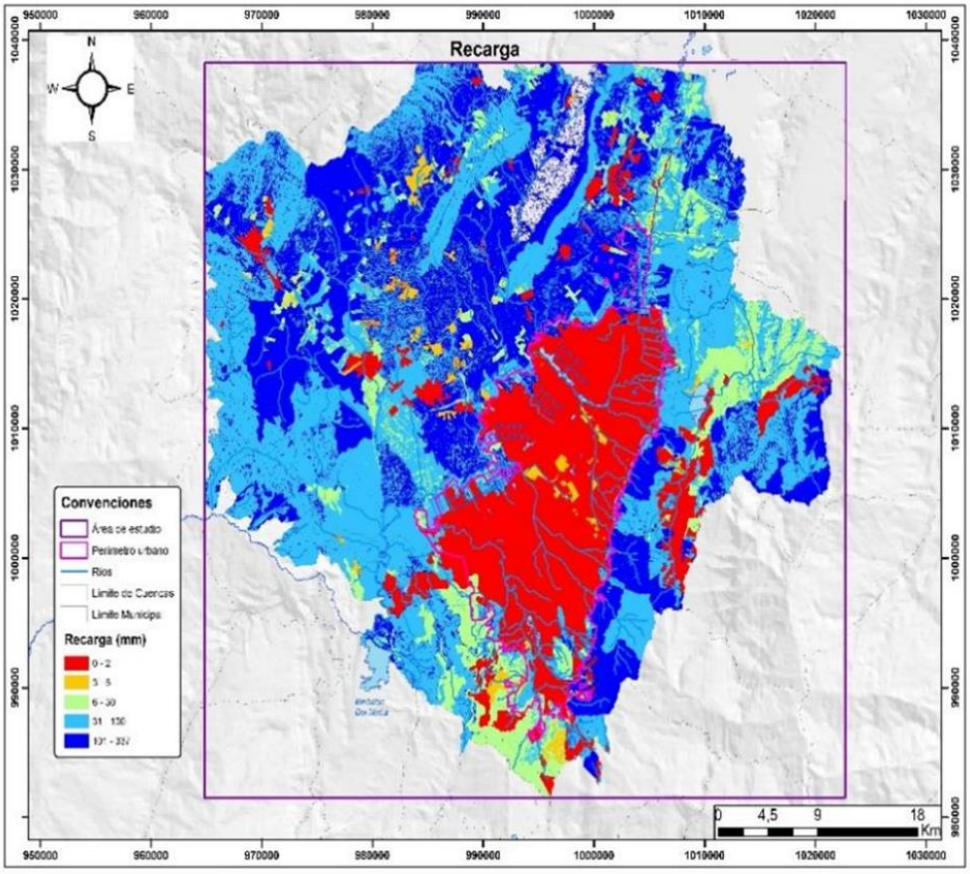


Figura 5.3 Modificado de Figura 4-37 Recarga natural (mm/año).
Fuente: PUJ (2018).

5.1.3 Estudio Fase II El Carmen, Informe 3, Versión 1 de 2014

En la exploración del subsuelo realizada en este proyecto, se realizaron 10 sondeos y 3 trincheras, entre las cuales 8 de los 10 sondeos tuvieron medición del nivel freático. Dos de ellos se obtuvieron con la instalación de piezómetros en los agujeros de la misma perforación, y corresponden a los sondeos 1 y 10. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 5.1 Nivel freático preliminar.

		COORDENADAS					
ID_ESTUDIO	ID_PLANO	N	E	Z_M	PROF_M	NF_M	FECHA
S-1	EC-14_S-1	86951.00	95267.00	2742.50	20.0	3.23	11/12/2013
S-2	EC-14_S-2	87056.96	95314.16	2734.50	20.0		16/12/2013
S-3	EC-14_S-3	86833.73	95358.67	2744.00	10.0	1.3	18/12/2013

		COORDENADAS					
ID_ESTUDIO	ID_PLANO	N	E	Z_M	PROF_M	NF_M	FECHA
S-4	EC-14_S-4	87124.06	95213.05	2718.00	10.0		20/12/2013
S-5	EC-14_S-5	87043.46	95186.66	2724.00	10.0	2.6	21/12/2013
S-6	EC-14_S-6	86659.39	95153.67	2755.00	10.0	4.2	8/01/2014
S-7	EC-14_S-7	86699.73	95213.18	2753.75	6.0	2.6	8/01/2014
S-8	EC-14_S-8	86864.33	95384.38	2739.50	6.0	0.8	13/01/2014
S-9	EC-14_S-9	86773.11	95505.09	2756.50	10.0	1.2	14/01/2014
S-10	EC-14_S-10	87251.43	95334.20	2702.00	20.0	3.23	16/01/2014

Fuente: Metrovivienda (2014).

Cabe mencionar que el nivel del piezómetro del sondeo 1, vario desde 2.83 hasta 3.60 incrementalmente de diciembre de 2013 a enero de 2014, donde presento su máximo. Estos se distribuyen en el lote de la siguiente forma:

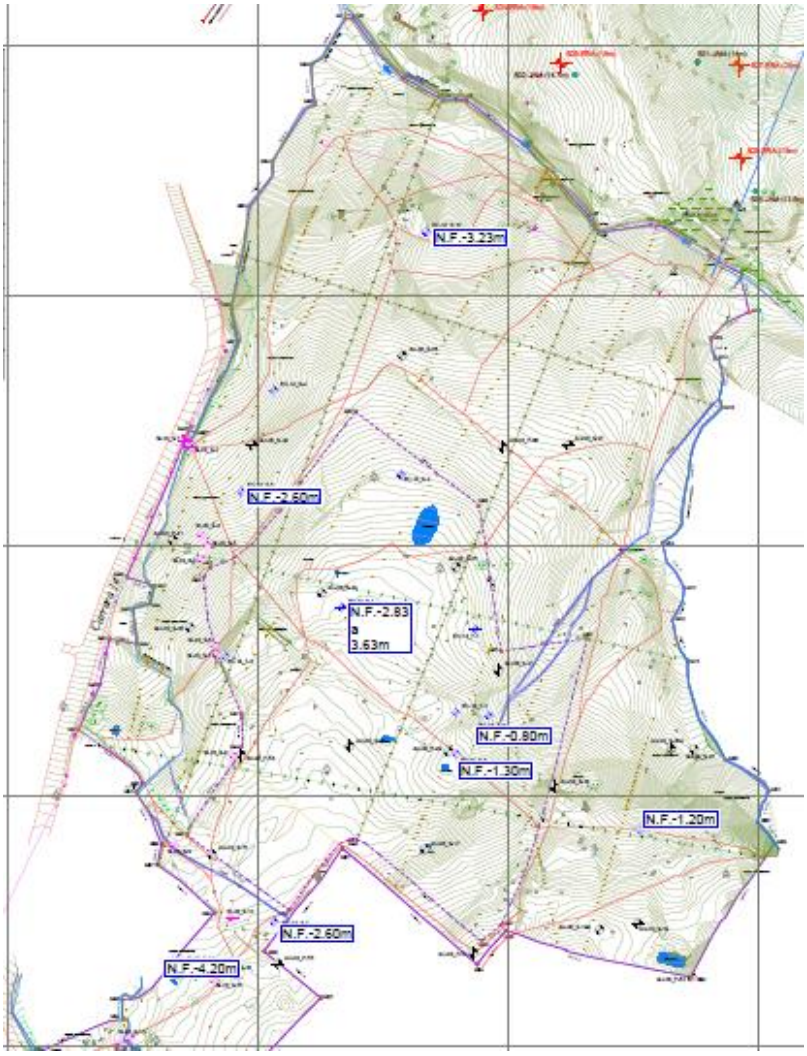


Figura 5.4 Distribución de los datos tomados del nivel freático.
Fuente: Metrovivienda (2014).

A partir de esta información, se generó un archivo .shp, el cual mediante interpolación genero un valor del mismo para cada punto del área de estudio.

6 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PARA LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

En el año 2010, el FOPAE, adelanto la actualización del estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá, mediante convenio adelantando con AIS, la Sociedad Colombiana de Geotecnia y la Universidad de los Andes. Como resultado de este estudio se actualiza la zonificación geotécnica de la ciudad (Figura 6.1), donde básicamente se conservaron las mismas cinco unidades geotécnicas identificadas en las anteriores zonificaciones, pero el principal aporte corresponde a una delimitación más precisa y subdivisión de las zonas de piedemonte. En este orden de ideas se observa que la zona de estudio clasifica como depósito de ladera, y el detalle de la ubicación se ilustra en la Figura 6.2.

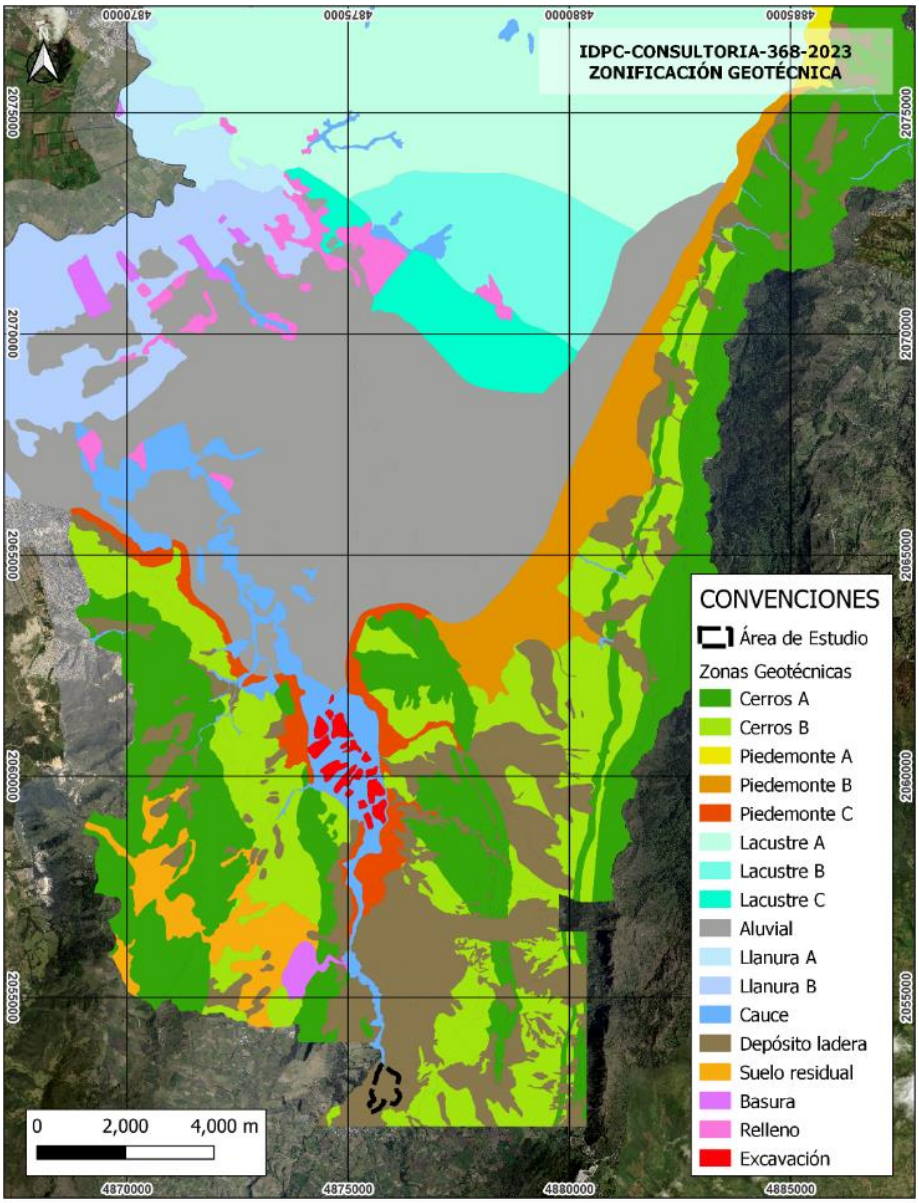


Figura 6.1 Ubicación de la zona de estudio en las zonas geotécnicas.
Fuente: Propia

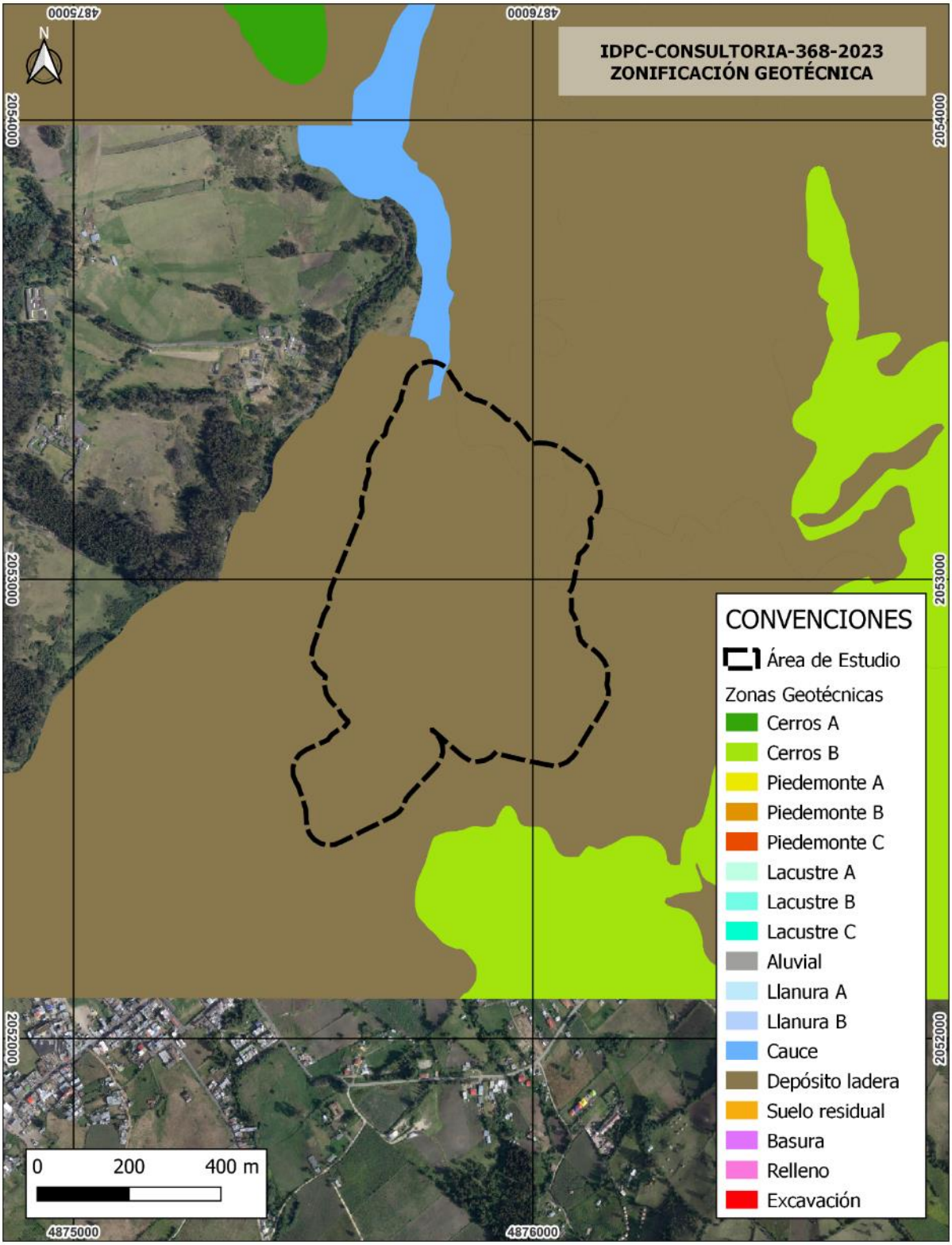


Figura 6.2 Detalle ubicación hacienda el Carmen, zonas geotécnicas.
Fuente: Propia

La descripción de las diferentes unidades geotécnicas se ilustra en la Tabla 6.1. Sin embargo, El proyecto está localizado en zona de Depósito de Ladera, cuyos espesores fluctúan entre 5.0 y 30 metros, según se desprende de las perforaciones adelantadas por la firma Alfonso Uribe (2001) y el Consorcio DISAC (2014). Sin embargo, teniendo en cuenta para el numeral 5.7 del Decreto 523 de 2010, donde se modifica la zona de ubicación del proyecto, debido a que zonas clasificadas como Depósito ladera con espesores mayores a 12 metros, estas clasifican como zona de piedemonte más cercana, que para nuestro caso corresponde a Piedemonte C (Tabla 6.1). El Piedemonte C está constituido de manera general por Depósitos Coluviales y Aluviales con predominio de materiales tipo arcillas arenosas firmes y bloques de roca en esta matriz, producto de eventos geológicos fluvio torrenciales y fluvioglaciares. Como aspecto importante se destaca que dentro de las consideraciones del estudio aplicable a la Hacienda el Carmen se tiene que Los períodos dominantes de las señales registradas en las estaciones ubicadas en las zonas de piedemonte están entre 0.4 y 0.7 s con relaciones Sa/Ao hasta de 4 veces.

Tabla 6.1 Descripciones de las zonas geotécnicas.

Nombre	Geotecnia	Geología	Geomorfología	Composición principal	Comportamiento geotécnico general	Espesor
Cerros A	Roca de arenisca	Formaciones de Areniscas	Cerros de alta pendiente	Areniscas duras	Rocas competentes y resistentes a la meteorización, eventuales problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas o con intercalaciones de arcillolitas blandas	
Cerros B	Roca de arcillolita	Formaciones de Arcillolitas	Cerros de moderada a alta pendiente	Arcillolitas blandas	Rocas de moderada competencia y susceptibles a la meteorización, problemas de estabilidad de taludes en excavaciones a cielo abierto, principalmente cuando estén fracturadas	
Piedemonte A	Suelo coluvial y aluvial norte	Coluviones y Complejo de Conos Aluviales	Piedemonte	Gravas arcillo arenosas compactas	Suelos de alta capacidad portante pero pueden presentar problemas de inestabilidad en excavaciones abiertas	< 50 m
Piedemonte B	Suelo coluvial y aluvial centro			Gravas areno arcillosas compactas		
Piedemonte C	Suelo coluvial y aluvial sur			Gravas areno arcillosas compactas		
Lacustre A	Suelo lacustre muy blando	Terraza Alta - Lacustre	Planicie	Arcillas limosas muy blandas	Suelos de muy baja a media capacidad portante y muy compresibles	20 - 500 m
Lacustre B	Suelo lacustre blando			Arcillas limosas blandas		
Lacustre C	Suelo lacustre - aluvial			Arcillas arenosas firmes		
Aluvial	Suelo aluvial grueso a medio	Terraza Baja - Aluvial y Complejo de Conos Aluviales	Planicie	Arenas arcillosas sueltas a compactas	Suelos de mediana a alta capacidad portante poco compresibles, susceptibles a licuación e inestables en excavaciones a cielo abierto	50 - 250 m
Llanura A	Suelo de llanura - lacustre	Llanura de Inundación	Llanura	Arenas sueltas y arcillas limosas blandas	Suelos de moderada capacidad portante y compresibles, susceptibles a licuación	200 - 500 m
Llanura B	Suelo de llanura - aluvial			Arenas sueltas y arcillas arenosas duras		
Cauce	Cauce activo o antiguo	Cauces Activos	Piedemonte y Planicie	Gravas arenosas sueltas a compactas	Suelos de baja a mediana capacidad portante, susceptibles a licuación y problemas de estabilidad de taludes	
Depósitos	Suelo de ladera	Depósitos de Ladera	Cerros	Gravas areno arcillosas compactas	Suelos de mediana capacidad portante susceptibles a problemas de estabilidad de taludes	5 - 15 m
Residual	Suelo residual	Suelo Residual	Cerros	Arcillas gravo arenosas firmes	Suelos de mediana a alta capacidad portante con posibles problemas de estabilidad de taludes en sectores de alta pendiente	5 - 10 m
Basura	Relleno de basura	Rellenos de Basuras	Piedemonte y Planicie	Basuras	Materiales heterogéneos, que acuerdo con su disposición pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes	
Relleno	Relleno de excavación	Rellenos de Excavación	Piedemonte y Planicie	Rellenos heterogéneos	Materiales heterogéneos, que acuerdo con su disposición pueden ser compresibles y susceptibles a problemas de estabilidad en taludes	
Excavación	Excavación especial	Excavaciones Especiales	Piedemonte	Gravas arenosas sueltas a compactas	Zonas de explotación de agregados en el Río Tunjuelo, susceptibles a problemas de estabilidad de taludes	

Fuente: FOPAE, 2010.

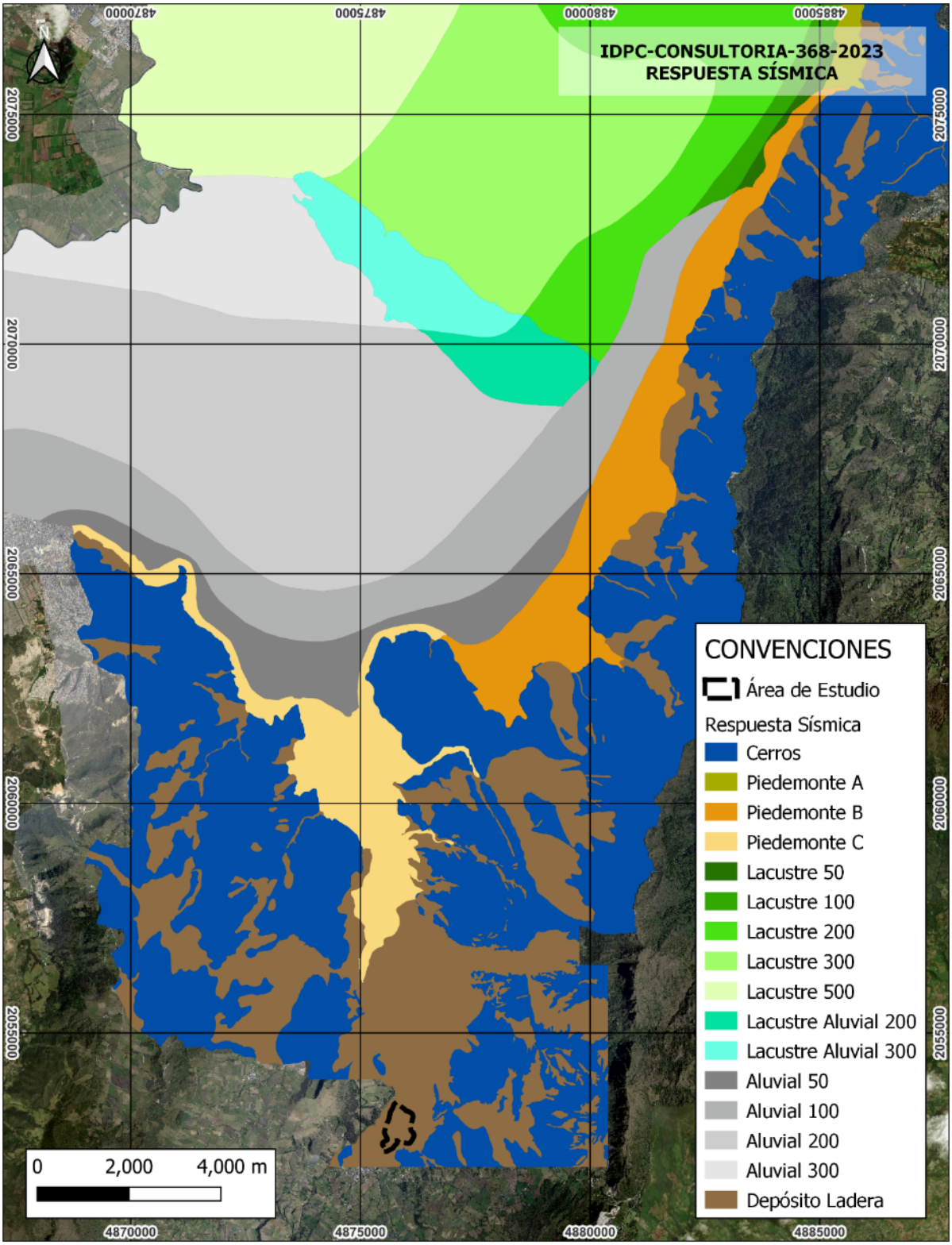


Figura 6.3 Ubicación del proyecto en la zona de respuesta sísmica.
Fuente: Propia

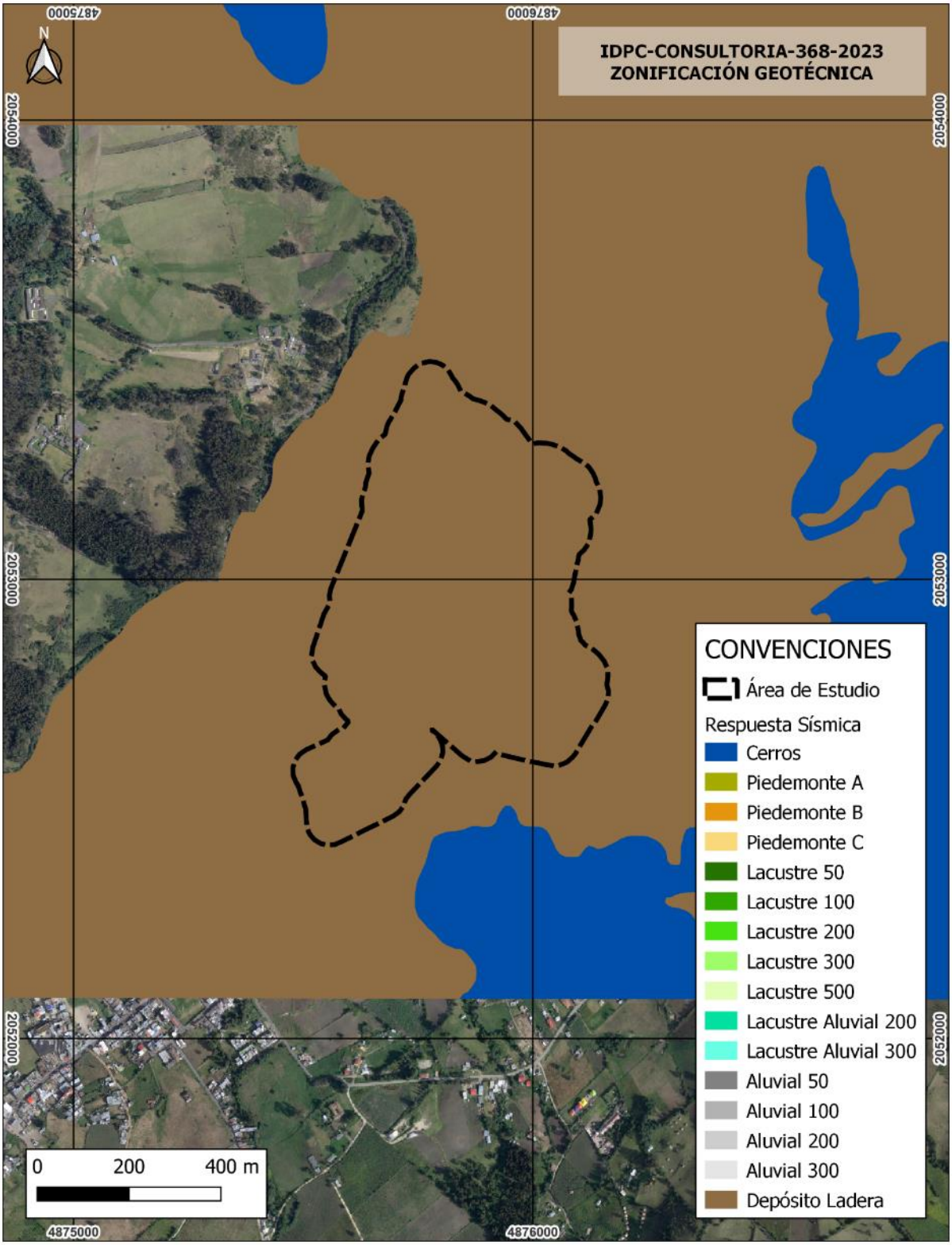


Figura 6.4 Detalle ubicación hacienda el Carmen, zona de respuesta sísmica.
Fuente: Propia

Teniendo en cuenta lo anterior, en la Tabla 6.2, se presentan los valores de Fa, Fv y Ao para periodo de retorno de 475 años, resaltándose en amarillo los coeficientes de interés para el proyecto Hacienda el Carmen. Teniendo en cuenta que para análisis pseudo estáticos se aplica es un porcentaje de la aceleración, se acude a la Norma Sismo Resistentes (NSR10, Título H), capitulo H.5.2.5-Sismo de diseño, para lo cual se hace uso de la tabla H.5.2-1, obteniéndose un coeficiente de k_{ST}/a_{max} de 0.80, es decir el coeficiente de aceleración horizontal es de 0.192. Sin embargo, en el Artículo 227 de 2006, en el Capítulo 3.4. Análisis de Estabilidad-Evaluación de Amenaza, se aclara lo siguiente:" … La aceleración crítica a ser considerada en los análisis de tipo pseudo-estático no podrá ser menor a 2/3 de la aceleración máxima (Am). Es decir, que la aceleración máxima para este caso será de 0.16g, valor a nuestro parecer más coherentes con las condiciones del sitio, ya que el uso de una aceleración de 0.192g, es muy crítica para el sector de estudio. Teniendo presente lo anterior se adopta para la zona de estudio una aceleración horizontal de 0.16g.

Tabla 6.2 Coeficientes de diseño sísmico.

Zona	Fa475 D=5%	Fv475 D=5%	Ao475 (g)	TI (s)
CERROS	1.35	1.30	0.18	3.0
PIEDEMONTE A	1.65	2.00	0.22	3.0
PIEDEMONTE B	1.95	1.70	0.26	3.0
PIEDEMONTE C	1.80	1.70	0.24	3.0
LACUSTRE-50	1.40	2.90	0.21	4.0
LACUSTRE-100	1.30	3.20	0.20	4.0
LACUSTRE-200	1.20	3.50	0.18	4.0
LACUSTRE-300	1.05	2.90	0.16	5.0
LACUSTRE-500	0.95	2.70	0.14	5.0
LACUSTRE ALUVIAL-200	1.10	2.80	0.17	4.0
LACUSTRE ALUVIAL-300	1.00	2.50	0.15	5.0
ALUVIAL-50	1.35	1.80	0.20	3.5
ALUVIAL-100	1.20	2.10	0.18	3.5
ALUVIAL-200	1.05	2.10	0.16	3.5
ALUVIAL-300	0.95	2.10	0.14	3.5
DEPOSITO LADERA	1.65	1.70	0.22	3.0

Fuente: FOPAE, 2010.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

- La georreferenciación del proyecto con mojones GPS a magnas sirgas 3115.
- Se materializa y se georreferencian los puntos de control temporal.
- Se completó la Recolección de datos en terreno a partir de plataformas aerotransportadas (RPA).
- Se procesó y analizo la información recolectada por medio de Software especializados y técnicas de ingeniería organizándola de forma entendible.
- Se plasmó los resultados obtenidos en ortoimagenes, curvas de nivel y un informe detallado de la metodología empleada.

7.2 GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

- En los límites prediales definidos para el desarrollo del proyecto no se identificaron unidades roca, solamente depósitos de Tilitas fluvioglaciares (N1m) pertenecientes al nivel medio de la Formación Marichuela y la formación Usme (E2u) del Eoceno medio a superior, depósitos coluviales antiguos (**Qca**) y recientes (**Qcr**) y depósitos aluviales (**Qal**), depositados durante el Neogeno y el Cuaternario.
- Rasgos topográficos, pendientes, morfológicos y drenajes permiten deducir la existencia de una falla definida como falla Tótem dentro del área del lote.
- Geomorfológicamente se evidencian 3 unidades morfológicas bien definidas para las unidades del ambiente morfogenético glacial: La primera ondulada de pendientes fuertes (FGl-1), observable desde las inmediaciones del cerro Tótem hasta su piedemonte, correspondiente a un frente de avance morrenico del depósito fluvioglaciar, la segunda de tendencia plano cóncava con desarrollo de humedales (FGl-2) en la parte media de la "Hacienda", correspondiente a una morrena plana y la tercera convexa y cóncava, correspondiente a parte de la morrena plana, afectada por la disección de las quebradas Fucha y Agua Dulce (FGl-3), localizadas en el sector norte y noroccidental de la Hacienda el Carmen.
- Se identificaron 4 ambiente morfogenéticos modeladores del paisaje característico del sector: Glacial, Fluvial, Denudacional y Antrópico
- Morfogeneticamente se identificaron procesos de movimientos en masa Antiguos y recientes localizados en las márgenes de las quebradas Fucha y Agua Dulce.
- El sector norte y occidental del lote es susceptible a los movimientos en masa en donde los agentes detonantes son los caudales de las quebradas agua Dulce y Fucha respectivamente.

7.3 COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO.

- El estudio de la cobertura y los usos del suelo resulta importante como temática geográfica por el amplio abanico de correlaciones que pueden generarse entre las variables físicas y las actividades humanas
- Las coberturas de la tierra con mayor predominio en el área de estudio, en su orden es la unidad clasificada como Pastos limpios con 32,13 ha es decir 57,23% del área de estudio, seguida de la unidad de coberturas bosque de galería la cual se asocia a las quebradas la Fucha, La Requelina y agua dulce con 4,13 Ha (7,35%) y la tercera cobertura con mayor extensión en el área de estudio corresponde a la unidad de coberturas cebolla con 3,52 ha (6,27%).
- El Uso del Suelo pastoreo semi-intensivo (PSI) ocupa una extensión de 35,75 hectáreas que representan el 63,70%, siendo el uso con mayor representatividad en toda el área de estudio,

cabe mencionar que esta categoría de uso asocia lo que son las unidades de cobertura pastos limpios, arbolados, inundados y enmalezados.

- En segundo orden se encuentra el uso del suelo Protección con 4,36 hectáreas (7,78%), esta categoría de uso se asocia principalmente a las Áreas Naturales y Seminaturales. A hora bien el uso del suelo ocupado por el Área Arqueológica Protegida corresponde a 0,51 ha es decir el 0,90%.
- En tercer lugar, encontramos el uso del suelo – Cultivos transitorios intensivos con 3,62 hectáreas (6,45%), este está asociado a las áreas agrícolas heterogéneas, representado por el cultivo de cebolla y tomate por medio de invernaderos.

A continuación, se proponen una serie de medidas orientadas a crear herramientas técnicas que contribuyan a mitigar y reducir las condiciones de amenaza y riesgo en el área de estudio por movimientos en masa. Estas medidas se plantean para las zonas urbanizadas, las áreas destinadas a la actividad agrícola y para aquellas que aún conservan vegetación natural en diferentes estados de sucesión natural.

- Zonas urbanizadas

Diseñar e incorporar en los instrumentos de planificación territorial lineamientos para el desarrollo de sistemas urbanos de drenaje sostenible (SUDS). Esta herramienta técnica se dirige a dar manejo a una de las problemáticas que se identificó en el área de estudio, el manejo y amortiguación de aguas lluvias, sobre todo en los periodos de precipitación, debido a que la urbanización ha generado la impermeabilización del suelo.

Dotar los territorios urbanizados de Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS) compuestos por canales, bajantes y tanques de recolección que retengan, regulen, conduzcan la escorrentía generada por el agua lluvia que concentran las cubiertas de las viviendas y la infraestructura asociada.

- Zonas agrícolas

Restringir en zonas de amenaza alta los cultivos transitorios como el tomate, cebolla y papa toda vez que su condición de ciclo vegetativo corto implica un mayor laboreo del suelo, exposición a procesos erosivos y aumento de la escorrentía superficial que alteran la estabilidad de las laderas.

Promover la conservación y protección de áreas boscosas y seminaturales, como estrategia de contención de la expansión de la urbanización informal, dotándolas de sistemas de drenaje como cunetas, zanjas impermeabilizadas, rondas de coronación, cajas, filtros, disipadores de energía, entre otros, para garantizar la adecuada conducción de las aguas hacías las quebradas como drenaje natural próximo al área.

En zonas de laderas con pendientes fuertes y diversos grados de alteración del suelo, ocasionados por las actividades agrícolas y movimientos en masa, se recomienda según o establecido en el Plan de Restauración Ecológica (PRE) desarrollado por la consultoría N° IDPC-CC-370-2021, aprobado mediante concepto técnico N° 20225110049162 del 13 de julio de 2022 por la Secretaria Distrital de Ambiente establecer árboles nativos sembradas siguiendo las curvas de nivel con el propósito de controlar la erosión y la escorrentía superficial.

En áreas desprovistas de cobertura vegetal por acción de los movimientos en masa se recomienda la construcción de obras biomecánicas que combinen algún material vivo con material inerte para controlar la degradación del suelo por erosión, deslizamientos y lograr recuperar y conservar la calidad y estabilidad de los suelos.

- Zonas verdes y áreas seminaturales

Identificar los árboles con defectos estructurales que puedan producir caídas (de todo el árbol o parte de él) con potencial de ocasionar daños a las personas o a bienes materiales, especialmente aquellos situados próximos a las construcciones o a los taludes viales y definir y operativizar acciones de prevención y reducción del riesgo.

Promover la construcción de obras biomecánicas que combinen algún material vivo como elemento estructural con material inerte para controlar la degradación del suelo por erosión y deslizamientos en las zonas desprovistas de cobertura vegetal y de esta forma recuperar y conservar la calidad y estabilidad de los suelos.

7.4 ANÁLISIS DE DRENAJE SUPERFICIAL

- Se identificaron cuatro drenajes naturales principales en la zona de estudio: Quebradas Fucha, Aguadulce, Requilina y La Taza, siendo la Quebrada Fucha la de mayor caudal y la de mayor extensión en su ronda hídrica.
- No se encontraron vertimientos directos al lote de estudio, pero se observaron vertimientos de drenajes pluviales en los costados opuestos de las vías que bordean el lote.
- Los parámetros de construcción de las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) fueron proporcionados por la EAAB y se generó un hietograma por el método de bloques alternos para las modelaciones hidráulicas a nivel regional y local.
- El modelo hidráulico regional indicó que la Quebrada Fucha tiene los mayores valores de caudales con 48.54 m^3/s, congruentes con los encontrados en el lote directamente contiguo (49.08 m^3/s para el lote Tres Quebradas). El análisis local mostró que las quebradas Fucha y Aguadulce presentan los valores más altos de velocidad del agua y profundidad de la lámina de agua, por lo que se espera concentración de las zonas de amenaza alta y media por inundación sobre sus cauces y márgenes.
- Las quebradas Fucha y Aguadulce son las más afectadas por la dinámica fluvial, con altos valores de velocidad del agua y presencia de movimientos en masa en sus márgenes, lo que indica una importante dinámica de erosión y transporte de sedimentos en estas áreas.
- Se recomienda continuar con la implementación de medidas de control de erosión en las márgenes de las quebradas Fucha y Aguadulce, como la revegetación, para reducir el riesgo de erosión y deslizamientos.

7.5 EVALUACIÓN HIDROGEOLÓGICA

- El estudio se basó en información de estudios previos, incluyendo el Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Superficial en el Perímetro Urbano del Distrito Capital (2018) y el Estudio Fase II El Carmen (2014). La zona de estudio se clasifica como parte del depósito cuaternario, específicamente de la Formación Río Tunjuelo, con posibles variaciones locales debido a la presencia de la Formación Usme.

- Según el Modelo Hidrogeológico, la zona de estudio se considera parte del acuífero superficial, con características hidrogeológicas que varían entre materiales con flujo esencialmente intergranular en la Formación Río Tunjuelo y materiales con limitado o ningún recurso de agua subterránea en la Formación Usme.
- El mapa de recarga natural del acuífero del distrito capital muestra que en el área de estudio del proyecto hay zonas de recarga media a baja, con valores de recarga natural entre 0 y 30 mm/año.
- El estudio AVR anterior incluyó la exploración del subsuelo mediante sondeos y trincheras, con mediciones del nivel freático en varios puntos. Los resultados muestran una variabilidad en el nivel freático en diferentes fechas y ubicaciones dentro del lote de estudio que se corroborarían en la exploración.

7.6 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA PARA LOS ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

- El proyecto se encuentra ubicado en una zona clasificada como Depósito de Ladera, con espesores de entre 5.0 y 30 metros, según lo revelado por perforaciones realizadas por diversas firmas. Sin embargo, conforme al Decreto 523 de 2010, las zonas clasificadas como Depósito de Ladera con espesores superiores a 12 metros se clasifican como zona de piedemonte más cercana, en este caso correspondiente al Piedemonte C, constituido principalmente por depósitos coluviales y aluviales.
- Se han realizado análisis sísmicos aplicables a la Hacienda el Carmen, donde se observa que los períodos dominantes de las señales registradas en las estaciones ubicadas en las zonas de piedemonte están entre 0.4 y 0.7 segundos. Se han calculado los coeficientes de Fa, Fv y Ao para un periodo de retorno de 475 años, y se ha adoptado una aceleración horizontal de 0.16g para la zona de estudio, considerando las condiciones del sitio y la recomendación del Artículo 227 de 2006.

8 BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, J Y HERNANDEZ O. 2000. Análisis tectónico de un área ubicada al oriente del Municipio de Pasca, Departamento de Cundinamarca. Geología colombiana No.25.

ACOSTA, J & ULLOA, C. 1998. Memoria explicativa de la geología de la plancha 246 Fusagasugá. INGEOMINAS. Informe interno 2374b. Bogotá.

Bernal. L. et al (2019). PROPUESTA DE PROTOCOLO PARA LA COMPILACIÓN, CATEGORIZACIÓN Y ANALISIS DE INFORMACIÓN DISPONIBLE DE PROYECTOS QUE ADELANTE EL GRUPO DE CARTOGRAFIA GEOLOGICA Y GEOMORFOLOGICA DE LA DIRECCIÓN DE GEOCIENCIAS BASICAS DEL SGC

CARVAJAL, J.H., 2002. Metodología geomorfológica adaptada por SGC para la evluación de los Movimientos en Masa. Cartilla ilustrativa. 13p. Bogotá.

CARVAJAL ET AL, 2004. Mapa Geomorfológico de la sabana de Bogotá. INGEOMINAS, publicación interna.

CARRILLO E. ET AL. (2021). PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO PARA ELABORACON DE LA CARTOGRAFÍA GEOMORFOLOGÍA EN LA DIRECCIÓN DE GEOCIENCIAS BÁSICAS DEL SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO-SGC

DE PORTA DE J. 1974. Lexique Internationale Stratigraphique. América Latina. Vol. V. CNRS. Paris.

GEO-GIA, 2014. Estudios Detallados de Amenaza y Riesgo por FRM – Fase II, para la Unidad de Gestión Uno Tres Quebradas Etapas I, II y III – Geología y Geomorfología

HOORN, K. 1988. Tipe locality of the Bogotá formation: a sedimentological, petrographical and palinological study. Amsterdam 21p.

HELMENS, K & VAN DER HAMMEN, T. 1995. Memoria explicativa de los mapas del Neógeno y Cuaternario de la sabana de Bogotá. Cuenca alta del río Bogotá. IGAC. Análisis geográficos, 24. Bogotá.

INGEOMINAS-UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (1996). Microzonificación sísmica de Santa Fé de Bogotá. Convenio interadministrativo 01-93.

JULIVERT, M., 1963. Los rasgos tectónicos de la región de la sabana de Bogotá y los mecanismos de formación de estructuras. UIS Bol. Geol., No.10. Bucaramanga.

JAM, 2011. Estudios detallados de amenaza y riesgo de la etapa 1 de la unidad de gestión 1 del plan parcial tres quebradas y obtener el concepto técnico favorable de fopae

JAM, 2011. Mapa Geológico y Geomorfológico local. JAM-B1

MONTOYA, D & REYES, G. 2005. Geología de la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS.

SILVESTRINI RUIZ, M. CÓMO DISCERNIR CUÁL INFORMACIÓN ES DE AUTORIDAD EN INTERNET [EN LÍNEA]. HTTP:// ACPON 1. PONCE. INTER. EDU/CAI /TALLERES / DISERNIRINFO.HTM [CONSULTA: GOOGLE 16/10/2019.

VAN DER HAMMEN, T. 1989. Mapa Neógeno. Cuaternario de la Sabana de Bogotá, Cuenca Alta del Rio Bogotá. IGAC, Bogotá.

Zinck, Alfred. (2012). GEOPEDOLOGIA. Elementos de geomorfología par estudios de suelos y riesgos naturales. ITC. Facultad de Geo-Information Sciencie and Earth observation. Enschede, Netherlands.

FOPAE(2010). ZONIFICACIÓN DE LA RESPUESTA SÍSMICA DE BOGOTÁ PARA EL DISEÑO SISMO RESISTENTE DE EDIFICACIONES.

IDIGER(2022). Resolución 111 del 10 de mayo de 2022. Términos de referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza y riesgo por movimientos en pasa para proyectos de urbanización o parcelación en Bogotá.

Arcila P., J. (1987). Aspectos fisiológicos de la producción de café Coffea Arabica L. En Tecnología del Cultivo del café (p. 59-111). Chinchiná: Cenicafé.

Arcila P., J. (1992). Factores que limitan el desarrollo de las raíces del cafeto. (Avance Técnico No. 176). Manizales: Cenicafé.

Barrera, G. 2003. Evaluación del sistema radical de cuatro especies vegetales en la estabilidad de laderas de la zona cafetera colombiana. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad del medio ambiente y Recursos Naturales. Bogotá Colombia.

Bemhaja, M. 2000. El pasto elefante (Pennisetum purpureum Schum.) INIA Lambare. Boletín de divulgación No. 72. Montevideo – Uruguay.

Cañón, Myriam, 2018. Determinación de las necesidades hídricas en un cultivo de café, en etapa productiva, con base en el conocimiento del balance hídrico. Tesis de Grado para optar al título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas.

Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ, 2017. Sistemas de producción con café a libre exposición solar o en sistemas agroforestales, condiciones para su establecimiento.

Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ, 2016. Conservación del suelo en épocas de altas precipitaciones.

Centro Nacional Para El Estudio Del Bambú – Guadua. 2022. La Guadua: Un Patrimonio Regional Del El Eje Cafetero. En: http://bioeticadeltrabajo.org/bioeticalaboral/content/laguadua.pdf

Corporación Andina de Fomento (CAF). “Iniciativa para la Integración de la Infraestructura Regional Suramericana (IIRSA)”. 2010. Fecha de consulta: 30 de abril de 2009. Disponible en: http://www.caf.com/

Elias M. Gichangi, Donald MG Njarui, Sita R. Ghimire, Mwangi Gatheru, Keziah WN Magiroi (2016). EFFECTS OF CULTIVATED BRACHIARIA GRASSES ON SOIL AGGREGATION AND STABILITY IN THE SEMI-ARID TROPICS OF KENYA, Tropical and Subtropical Agroecosystems, 19 (2016): 205 – 217

IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p

IDEAM, 2012. Ecosistemas / Monitoreo de Suelos y Coberturas de la Tierra / Coberturas de la Tierra En: http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturastierra (25/04/2020)

Instituto Geográfico Agustín Codazzi -IGAC-, 2007. Primer taller de conceptualización sobre coberturas y usos de la tierra.

MIN. AMBIENTE. (2014). Guía técnica para la formulación de los planes de manejo de cuencas hidrográficas Anexo A. Diagnóstico, POMCAS.

Zinck, J. A., 2012. Geopedología, elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Special Lecture Notes Series ISBN: 90 6164 339 2 © ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.

Rendón Saénz., J.R.; Giraldo H., A. Distribución de raíces en café variedad Castillo® bajo dos arreglos espaciales. Revista Cenicafé 70(1):7-17. 2019

RIVERA P., H (1999). Control de derrumbes y negativos en carreteras mediante tratamientos de tipo biológico. Chinchiná, Avances Técnicos Cenicafé No 264: 1-8.

RIVERA P., H (1999). Control de derrumbes y negativos en carreteras mediante tratamientos de tipo biológico. Chinchiná, Avances Técnicos Cenicafé No 264: 1-8.

Romano y Roca J, 2009. La delimitación del suelo urbanizado: el caso de la costa alicantina, España. Centre de Política de Suelo y Valoraciones. Universidad Politécnica de Cataluña.

Zapperi, Paula Andrea Caracterización del escurrimiento urbano en la ciudad de Bahía Blanca Revista Universitaria de Geografía, vol. 23, núm. 2, julio-diciembre, 2014, pp. 125-150 Universidad Nacional del Sur Bahía Blanca, Argentina.

Servicio Geológico Colombiano (2015). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, escala detallada. Bogotá, D. C., Colombia. 182 p.

SUÁREZ DÍAZ, Jaime. “DESLIZAMIENTOS: ANALISIS GEOTECNICO VOLUMEN 1”. En: Colección: GENERAL. Localización: 624.151 / S939 2009. Publicación: Bucaramanga: U. distrital de Santander Descripción, 2009. 588 p.

AIH, Asociación Internacional de Hidrogeólogos (1995). Leyenda Internacional de Los Mapas Hidrogeológicos.

INGEOMINAS (2005). Geología de La Sabana de Bogotá.

Lobo-Guerrero, Alberto (1992). Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y Su Sabana. Recuperado 23 de enero, 2024 de https://dokumen.tips/documents/16-geologia-hidrogeologia-sabana-bogota.html?page=1

Metrovivienda, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2014). Estudio Fase II El Carmen, Informe 3.

Pontificia Universidad Javeriana, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (2018). Modelo hidrogeológico conceptual del acuífero subsuperficial o somero en el perímetro urbano del Distrito Capital. Recuperado 23 de enero de 2023 de https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=15342