

**Evaluación de la amenaza por deslizamiento en el lote 17001010800310001000,
urbanización Juanchito, sector de Maltería, km 4 vía al Magdalena, (Manizales-Caldas),**

Autor:
Stefanny Quiroga Quiroga.

Trabajo presentado como requisito para optar al título de Geóloga



Universidad de Caldas.
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Programa de Geología.
Manizales, Caldas
Julio, 2021

**Evaluación de la amenaza por deslizamiento en el lote 17001010800310001000,
urbanización Juanchito, sector de Maltería, km 4 vía al Magdalena, (Manizales-Caldas),**

Autor:
Stefanny Quiroga Quiroga.

Director:
Geólogo John Jairo Cardona Ríos



Universidad de Caldas.
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales.
Programa de Geología.
Manizales, Caldas
Julio, 2021

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a toda mi familia, en especial a mis padres, María Consuelo Quiroga y José Rodrigo Quiroga, que son las personas más importantes de mi vida y que con esfuerzo han hecho de mí la persona que soy hoy en día, a mis hermanos que me impulsan a crecer y a cumplir mis metas, a mis sobrinos que son mi más valioso tesoro, y finalmente, se lo dedico a mi primo Johan Sebastián Quiroga, quien se fue de este mundo dejando un gran vacío en mi corazón. Q.E.P.D.

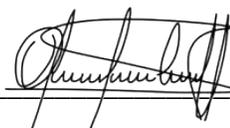
AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la empresa Salvador Giraldo López Sucesores S.A.S, por darme la oportunidad de ser parte de ella y por permitirme desarrollar la práctica académica. Agradezco a mi tutor y asesor académico el profesor John Jairo Cardona Ríos, una gran persona y un excelente profesional, a quien le debo parte de mi formación y de quien he aprendido diferentes conocimientos a lo largo de mi carrera.

Al Ingeniero Maikol Velásquez Arenas, por su compromiso diario, su paciencia, dedicación y acompañamiento en este proceso; pues gracias a él pude desarrollar varias actividades dentro de la empresa.

A mis mejores amigos y colegas que me acompañaron durante todo este proceso de formación profesional, con quienes compartí apoyo, conocimientos y una gran amistad.

NOTA DE ACEPTACIÓN



John Jairo Cardona Ríos
DIRECTOR ACADÉMICO

RESUMEN

El presente documento contiene un análisis detallado de la labor desempeñada en la empresa Salvador Giraldo López Sucesores S.A.S, en la realización del estudio de amenaza por movimientos en masa, bajo los términos de referencia de la Unidad de Gestión del Riesgo de la ciudad de Manizales y apoyado en la normativa vigente para tal fin.

En el mismo se presenta una recopilación de información en donde se propuso una metodología de trabajo buscando identificar aspectos claves para la realización del estudio de amenaza por movimiento en masa. Dicho estudio, se basó en un marco normativo dispuesto por el Congreso de la Republica y las entidades territoriales competentes para tal fin; adicionalmente se realizó un análisis general a nivel local y regional teniendo en cuenta aspectos como la geología a detalle, la geomorfología, el uso del suelo y la cobertura vegetal, entre otros aspectos adicionales como el clima o la hidrología. Se encontró que estos aspectos son indispensables a la hora de analizar zonas con algún tipo de amenaza y que, para el predio, presentan diferentes características propias de la región; posteriormente se realizaron los respectivos análisis de estabilidad e indicadores de la amenaza en *software* especializado y se llegó a la conclusión de que se requieren elementos estructurales adicionales para las condiciones actuales del predio y con esto lograr la desafectación de la zona con amenaza.

Palabras clave: Amenaza, susceptibilidad, riesgo, movimiento en masa, prospección geotécnica, mapeo y desafectación.

ABSTRACT

This document contains a detailed analysis of the developed work in the Salvador Giraldo López Sucesores SAS company, in carrying out the study of landslide hazards, under the Manizales city Risk Management Unit reference terms and supported by current regulations for this purpose.

In it, a compilation of information is presented where a work methodology was proposed, searching to identify key aspects for the hazards caused by landslides study. This study was based on a regulatory framework established by the Republic Congress and the territorial entities competent for this purpose; Additionally, a general analysis has been made at the local and regional level, taking into account aspects such as detailed geology, geomorphology, land use and vegetal cover, among other additional aspects such as climate or hydrology. It was found that these aspects are essential when analyzing areas with some type of hazard and that for the property they present different characteristics typical of the region; later, the respective stability analysis and hazard indicators were carried out in the specialized software and it was concluded that additional structural elements are required for the current conditions of the property and with this to achieve the disaffection of the hazard area.

Keywords: hazard, susceptibility, risk, landslide, geotechnical prospecting, mapping, and disaffection.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	JUSTIFICACIÓN	5
3.	OBJETIVOS	7
3.1	Objetivo General.....	7
3.2	Objetivos Específicos.....	7
4.	METODOLOGÍA	8
4.1	Revisión documental.....	8
4.2	Descripción de la situación actual y estudio multitemporal - antecedentes históricos de la zona de estudio.....	8
4.3	Reconocimiento del área objeto de estudio y trabajo de campo	9
4.4	Elaboración de la cartografía temática.....	11
4.5	Evaluación y Resultados	12
5.	LOCALIZACIÓN.....	15
6.	MARCO TEORICO.....	18
6.1	Marco Normativo.....	18
6.1.1	Decreto 1077 de 2015	18
6.1.2	Decreto 1807 de 2014 (Capítulo II).....	23
6.1.3	Términos de Referencia SCIA-041-2020	25
6.2	Generalidades.....	26
6.2.1	Clima.....	27
6.2.2	Hidrología	27
6.2.3	Antecedentes históricos de la zona de estudio.....	33
6.2.4	Área a intervenir y área de influencia	34
6.2.5	Uso del suelo y Cobertura Vegetal	36
6.3	Geología regional.....	37
6.3.1	Marco tectónico regional	41
7.	ASPECTOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS.....	44

	VI
7.1. Geología Local.....	44
7.2. Geología Estructural	53
7.3 Geomorfología	54
7.3.1 Formaciones Superficiales.....	57
7.3.2 Procesos Erosivos inactivos.....	59
7.3.3 Procesos Erosivos activos	60
7.3.4 Estudio Multitemporal	60
7.4 Campaña de prospección geotécnica	67
7.4.1 Descripción de los sondeos realizados	68
8 ZONIFICACIÓN DE PENDIENTES (MORFOMETRÍA)	70
9 USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO	75
10 FACTORES DETONANTES.....	78
10.1 Sismicidad.....	78
10.2 Precipitaciones	79
10.3 Erupciones volcánicas.....	79
11 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	81
11.1 Parámetros obtenidos del estudio de suelos, la prospección y los sondeos realizados.	81
11.2 Análisis de Estabilidad.....	83
11.3 Análisis de estabilidad perfil 1 sin sismo y con nivel de aguas freáticas	85
11.4 Análisis de estabilidad perfil 1 con sismo y con nivel de aguas freáticas	86
11.5 Análisis de estabilidad perfil 2 sin sismo y con nivel de aguas freáticas	87
11.6 Análisis de estabilidad perfil 2 con sismo y con nivel de aguas freáticas	88
11.7 Análisis de estabilidad perfil 3 sin sismo y con nivel de aguas freáticas	89
11.8 Análisis de estabilidad perfil 3 con sismo y con nivel de aguas freáticas	90
12 DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA.....	94
12.1 Análisis de Amenaza Ambalagan (1992)	94
12.2 Calificación de indicadores de susceptibilidad	95
12.3 Cálculo de la amenaza relativa (Ar).....	98
12.4 Resultados de la evaluación de indicadores de amenaza por deslizamiento Ambalagan (1992) 98	
12.5 Resultado del cálculo de la amenaza relativa (Ar).....	105
13 DISCUSIÓN	106

	VII
13.1 Zonificación de la aptitud del suelo, conforme con los resultados del estudio.....	106
13.2 Aspectos viales, entrega de aguas y de servicios públicos	107
13.3 Sistema de instrumentación, monitoreo y seguimiento	108
14 CONCLUSIONES	109
15 RECOMENDACIONES.....	112
16 BIBLIOGRAFÍA	114
17 ANEXOS	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del área de estudio A. Departamento de caldas, (Dane, 2012), B. Municipio de Manizales. C. imagen satelital zona de estudio (Google Earth, 17 de febrero de 2020).	17
Figura 2. Mapa de red hidrográfica y subcuencas río Chinchiná. (IDEA UNAL & Corpocaldas, 2013)	29
Figura 3. Cuenca de la Quebrada Manizales. (IDEA UNAL & Corpocaldas, 2013)	31
Figura 4. Cauces aledaños a la zona de estudio. (Google Earth 2021)	32
Figura 5. Mapa de área a intervenir y área de influencia.....	35
Figura 6. Depósito matriz soportado con clastos de andesitas(ad) y granodioritas (gr)	44
Figura 7. Depósitos aluviales lenticulares del Abanico aluvial de Maltería, intercalados con depósitos de caída piroclástica.....	46
Figura 8. Rocas presentes en la zona. A la izquierda: Filita. A la derecha: Esquisto graffítico. ...	47
Figura 9. Muestras rodadas de las rocas presentes en la zona: A la izquierda: Andesita con presencia de meteorización. A la derecha: Granodiorita – Tonalita.	48
Figura 10. Terraza aluvial de la quebrada Tesorito.	50
Figura 11. Geología de la plancha 206, Manizales. (Gonzales, 2001). Adaptado para el presente trabajo.	54
Figura 12. Unidades Denudacionales. Fuente propia.	56
Figura 13. Unidades Depositacionales.....	57
Figura 14. Unidades Antropogénicas.....	57
Figura 15. Fotografía aérea para el año 1955. Fuente: (IGAC).	61
Figura 16. Imagen satelital zona de estudio, Google Earth, 1969.	62
Figura 17. Fotografía aérea para el año 2002. Fuente: (IGAC).	63
Figura 18. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2014.	64
Figura 19. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2015.	65
Figura 20. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2019.	66
Figura 21. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2020.	67
Figura 22. Localización de sondeos.....	69

Figura 23. Perfil típico de la zona de estudio.....	69
Figura 24. Mapa Morfométrico zona de estudio. Versión basada en la ANLA.	70
Figura 25. Mapa Morfométrico según Versión basada en Ambalagan (1992).....	72
Figura 26. Predominio de pendientes inferiores al 50% en la zona de estudio.	74
Figura 27. Uso de suelo correspondiente principalmente a pastos y vegetación de porte bajo, pero se observan hacia la parte del fondo árboles nativos.	76
Figura 28. Uso de suelo correspondiente a Pastoreo.	76
Figura 29. Muro de contención y sistema de drenaje con una alcantarilla de 34".....	77
Figura 30. Análisis de estabilidad perfil 1, sin sismo y con condición de aguas freáticas.	86
Figura 31. Análisis de estabilidad perfil 1, con sismo y con condición de aguas freáticas.	87
Figura 32. Análisis de estabilidad perfil 2, sin sismo y con condición de aguas freáticas.	88
Figura 33. Análisis de estabilidad perfil 2, con sismo y con condición de aguas freáticas	89
Figura 34. Análisis de estabilidad perfil 3, sin sismo y con condición de aguas freáticas.	90
Figura 35. Análisis de estabilidad perfil 3, con sismo y con condición de aguas freáticas	91
Figura 36. Detalle zanja colectora propuesta. Fuente propia.....	93
Figura 37. Localización de estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio. (SIMAC, 20 de enero de 2021).....	101
Figura 38. Gráfico precipitación años 2015 - 2020, estación Quebrada Manizales – Skinco. (CDIAC, 28 de marzo de 2021).....	102
Figura 39. Gráfico de precipitación años 2011 - 2020, estación quebrada Tesorito. (CDIAC, 28 de marzo de 2021).....	103

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rango de Pendientes. (Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), 2016). .	12
Tabla 2. Coordenadas planas predio objeto de estudio. Fuente propia.....	17
Tabla 3. Escalas de trabajo, Decreto 1077 de 2015	18
Tabla 4. Rango de pendientes y su área.....	72
Tabla 5. Sectorización rango de pendientes zona de estudio.....	73
Tabla 6. Valor del factor detonante por sismo.....	78
Tabla 7. Valor del factor detonante por precipitación.	79
Tabla 8. Símbolos utilizados en la clasificación SUCS. Casagrande (1932).....	82
Tabla 9. Valores de Kst mínimos para análisis pseudoestáticos de taludes (Tabla H.5.2-1 NSR-10). 84	84
Tabla 10. Factores de seguridad básicos mínimos (Tabla H.2.4-1 NSR-10).....	85
Tabla 11. Cuadro resumen valores análisis de estabilidad, condiciones actuales.	92
Tabla 12. Rangos de amenaza relativa por deslizamientos.....	94
Tabla 13. Susceptibilidad debido a la pendiente del terreno.	95
Tabla 14. Susceptibilidad por las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas.	97
Tabla 15. Susceptibilidad de la ladera por uso del suelo y cobertura vegetal.	97
Tabla 16. Calificación por rango de pendientes de la zona de estudio. Fuente propia basada en la metodología Ambalagan (1992).	99
Tabla 17. Valor del factor detonante por sismos en la zona de estudio. Fuente propia basada en la metodología Ambalagan (1992).	100
Tabla 18. Precipitación años 2015 - 2020, estación Quebrada Manizales – Skinco. (CDIAC, 28 de marzo de 2021).....	102
Tabla 19. Precipitación años 2011 - 2020, estación quebrada Tesorito. (CDIAC, 28 de marzo de 2021).....	103
Tabla 20. Cálculo de la precipitación anual promedio de ambas estaciones meteorológicas.....	104
Tabla 21. Valor del factor detonante por precipitaciones en la zona de estudio.	104
Tabla 22. Cálculo de la amenaza relativa de la zona de estudio.....	105

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa área a intervenir y área de influencia.

Anexo 2. Mapa Geológico zona de estudio.

Anexo 3. Mapa Geomorfológico.

Anexo 4. Mapa Morfométrico.

Anexo 5. Mapa de uso del suelo y cobertura vegetal.

Anexo 6. Perforaciones manuales, resultados de laboratorio.

Anexo 7. Mapa de localización de perfiles transversales.

Anexo 8. Perfiles transversales zona de estudio.

Anexo 9. Resultados del análisis de estabilidad.

Anexo 10. Mapa de Amenaza por movimiento en masa.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la ley 1523 de 2012, artículo 1, la gestión del riesgo de desastres es un proceso social que permite la formulación, evaluación, ejecución y seguimiento de estrategias, planes, programas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo; así como también, el manejo de desastres con el fin de contribuir a la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas.

En la ciudad de Manizales actualmente los fenómenos naturales que tienen una mayor incidencia son los movimientos en masa; y como se ha visto en la ciudad, estos han ocasionado eventos catastróficos a lo largo del tiempo y en diferentes sectores, dejando pérdidas humanas y cuantiosas pérdidas materiales. Es por ello que la determinación de todos los factores que se involucran en la ocurrencia de un evento desastroso juegan un papel muy importante, ya que contribuye a un mejoramiento de la calidad de vida de las personas y a su vez mitiga el impacto que pudieran generar.

Para entender un poco más sobre el tema, es necesario ver que existen tres factores a tener en cuenta a la hora de evaluar los fenómenos naturales, y estos son: la amenaza, la cual se entiende como la posibilidad de ocurrencia de uno de estos fenómenos naturales, ya sea por la existencia de factores detonantes, como se analiza en el presente documento; la vulnerabilidad; cuya definición corresponde a la susceptibilidad o nivel de exposición que exhiben las estructuras presentes, tales como edificaciones, redes de servicios públicos,

entre otras, y que se pudieran ver afectadas ante una amenaza. Finalmente, el riesgo, cuyo resultado se obtiene de relacionar la amenaza y la vulnerabilidad, y que presenta una pérdida esperada en un lapso de tiempo (Cardona, 1991).

Los movimientos en masa entendidos como el fenómeno natural por el cual se desplazan grandes volúmenes de material ya sea de suelo, roca o regolito sobre las laderas a favor de la pendiente y por acción de la gravedad, tienen como detonantes en la mayor parte de los casos el factor “agua” y el factor “pendiente” y son en gran medida los procesos de mayor destrucción, modificación de la topografía y el paisaje (Manrique *et al.*, 2016).

Este documento presenta el predio identificado con ficha catastral N° 17001010800310001000, en el cual se pretende a futuro realizar la construcción de un proyecto urbanístico, buscando el desarrollo del sector, y en el cual según el plan de ordenamiento territorial de la ciudad, se evidencia parcialmente una amenaza media por deslizamiento, razón por la cual se hace necesario estudiar, sectorizar y mitigar la amenaza.

De acuerdo a lo citado con anterioridad, este trabajo se realizó en dieciséis capítulos que desarrollan a cabalidad el estudio de la amenaza presente en la zona y están descritos de la siguiente manera: El capítulo I realiza la introducción a la zona de estudio, mostrándo una idea de la importancia de la gestión del riesgo a la hora de prevenir desastres naturales y una descripción del contenido a desarrollar en el trabajo; el capítulo II muestra la justificación del estudio y se presenta el porqué de realizar este tipo de estudios y cuál es

la razón de desarrollarlo en la zona; el capítulo III muestra los objetivos a cumplir con el desarrollo de las diferentes actividades efectuadas a lo largo del trabajo; el capítulo IV expone la metodología empleada, relacionando las etapas implementadas como la recolección de la información, antecedentes, trabajo de campo, elaboración de la cartografía temática, etc. El capítulo V muestra la localización detallada de la zona de estudio con las coordenadas planas que lo definen y los diferentes límites del predio; el capítulo VI menciona el marco teórico, en el cual se nombran los lineamientos normativos bajo los cuales se rigió la elaboración del estudio y algunas generalidades como la hidrología, los antecedentes históricos, usos del suelo y cobertura vegetal, geología regional, entre otros; el capítulo VII muestra los aspectos geológicos, geomorfológicos y geotécnicos a nivel local; el capítulo VIII presenta el análisis morfométrico en la zona de estudio, en donde se evidencian las diferentes pendientes del terreno y su distribución.

En el capítulo IX se expone la situación actual del uso del suelo y la cobertura vegetal actual presente en la zona de estudio, el capítulo X muestra los factores detonantes que son claves para el desarrollo de un movimiento en masa, como son la sismicidad, las precipitaciones y los fenómenos de erupciones volcánicas; el capítulo XI presenta el modelamiento del análisis de estabilidad con ayuda de los parámetros obtenidos del estudio de suelos y ofrece una explicación de cada uno de los resultados obtenidos. El capítulo XII muestra una visión más clara del desarrollo de la metodología empleada en la búsqueda de obtener resultados para la sectorización y análisis, calificando los indicadores de susceptibilidad y realizando la evaluación respectiva para determinar la amenaza presente

en el predio; el capítulo XIII presente una discusión de la aptitud y zonificación del suelo conforme con los resultados del estudio, además de aspectos viales, redes de servicios públicos, monitoreo y seguimiento, finalmente los capítulo XIV, XV y XVI plantean las conclusiones, las recomendaciones obtenidas a partir de todos los datos e interpretaciones realizadas en este estudio y la bibliografía, respectivamente.

2. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad muchas personas emprendedoras buscan el desarrollo y el crecimiento económico con la implementación de infraestructura nueva, que permita generar un aumento en la economía no solo a nivel personal sino también a nivel regional, logrando avances, crecimiento y generación de empleo, lo cual es algo beneficioso para el país. Sin embargo, muchas veces esta búsqueda de mejoramiento y de crecimiento a nivel de infraestructura, se ve entorpecida por fenómenos naturales que muchas veces no prevemos y por los cuales en numerosas ocasiones se presentan situaciones de riesgo. El caso particular del predio 17001010800310001000 es una muestra de lo mencionado, ya que a futuro se pretende realizar un proyecto urbanístico, que permita un mayor crecimiento económico del sector de Maltería, y si no se realizan los análisis y estudios necesarios para determinar las medidas de mitigación, los riesgos naturales pueden afectar el desarrollo del mismo.

Actualmente, siguiendo el planteamiento de la cartografía temática del plan de ordenamiento territorial, analizando que el predio cuenta con una amenaza sectorizada por movimiento en masa y debido a los futuros planes urbanísticos de la compañía SALVADOR GIRALDO LÓPEZ SUCESORES S.A.S en el área de estudio, se hace imperativa la necesidad de estudiar la amenaza por deslizamiento, con el fin de determinar, planificar y preparar el terreno para futuras obras de mitigación.

Por esta razón se llevó a cabo la elaboración de este trabajo con el fin de evaluar esos factores naturales que no se pueden detener, pero que si pueden prevenirse, para así determinar la amenaza existente en el predio y plantear soluciones favorables a la realización de cualquier proyecto que se quisiera realizar a futuro. Adicionalmente, es importante recalcar que desarrollar infraestructura en el área de interés, sin análisis y estudios de amenaza bajo las condiciones actuales del terreno, podría sobrecargar zonas del talud y desencadenar movimientos en masa que incluso podrían ocasionar una obstrucción y represamiento del cauce natural de la quebrada Tesorito, cuyo recorrido delimita el lote objeto de estudio por el costado sur, paralelo a la vía al Magdalena; de presentarse un deslizamiento, en el peor de los escenarios podría desatarse una avenida torrencial, razón por la cual es indispensable la realización de este estudio.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Realizar la evaluación de la amenaza por deslizamiento para el lote 01080000003100010000000000, en un área de 70213 m² localizado en el km 4 Vía al Magdalena, barrio Juanchito, Maltería, perteneciente a la empresa Salvador Giraldo López Sucesores S.A.S. De acuerdo, con los Términos de referencia expedidos por la Unidad de Gestión del Riesgo de la ciudad de Manizales.

3.2 Objetivos Específicos

- Realizar los diferentes análisis cartográficos, metodologías y actividades complementarias para la determinación de las áreas con algún tipo de amenaza por deslizamiento.
- Realizar la cartografía temática a escala detallada 1:1000, según lo determinen los términos de referencia expedidos por la unidad de gestión del riesgo del municipio de Manizales.
- Realizar la evaluación de la amenaza por deslizamiento, determinando los elementos detonantes, factores de susceptibilidad, entre otros, utilizando la metodología adecuada según sea el caso.
- Determinar medidas y acciones recomendadas que permitan mitigar o suprimir el impacto de la amenaza, así como también obras complementarias.

4. METODOLOGÍA

Este trabajo se realizó en 5 fases que partieron desde la revisión bibliográfica hasta la evaluación y resultados, cada una de las etapas desarrolladas se describe a continuación.

4.1 Revisión documental

En esta fase, se realizó la revisión de la documentación que alberga elementos de interés tales como: la clasificación del suelo, los sistemas estructurantes que definen áreas de interés ambiental, clasificación de las amenazas presentes en el predio, los sistemas normativos dispuestos en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio y otros elementos como el uso del suelo y la normatividad vigente.

4.2 Descripción de la situación actual y estudio multitemporal - antecedentes históricos de la zona de estudio

Para la ejecución de esta fase, con ayuda de la información recolectada en la fase anterior, se realizó la búsqueda de imágenes satelitales y fotografías aéreas de la zona de estudio y sus alrededores con el fin de obtener una visión general de las problemáticas existentes y su desarrollo a través del tiempo y así poder prever problemas futuros que podrían presentarse con la amenaza existente en el predio; determinar que obras existieron años atrás y cuales se deben implementar o que uso se le va a dar al lote en un futuro. Adicionalmente, tratar de identificar procesos erosivos antiguos, usos del suelo, geoformas del terreno u obras de estabilidad existentes.

4.3 Reconocimiento del área objeto de estudio y trabajo de campo

Se realizó inicialmente un reconocimiento de campo o visita técnica al área de estudio con el fin de realizar un análisis visual inicial, este permitió identificar algunos rasgos característicos del terreno y las condiciones actuales del mismo, referentes a topografía y morfología general del terreno, las pendientes más elevadas, el uso actual del suelo, drenajes en o cercanos al predio, vías de acceso, procesos erosivos superficiales en general y obras existentes.

Para la fase de campo se determinaron y organizaron 16 días de trabajo en los cuales se identificó y actualizó la topografía existente; de tal manera que se tuviera un mapa topográfico georreferenciado, con coordenadas reales y con todos los elementos esenciales para un correcto análisis de la zona de estudio. Posteriormente se realizó la cartografía geológica y geomorfológica detallada, determinando las formaciones superficiales, los depósitos más representativos, la geomorfología a grandes rasgos, los procesos erosivos presentes, la geología estructural en general, el uso del suelo y las coberturas vegetales actuales.

Para complementar la información de campo, se desarrolló una campaña de prospección geotécnica, el método de prospección en la zona de estudio consistió en la realización de sondeos con tubería de 1", con un barreno tipo helicoidal, a cargo de la empresa Quasar Ingenieros Consultores. Se efectuaron cuatro (4) perforaciones estratégicamente ubicadas, tratando de cubrir diferentes sectores del predio. De cada una de las perforaciones se

extrajeron muestras en tubos de pared delgada y en bolsa para ensayos de laboratorio, los ensayos realizados fueron los siguientes:

✓ **Clasificación:**

Granulometría por lavado (pasante Tamiz # 200).

Límites de Atterberg:

✓ **Propiedades físicas:**

Humedad Natural.

✓ **Peso Unitario:**

Húmedo.

Seco.

✓ **Propiedades Mecánicas:**

Resistencia a la Compresión Inconfinada.

Los demás parámetros geotécnicos fueron obtenidos mediante correlaciones empíricas propuestas en la literatura, según Albert Mauritz Atterberg (Blackall, 1952).

Para esta fase se empleó un gps Garmin eTrex 20x para la actualización de puntos topográficos y la localización de zonas de interés, así como la toma de muestras, cambios de litología, cruces de cauces, entre otros. Adicionalmente se sobrevoló la zona con ayuda de un dron dji Mavic pro, el cual proporcionó una perspectiva aérea de las condiciones actuales reales de la zona de estudio y permitió el acceso a zonas remotas.

4.4 Elaboración de la cartografía temática

Para la ejecución de esta fase, se utilizó el *software* Autocad Civil 3d 2018 de la empresa Autodesk, el *software* sig *Global Mapper*, versión 19 de *Blue Marble Geographics* y *Google Earth Pro* de *Keyhole Inc*, estos *software* se utilizaron bajo licencias educativas. El sistema de georreferenciación fue Magna Sirgas Colombia Bogotá, y la escala de trabajo determinada fue de 1:1000 a pesar de que la normativa indica una escala de trabajo mínima de 1:2000; se debe resaltar que las dimensiones del predio no permiten trabajar en esta escala y por ello se trabajó a una escala más detallada. La elaboración de cada mapa se realizó con base en el modelo topográfico actualizado durante la fase de campo y teniendo en cuenta las ortofotos capturadas con el dron.

Con los diferentes *software* utilizados, se realizó el análisis de los datos en 2d y una superficie o dem en 3d, que permitió una mejor visualización de la geometría del terreno; con estos análisis se realizó la georreferenciación, los mapas temáticos, los perfiles transversales, etc.

Para la zonificación de pendientes se tomaron en cuenta los valores de rangos de pendientes dispuestos en el diccionario de datos geográficos de la Agencia Nacional de licencias ambientales (ANLA), siguiendo el dominio correspondiente (Tabla 1):

Dominio:	Dom_PenSuelo
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
6010	A nivel, 0-1% (a)
6020	Ligeramente plana, 1-3% (a)
6030	Ligeramente inclinada, 3-7% (b)
6040	Moderadamente inclinada, 7-12% (c)
6050	Fuertemente inclinada, 12-25% (d)
6060	Ligeramente escarpada o ligeramente empinada, 25-50% (e)
6070	Moderadamente escarpada o moderadamente empinada, 50-75% (f)
6080	Fuertemente escarpada o fuertemente empinada, 75-100% (g)
6090	Totalmente escarpada, >100% (g)

Tabla 1. Rango de Pendientes. (Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), 2016).

4.5 Evaluación y Resultados

En esta etapa se desarrolló una modelación matemática que consistió en el análisis de estabilidad del talud que presentó amenaza media por deslizamiento, esto con la ayuda del *software Slide* versión 6.0 de *Rocscience*, bajo licencia educativa, y los resultados obtenidos de la topografía, geología, niveles freáticos, prospección geotécnica y otros parámetros arrojados en los sondeos realizados en la fase de campo. Para determinar el

factor de seguridad de superficies de falla y poder recomendar o no obras de estabilidad en las áreas afectadas, se utilizó el método de estabilidad de Bishop (1995).

Esta modelación identificó por medio del *software* y bajo las condiciones actuales del talud, si este presentaba inestabilidad o susceptibilidad a la ocurrencia de una falla en un escenario normal y bajo la influencia de mecanismos de activación como la infiltración de agua o la presencia de un sismo, para lo cual se calculó el factor de seguridad; con este análisis no se pretendió dar un grado de amenaza, sino un acercamiento a las condiciones geotécnicas del talud y lo que podría o no suceder dependiendo de las condiciones actuales y a las que se someta; para esto se utilizaron parámetros como el peso unitario del suelo, la cohesión, las características geológicas de los materiales presentes en el perfil del terreno y las condiciones hidrológicas.

Posteriormente se utilizó la metodología de Ambalagan (1992), la cual se fundamenta en la utilización de los sistemas de información geográfica (SIG), con los cuales se elaboraron los mapas temáticos, para realizar una superposición y zonificación de la amenaza. La zonificación de la amenaza se determinó por medio de una calificación de la misma, dependiendo de la susceptibilidad del terreno objeto de estudio a sufrir cualquier tipo de deslizamiento. Esta se midió con indicadores estandarizados de susceptibilidad y teniendo en cuenta los factores detonantes, como por ejemplo los sismos, la saturación de agua por lluvias e infiltración, las erupciones volcánicas, entre otros factores.

La metodología mencionada comprendió las siguientes actividades:

- ✓ De acuerdo con las características ambientales del área de estudio se seleccionaron los indicadores de susceptibilidad a los deslizamientos, que se emplearon en la zonificación de amenazas relativas. Entre los indicadores de susceptibilidad a los deslizamientos se encuentran: Las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas, uso y cobertura actual del suelo y la pendiente del terreno.
- ✓ A continuación, se analizaron los factores detonantes de deslizamiento que se pueden presentar en la zona de estudio. En un mapa se localizaron los sitios vulnerables por diferentes factores detonantes. (Ver Anexo 7 y 8)
- ✓ Luego, mediante la utilización de un programa de diseño asistido por computador, se generaron los cuatro mapas temáticos a una escala apropiada como se indicó en el ítem 4.4. Para este caso en particular, se utilizó la escala definida anteriormente como 1:1000, que en general depende del uso que se le quiera dar a la información.
- ✓ En los mapas temáticos se identificaron unidades a las cuales se les asignó un valor que corresponde a su grado de susceptibilidad dentro del respectivo indicador.
- ✓ Finalmente, se realizó una superposición (*OVERLAY*) de mapas mediante la utilización del *software Autocad Civil 3d 2018*.

Con base en la evaluación anterior y en los resultados arrojados, se elaboró el informe final y se determinaron conclusiones y recomendaciones.

5. LOCALIZACIÓN

La ciudad de Manizales se ubica en el centro occidente de Colombia, en la Cordillera Central, situada a una altura de 2153 msnm, en el departamento de Caldas, cerca al Nevado del Ruiz, y con una extensión de 571.8 km². Limita al norte con el municipio de Neira, al este con el municipio de Marulanda, al oeste con el municipio de Palestina y al sur con el municipio de Villamaría (Alcaldía de Manizales, 2017-2031).

El área de interés se localiza al este de la ciudad de Manizales, en la comuna tesorito, propiamente, barrio Maltería. Para acceder a la zona, se toma la vía al Magdalena hasta el km 4, y se ingresa a la urbanización Juanchito, predio 17001010800310001000, limitado por las coordenadas planas que se presentan a continuación en la tabla 2 (Figura 1).

COORDENADAS PREDIO					
PUNTO	E	N	PUNTO	E	N
1	849361,25	1048840,81	53	849797,87	1048740,75
2	849373,18	1048846,56	54	849804,72	1048726,54
3	849397,14	1048857,06	55	849809,98	1048715,13
4	849412,79	1048859,93	56	849809,33	1048711,04
5	849420,93	1048859,89	57	849804,04	1048704,62
6	849430,56	1048857,06	58	849799,86	1048692,17
7	849438,72	1048851,35	59	849789,60	1048677,28
8	849444,40	1048849,96	60	849779,18	1048665,84
9	849453,59	1048850,75	61	849767,21	1048652,93
10	849463,86	1048857,93	62	849765,99	1048666,24
11	849472,71	1048868,20	63	849774,74	1048674,48
12	849483,52	1048880,25	64	849783,92	1048685,53
13	849488,31	1048889,97	65	849789,35	1048699,57
14	849492,41	1048899,63	66	849784,88	1048716,84
15	849495,71	1048903,78	67	849772,17	1048724,15

COORDENADAS PREDIO					
PUNTO	E	N	PUNTO	E	N
16	849501,94	1048911,42	68	849766,26	1048737,62
17	849503,15	1048912,88	69	849747,25	1048744,42
18	849511,01	1048921,22	70	849729,96	1048741,62
19	849514,83	1048925,16	71	849718,23	1048736,57
20	849520,64	1048931,34	72	849709,81	1048741,75
21	849523,85	1048934,79	73	849697,53	1048743,18
22	849536,48	1048946,54	74	849678,32	1048751,96
23	849542,39	1048949,22	75	849645,95	1048751,52
24	849551,77	1048949,99	76	849627,74	1048749,72
25	849561,94	1048947,79	77	849612,39	1048736,68
26	849572,88	1048946,52	78	849603,11	1048732,68
27	849581,28	1048948,12	79	849591,86	1048732,58
28	849587,04	1048951,19	80	849579,73	1048741,89
29	849591,21	1048953,42	81	849566,75	1048751,57
30	849599,24	1048953,01	82	849550,47	1048760,97
31	849612,91	1048943,97	83	849538,44	1048762,09
32	849618,57	1048940,82	84	849519,38	1048757,25
33	849632,66	1048938,34	85	849509,36	1048754,35
34	849639,85	1048934,93	86	849507,27	1048756,02
35	849648,15	1048928,36	87	849502,18	1048768,67
36	849656,55	1048923,60	88	849493,13	1048779,80
37	849667,78	1048917,97	89	849491,36	1048784,26
38	849682,09	1048920,34	90	849485,08	1048789,16
39	849695,70	1048917,26	91	849482,68	1048796,28
40	849712,09	1048908,13	92	849481,88	1048803,71
41	849717,03	1048906,55	93	849472,50	1048806,06
42	849719,85	1048900,11	94	849453,65	1048803,21
43	849723,03	1048896,54	95	849444,57	1048801,73
44	849730,90	1048899,49	96	849435,23	1048801,85
45	849736,56	1048905,03	97	849426,70	1048800,68
46	849739,98	1048906,97	98	849420,63	1048799,43
47	849746,03	1048905,53	99	849413,05	1048808,00
48	849749,64	1048903,30	100	849404,02	1048818,38
49	849756,48	1048896,96	101	849394,90	1048829,83
50	849753,49	1048889,58	102	849394,90	1048829,83

COORDENADAS PREDIO					
PUNTO	E	N	PUNTO	E	N
51	849756,38	1048879,70	103	849372,18	1048835,32
52	849760,96	1048849,25	104	849361,25	1048840,81

Tabla 2. Coordenadas planas predio objeto de estudio. Fuente propia.

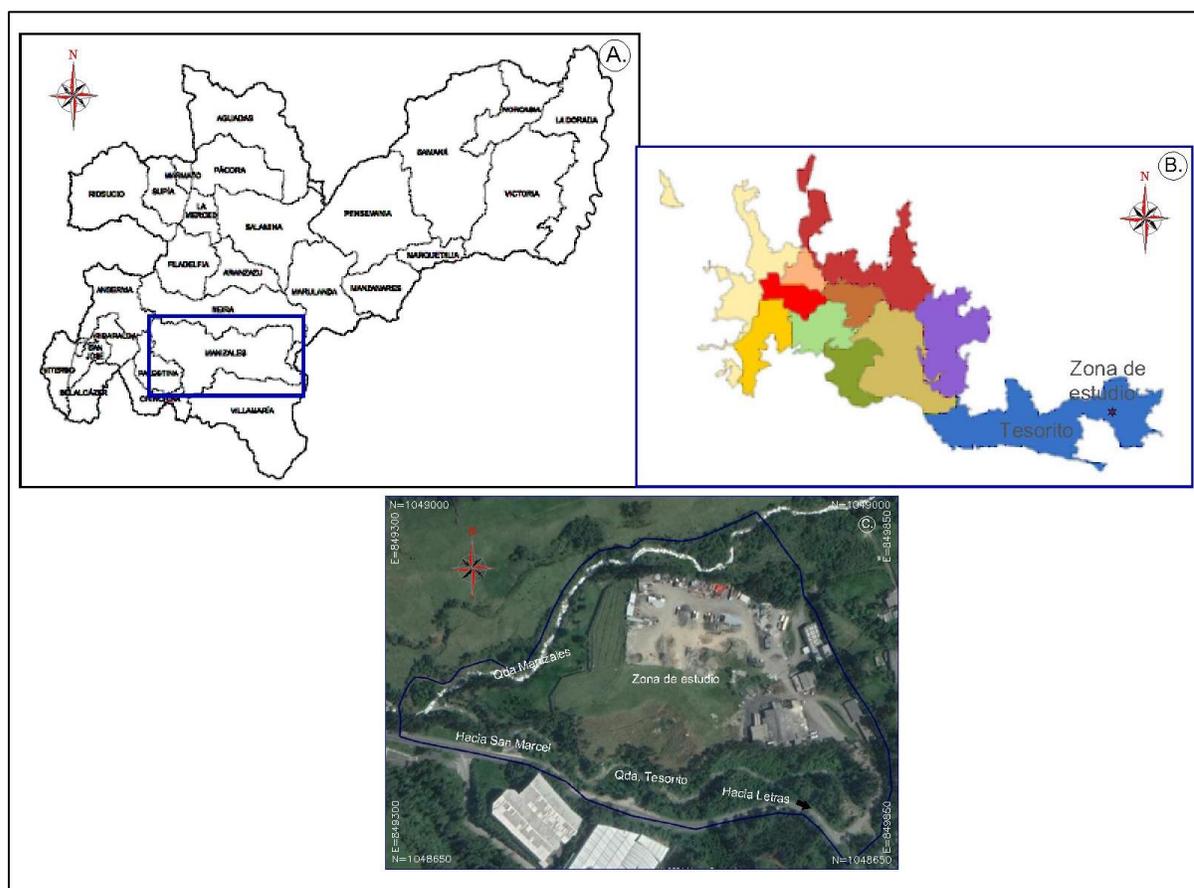


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio A. Departamento de caldas, (Dane, 2012), B. Municipio de Manizales. C. imagen satelital zona de estudio (Google Earth, 17 de febrero de 2020).

El lote en general limita al noroccidente con la Quebrada Manizales, al sur con la quebrada Tesorito y la vía al Magdalena y al este con el barrio Maltería y algunas empresas del sector.

6. MARCO TEORICO

6.1 Marco Normativo

Los criterios establecidos por el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Manizales (Alcaldía de Manizales, 2017-2031), para realizar estudios detallados de amenaza por deslizamiento se encuentran señalados en el Documento Técnico de Soporte (DTS) Componente General, el cual indica que todas las intervenciones u obras de infraestructura vial y de servicios públicos requerirán la elaboración de estudios detallados que determinen la mitigabilidad de la amenaza y/o del riesgo en un área definida, y tendrán que cumplir las especificaciones técnicas metodológicas establecidas para el efecto y de conformidad con lo establecido en los siguientes decretos:

6.1.1 Decreto 1077 de 2015

Para el trámite de licencias urbanísticas, se tendrán en cuenta los artículos:

- ✓ **2.2.2.1.3.1.5. Escala de trabajo.** De conformidad con las clases de suelo establecidas en la Ley 388 de 1997, los estudios se elaboran, como mínimo, en las siguientes escalas (Tabla 3):

TIPO DE ESTUDIO	CLASE DE SUELO	ESCALA
Estudio Básico	Urbano	1:5.000
	Expansión Urbana	1:5.000
	Rural	1:25.000
Estudio detallado	Urbano	1:2.000
	Expansión Urbana	1:2.000
	Rural Suburbano	1:5.000

Tabla 3. Escalas de trabajo, Decreto 1077 de 2015

PARÁGRAFO 1º. Los municipios o distritos que cuenten con información a una escala de mayor detalle deben emplearla para el desarrollo de los respectivos estudios.

PARÁGRAFO 2º. Aquellos municipios o distritos con centros poblados rurales que por su alto grado de exposición a la ocurrencia de fenómenos naturales han sido afectados o tienen la posibilidad de ser afectados, deben adelantar los estudios básicos como mínimo a escala 1:5.000.

✓ **2.2.2.1.3.2.2.1. Estudios detallados.** Los estudios detallados deben contener lo siguiente para cada uno de los eventos analizados:

1. Análisis detallado de amenaza.
2. Evaluación de vulnerabilidad.
3. Evaluación del riesgo.
4. Determinación de medidas de mitigación.

PARÁGRAFO. En las zonas no ocupadas, esto es, que no hay elementos expuestos, se deben considerar las alternativas de intervención conducentes a la reducción de la amenaza, siempre y cuando sean viables desde el punto de vista ambiental, técnico, financiero y urbanístico.

✓ **2.2.2.1.3.2.2.2. Análisis detallado de amenaza por movimientos en masa.** Para determinar la categorización del riesgo por movimientos en masa, los estudios de amenaza tienen las siguientes especificaciones mínimas:

1. Área de estudio. Se referirá a las áreas con condiciones de riesgo y amenaza, por movimientos en masa delimitadas en el plan de ordenamiento territorial, a partir de los estudios básicos de que tratan los artículos anteriores. Estas áreas podrán ser precisadas con base en la geoforma de la zona objeto de análisis.

2. Insumos. Se consideran como insumos mínimos que se elaboran y evalúan a la escala de trabajo, los siguientes:

2.1 Geología para ingeniería.

2.2 Geomorfología a nivel de elementos.

2.3 Hidrogeología, con énfasis en comportamiento de los niveles freáticos.

2.4 Evaluación del drenaje superficial.

2.5 Sismología.

2.6 Uso del Suelo.

2.7 Exploración del subsuelo.

2.8 Levantamiento topográfico, incluyendo la información predial o catastral.

3. Alcance. El análisis de la amenaza a nivel detallado se realiza empleando por lo menos métodos determinísticos y modelos matemáticos, en función de la dinámica del movimiento en masa objeto de análisis.

Como parte del análisis de amenaza se debe tener en cuenta las causas de la inestabilidad del terreno, considerando dentro de los agentes detonantes los siguientes factores: agua, sismo y procesos antrópicos (cortes, excavaciones, rellenos y construcciones en general), mediante el análisis mínimo de tres escenarios.

4. Productos: Mapas de zonificación de amenaza por movimientos en masa, según lo dispuesto en el presente artículo. Se debe elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

✓ **2.2.2.1.3.2.2.7. Medidas de Intervención.** Para la prevención, mitigación del riesgo y/o reducción de la amenaza y/o vulnerabilidad de conformidad con lo previsto en el artículo anterior, el estudio de evaluación de riesgo planteará medidas que podrán ser estructurales y no estructurales.

1. Las medidas estructurales, son medidas físicas encaminadas a la realización de acciones y obras para atender las condiciones de riesgo ya existentes. Entre otras se consideran las siguientes: obras de estabilización y de reforzamiento de

edificaciones e infraestructura, las cuales deben ser predimensionadas sobre la cartografía a nivel de prediseño, con el estimativo de costos correspondiente. En la determinación de este tipo de medidas se deben considerar los potenciales efectos que producirán aguas abajo.

En las zonas donde se define que el riesgo es no mitigable se deben identificar en detalle las viviendas y construcciones que serán objeto de reasentamiento, además de las obras de estabilización necesarias para evitar que aumente la influencia del fenómeno en estudio.

2. Las medidas no estructurales, orientadas a regular el uso, la ocupación y el aprovechamiento del suelo mediante la determinación de normas urbanísticas, proyectos para la implementación de sistemas de alertas tempranas en los casos que aplique, así como la socialización y apropiación cultural de los principios de responsabilidad y precaución.

✓ **2.2.2.1.3.2.2.8. Incorporación de los resultados de estudios detallados al POT.**

Con base en los resultados de los estudios detallados y mediante acto administrativo, el alcalde municipal o distrital o la dependencia delegada para el efecto, podrá realizar la precisión cartográfica y la definición de las normas urbanísticas a que haya lugar en el área objeto de estudio, de conformidad con lo

previsto en el Plan de Ordenamiento Territorial y deberá registrarse en todos los planos de la cartografía oficial.

En todo caso, cuando los resultados de los estudios detallados generen la modificación de los usos del suelo o de normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial deberá emprenderse su revisión, ajuste o modificación en los términos de la Ley 388 de 1997 y las normas que la adicionen, modifiquen o complementen. (Decreto 1077, 2015).

6.1.2 Decreto 1807 de 2014 (Capítulo II)

El cual menciona las condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos y detallados:

Artículo 6°. Análisis de la información disponible. Para la elaboración de los estudios básicos y detallados se deben realizar los análisis de la información técnica disponible, considerando entre otros, los siguientes aspectos:

1. Recopilar y analizar la información contenida en el plan de ordenamiento territorial, estudios regionales, técnicos o informes técnicos, cartografía base, la información de las bases de datos institucionales y la información de redes de monitoreo de amenazas existentes.
2. Verificar si se cuenta con la delimitación y zonificación de amenaza y/o riesgo para el municipio o distrito (suelo urbano, expansión urbana y suelo rural) y que la misma cumpla como mínimo con los siguientes aspectos:

- a) Que corresponda al análisis del área urbana, expansión urbana y rural del municipio o distrito, se ajuste a las condiciones técnicas establecidas en el presente decreto y esté acorde con su situación actual. La información se podrá emplear siempre y cuando se verifique su pertinencia y se actualice cuando se requiera.
- b) Que la información técnica disponible corresponda al análisis de las áreas en las que se hayan evidenciado afectaciones en el municipio o distrito.

3. En caso de que se cuente con estudios detallados que permitan establecer el nivel de riesgo, se deberá verificar que los mismos cumplan con las condiciones técnicas establecidas en el presente decreto.

Con base en este análisis se deberá establecer la información técnica disponible correspondiente a la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de las áreas con condiciones de riesgo. En los casos de ausencia total o parcial de la información, se deben establecer las acciones técnicas, institucionales y financieras necesarias para elaborar esta información.

Artículo 7°. Los alcaldes municipales podrán solicitar al departamento asesoría sobre los análisis que se deben adelantar para el estudio de los eventos que se presentan en su territorio según lo dispuesto en el presente decreto. (Decreto 1807, Título II, 2014).

6.1.3 Términos de Referencia SCIA-041-2020

En cumplimiento del contrato No 2009300392, suscrito por la UNIDAD DE GESTIÓN DE RIESGO – UGR con la SOCIEDAD CALDENSE DE INGENIEROS Y ARQUITECTOS – SCIA, se expiden los términos de referencia recomendados por la SCIA para la ejecución de *Estudios Detallados que determinan la mitigabilidad de la amenaza y del riesgo en dicha área.*

Los resultados esperados dispuestos en los términos son:

1. Documento final
2. Mapa de localización general, georreferenciado (sistema de referencia oficial de Manizales MAGNA-SIRGAS)
3. Plano de topografía del predio.
4. Mapa de pendientes.
5. Mapa de formaciones superficiales (incluir geología estructural y cortes geológicos).
6. Mapa de procesos erosivos. (Geomorfología)
7. Mapa de usos de suelo actual, coberturas actuales y conflictos en el uso del suelo, obras de infraestructura, accesibilidad vial y redes de servicios públicos.
8. Mapa de las áreas aptas para desarrollo urbanístico y de las obras recomendadas y/o existentes y las zonas no aptas para desarrollo urbanístico.
9. Planos de medidas de mitigación (civiles, de estabilidad, biológico forestales, con indicación de las obras de manejo, conducción y entrega de aguas)
10. Registros de perforación.

11. Ensayos de laboratorio (resultados de ensayos de laboratorio de suelos).
12. Memorias de cálculo y planos de diseños de obras correctivas y preventivas de estabilidad y manejo de aguas, (planta, perfiles y detalles). Según movimiento de tierras, proyecto y las obras de estabilidad proyectadas.
13. El informe final deberá ir ilustrado mediante fotografías recientes de la zona.
14. La cartografía de resultados deberá ser entregada en formato físico y digital, amarrada a las coordenadas sistema de referencia oficial.
15. Listado detallado de los estudios ejecutados con descripción de las metodologías y herramientas utilizadas.

6.2. Generalidades

Los suelos son de clima frío húmedo y muy húmedo, originados a partir de rocas mixtas (sedimentarias, ígneas y metamórficas) (SIGOT, 2021). La zona de estudio no presentó procesos denudativos activos, el talud de la parte oeste presenta un mejoramiento geométrico, intervenido por la empresa Surtipiel S.A.S, el cual cuenta con un muro de contención de cuarenta (40) centímetros de espesor, y una longitud aproximada de 161m, reconfiguración del terreno existente y obras de drenaje como zanjas colectoras. El talud de la parte sur del predio, en donde se presenta sectorizada la amenaza media por deslizamiento (Alcaldía de Manizales, 2017-2031), muestra una pendiente de media a alta, presenta huellas de sobrepastoreo y algunas marcas de reptación. A su vez no cuenta con un sistema de drenaje que permita evacuar las aguas procedentes de escorrentía e

infiltración, lo cual podría desencadenar un movimiento en masa. (Ver Anexo 3. Mapa Geomorfológico)

6.2.1 Clima

La zona de estudio se encuentra localizada en el flanco occidental de la cordillera central y se ubica en la clasificación del clima según Köppen (1918), como H, que corresponde a clima vertical o de montaña, cuya temperatura desciende con la altitud y lluvias mayores en barlovento, la vegetación es de bosque húmedo montano bajo y bosque muy húmedo montano bajo. Según su altura sobre el nivel del mar, el área de estudio se encuentra entre los 1800 y los 2000 m.s.n.m. Históricamente el clima de la zona presenta dos períodos secos: El primero se manifiesta entre los meses de diciembre - febrero y el segundo entre junio - agosto. De igual forma existen dos períodos lluviosos bien diferenciados, produciéndose altas precipitaciones de abril a mayo y de octubre a noviembre; según datos suministrados por diferentes estaciones meteorológicas de la ciudad de Manizales. La precipitación anual oscila entre los 1874 y 2783 mm/año, pero ocurren con mayor frecuencia valores entre 2000 y 2400 mm/año aproximadamente (Köppen, 1918).

6.2.2 Hidrología

El área de estudio hace parte de la cuenca del río Chinchiná.

✓ **Cuenca del río Chinchiná.**

Según el plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del río Chinchiná, departamento de Caldas, (POMCA), está se encuentra localizada en la región Centro-Sur del departamento de Caldas, sobre la vertiente occidental de la cordillera Central; pertenece a la zona Hidrográfica Magdalena-Cauca y es el afluente más importante del río Cauca por su margen derecha. Tienen jurisdicción los municipios de Manizales, Chinchiná, Villamaría, Neira y Palestina. La extensión de la cuenca, basada en la delimitación de este estudio, es de 1052.25 km², que corresponden al 14% del área total del departamento de Caldas.

En esta red hidrográfica como se muestra en la figura 2, se presentan los ríos principales y las tres subcuencas en que se subdivide la cuenca son: Guacaica, Chinchiná y Ríoclaro (Figura 2). En la subcuenca del río Chinchiná se tienen como aferentes directos y quebradas: Carminales, los Lobos, Cartagena, El Purgatorio, Manzanares, El Rosario, Cameguadua, Los Cuervos, San Juan o San Julián, San Miguel, El Arroyo, La Floresta, La Diana, El Chiflón, Marmato, Versalles, Palogrande, Camelia, 2515-002-091, La Monina, El Molino, El Perro, Manizales, Chupaderos, Palmichal, La María o Tolda Fría, La Oliva, La Rochela, La Zulia, El Diamante, La Siberia, La Negra (IDEA UNAL & Corpocaldas, 2013).

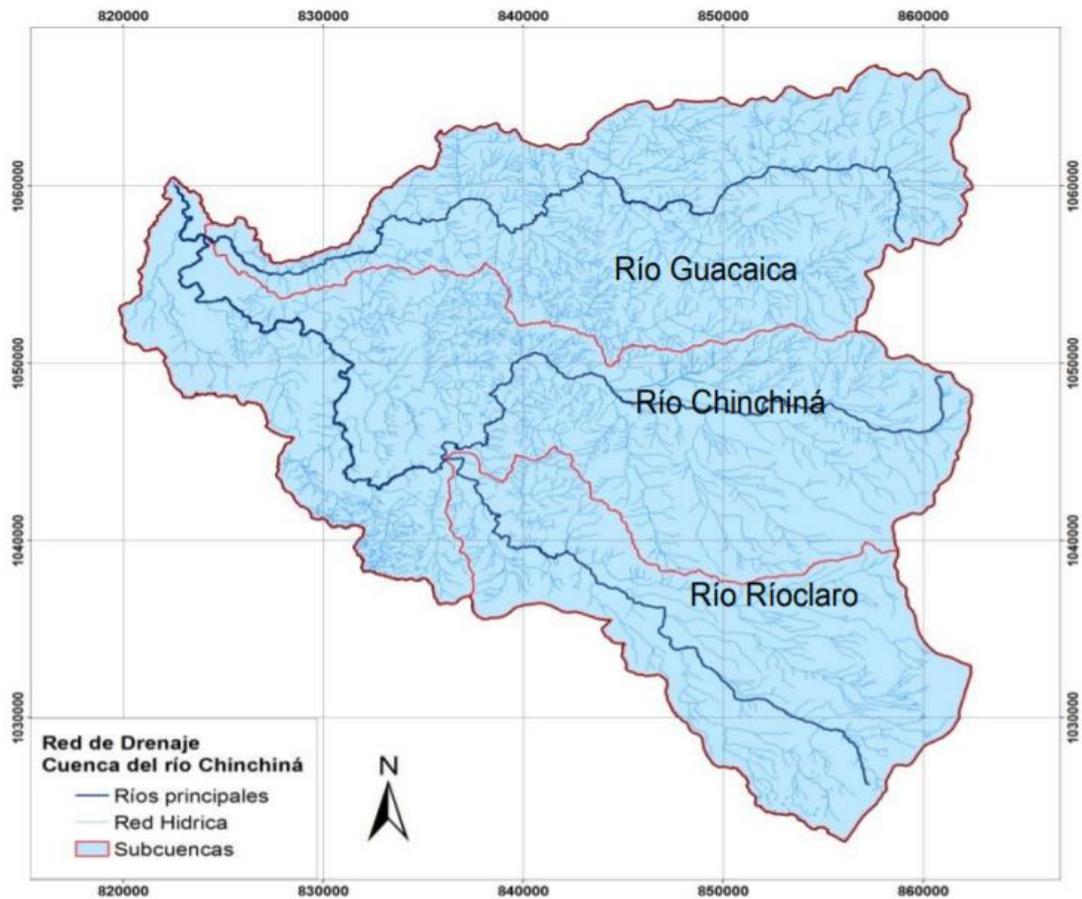


Figura 2. Mapa de red hidrográfica y subcuencas río Chinchiná. (IDEA UNAL & Corpocaldas, 2013)

✓ Cuenca Quebrada Manizales.

La cuenca de la Quebrada Manizales está localizada al Oriente de la capital del Departamento de Caldas, Colombia entre las coordenadas geográficas $5^{\circ}02' - 05^{\circ}04'$; sobre la latitud Norte y $75^{\circ}23' - 75^{\circ}29'$ longitud Oeste. La cuenca presenta una superficie de 32 km^2 , con una distribución aproximada del 56% de área rural sobre la parte alta de cuenca y un 44% de área urbana en la parte baja. La parte alta de la cuenca se caracteriza por fuertes pendientes (entre el 23 y 67%), la existencia de zonas de reserva forestal y el

desarrollo de actividades agropecuarias y mineras. Por otra parte, en la zona baja se encuentra la zona industrial de la ciudad (Aristizábal, 2015) y los asentamientos urbanos como: Maltería, Verdum, Bajo Juanchito y San Marcel, que se encuentran en alto riesgo de inundación (Quintero, 2013).

La Quebrada Manizales nace sobre los 3.266 m.s.n.m. y recorre 12,8 km a través de la cuenca con un pendiente promedio del 10%, para desembocar finalmente sobre el río Chinchiná a los 1.947 m.s.n.m. (Corpocaldas, 2011). La cuenca se encuentra instrumentada con 4 estaciones hidrometeorológicas que incluyen pluviometría en los afluentes: quebrada Tesorito, Cristales y Guayabal; además, se tienen dos estaciones meteorológicas sobre la parte alta de la cuenca y dos estaciones de alarma sonora en puntos estratégicos de los centros poblados.

A continuación, se presenta la figura 3 recopilada del del boletín ambiental de mayo del 2018, Instituto de estudios ambientales (IDEA), y modificada para el presente informe:

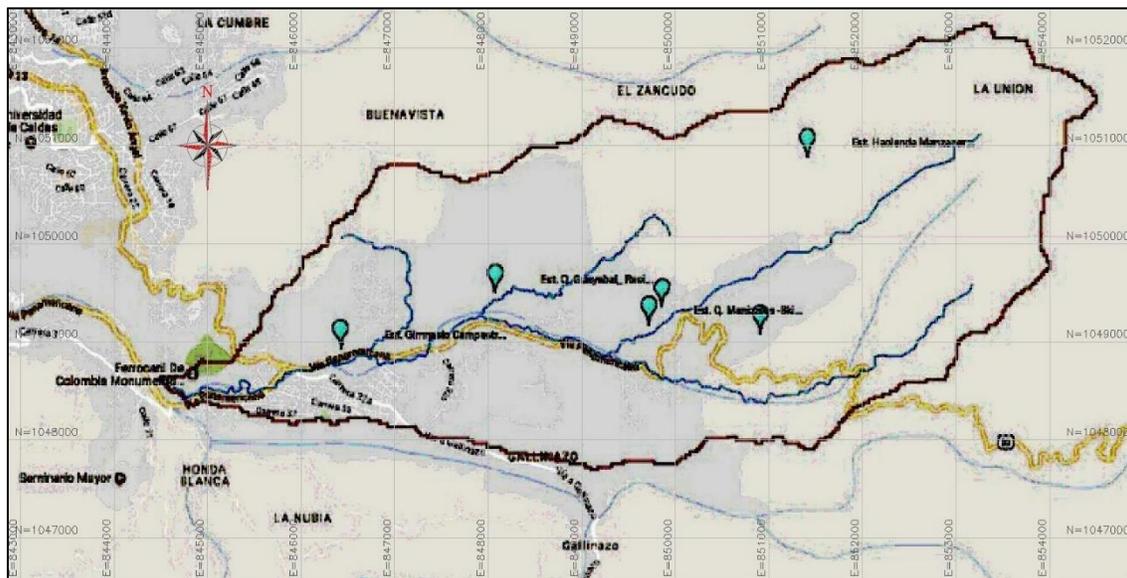


Figura 3. Cuenca de la Quebrada Manizales. (IDEA UNAL & Corpocaldas, 2013)

✓ Microcuenca de la zona de estudio

Debido a las modificaciones morfológicas realizadas en la zona de estudio durante los años 2013 – 2014, se puede observar que, en el área de influencia del proyecto años atrás existió una corriente tributaria del río Chinchiná que hace parte de la cuenca de la quebrada Manizales y cuyo archivo reposa en la Corporación autónoma regional bajo el expediente No. 23; por otro lado en la zona sur del lote se presenta la quebrada Tesorito, en la parte noroeste lo rodea la quebrada Manizales, y en el noreste se encuentra la quebrada Santa Rita, que desemboca a la Quebrada Manizales, como se observa en la figura 4:



Figura 4. Cauces aledaños a la zona de estudio. (Google Earth 2021)

El nivel de aguas freáticas en el área de estudio fue detectado en las perforaciones realizadas a profundidades de entre 0.8 m y 1.4m, el manejo de aguas lluvias se realiza a través de zanjas y canales colectores, sin embargo estos no se encuentran localizados en toda el área del lote, sino que se presentan en el área que se encuentra actualmente construida; de igual forma el talud que se localiza hacia la parte sur del predio no presenta obras complementarias como drenes o zanjas colectoras, lo que podría generar saturación del talud por las aguas infiltradas. Por el contrario, hacia la parte oeste del lote, se localiza una zanja y un canal recolector de aguas sobre un muro de contención existente.

6.2.3 Antecedentes históricos de la zona de estudio

El área objeto de estudio está clasificada como suelo urbano por el PTO (Alcaldía de Manizales, 2017-2031), y parte del lote se ubica sobre zonas de interés ambiental correspondientes a retiro de fajas forestales protectoras y que pertenecen a las quebradas presentes en el lote, las cuales están clasificadas de la siguiente manera: la quebrada Manizales, cuyo orden es de 2 y cuya faja de protección es mayor o igual a 20 m a ambos lados por ser irregular a lo largo de su cauce; y las quebradas Tesorito y Santa Rita de orden 3 y cuya faja se extiende a lo largo de su cauce 15 m a ambos lados del eje del cauce; por lo cual este presenta amenaza y riesgo por inundación, sin embargo, no es el objeto de estudio del presente trabajo. Adicionalmente, el predio se clasifica parcialmente con amenaza media por deslizamiento (Alcaldía de Manizales, 2017-2031), y en este se pretende a futuro, desarrollar la construcción de una serie de edificaciones de categoría baja, tales como bodegas para almacenaje e industria, buscando con ello mejorar el desarrollo económico del sector industrial, y acondicionar la zona contra cualquier riesgo eventual futuro.

El área donde se desarrollará el proyecto tuvo un acondicionamiento a nivel morfológico en los años 2013 – 2014, en donde se llevó a cabo la construcción de una zona de manejo de escombros y material de excavación (ZODME), que estuvo a cargo del Consorcio Vías del centro, contrato 663 de estudios y diseños, gestión social, predial ambiental y construcción del proyecto Honda - Manizales. Este lleno se realizó sobre un cauce de categoría baja que se encontraba en el sector años atrás y sobre el cual se dispuso el material

sobrante de la excavación de las obras del proyecto Honda – Manizales. La disposición de estos escombros se realizó con base en la resolución 1203 de 2019 de la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS), la cual define los requisitos para la obtención de permisos de ocupación de cauce con fines de ejecución de rellenos en suelos urbanos.

En cuanto a deslizamientos dentro de la zona de estudio, no se conocen registros que evidencien la ocurrencia de alguno. Sin embargo, pueden evidenciarse algunas cicatrices de pequeños movimientos en masa sobre el talud del costado derecho, sentido E-W de la quebrada Tesorito. Estos coluviones pueden apreciarse desde la vía que de Manizales conduce al Magdalena.

A nivel local y más hacia el NE del predio según lo informan los medios periodísticos el 4 de diciembre de 2012 se presentó un deslizamiento en las minas de Maltería, lo que causó un represamiento de agua sobre la quebrada Manizales y posteriormente una avalancha sobre el cauce, este incidente causó la evacuación de alrededor de 2000 personas en las zonas aledañas y no causó daños mayores. (RCN Radio, 2012).

6.2.4 Área a intervenir y área de influencia

El área total a intervenir comprende tres lotes colindantes, y distribuidos de la siguiente manera; el primero y más grande, tiene una extensión de 49736 m², el segundo tiene un área de 16586 m² y finalmente el tercero 3894 m²; estos tres predios aledaños

pertenecientes a la empresa Salvador Giraldo López sucesores S.A.S, suman un área total de 70213 m², en ellos se pretende realizar la construcción de una serie de edificaciones de categoría baja.

El área con influencia de amenaza por movimiento en masa se localiza solo en el lote 17001010800310001000, sin embargo, al querer implementar para el proyecto toda el área disponible, se hace necesario involucrar los demás predios, con el fin de visualizar mejor la zona a intervenir (Figura 5, Anexo 1).

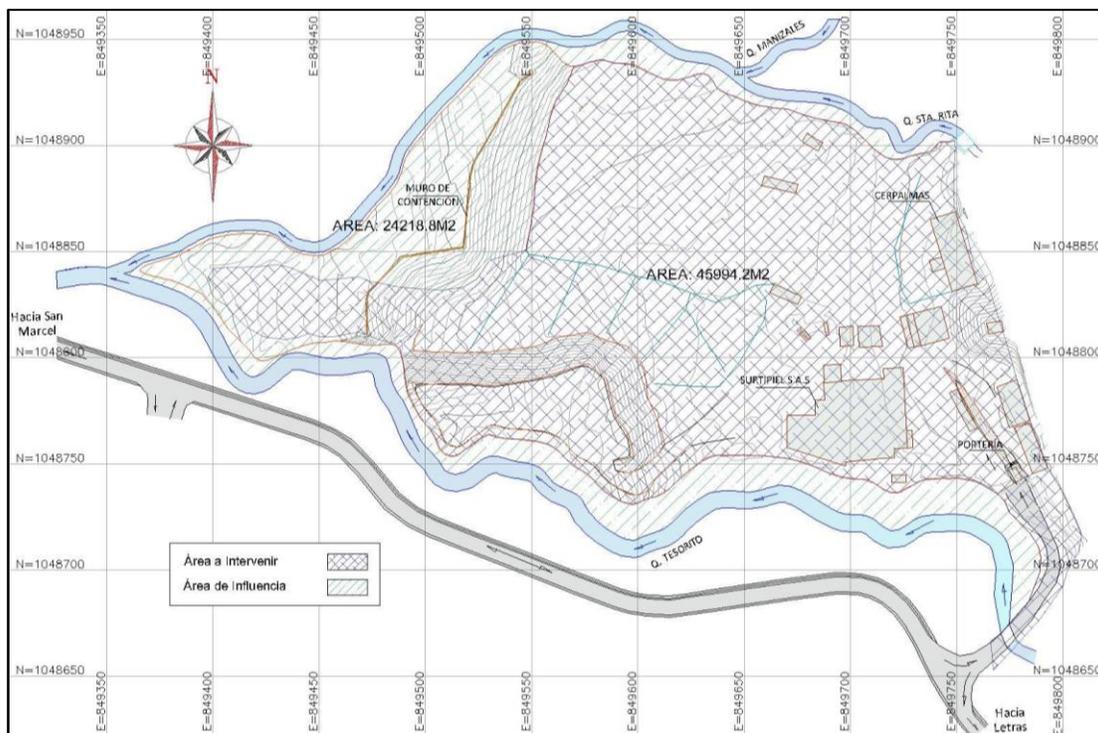


Figura 5. Mapa de área a intervenir y área de influencia.

El área que se pretende intervenir con el proyecto es de aproximadamente 46000 m² y está distribuida en los 3 lotes, las construcciones actuales corresponden principalmente a la empresa Surtipiel S.A.S y la empresa Cerpalmás, las cuales ocupan la mayor parte del área del lote 17001010800310001000. La vía de acceso, la portería y algunas instalaciones administrativas hacia el costado sureste, hacen parte también del predio. Adicionalmente, el área de influencia directa debida a la implantación de las construcciones futuras está delimitada a los bordes del área a intervenir, es decir en los costados o laderas de las quebradas existentes y parte del talud de la zona oeste del predio.

El área de influencia tiene una dimensión de 24000 m² aproximadamente, los cuales están distribuidos en llanuras de inundación, terrazas aluviales, planicies, laderas y zonas verdes, como se muestra en la figura 5.

6.2.5 Uso del suelo y Cobertura Vegetal

Una vez consultado el Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales, se observa que el predio se clasifica como suelo urbano; entre los usos de suelo permitidos para el predio se encuentran los usos industriales, los cuales son aquellos destinados a la explotación, transformación, elaboración, ensamble y manufactura de productos o de materias primas, y que utilizan como soporte de la actividad, edificaciones con características, servicios y especificaciones apropiadas para la industria. (Alcaldía de Manizales, 2017-2031).

En la comuna tesorito se observan usos de tipo industrial, ya que el sector de Maltería años atrás fue destinado para el mismo; por lo cual se observan diversas empresas de pequeño, mediano y gran tamaño, como lo son Progel, el parque industrial de Maltería, entre otras. La cobertura vegetal de manera general corresponde a abundantes pastos, por otro lado, se destacan algunas zonas con rastrojos. Según el mapa de uso de suelos D-2C del POT de Manizales al sureste del predio se presenta una zona con cultivos, y al norte una pequeña zona demarcada como bosque plantado (Alcaldía de Manizales, 2017-2031).

6.3 Geología regional

La ciudad de Manizales cuenta con una gran variedad de unidades geológicas de diferentes edades y orígenes. Las características geológicas de la zona son complicadas debido a varios factores, entre los que predomina la cobertura volcánica que cubre las demás unidades, la abundante vegetación en algunos lugares y el fuerte tectonismo que ha afectado las diferentes formaciones geológicas. Los contactos entre las unidades aflorantes a nivel regional son fallados, siguiendo una tendencia Norte-Sur asociados al Sistema de Fallas Romeral, exceptuando los depósitos aluviales y los flujos volcánicos, los cuales yacen discordantemente sobre unidades Mesozoicas. Las diferentes unidades geológicas son:

✓ Complejo Cajamarca. (Carbonífero – Triásico)

El Complejo Cajamarca, definido por González (1989) está constituido por un conjunto de rocas metamórficas que sufrieron metamorfismo regional y posteriormente metamorfismo

de contacto a nivel local y de intensidades variables, que dieron como resultado la presencia de esquistos gráfiticos, cuarzomoscovíticos, cloríticos y anfibólicos; filitas, cuarcitas, mármoles y serpentinitas (González, 2001). Según este autor, las rocas metamórficas que pertenecen al Complejo Cajamarca componen un complejo compuesto por diferentes rocas metamórficas, en el cual las edades que han sido determinadas por el método K/Ar, datan entre el Carbonífero y el Triásico (Irving, 1971; Feininger *et al.*, 1972; Hall *et al.*, 1972 en González, 2001); sin embargo, debido a las variaciones estratigráficas y condiciones de metamorfismo, se ha podido evidenciar la existencia de eventos metamórficos superpuestos.

✓ Complejo Quebradagrande. (Cretácico)

La parte volcánica del Complejo Quebradagrande está compuesta por Basaltos y andesitas intercalados con arenitas lodosas líticas, lodolitas carbonosas, arenitas feldespáticas, calizas y limolitas silíceas. (González, 2001). Nivia (2001) considera que de acuerdo con los fósiles reportados en el Complejo Quebradagrande se asume es de edad Cretácico Inferior. Por otro lado, Moreno-Sánchez *et al.* (2008) atribuye un rango de edad Berriasiano–Albiano, determinado mediante fósiles hallados en sedimentitas que hacen parte del Complejo Quebradagrande, tanto del sector oriental como del occidental, (Botero y González 1983; Etayo-Serna, 1985; González, 1980; Lemoigne, 1984, citado en Rodríguez y Zapata, 2012). Cerca de Manizales, Gómez-Cruz *et al.* (1995) y Moreno-Sánchez *et al.* (2008) reportan fósiles de edad Albiana dentro de una secuencia con

conglomerados que presentan guijos de metamorfitas provenientes de un basamento continental (Rodríguez y Zapata, 2012).

Adicionalmente, Villagómez *et al.* (2011) reporta edad U/Pb en algunos circones de 114.3 ± 3.8 Ma, los cuales fueron determinados a partir de una toba y por consiguiente la ubica en una edad Aptiana, cuya información está dentro del intervalo de edades reportadas para la fauna fósil. Esta edad se podría asumir como la edad de las rocas del Complejo Quebradagrande y en este caso las rocas volcánicas con afinidad de arco caen dentro del límite Albiano - Aptiano (Rodríguez y Zapata, 2012).

✓ Stock de Manizales. (Paleoceno)

El Stock de Manizales (KPgcdm) es un cuerpo intrusivo de carácter félsico y de rocas granitoides que se ubica al este de la ciudad de Manizales. Esta caracterizado por la presencia de tres variaciones composicionales de roca: tonalita con biotita, tonalita biotítica con hornblenda y finalmente granodiorita (Aguirre y López 2003, Plazas 2010, López *et al.*, 2015, citado en Montenegro, 2017). A este cuerpo intrusivo se le atribuye una edad Paleocena (Jaramillo 1978, McCourt *et al.*, 1984, citado en Montenegro, 2017) y gran parte de él se encuentra cubierto por depósitos piroclásticos provenientes del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima (Montenegro, 2017).

✓ **Depósitos de Caída Piroclástica (Qcp). (Cuaternario)**

Estos depósitos corresponden al complejo volcánico Ruíz-Tolima, el cual representa la última manifestación de actividad volcánica explosiva, se presentan en forma de mantos delgados cubriendo las demás unidades litológicas con un espesor que varía entre los 5 y 10 metros; estos depósitos están compuestos por fragmentos de pómez, escoria, pórfidos dacíticos y andesíticos, cenizas, arenas volcánicas y lapilli. Se distribuyen ampliamente, de forma concordante con la paleotopografía existente sobre ambos flancos de la Cordillera Central, el espesor de estos depósitos varía en función de la distancia de la fuente de emisión, en Manizales alcanzan 20 m. (González, 2001).

✓ **Abanico Aluvial de Maltería (Qam). (Cuaternario)**

Esta unidad es reportada por Naranjo y Ríos (1989) dentro de la descripción de los “depósitos de flujos de escombros que rellenan el valle de La Enea”, pero al respecto solamente se señala que corresponde a un depósito del Cuaternario que está constituido por depósitos de piedemonte interestratificados con depósitos de caída piroclástica. El abanico aluvial de Maltería aflora sobre el cauce de la quebrada Manizales en la que se evidencia el contacto discordante erosional hacia el techo con la secuencia piroclástica. En términos generales, se habla de un depósito conglomerático, matriz soportado, con clastos de composición predominantemente ígneo y algunos de origen volcánico, pero también se encuentran fragmentos de rocas metamórficas como esquistos y gneises. Algunos clastos tienen baja redondez y esfericidad, y otros son angulares de 5.0 centímetros en promedio en su mayor longitud, sin embargo, también se observan clastos hasta de 15 y 20

centímetros en su longitud mayor. Tal como lo describen Naranjo y Ríos (1989), la secuencia deposicional puede interpretarse como una sola unidad en la que se intercalan depósitos aluviales y depósitos de caída piroclástica, definiendo una serie de eventos que se superpusieron en el tiempo. Estos depósitos aluviales en ocasiones se presentan en típica forma lenticular, dispuestos entre capas de ceniza o lapilli y son disectados en su totalidad por la Quebrada Manizales; arealmente se localizan desde Maltería hasta la confluencia de la quebrada Manizales con la quebrada Chupaderos. (Naranjo y Ríos, 1989).

6.3.1 Marco tectónico regional

En la región de Manizales se encuentran dos sistemas principales de fallas de carácter regional: Romeral con tendencia Norte – Sur conformado de oeste a este por las fallas Cauca-Almaguer, Silvia Pijao y San Jerónimo y Palestina con tendencia Noreste; también existen fallas y lineamientos locales que cruzan la ciudad en diferentes direcciones. (González, 2001). Estas estructuras, dentro del área urbana, se evidencian sólo con algunos rasgos geomorfológicos como: drenajes rectos, silletas, escarpes y cambios de pendiente; las evidencias de falla en campo son escasas debido a las características litológicas que enmascaran las estructuras y desaparecen los rasgos estructurales.

El sistema de fallas Romeral es uno de los más importantes en Colombia, se extiende de sur a norte, desde el límite de Colombia con Ecuador hasta Barranquilla con una longitud de más de 1200 km, (Gómez *et al.*, 2015). Las fallas de este sistema muestran clara evidencia de actividad Cuaternaria, así como una fuente sismogénica potencial de alta

peligrosidad para la ciudad de Manizales y el Departamento de Caldas en general. La ciudad de Manizales se caracteriza por la existencia de un basamento rígido constituido por rocas ígneas, metamórficas y metasedimentarias, recubiertas por depósitos de flujos volcánoclasticos y espesos mantos de ceniza, lo cual la hace susceptible a la ocurrencia de fenómenos de licuefacción ante la presencia de eventos sísmicos.

El área de estudio está localizada en una zona de importante actividad sísmica, en donde ocurren terremotos con una magnitud de 6 o más en la escala de Richter, los cuales han ocurrido con un intervalo de 15 años (Trenkamp *et al.*, 2002 citado en Toro y Osorio, 2005). Tres fuentes de terremotos son reconocidas en el área gracias al Servicio Geológico Colombiano y sus fuentes de sismicidad histórica:

La zona de subducción de la placa Nazca y el Bloque Andino: Aproximadamente el 90% de los terremotos ocurridos en el área con una profundidad de 70 a 120 km están relacionados con la zona de subducción de la placa Nazca y el Bloque Andino. (Trenkamp *et al.*, 2002 citado en Toro y Osorio, 2005).

- ✓ **Movimientos de fallas superficiales:** La actividad de las fallas cercanas al área de estudio tales como Romeral, Palestina, Mistrató y Cauca son responsables del 10 % de los terremotos ocurridos en las zonas. (Toro & Osorio, 2005)
- ✓ **Actividad Volcánica del Nevado del Ruiz:** Desde el reinicio de la actividad volcánica del nevado del Ruiz en 1984, un gran número de actividad sísmica

superficial (menor de 10 km) ha sido registrado por el observatorio vulcanológico de Manizales.

7. ASPECTOS GEOLÓGICOS, GEOMORFOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

7.1. Geología Local

Después de realizadas las visitas de campo del ingeniero geotecnista y del geólogo a cargo, no fue posible identificar afloramientos de gran magnitud en el predio objeto de análisis, sin embargo, de acuerdo con las características que algunos de estos presentan, es posible identificar la presencia de depósitos de origen aluvial, coluvial con mezclas de depósitos de cenizas, todos estos completamente recientes (Cuaternarios) que yacen discordantemente según Naranjo y Ríos (1989) sobre el Complejo Quebradagrande.

Adicionalmente algunos de los clastos encontrados como se muestra en la figura 6 corresponden a andesitas y granodioritas y en algunas zonas se presentan arenitas limosas y arcillosas depositadas en capas sub-horizontales durante los diferentes eventos volcánicos del Complejo Cerro Bravo, Ruiz, Tolima (Escobar, 2013).



Figura 6. Depósito matriz soportado con clastos de andesitas(ad) y granodioritas (gr)

De acuerdo con algunos de estos títulos la unidad geológica representativa general para la zona de estudio, son los Qto: Rocas Piroclásticas: Depósitos no consolidados de ceniza y lapilli con cantos de pumita (González, 2001). Sin embargo, con los resultados en campo se lograron observar depósitos de origen aluvial, con presencia de diferentes clastos de rocas distribuidas arealmente y reordenadas cronológicamente de la siguiente manera:

7.1.1 Abanico Aluvial de Maltería (Qaam).

Naranjo y Ríos (1989) describieron este abanico como un depósito de espesor promedio de 14 m, compuesto por diferentes flujos de escombros de Piedemonte, y que están interestratificados con algunos depósitos de cenizas y flujos piroclásticos, los cuales rellenan los valles y la topografía, y que están discordantes sobre el Complejo Quebradagrande. El sentido de este depósito es NE – SW y arealmente conforman su distribución desde el barrio Maltería hasta donde se encuentra la convergencia de la Quebrada Manizales y la Quebrada Chupaderos.

Tal como lo describen Naranjo y Ríos (1989), la secuencia deposicional puede interpretarse como una sola unidad en la que se intercalan depósitos aluviales y depósitos de caída piroclástica, definiendo una serie de eventos que se superpusieron en el tiempo. Estos depósitos aluviales en ocasiones se presentan típicamente de forma lenticular, dispuestos entre capas de ceniza o lapilli como se muestra en la figura 7.

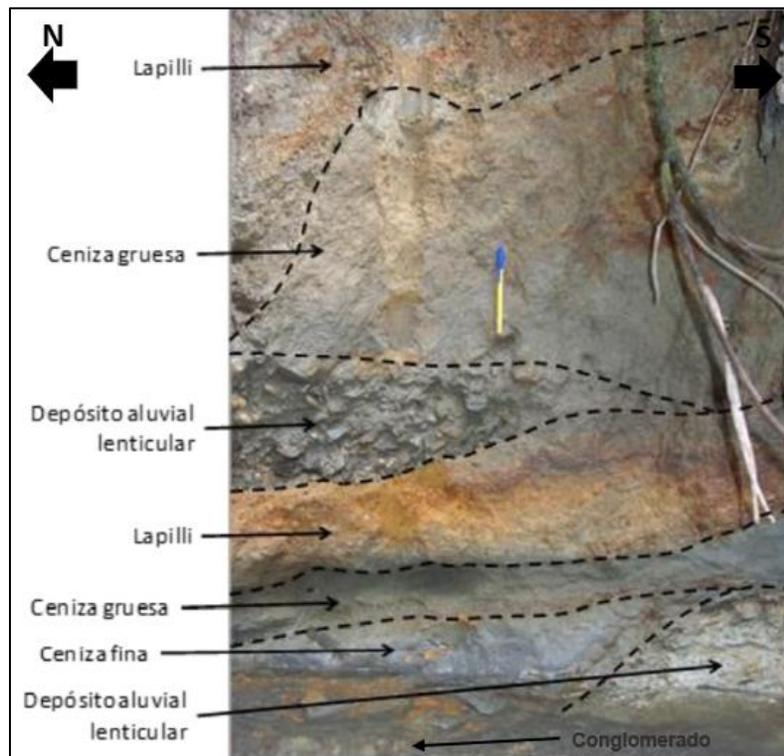


Figura 7. Depósitos aluviales lenticulares del Abanico aluvial de Maltería, intercalados con depósitos de caída piroclástica.

En el área de estudio, este abanico se encuentra distribuido arealmente al norte y al este del predio, ocupando la mayor parte de la zona, presentan formas irregulares del terreno debido a la topografía y se presentan como se mencionó antes de forma lenticular formando paleocanales, composicionalmente está conformado, por una intercalación de conglomerados desde matriz soportados a clastosoportados, depósitos de cenizas (finas y gruesas) y lapilli. Los conglomerados clastosoportados tienen una relación clasto-matriz de 80 – 20 cuya matriz es arenosa limo arcillosa de grano medio a grueso y están constituidos por clastos angulosos, de baja esfericidad y de tamaños que varían entre 10 y 60 cm, que son metamórficos como: filitas, esquistos de composición cuarzomoscovítica y otros de composición gráfita, que muy probablemente provienen del Complejo

Cajamarca (Figura 8), e ígneos como: andesitas y granodioritas – tonalitas (Figura 9) que pueden provenir del complejo volcánico del Ruiz, del Stock de Manizales o del mismo miembro volcánico del Complejo Quebradagrande, generalmente se encuentran desde subredondeados a redondeados, debido al transporte del abanico y cuya fuente podrían ser las unidades anteriormente descritas. Los conglomerados matrizsoportados tienen una relación 70 – 30, cuya matriz como en los depósitos clastosoportados es arenosa limo arcillosa pero de grano medio; los clastos presentes son de tamaño guijo de entre 4 y 64mm, que presentan formas desde angulares a subredondeados y de alta a media esfericidad. Ambos depósitos presentan mala selección contactos erosivos entre las capas de cenizas y lapilli y son discordantes con los depósitos aluviales de las quebradas Manizales y Tesorito.



Figura 8. Rocas presentes en la zona. A la izquierda: Filita. A la derecha: Esquisto grafítico.



Figura 9. Muestras rodadas de las rocas presentes en la zona: A la izquierda: Andesita con presencia de meteorización. A la derecha: Granodiorita – Tonalita.

Los niveles de cenizas gruesas y finas se distribuyen arealmente intercalados entre las capas de conglomerados y lapilli del Abanico y son depositados en capas sub-horizontales generalmente relleno de espacios y siguiendo la topografía existente, no cubren más del 30% de la zona de estudio. Estos depósitos se presentan con una gradación normal, con una selección moderada y con un tamaño de grano para las cenizas gruesas de 2 mm y <2 mm para las cenizas finas; son moderadamente consolidados y presenta una matriz lítica con partículas de rocas y minerales tales como anfíbol, cuarzo y plagioclasa redondeados y de alta esfericidad; su contacto es erosivo con los depósitos conglomerados del Abanico y los depósitos de lapilli.

Los niveles de lapilli están distribuidos arealmente en forma de lentes intercalados con los depósitos del Abanico aluvial de Maltería por toda la zona del lote en donde se presenta el Abanico; su composición es de fragmentos piroclásticos de tamaño entre 2 a 5mm generados por las erupciones volcánicas cercanas a la zona, debido a las oleadas piroclásticas; presentan mala selección y son moderadamente consolidados, debido a que no es posible evidenciar procesos diagenéticos que permitan observar algún tipo de litificación. Los depósitos se presentan de forma masiva, sin estructuras sedimentarias y presentan contacto erosivo con los depósitos conglomeráticos del Abanico.

7.1.2 Depósitos Aluviales (Qal).

En el área estos depósitos se encuentran asociados a la red principal de drenaje que recorre el área, mayoritariamente sobre las quebradas Manizales y Tesorito y en una proporción menor sobre la quebrada Santa Rita, la cual se localiza al norte del predio. Los principales depósitos están asociados a una morfología de terrazas aluviales dispersas sobre las Quebradas y cuyos niveles de cota se pueden apreciar en 2: Qt1 y Qt2 (Ver Anexo 3), mayoritariamente al W y al S del predio. La composición de los clastos está conformada principalmente por material piroclástico retrabajado tales como cenizas finas <2 mm de tamaño y en algunas zonas lapilli y por fragmentos de rocas de diverso origen tanto ígneas así como metamórficas, estos depósitos se presentan con alto grado de alteración en algunas partes, y en otras es de media a baja; en gran porcentaje los clastos que los conforman tienen buena esfericidad y alta redondez, mientras un bajo porcentaje son de baja esfericidad y muy angulosos, su diámetro varía desde 2 cm hasta 2 m, predominando

los tamaños de 40 y 50 cm aproximadamente, la selección es mala y la matriz del depósito es en general predominantemente lodosa, de color claro, con cristales de biotita, cuarzo y algunos líticos. Se presentan como un flujo matriz soportado y localmente clasto soportado, con una relación matriz clastos 70-30%, su procedencia es de las distintas unidades de roca que afloran a lo largo del área de influencia de los drenajes. En estos depósitos, es posible identificar imbricación de forma sectorizada que forma cierto ángulo con la horizontal, evidenciando la dirección de la corriente sobre la quebrada Tesorito. Esta unidad se encuentra descansando discordantemente sobre el Abanico de Maltería y es semiconsolidada a inconsolidada (Figura 10).



Figura 10. Terraza aluvial de la quebrada Tesorito.

7.1.3 Depósitos Coluviales (Qcl).

51

Estos depósitos son producto del desprendimiento de material o roca in situ, es decir son depósitos no consolidados de poco espesor y que en general dejan algún tipo de marca en el terreno, pero finalmente son consecuencia de algún fenómeno de remoción en masa. Los presentes en la zona de estudio se distribuyen arealmente sobre el talud de la quebrada Tesorito, es decir al sur del lote objeto de estudio cuyas formas son irregulares alargadas en sentido vertical y de bases redondeadas, son matrizsoportados con una relación de clastos 30 – 70, su composición muestra la presencia de clastos de granodioritas y tonalitas con buena presencia de micas como biotita y algunos clastos presentan moscovita en una proporción de roca de 25% y 5% respectivamente, estos clastos son de tamaño variado entre guijos y bloques. Los bloques generalmente se encuentran desde subredondeados a redondeados, debido al transporte fluvial y cuya fuente son los depósitos aluviales presentes en las terrazas de la quebrada Tesorito; la esfericidad de los clastos es subesférica en su gran mayoría, sin embargo, hay clastos que presentan formas más irregulares, los guijos presentan formas angulares, son subredondeados y redondeados, y de alta esfericidad. Los depósitos presentan mala selección y en cuanto a la matriz, está constituida por arena media a gruesa; estos depósitos, yacen discordantemente sobre el Abanico de Maltería y los Depósitos Aluviales de la quebrada Tesorito (Anexo 2).

7.1.4 Depósitos de Caída Piroclástica (Qcp).

Los fenómenos volcánicos originados por el complejo Cerro Bravo – Cerro Machín delimitaron sobre la topografía una cobertura de ceniza que varía su espesor desde centímetros hasta decenas de metros, cumpliendo siempre la condición de tener una

topografía paralela a sub paralela con la preexistente. Sus espesores varían hacia las partes bajas debido a procesos denudativos como la erosión, acción antrópica, etc. Se distribuyen en el área de manera aleatoria cubriendo las diferentes rocas y moldeando la paleotopografía y la topografía actual. Estos depósitos están compuestos por materiales granulares que varían desde tamaño lapilli hasta cenizas finas provenientes de la caída de lluvia piroclástica generada por las erupciones volcánicas del complejo volcánico Ruiz – Tolima. La secuencia piroclástica cubre discordantemente las rocas aflorantes, generando un suelo con capas sub-horizontales, siguiendo la topografía en el momento de la depositación, lo cual no es aplicable a pendientes muy fuertes, mayores a 30 grados. Las capas de estos materiales comúnmente están conformadas por lapilli, tobas de lapilli, cenizas y tobas de ceniza.

Se trata de una secuencia en la que se intercalan diferentes tipos de depósitos de caída piroclástica, desde cenizas finas y cenizas gruesas de tamaño limos y arenas finas y gruesas, hasta lapilli, típicamente podría decirse que están conformados por pequeños fragmentos de composición pumítica. A pesar de que las capas que conforman los depósitos de caída piroclástica tienden a ser horizontales, se debe señalar, que estas se disponen con una clara tendencia a cubrir la superficie de depositación de manera uniforme, pero con ligeras tendencias a rellenar los bajos topográficos. Los contactos entre los diferentes depósitos que conforman la secuencia son erosivos, formando superficies irregulares.

7.2. Geología Estructural

Naranjo y Ríos (1989) y González (2001) han cartografiado fallas geológicas con dirección predominantemente NE-SW y otras W-E, cerca de la zona de estudio, sin embargo, estas se encuentran cubiertas por los depósitos recientes anteriormente expuestos, como puede apreciarse en la figura 11.

En el mapa propuesto por González (2001), se evidencia la presencia de la Falla San Jerónimo al oeste de la zona de estudio, la cual es una falla de rumbo que limita el Sistema de Fallas de Romeral al oriente y pone en contacto rocas metamórficas del Complejo Cajamarca con rocas del Complejo Quebradagrande. Según la cartografía presentada por este autor, esta falla tiene su traza a unos 2.5 Km de la zona de estudio y podría afectar directamente las rocas presentes en la zona; sin embargo, no se evidencio ningún rasgo en campo característico de zonas de falla, ni afectación de los depósitos recientes ya expuestos. Adicionalmente, se presentan dos fallas al este de la Falla de San Jerónimo y de la zona de estudio, que se encuentran igualmente cubiertas por el Abanico de Maltería. Al sur del área de estudio, Naranjo y Ríos (1989) presentan una falla de dirección W-E que cruzaría el eje del domo Tesorito que podría tener mayor influencia por su cercanía a la zona de estudio.. En general el rumbo de las fallas en cercanías al área, es NE – SW.

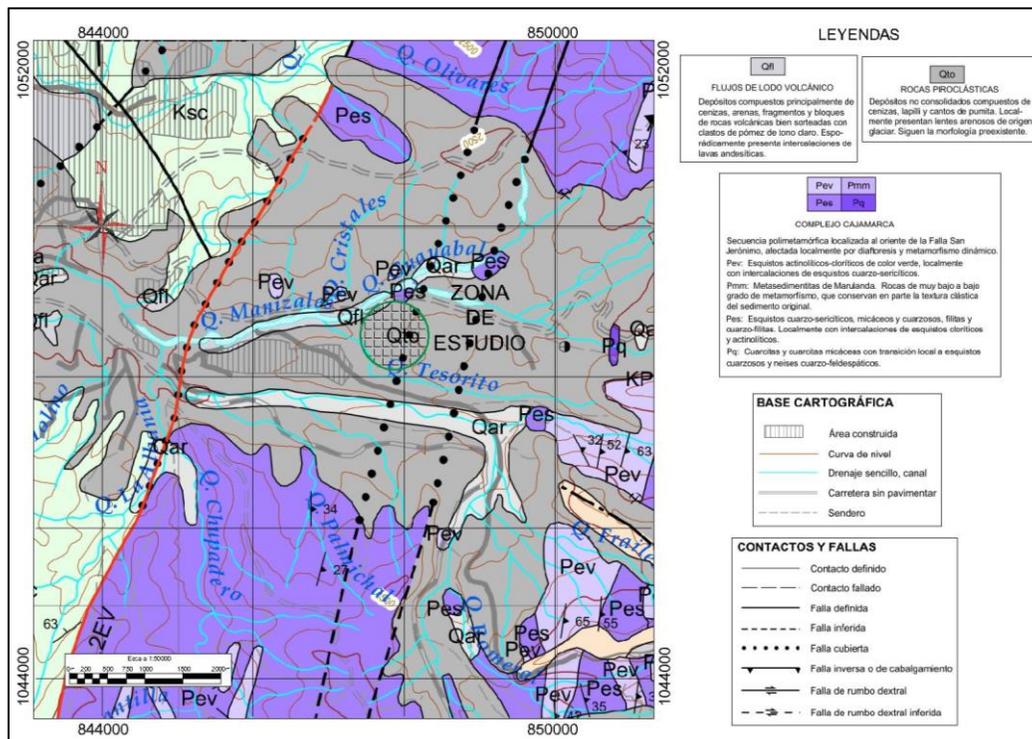


Figura 11. Geología de la plancha 206, Manizales. (Gonzales, 2001). Adaptado para el presente trabajo.

7.3 Geomorfología

La zona donde se ubica el predio corresponde a un lote con pendiente muy suave en la mayor parte del área, y con pendiente media hacia la zona sur. El lote ha sufrido intervenciones antrópicas moderadas producto de la adecuación del terreno con fines urbanísticos y de mejoramiento a nivel morfológico con la construcción de un llano realizado en el año 2013-2014 por el Consorcio Vías del Centro, mientras se desarrollaba el Contrato 663 de estudios y diseños, gestión social, predial, ambiental y construcción del proyecto Honda - Manizales. Este movimiento de tierras se desarrolló para la adecuación del terreno, la construcción de un muro en concreto reforzado en el costado este del lote y

la implantación de una serie de edificaciones en la entrada del lote; lo cual cambio fuertemente la topografía del terreno permitiendo que con los años se asentara y le diera una morfología más aplanada. Se pueden identificar los depósitos de terrazas aluviales recientes dispuestas en 2 niveles: Qt1 y Qt2; de igual forma es posible identificar los rasgos morfológicos de los drenajes presentes en la zona como lo son la Quebrada Manizales, Quebrada Tesorito y la Quebrada Santa Rita, los cuales se caracterizan por ser subparalelos.

De manera general en las inmediaciones de la zona es posible observar unidades geomorfológicas definidas para el área de estudio, entre las cuales se encuentran asociadas casi en su totalidad a ambientes denudativos, acumulativos y a la actividad tectónica relacionada con las estructuras geológicas que se encuentran actuando en el área. Se caracterizan principalmente por las pendientes fuertes de los suelos que las conforman. Las clasificaciones empleadas se basan en Zinc (1989):

- ✓ **Unidades de origen Denudacional (Dn).** Desarrolladas por la acción de procesos exógenos (meteorización y erosión) que a través de varios años han sido intervenidas con fines urbanísticos. La geoforma constituye una vertiente de mediana pendiente, que es limitada por laderas inclinadas y alargadas, actualmente con una cobertura vegetal de pastos. El paisaje general este compuesto de colinas redondeadas y algunas planicies, estas geoformas se moldean sobre superficies existentes y que sufren algún tipo de remoción (figura 12).



Figura 12. Unidades Denudacionales. Fuente propia.

- ✓ **Unidades de origen Deposicional (Dp).** Esta unidad derivada de las unidades anteriores permite visualizar la acumulación de materiales, fragmentos de rocas o sedimentos de diversos tamaños provenientes de las unidades preexistentes en la zona y que se observan sobre las laderas de media y baja pendiente en la zona de estudio y de manera general alrededor de la misma. Esta unidad también incluye los depósitos presentes en la zona debido a la acción de los drenajes existentes y aquellos que existieron en el pasado, formando las llamadas terrazas aluviales, las cuales se presentan en las inmediaciones de los cauces y que se dividen según la cota de altura en unidades de terrazas aluviales Qt1 y Qt2. Las formas de estas terrazas son en general fácilmente diferenciables de las otras unidades, debido a que presentan cimas aplanadas de baja pendiente y escarpes erosivos producto de la acción de la erosión fluvial (figura 13).



Figura 13. Unidades Depositacionales.

- ✓ **Unidades Antropogénicas (SAPGN).** Corresponden a superficies planas originadas por el hombre como parte de la expansión urbana en la zona, localizada en las partes altas de la topografía, concurrentes con las zonas donde se han concentrado los asentamientos principales del área y de manera local dentro del predio, conformando los niveles más bajos de la topografía con materiales compactados (figura 14).



Figura 14. Unidades Antropogénicas.

En la construcción de este mapa se empleó la clasificación definida por Hermelin (1987), que establece la correlación directa entre las Formaciones definidas y las unidades litológicas que las originan, de igual forma indican de alguna manera los procesos geológicos a los que han estado sometidas indicando el ambiente de formación; en este orden de ideas se tienen en la zona de estudio principalmente materiales de relleno seguido por depósitos de caída piroclástica.

Llenos Antrópicos y/o Explanaciones (Lle). Estos depósitos se encuentran dispersos por toda la ciudad y resultan de la remoción de la cobertura vegetal, suelos orgánicos superficiales y suelos de carácter volcánico provenientes de los depósitos piroclásticos inconsolidados, por medio de corte y relleno, los cuales pueden ser clasificados con base en su origen mecánico y composición de los materiales en: Rellenos Artificiales, Rellenos Hidráulicos, Explanación-Relleno y Botaderos. Es de aclarar que para el presente trabajo no se realizó la caracterización de estos depósitos antrópicos dada la complejidad de esto, debido a que se requieren análisis más detallados desde el punto de vista geotécnico y cartográfico.

Depósitos Aluviales (Qal). En el área estos depósitos se encuentran asociados a la red principal de drenaje que recorre la ciudad, Río Chinchiná de manera general y quebradas Manizales y Tesorito de manera local. Estos depósitos semiconsolidados a inconsolidados, están conformados por material piroclástico retrabajado y por fragmentos de roca de

diverso origen y tamaño, provenientes desde las distintas unidades de roca que afloran en el área de influencia del drenaje.

Depósitos de Caída Piroclástica (Qcp). Los fenómenos volcánicos originados por los complejos Cerro Bravo – Cerro Machín y Ruiz – Tolima delimitaron sobre la topografía una cobertura de ceniza que varía su espesor desde centímetros hasta decenas de metros. Se localiza en casi todo el bloque central de la ciudad de Manizales, cumpliendo siempre la condición de tener una topografía paralela a sub paralela con la preexistente. Sus espesores varían hacia las partes bajas debido a procesos denudativos como erosión, acción antrópica, etc. Se distribuyen en el área de manera aleatoria cubriendo las diferentes rocas y moldeando la paleo-topografía y en la actualidad la topografía producto del complejo Ruiz-Tolima (González, 2001). Están compuestas por materiales granulares que varían desde tamaño lapilli hasta cenizas finas provenientes de la caída de lluvia piroclástica generada por las erupciones volcánicas del complejo volcánico Ruiz-Tolima. La secuencia piroclástica cubre discordantemente las rocas aflorantes, generando un suelo con capas sub-horizontales, siguiendo la topografía en el momento de la depositación, lo cual no es aplicable a pendientes muy fuertes, mayores a 30 grados. Las capas de estos materiales están conformadas por lapilli, tobas de lapilli, cenizas y tobas de ceniza.

7.3.2 Procesos Erosivos inactivos

Dentro del predio se encuentran pequeñas cicatrices de deslizamientos antiguos, producto de la erosión y el desprendimiento de materiales inconsolidados y que se clasificaron como

coluviones en el capítulo de geología, sobre el talud de la quebrada Tesorito al S del predio y dentro del mismo. Los deslizamientos de tierra no tuvieron afectación alguna de mediana o gran magnitud a nivel de daños o afectaciones a la infraestructura, en general fueron de un tamaño menor y puede evidenciarse que solo uno de ellos tiene tendencia planar y los otros dos presentan un carácter rotacional, lo cual es evidente por la corona que dejan como rasgo característico.

7.3.3 Procesos Erosivos activos

De manera general se evidencian en las zonas aledañas al predio procesos denudativos activos como la erosión producto de los drenajes existentes en la zona y la cuenca de la Quebrada Manizales y otros procesos tales como la acción antrópica y el sobrepastoreo. Sin embargo, estos procesos denudativos activos y erosivos no presentan características que comprometan la estabilidad del predio.

7.3.4 Estudio Multitemporal

Para el análisis multitemporal de la zona de estudio, se analizaron fotografías aéreas e imágenes satelitales correspondientes a los años: 1955, 1969, 2002, 2014 y 2019. Esto con el fin de identificar los cambios que ha sufrido la zona de estudio en los diferentes espacios de tiempo lo cual permitió la identificación de cuencas hidrográficas, áreas urbanísticas, obras de estabilidad, procesos erosivos, adecuaciones antrópicas, entre otras características objeto de estudio.

✓ 1955.

En la fotografía aérea se puede observar la zona sin ningún tipo de adecuación urbanística, excepto por la vía intermunicipal. Se observan las cuencas muy definidas en la zona, las cuales alimentan a la quebrada Tesorito y esta a su vez a la quebrada Manizales. Ninguna de las cuencas aledañas expone alguna intervención (Figura 15). En un círculo rojo sobre la imagen se localiza la zona de estudio.



Figura 15. Fotografía aérea para el año 1955. Fuente: (IGAC).

✓ 1969.

En la imagen satelital no se puede apreciar debido a la calidad y detalle de la misma, si existían procesos erosivos, lo que también imposibilita determinar rasgos morfológicos, o la presencia de obras de estabilidad. Sin embargo, es posible observar una zona virgen, en donde no se han establecido ni viviendas, ni muchas de las empresas industriales que hoy hacen parte del sector. A nivel general es posible visualizar zonas con densa vegetación en tonos más oscuros, lo que podría indicar la presencia de fuentes de agua. Adicionalmente,

en la imagen se pueden observar colinas denudativas en un relieve de montañas cóncavas y convexas (figura 16).



Figura 16. Imagen satelital zona de estudio, Google Earth, 1969.

✓ **2002.**

Para el año 2002, se presenta un establecimiento urbanístico predominante en la zona circundante al lote en estudio, lo que produjo grandes movimientos de tierra y la ocupación de los cauces que rodean el sector, conformando la zona industrial de la ciudad de Manizales; en la zona en general puede observarse el uso del suelo, el cual predominantemente es de pastoreo y al parecer algunos cultivos hacia la zona norte del predio. Por otro lado, se observan zonas planas y zonas de bosque denso al SW. En el lote en estudio no se presentaron cambios significativos (figura 17).



Figura 17. Fotografía aérea para el año 2002. Fuente: (IGAC).

✓ 2014.

Se destaca la presencia de edificaciones dentro del predio, al igual que un movimiento de tierras realizado con el fin de elevar la cota del perfil natural del terreno y la construcción de una serie de edificaciones de categoría baja en la entrada del lote. Se evidencia la cicatriz de un deslizamiento dentro del predio y la demarcación de dos tipos de terrazas aluviales en la Quebrada Manizales, así como en la Quebrada Tesorito. Al N de la zona de estudio se evidencia una zona árida sin vegetación probablemente debido al movimiento de tierras.

Se aprecia la corona de un deslizamiento al S del predio sobre la Quebrada Tesorito (figura 18).



Figura 18. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2014.

✓ **2015.**

En la imagen se observa que continúa el establecimiento urbanístico en la zona circundante al lote en estudio. En las inmediaciones al lote se presenta una alta tasa de infraestructura industrial, al igual que implantaciones de viviendas, lo que produce una densificación del sector. A nivel local se evidencia una zona con menos vegetación debido al movimiento de tierras realizado anteriormente y también se observa el establecimiento de una obra civil dentro del predio, al igual que se aprecia el mejoramiento del acceso al predio (figura 19).



Figura 19. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2015.

✓ **2019.**

Durante este año se destacan las obras de estabilidad construidas hacia la parte occidental debido a la ocurrencia de procesos erosivos en el talud generado por el lleno y en el acceso al predio debido a la erosión causada por la quebrada Tesorito. Adicionalmente se observa una fuerte intervención del terreno, descapotando un gran porcentaje de este para continuar con el movimiento de tierra que ha venido ocurriendo; continuando con el establecimiento urbanístico en la zona circundante al lote en estudio (figura 20).

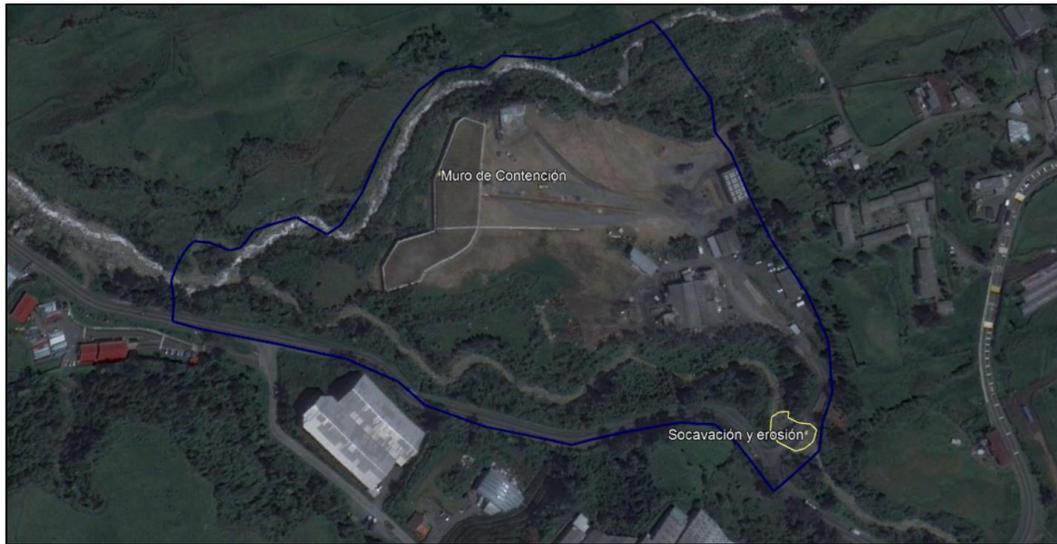


Figura 20. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2019.

✓ 2020.

En este año se continuó con el establecimiento urbanístico en la zona industrial de la ciudad circundante al lote en estudio y se percibe el crecimiento proyectado urbanísticamente. Se presenta una revegetalización con pastos del lote en estudio, aporte importante para la conformación de los taludes del movimiento de tierras realizado. En un círculo rojo sobre la imagen se localiza la zona de estudio (figura 21).

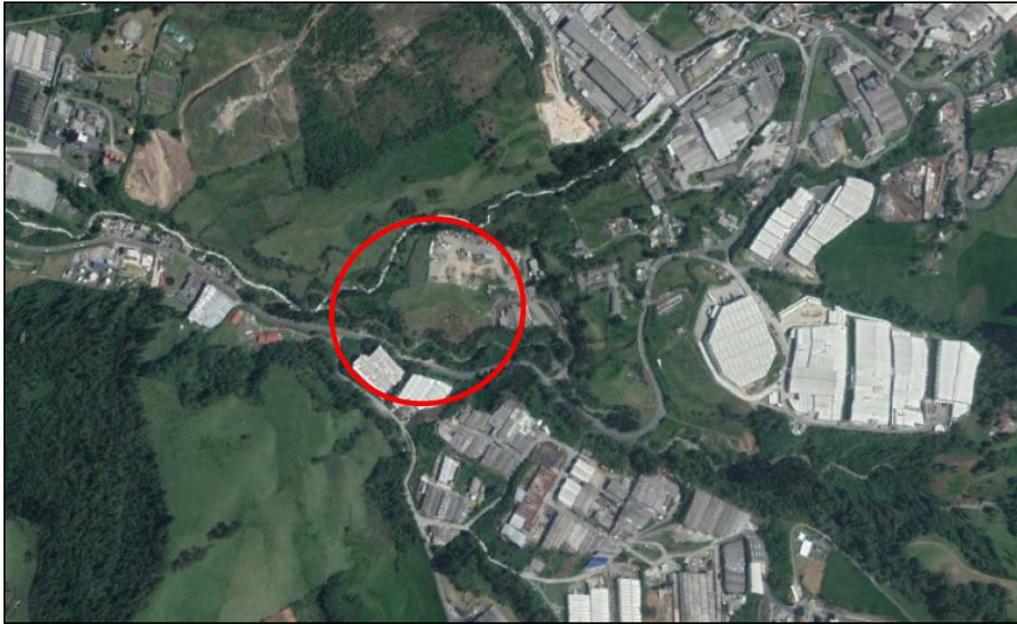


Figura 21. Imagen satelital zona de estudio. Google Earth, 2020.

7.4 Campaña de prospección geotécnica

Para este informe se realizó una prospección geotécnica en la zona con la realización de cuatro (4) perforaciones manuales a 6,0 m de profundidad, las cuales rechazaron a una profundidad entre los 2,0 m y los 3,8 m por la presencia de roca, estas perforaciones fueron localizadas estratégicamente con el fin de obtener las propiedades geotécnicas de los suelos allí presentes y determinar un perfil estratigráfico característico del área en estudio.

En general las formaciones superficiales halladas durante la prospección corresponden a los horizontes del perfil de meteorización, (suelo, regolito y roca parcialmente meteorizada), depósitos de materiales no consolidados o fragmentados, residuales o transportados, de carácter variado que cubren rocas de todo tipo y que conforman la

superficie de la tierra, entre estos depósitos están los de origen aluvial y los de origen coluvial, y en general cualquier otro material superficial. (AGID, 1990, en Cortés y Quintero, 1993).

De manera general, el área objeto de análisis presenta como principal material superficial, de acuerdo a la campaña de prospección geotécnica realizada por el Ingeniero Luis Gonzaga Montes, depósitos antrópicos, depósitos aluviales y suelos residuales.

7.4.1 Descripción de los sondeos realizados

Una vez realizada la prospección Geotécnica en diferentes sectores de la zona de estudio, y con las perforaciones realizadas en ella (Figura 22), se determinó claramente un perfil característico (Figura 23), el cual se describe de base a techo de la siguiente manera:

- 1.** Hacia la base la perforación se presenta el suelo residual, correlacionable con los depósitos aluviales, los cuales corresponden a un limo arenoso que presenta intercalaciones con cenizas, el cual presenta una coloración gris pardo oscura con presencia de rocas granodioritas, andesitas y esquistos en general; debido a la consistencia del material y la presencia de rocas, las perforaciones manuales presentaron rechazo antes de los 6.0 m programados.

- 2.** Suprayaciendo el suelo residual se observa un material de relleno limo arenoso de color pardo oscuro con gris y negro orgánico, presentan una resistencia y una humedad medias, su espesor varía entre 0.8 m y 2.4 m, pero en algunas zonas es mayor.

3. En lo relacionado con el nivel de aguas freáticas (NAF), este se detectó en las perforaciones a profundidades de entre 0.8 m y 1.4 m. (Cada una de las perforaciones se describe en el Anexo 6. Perforaciones manuales, resultados de laboratorio).

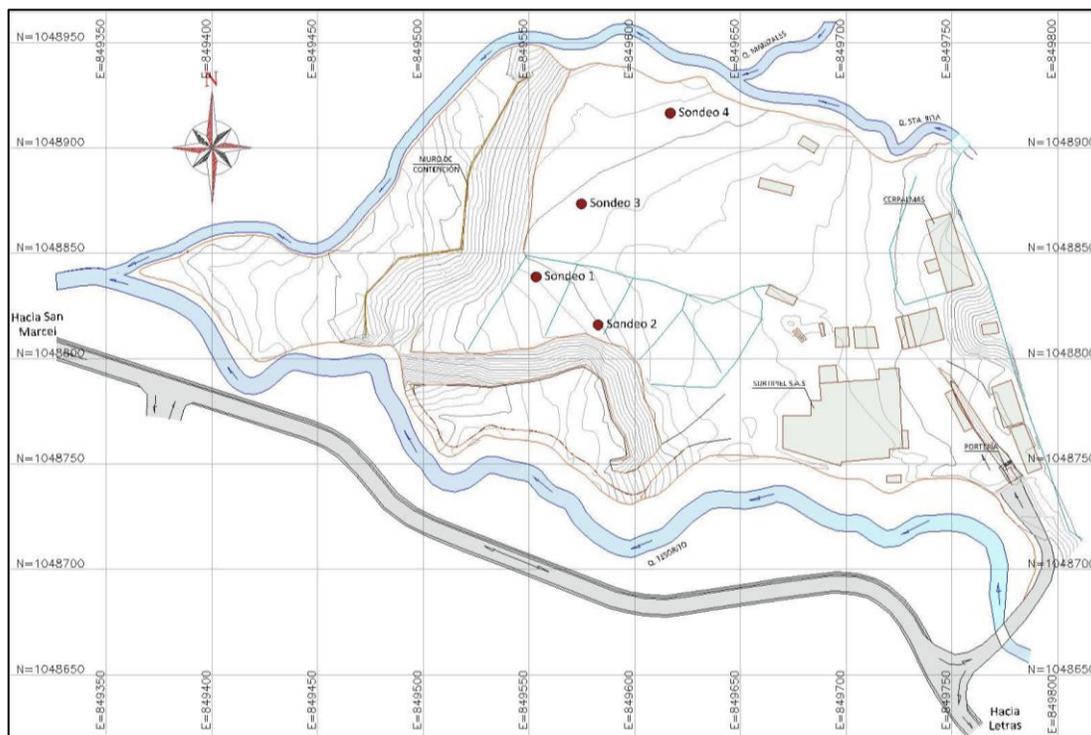


Figura 22. Localización de sondeos.

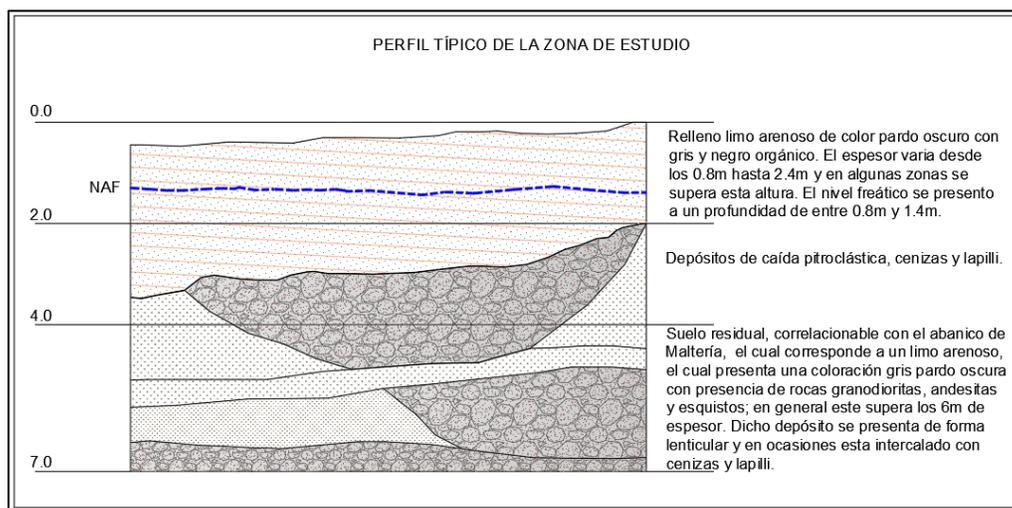


Figura 23. Perfil típico de la zona de estudio.

8 ZONIFICACIÓN DE PENDIENTES (MORFOMETRÍA)

En la zona de estudio se identificaron los nueve (9) rangos de pendientes anteriormente descritos en la metodología que varían desde valores del 0% hasta valores superiores al 100% de inclinación, tal como se observa en el mapa morfométrico (Figura 24) realizado con el *software* Autocad civil 3d que se presenta a continuación:

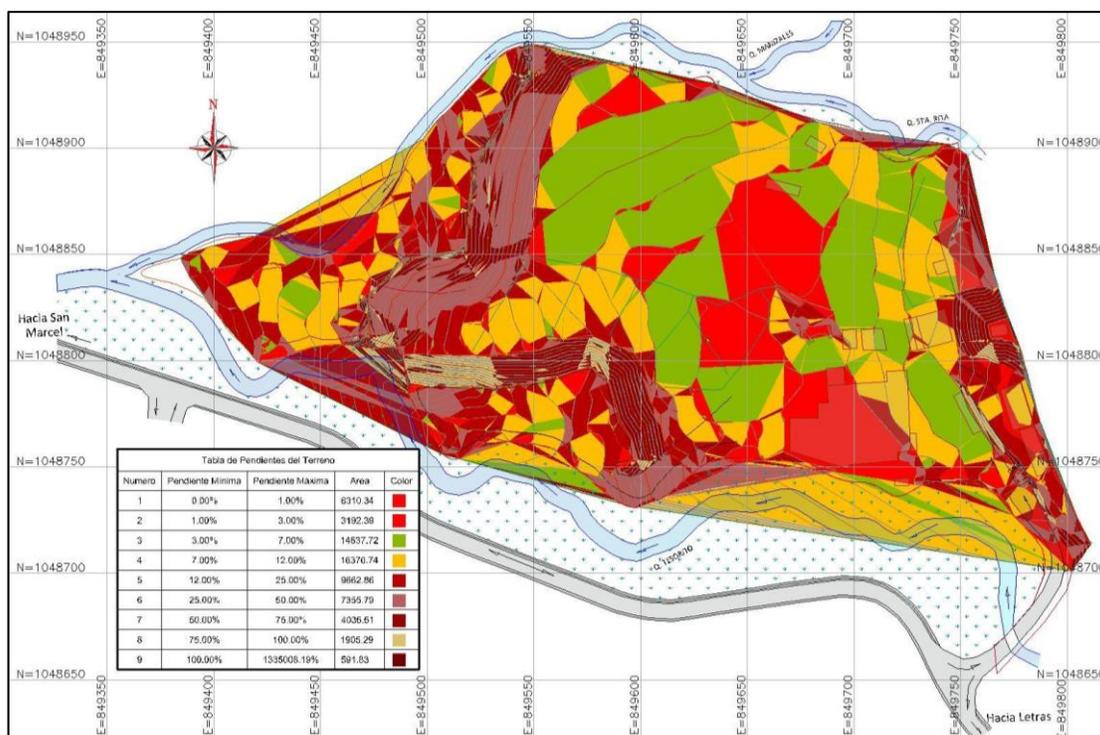


Figura 24. Mapa Morfométrico zona de estudio. Versión basada en la ANLA.

Según este modelo de la ANLA, se puede evidenciar que para la zona oeste y suroeste se tienen pendientes superiores a un 25%, lo que equivaldría a tener un ángulo desde 14° , es decir, desde ligeramente escarpada a fuertemente escarpada en un 100% de pendiente, es decir de 45° .

En la zona oeste predominan las pendientes entre 25% y 50%, es decir entre 14° y 26.5° , lo cual representa un talud estable en cuanto a la pendiente de la ladera, y adicionalmente al tener en la base el muro de contención mencionado anteriormente, lo vuelve un área con tratamiento geotécnico. Sin embargo, esto se corroborará más adelante con el análisis de estabilidad.

Hacia la zona suroeste se puede ver que las pendientes se alternan entre 50-75% y 75-100%, es decir ángulos entre 26.5° y 45° ; valores altos en comparación con el talud anterior, lo que supone por el momento, una ladera de pendiente inestable, sin embargo, se necesitan de los análisis geológicos para una correcta determinación.

Para efectos de un mejor análisis se sectorizó y agrupó las pendientes de acuerdo con la clasificación de Ambalagan (1992) para suelos susceptibles a deslizamientos (Figura 25 y Tabla 4):

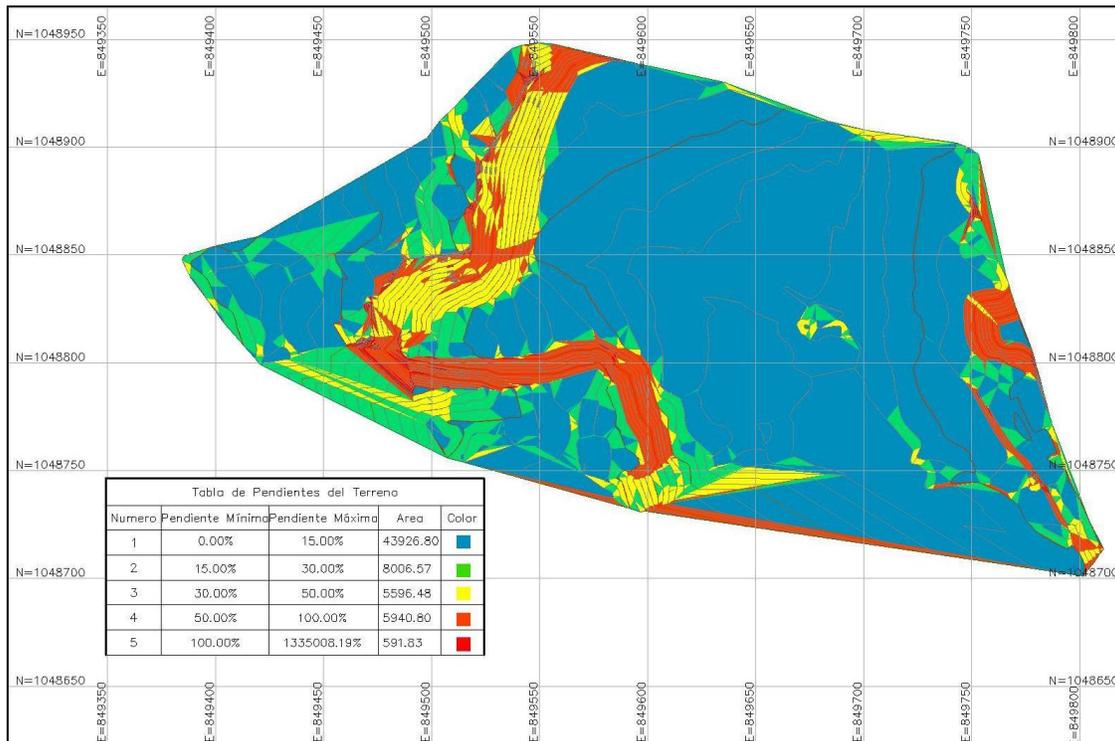


Figura 25. Mapa Morfométrico según Versión basada en Ambalagan (1992).

Número	Pendiente mínima (%)	Pendiente máxima (%)	Color	Área (m ²)
1	0	15	Blue	43926.80
2	15	30	Green	8006.57
3	30	50	Yellow	5596.48
4	50	100	Red	5940.80
5	100	>	Dark Red	591.83

Tabla 4. Rango de pendientes y su área.

A continuación, se muestra la sectorización de rangos obtenida con la modelación, de acuerdo con Ambalagan (1992) (Tabla 5):

Tipo de Pendiente	Rango en porcentaje (%)	Área (m2)	Área (%)
Muy baja	0 - 15	43926,8	68,57
Baja	15 - 30	8006,57	12,50
Media	30 - 50	5596,48	8,74
Alta	50 - 100	5940,8	9,27
Muy Alta	> 100	591,83	0,92

Tabla 5. Sectorización rango de pendientes zona de estudio.

Las pendientes entre el 0% y el 15% de inclinación, representan aproximadamente el 69% del total del área, siendo el porcentaje más alto de todos los presentados y se localiza de manera homogénea por todo el lote. Las pendientes entre el 15% y el 30% de inclinación, representan el 12.5% del total del área de estudio, y se localiza de manera general hacia el oeste y este de la zona. Las pendientes entre el 30% y el 50% de inclinación, corresponden al 8.74 % del total del área, el cual representa el tercer rango con más peso entre los presentados. De esta manera el 90.24% del área cuenta con pendientes inferiores al 50%, dicho porcentaje corresponde en su mayoría, al área que presenta el tratamiento geotécnico con el muro de contención anteriormente realizado en el año 2013.

Finalmente, las pendientes mayores al 50% de inclinación, corresponden aproximadamente al 10% del total del área del lote, este porcentaje se localiza mayoritariamente al suroeste del lote, en donde se presentan las mayores pendientes y en donde hay evidencia de

sobrepastoreo. En la zona de estudio predominan las pendientes inferiores al 50% como se muestra en la figura 26:



Figura 26. Predominio de pendientes inferiores al 50% en la zona de estudio.

9 USO DE SUELO Y COBERTURA VEGETAL EN EL ÁREA DE ESTUDIO

En la zona de estudio a nivel general puede observarse que los usos actuales de algunas áreas del lote son de tipo industrial, ya que actualmente se encuentra instalada la empresa Surtipiel S.A.S, quienes son fabricantes de harina de hueso y adicionalmente se encuentra la empresa Cerpalmas, quien actualmente produce alimentos concentrados para animales.

La cobertura vegetal más sobresaliente en el área son los pastos, pero también se observan zonas con rastrojo de porte bajo, arboles nativos tales como el *eucalyptus*, el pino colombiano, entre otras especies no reconocidas. La localización de estos árboles bordea el lote de forma perimetral, y hacia la zona oeste y norte se acentúan con mayor densidad (Figura 27).

✓ Pastos.

La cobertura vegetal en la zona de estudio corresponde a pastos, rastrojo y algunas partes con ceiba de ganado principalmente; en un porcentaje menor se evidencia la presencia de árboles nativos. (Ver Anexo 5. Mapa de uso del suelo y cobertura vegetal)



Figura 27. Uso de suelo correspondiente principalmente a pastos y vegetación de porte bajo, pero se observan hacia la parte del fondo árboles nativos.

✓ Pastoreo.

En la zona de estudio por su amplia zona de pastos, se ha optado temporalmente por el pastoreo como uso del suelo de algunas áreas, como se observa en la figura 28.



Figura 28. Uso de suelo correspondiente a Pastoreo.

✓ **Zonas con tratamiento geotécnico.**

Hacia la zona oeste del predio se presenta un muro de contención de 160 metros de longitud aproximadamente, con sus correspondientes obras para el manejo de aguas (Figura 29).



Figura 29. Muro de contención y sistema de drenaje con una alcantarilla de 34".

10 FACTORES DETONANTES

Los factores detonantes son aquellos que ayudan a desencadenar un deslizamiento y favorecen las condiciones de la ladera para que ocurra un movimiento en masa; los más comunes son las erupciones volcánicas, los sismos y las precipitaciones. A continuación, se presentan los criterios empleados para determinar el valor correspondiente a los factores detonantes:

10.1 Sismicidad

Factor detonante por sismos (Fds):

Los sismos pueden aumentar el empuje de las masas de suelo ocasionando la falla de los taludes, también pueden causar los deshielos, los cuales a su vez también pueden ocasionar deslizamientos o movimientos en masa.

Para la clasificación de la influencia de la sismicidad se utilizan los mapas utilizados en la metodología de la evaluación sísmica de Colombia. Para los valores A_a (Aceleración horizontal del sismo de diseño según NSR-10), se dan las siguientes calificaciones (Tabla 6):

VALOR DE A_a	CALIFICACIÓN
0.05 – 0.10	1.0
0.10 – 0.15	1.05
0.15 – 0.20	1.10
0.20 – 0.25	1.15
0.25 – 0.30	1.20
0.30 – 0.35	1.25
0.35 – 0.40	1.30

Tabla 6. Valor del factor detonante por sismo.

10.2 Precipitaciones

Factor detonante por precipitaciones (Fdp):

Las lluvias intensas de corta duración y lluvias prolongadas producen modificaciones en la humedad incrementando el peso de las masas de suelo y generando un incremento en la presión de poros lo cual ocasiona una reducción de esfuerzo cortante del suelo y una alta susceptibilidad al deslizamiento.

Para la calificación de la susceptibilidad por precipitación se toma el máximo valor anual de la precipitación de la estación más cercana a área de estudio de la siguiente forma (tabla 7):

VALOR MÁXIMO ANUAL (mm)	CALIFICACIÓN
>1000	1.30
800 – 1000	1.25
600 – 800	1.20
400 – 600	1.15
200 – 400	1.10
<200	1.05

Tabla 7. Valor del factor detonante por precipitación.

10.3 Erupciones volcánicas

Factor detonante por erupciones volcánicas (Fdev):

Las erupciones volcánicas además del efecto vibratorio generan cambios en la temperatura y la disposición de los materiales sobre el talud.

Los problemas generados por las erupciones volcánicas en lo que tiene que ver con deslizamientos están asociados a las pendientes empinadas de los volcanes, la estructura de capas inclinadas en la dirección de la pendiente topográfica, la debilidad de las rocas en los conos volcánicos por los diferentes factores de alteración y el deshielo de los nevados que pueden generar avalanchas.

En general si la zona de estudio se encuentra ubicada en una zona de posibles erupciones volcánicas, el factor detonante se califica con 1.3 de lo contrario se califica como uno (1.0).

11 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE LABORATORIO

Para el desarrollo de este capítulo se tuvieron en cuenta los resultados del laboratorio de suelos realizado por la empresa Quasar, y otros parámetros obtenidos de la literatura, con el objetivo de obtener los datos necesarios para realizar el análisis de estabilidad en la zona y proseguir con la metodología de Ambalagan (1992), la cual fue propuesta por los ingenieros geotecnistas, ya que es la metodología más presentada ante la unidad de gestión del riesgo (UGR) y los sistemas de información geográfica, en la determinación y evaluación de la amenaza.

11.1 Parámetros obtenidos del estudio de suelos, la prospección y los sondeos realizados

Los parámetros obtenidos de los sondeos, la literatura y la caracterización geotécnica en laboratorio arrojaron los siguientes resultados:

✓ Clasificación de suelos:

Para la clasificación de los materiales extraídos de cada una de las perforaciones, se utilizó el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS), el cual tiene como principal parámetro la carta de plasticidad elaborada por Casagrande (1932). Por tal motivo fue necesaria la determinación de los Límites de Atterberg y la realización de Granulometrías por Lavado.

Los depósitos que conforman la zona de estudio presentaron una textura limo arenosa, lo que hace que se clasifiquen en la carta de Casagrande (1932), como limos de alta plasticidad y arenas limosas MH-SM. Posteriormente los colores predominantes en los depósitos encontrados son el pardo oscuro y el gris pardo oscuro. La humedad natural promedio fue de 39.97% para los depósitos de suelo natural, lo que corresponde a un suelo cerca a saturarse ($W < 50.0\%$) (Tabla 8).

TIPO DE SUELO	PREFIJO	SUBGRUPO	SUFIJO
Grava	G	Bien gradada	W
Arena	S	Pobrementemente gradada	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Límite líquido alto (>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo (<50)	H

Tabla 8. Símbolos utilizados en la clasificación SUCS. Casagrande (1932).

- ✓ **Peso unitario del suelo:** El valor promedio fue de 1.911 ton/m³ para pesos unitarios húmedos (18.74 KN/m³) y de 1.385 ton/m³ para pesos unitarios secos, en lo que tiene que ver con los depósitos naturales.
- ✓ **Resistencia a la Compresión Inconfinada:** El valor promedio de la resistencia a la compresión inconfinada para el estrato de suelo natural fue de 2.9 ton/m² para los depósitos de suelo natural.
- ✓ **Cohesión:** El valor de esta propiedad se calculó por medio del ensayo de compresión inconfinada realizada en el laboratorio. El valor de esta propiedad fue de 1.5 ton/m²; para el análisis de estabilidad mostrado más adelante, se tomó un

valor de 1.5 ton/m², es decir un valor de 14.71 KN/m², la cual es común para los depósitos de este sector.

- ✓ **Ángulo de fricción:** De acuerdo a las correlaciones empíricas en función del índice de plasticidad obtenido en el laboratorio de suelos, se obtuvo un ángulo de fricción de 32°, para el análisis de estabilidad se tomó un valor de 28 grados.

11.2 Análisis de Estabilidad

Para analizar las condiciones actuales de estabilidad del predio se utilizaron los siguientes datos de entrada:

Topografía: Los datos topográficos utilizados para el análisis fueron tomados del levantamiento realizado en el área por el propietario del predio y la actualización realizada.

Geología: Sobre los perfiles seleccionados se hizo el perfil típico del suelo (Figura 23) obtenido de las visitas de campo hechas por el ingeniero geotecnista y del estudio de suelos suministrado por el propietario. (Ver Anexo 8. Perfiles transversales zona de estudio)

Condiciones de Agua: El nivel de agua freática, se determinó mediante la revisión en campo, los sondeos y el estudio de suelos.

Condición de Sismo: La aceleración horizontal empleada para el análisis, dada por el ingeniero geotecnista, fue considerando un valor de K_{st}/a_{max} (Ver Tabla 9) de 0.67 para todos los materiales téreos, con lo cual se obtuvo un coeficiente de aceleración horizontal sísmico de 0.29. Para el cálculo del coeficiente de aceleración vertical, de acuerdo a Suarez

(1998), se tomó un valor de 0.025; en los análisis seudoestáticos, Suarez recomienda utilizar este valor debido a los fenómenos de licuefacción en suelos cohesivos de este tipo, que podrían someterse a niveles desde pequeños a moderados de vibración.

MATERIAL	KST/amax Mínimo	ANÁLISIS DE AMPLIFICACIÓN MÍNIMO
Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%)	0,80	Ninguno
Macizos rocosos (RQD > 50%)	1,00	Ninguno
Todos los materiales térreos	0,67	Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar
Todos los materiales térreos	0,50	Amplificación de onda bidimensional

Tabla 9. Valores de Kst mínimos para análisis seudoestáticos de taludes (Tabla H.5.2-1 NSR-10).

Las propiedades geotécnicas de los materiales involucrados se ajustaron de acuerdo con los datos obtenidos del estudio de suelos, la prospección geotécnica y de acuerdo a la experiencia con los suelos de la zona.

El método de estabilidad empleado es el método de dovelas de Bishop (1995); con el cual se realiza un riguroso análisis de estabilidad que sirve para estimar el factor de seguridad de superficies de falla de cualquier forma y de taludes con perfiles de suelo heterogéneo. La solución simplificada de Bishop es la más conocida.

Los factores de seguridad recomendados en la literatura para el análisis son los propuestos en el “Código Colombiano Sismo Resistente (NSR-10)”, el cual fue promulgado por el Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 y los cuales se resumen en la tabla 10:

Condición	F_{SBM}		F_{SBUM}	
	Diseño	Construcción	Diseño	Construcción
Carga Muerta + Carga Viva Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Carga Muerta + Carga Viva Máxima	1.25	1.10	1.40	1.15
Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático	1.10	1.00 (*)	No se permite	No se permite
Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal	1.50	1.25	1.80	1.40
Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño	1.05	1.00 (*)	No se permite	No se permite

(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño

Tabla 10. Factores de seguridad básicos mínimos (Tabla H.2.4-1 NSR-10).

Una vez identificados cada uno de los datos de entrada se realizó el análisis de estabilidad en condiciones críticas de agua y sismo, así como también, utilizando los perfiles transversales más representativos de acuerdo a la topografía del sector. (Ver Anexo 7 y Anexo 8).

Para cada análisis se busca encontrar un factor de seguridad que sea igual o superior a 1.05 bien como se menciona en la tabla 10; para taludes con condición seudoestática, con agua subterránea normal y coeficiente sísmico de diseño, es decir en condiciones de que ocurriera un sismo; y un factor de seguridad igual o superior a 1.5 para taludes en condición estática con agua subterránea normal, es decir, en condiciones normales del terreno sin sismo.

11.3 Análisis de estabilidad perfil 1 sin sismo y con nivel de aguas freáticas

En la figura 30 se observa un talud estable en condiciones estáticas, compuesto por las dos capas de materiales encontradas en la zona de estudio, el nivel de aguas freáticas en azul y

adicionalmente un muro de contención en la parte baja del talud. Los resultados muestran una superficie de falla circular con un factor de seguridad de 1.6, lo que significa que el talud es estable en las condiciones normales del terreno.

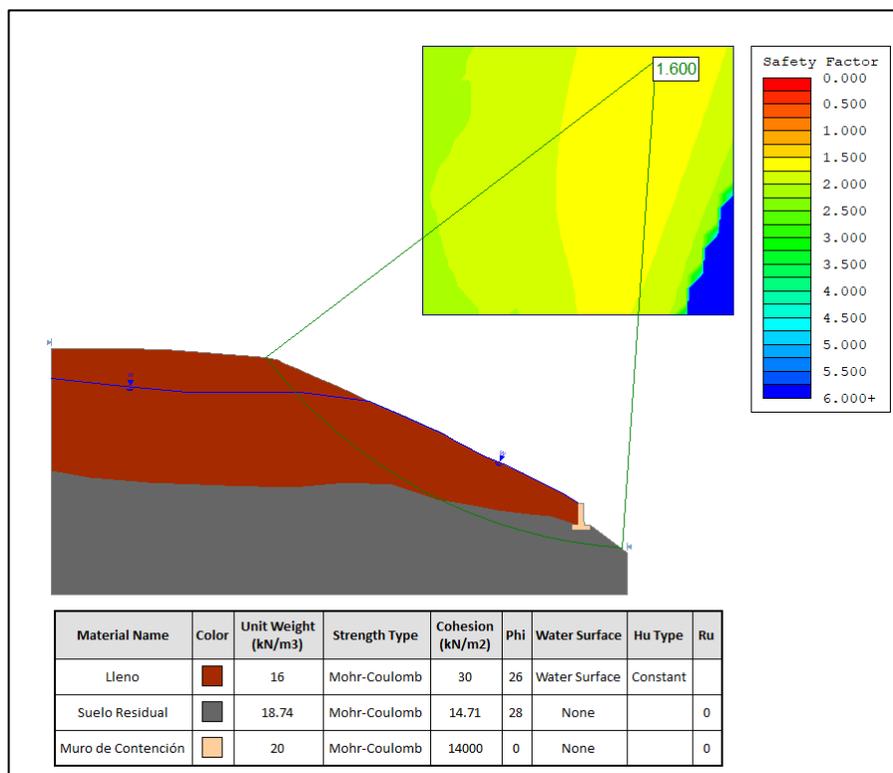


Figura 30. Análisis de estabilidad perfil 1, sin sismo y con condición de aguas freáticas.

11.4 Análisis de estabilidad perfil 1 con sismo y con nivel de aguas freáticas

La figura 31 muestra un talud estable en condiciones pseudoestáticas, compuesto por las dos capas de materiales encontradas en la zona de estudio, el nivel de aguas freáticas representado con una línea azul y el muro de contención en la parte baja del talud. Adicionalmente, se coloca la zona en amenaza de sismo como se dispuso anteriormente, bajo una aceleración horizontal sísmica de 0.29 y una aceleración vertical de 0.025, de

acuerdo a Suarez (1998). Los resultados muestran una superficie de falla circular con un factor de seguridad de 1.071, lo que significa que el talud es estable en condiciones de sismo.

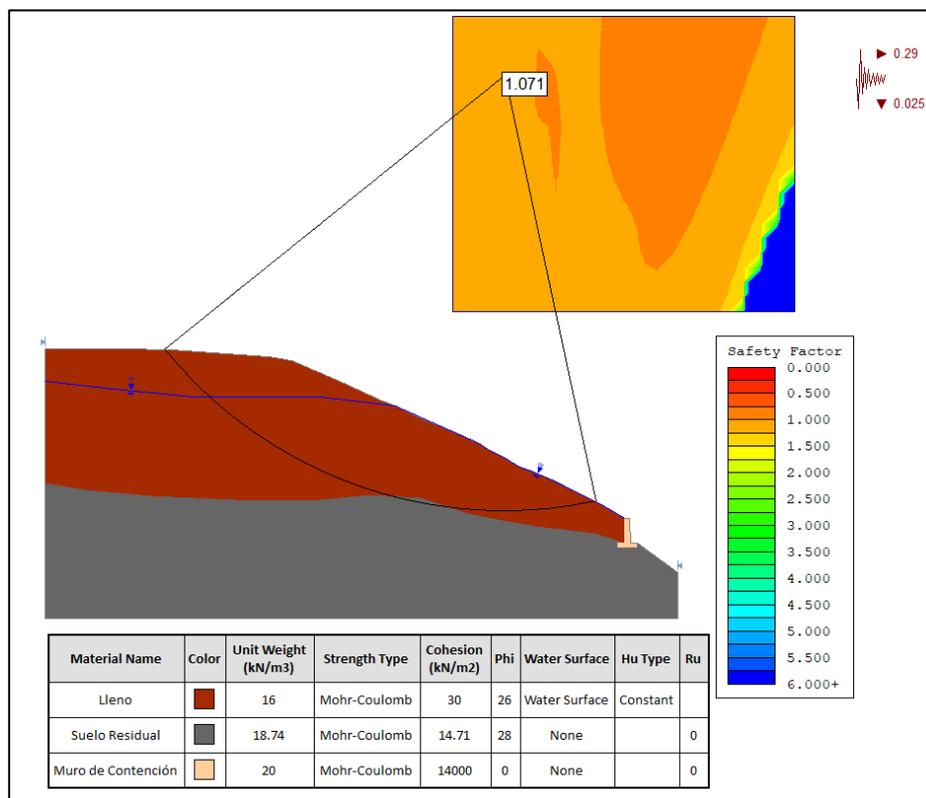


Figura 31. Análisis de estabilidad perfil 1, con sismo y con condición de aguas freáticas.

11.5 Análisis de estabilidad perfil 2 sin sismo y con nivel de aguas freáticas

En la figura 32, puede observarse el talud que presenta amenaza media por deslizamiento según el POT de la ciudad bajo condiciones estáticas. Este talud está compuesto por las dos capas de materiales encontradas en la zona de estudio y el nivel de aguas freáticas en

azul. Los resultados muestran una superficie de falla circular con un factor de seguridad de 1.627, lo que significa que el talud es estable en las condiciones normales del terreno.

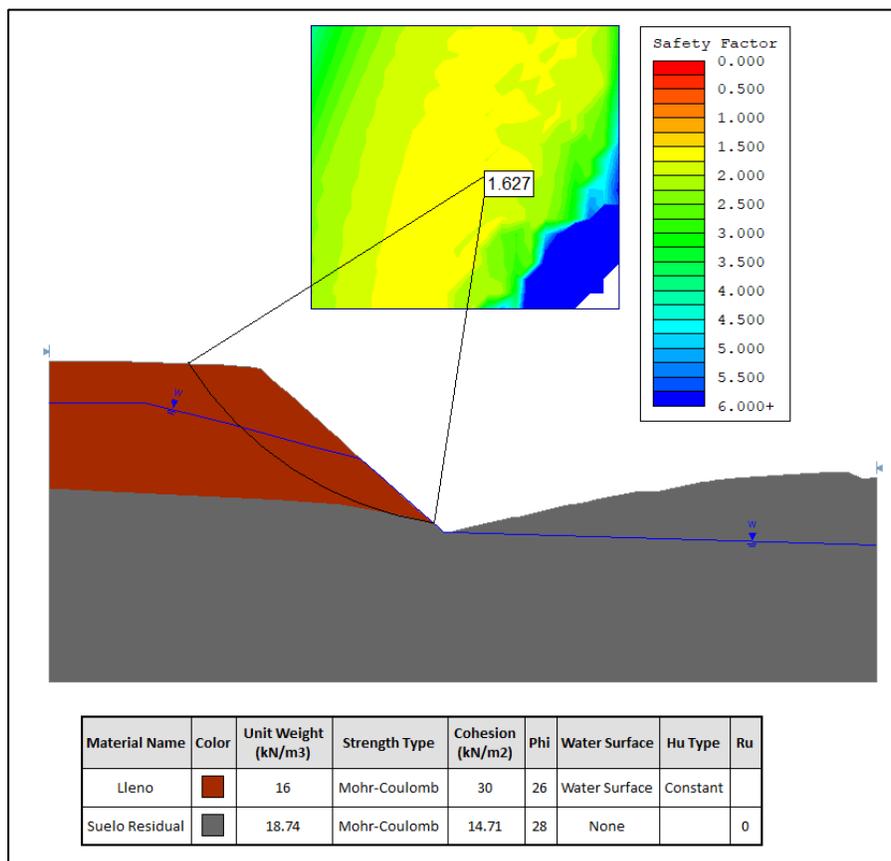


Figura 32. Análisis de estabilidad perfil 2, sin sismo y con condición de aguas freáticas.

11.6 Análisis de estabilidad perfil 2 con sismo y con nivel de aguas freáticas

Como se observa en la figura 33, el talud que presenta amenaza media por deslizamiento según el POT de la ciudad se presenta en condiciones pseudoestáticas y está compuesto por las dos capas de materiales encontradas en la zona de estudio y el nivel de aguas freáticas en azul. Se dispone una aceleración horizontal sísmica de 0.29 y una aceleración

vertical, de acuerdo a Suarez (1998) de 0.025. Los resultados muestran una superficie de falla circular con un factor de seguridad de 1.166, lo que significa que el talud es estable en condiciones de sismo.

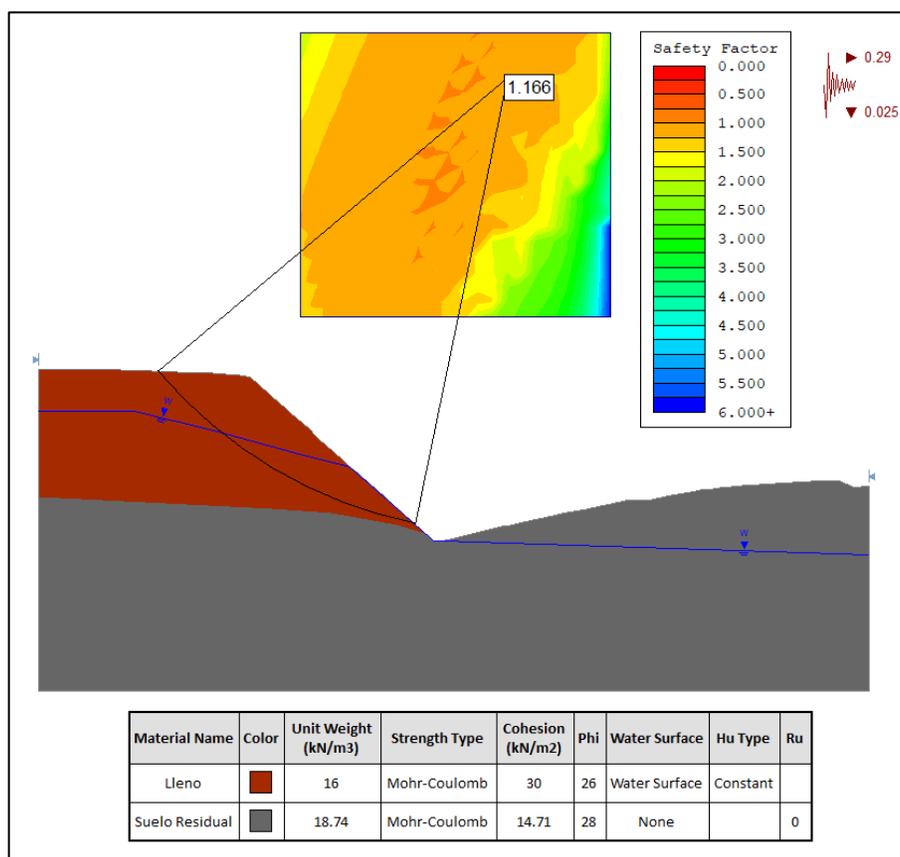


Figura 33. Análisis de estabilidad perfil 2, con sismo y con condición de aguas freáticas

11.7 Análisis de estabilidad perfil 3 sin sismo y con nivel de aguas freáticas

La figura 34 presenta el análisis al perfil 3, localizado al sur del predio objeto de estudio en condiciones estáticas y con la presencia de aguas freáticas. Los resultados muestran una superficie de falla con un factor de seguridad de 2.224, lo cual representa un talud estable bajo condiciones estáticas normales.

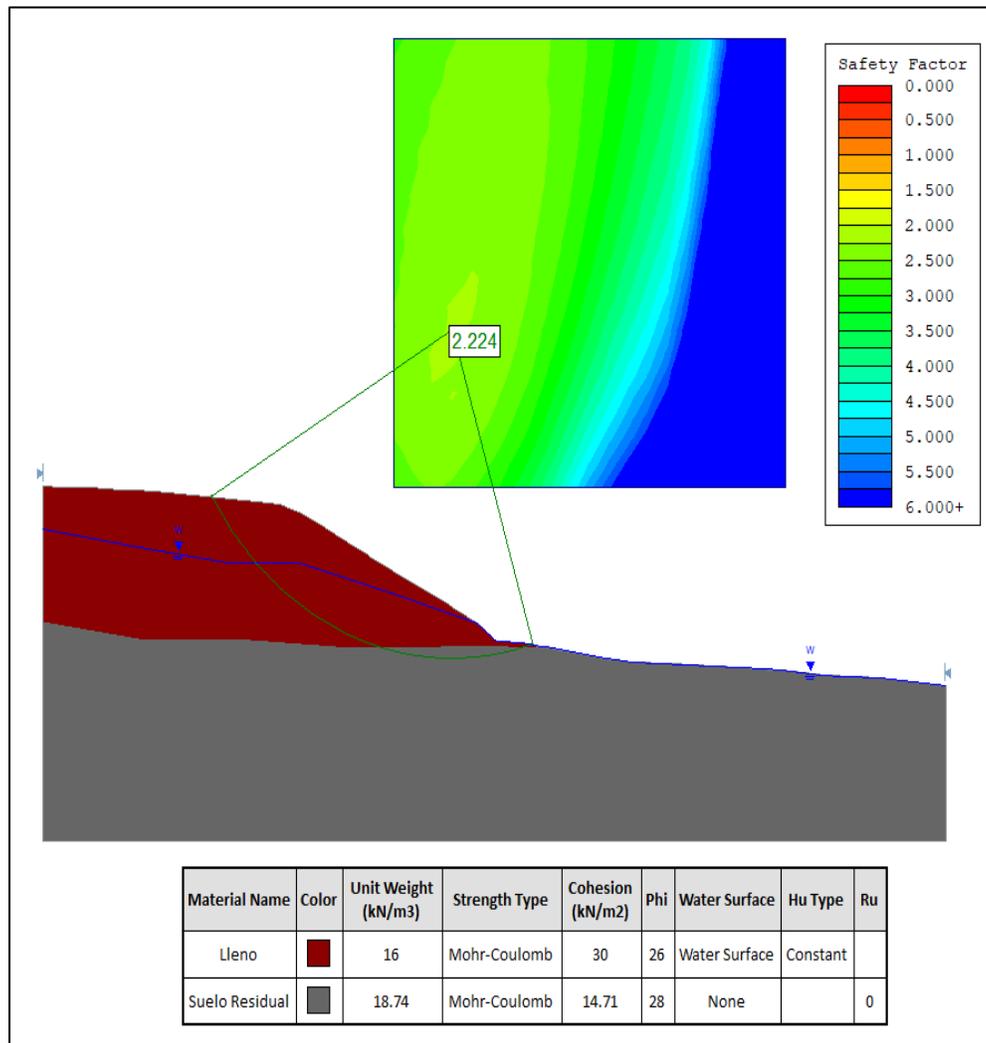


Figura 34. Análisis de estabilidad perfil 3, sin sismo y con condición de aguas freáticas.

11.8 Análisis de estabilidad perfil 3 con sismo y con nivel de aguas freáticas

En la figura 35, finalmente se presenta el análisis al perfil 3, localizado al sur del predio objeto de estudio en condiciones pseudoestáticas y con la presencia de aguas freáticas. Los

resultados muestran una superficie de falla con un factor de seguridad de 1.251, lo cual representa un talud estable bajo condiciones de sismo.

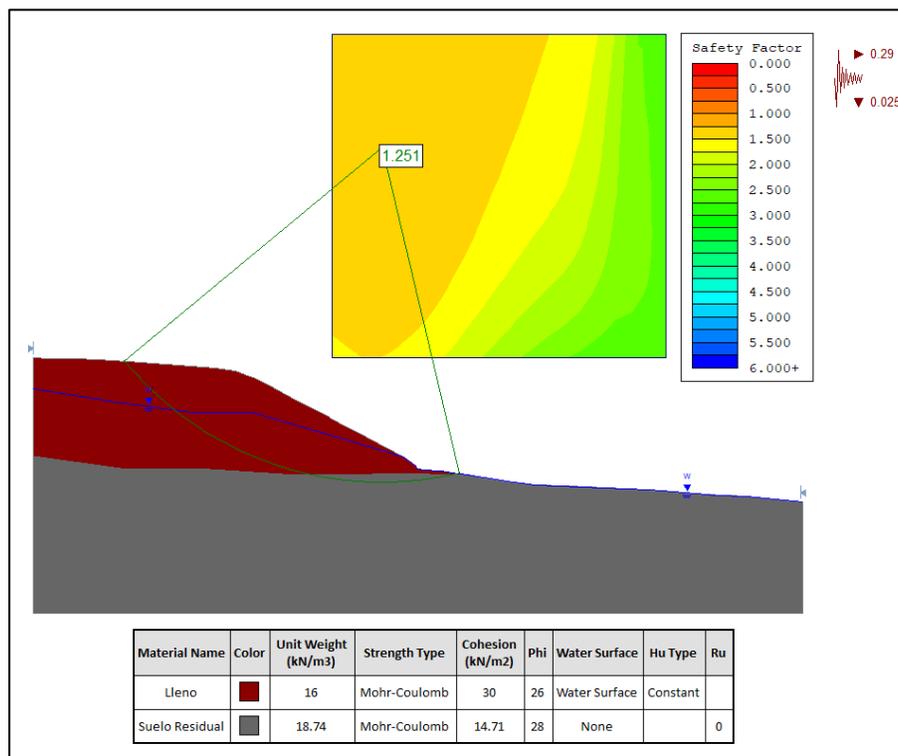


Figura 35. Análisis de estabilidad perfil 3, con sismo y con condición de aguas freáticas

Los análisis de estabilidad presentados anteriormente fueron tomados en la zona de estudio en condiciones actuales, tomando la topografía del sector, el perfil geotécnico y las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la zona de estudio, considerando un estado crítico con sismo y nivel freático. Estos análisis arrojaron factores de seguridad Superiores a 1.05 en estado pseudoestático; y superiores a 1,5 en estado estático, los cuales son los valores mínimos recomendado en la tabla 11. Factores de seguridad básicos mínimos (Tabla H.2.4-1 NSR-10).

Abscisa	Factores mínimos NSR-10 con sismo y agua	Factor de seguridad obtenido	Resultado	Factores mínimos NSR-10 sin sismo y con agua	Factor de seguridad obtenido	Resultado
Perfil 1	1,05	1,071	OK	1,5	1,600	OK
Perfil 2	1,05	1,166	OK	1,5	1,627	OK
Perfil 3	1,05	1,251	OK	1,5	2,224	OK

Tabla 11. Cuadro resumen valores análisis de estabilidad, condiciones actuales.

Los resultados obtenidos del cuadro anterior nos muestran que los factores de seguridad derivados de los ensayos con el *software*, son superiores a los mínimos recomendados en la norma, es decir que en las condiciones actuales están cumpliendo con los estándares mínimos exigidos por la normativa. Sin embargo, es de aclarar que en el estudio no se tuvo en cuenta la sobrecarga que podría generar la construcción del proyecto que se tiene pensado para un futuro, y para dicho escenario, no está demás recomendar algunas obras de drenaje con el fin de mejorar las condiciones actuales del terreno, y de esta manera prepararlo para contribuir a una mayor estabilidad futura.

Entre las obras recomendadas se plantea la construcción de una zanja colectora en la parte inferior del talud de la zona sur del predio (Figura 36), ya que este, a diferencia del talud de la zona oeste no cuenta con obras de contención, ni obras hidráulicas para el manejo de aguas. Adicionalmente se recomienda la construcción de drenes horizontales de al menos 15 m de longitud y un diámetro de cuatro pulgadas, separados cada 10 m para el mismo, buscando con ello tener un mejor manejo de las aguas de infiltración.

✓ Detalle de zanja colectora

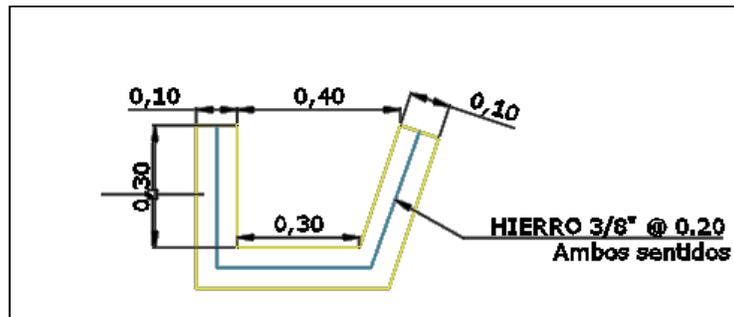


Figura 36. Detalle zanja colectora propuesta. Fuente propia.

12 DETERMINACIÓN DE LA AMENAZA

12.1 Análisis de Amenaza Ambalagan (1992)

La zonificación de la amenaza relativa por movimientos en masa consiste en la división de un área específica de terreno en áreas homogéneas o de igual calificación del grado de amenaza. Las amenazas pueden ser de origen exógeno (natural) las cuales tienen como factores detonantes los sismos, las erupciones volcánicas, los deshielos y las precipitaciones. O a su vez, pueden desatarse por factores endógenos (tecnológicos) que se generan debido a las actividades antrópicas propias de cada proyecto (corte de taludes, mala disposición de sobrantes, inadecuada compactación de rellenos, etc). (Guía Metodológica, SGC, 2016-2017).

La metodología utilizada de Ambalagan (1992), da como resultado el mapa de amenazas desde la superposición de planos, para una mejor interpretación y manejo del mapa de amenaza, este se divide en los rangos que se describen en la tabla 12:

GRADO	TIPO	CALIFICACIÓN
I	Muy baja	<2.0
II	Baja	2.0 – 4.0
III	Media	4.0 – 6.0
IV	Alta	6.0 – 8.0
V	Muy alta	>8.0

Tabla 12. Rangos de amenaza relativa por deslizamientos.

Con este análisis se busca determinar si realmente el lote objeto de estudio, presenta una amenaza media por deslizamiento, como lo indica el Plan de Ordenamiento Territorial de

la ciudad de Manizales, o si por el contrario a la escala de trabajo la amenaza es baja o muy baja, y de esta manera se puede desafectar la zona de estudio.

12.2 Calificación de indicadores de susceptibilidad

La calificación de los indicadores de susceptibilidad a la amenaza se realizó dividiendo cada indicador en unidades de susceptibilidad de amenaza. Para llegar a esta calificación se debe tener en cuenta todas las investigaciones desarrolladas en la línea base del estudio, como son: topografía, características geológicas, geomorfológicos y geotécnicas de suelo, uso del suelo y cobertura vegetal. A continuación, se presentan los criterios utilizados para determinar el valor de los indicadores de susceptibilidad:

✓ Susceptibilidad por pendiente del terreno (Spt):

Entre mayor sea la pendiente del terreno, mayor es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento. A continuación, se presentan los criterios utilizados para la evaluación por susceptibilidad de amenaza, debido a la pendiente del terreno, esta es expresada en términos numéricos, como puede observarse en la siguiente tabla:

TIPO	(%)	CALIFICACIÓN
Muy baja	0 -15% (0 – 8.53°)	0.0
Baja	15 – 30% (8.53 – 16.7°)	0.5
Media	30 – 50% (16.7 – 26.6°)	1.0
Alta	50 – 100% (26.6 – 45°)	1.5
Muy alta	>100% (>45°)	2.0

Tabla 13. Susceptibilidad debido a la pendiente del terreno.

✓ **Susceptibilidad por características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas**

(Scg):

Se utiliza información secundaria de las formaciones geológicas y de cada tipo de roca, donde se indica cuáles son los materiales más susceptibles a sufrir deslizamientos.

Las siguientes calificaciones como se muestra en la tabla 14, se presentan de acuerdo a la clasificación de Ambalagan (1992) para suelos susceptibles a deslizamientos:

CARACTERÍSTICAS	CALIFICACIÓN
Roca sana	0.0
Cuarcita y caliza muy meteorizada	0.8
Cuarcita y Caliza algo meteorizada	0.6
Cuarcita y Caliza poco meteorizada	0.4
Granito muy meteorizado	1.2
Granito algo meteorizado	0.9
Granito poco meteorizado	0.6
Neiss muy meteorizado	1.6
Neiss algo meteorizado	1.2
Neiss poco meteorizado	0.8
Arenisca muy meteorizada	1.5
Arenisca algo meteorizada	1.25
Arenisca poco meteorizada	1.10
Pizarra y filita	1.2
Esquistos	1.3
Lutitas no arcillosas	1.8
Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas	2.0

CARACTERÍSTICAS	CALIFICACIÓN
Materiales aluviales antiguos muy bien consolidados	0.8
Arcilla blanda	1.0
Arcilla media	0.6
Arcilla dura	0.2
Arenas sueltas	1.4
Arena media	0.8
Arena compacta	0.4
Coluviones recientes	2.0
Coluviones antiguos	1.2

Tabla 14. Susceptibilidad por las características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas.

✓ **Susceptibilidad por usos del suelo y cobertura vegetal (Suc):**

Por lo general las laderas son más estables con vegetación en ellas, que, sin ella, y esto es debido a que la vegetación protege el suelo de la erosión. El suelo de las laderas, al contar con una menor cubierta vegetal que lo fije, se erosiona rápidamente a causa de la lluvia. A continuación, se presenta la clasificación de la susceptibilidad empleada por Ambalagan (1992) para el uso del suelo y cobertura vegetal (tabla 15):

USO Y COBERTURA	CALIFICACIÓN
Área urbana	1.0
Cultivos anuales	1.0
Vegetación intensa	0.4
Vegetación moderada	1.2
Vegetación escasa	1.5
Terrenos áridos	1.0

Tabla 15. Susceptibilidad de la ladera por uso del suelo y cobertura vegetal.

12.3 Cálculo de la amenaza relativa (Ar)

Para el cálculo de la amenaza relativa se tiene en cuenta el producto de la suma de los indicadores de susceptibilidad mencionados en el marco teórico, según la metodología de Ambalagan (1992), por los factores detonantes, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Ar = (S_{cg} + S_{pt} + S_{uc}) * (Fd_s * Fd_{ev} * Fd_p)$$

De acuerdo a la fundamentación teórica expuesta en los apartados anteriores, se obtuvieron los siguientes resultados:

12.4 Resultados de la evaluación de indicadores de amenaza por deslizamiento Ambalagan (1992)

Siguiendo el procedimiento descrito en el Ítem 12.1, se analizaron todas las variables anteriores, para determinar el mapa de amenaza, y del cual se obtuvieron los siguientes valores de cada una de las variables anteriormente descritas:

✓ Susceptibilidad por características geológicas, geomorfológicas y geotécnicas (Scg).

Geología: En la zona de estudio como se evidencio en el capítulo 7, la geología presente corresponde a depósitos aluviales correlacionables con el Abanico aluvial de Maltería el cual yace muy probablemente sobre el Complejo Quebradagrande, estos depósitos presentan cenizas en su composición, lo cual es normal debido a la cercanía con el complejo

volcánico Ruiz - Tolima. Adicionalmente, se presentan superpuestos a estos, materiales de relleno con espesores promedios de 0.8, a 2.4 m, y de mayores espesores en otros sectores del área de estudio. Para la calificación de susceptibilidad por características geológicas se tomó un valor de $Sc_g=0.8$. el cual corresponde a materiales aluviales antiguos muy bien consolidados.

✓ **Susceptibilidad por pendiente del terreno (Spt).**

Para el cálculo del indicador de susceptibilidad por pendiente, fue necesario el apoyo de los resultados presentados en la tabla 5, en donde se muestra la sectorización por rango de pendientes de la zona de estudio, y adicionalmente en la tabla 16 se marca para cada rango de pendiente su respectiva calificación, como se describió en el numeral 12.2.

TIPO DE PENDIENTE	RANGO EN PORCENTAJE (%)	ÁREA (m ²)	ÁREA (%)	CALIFICACIÓN (Spt)
Muy baja	0 - 15	43926,8	68,57	0,00
Baja	15 - 30	8006,57	12,50	0,50
Media	30 - 50	5596,48	8,74	1,00
Alta	50 - 100	5940,8	9,27	1,50
Muy Alta	> 100	591,83	0,92	2,00

Tabla 16. Calificación por rango de pendientes de la zona de estudio. Fuente propia basada en la metodología Ambalagan (1992).

De la tabla anterior, es posible determinar que en la zona de estudio predomina la pendiente muy baja, es decir un porcentaje entre 0% y 15% de pendiente, en un área de 43926.8 m². Esto, es corroborable con el análisis morfométrico realizado anteriormente e indica que en

su mayoría la pendiente del terreno es suave. Por esta razón, se tomó un valor de susceptibilidad por pendiente del terreno de $S_{pt} = 0.0$:

✓ **Susceptibilidad por usos del suelo y cobertura vegetal (Suc).**

Siguiendo con la metodología de Ambalagan (1992), y al determinar en el capítulo 9 la descripción del uso actual del suelo y la cobertura vegetal más representativa, que en este caso corresponde a pastos en área urbana; se toma para el índice de susceptibilidad por usos del suelo y cobertura vegetal un valor de **Suc = 1,00**:

✓ **Factor detonante por sismos (Fds).**

Para la calificación de la influencia por sismos en la zona de estudio se tiene en cuenta lo descrito anteriormente, en donde la aceleración horizontal empleada para el análisis fue considerando un valor de K_{st}/a_{max} de 0.67 para todos los materiales térreos, con lo cual se obtuvo un coeficiente de aceleración horizontal sísmico A_a de 0.29, y para el cálculo del coeficiente de aceleración vertical, de acuerdo a Suárez (1998), se tomó un valor de 0.025 (Tabla 17).

Condición de Sismo:

De conformidad con lo anterior:

VALOR DE A_a	CALIFICACIÓN
0.25 – 0.30	1.20

Tabla 17. Valor del factor detonante por sismos en la zona de estudio. Fuente propia basada en la metodología Ambalagan (1992).

✓ **Factor detonante por precipitación (Fdp).**

Para la calificación de la susceptibilidad por precipitación, se realizó la consulta de indicadores climatológicos por precipitación, en el Centro de datos e indicadores ambientales de Caldas, o por sus siglas CDIAC, y adicionalmente se buscó la estación meteorológica más cercana al predio con ayuda del Sistema Integrado de Monitoreo Ambiental de Caldas (SIMAC) (Figura 37); con el fin de establecer la precipitación anual máxima del sector y poder darle la calificación respectiva con respecto a los 10 últimos años.



*Figura 37. Localización de estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio.
(SIMAC, 20 de enero de 2021)*

A continuación, se realiza la consulta de indicadores climatológicos por precipitación, de acuerdo a las dos estaciones más cercanas al predio en el Centro de datos e indicadores ambientales de Caldas (CDIAC). Se tuvieron en cuenta los datos de precipitación desde el año 2011 al año 2020 para la estación Quebrada Tesorito (Tabla 19, figura 39); y desde el

año 2015 al 2020 de la estación Quebrada Manizales, como se muestra a continuación (Tabla 18, figura 38):

PRECIPITACION (PPT) AÑOS 2015 - 2020 - ESTACIÓN Q, MANIZALES - SKINCO	
Año	Ppt (mm)
2015	82,20
2016	314,60
2017	1236,80
2018	4282,40
2019	3093,80
2020	1303,80
Total	10313,60

Tabla 18. Precipitación años 2015 - 2020, estación Quebrada Manizales – Skinco.

(CDIAC, 28 de marzo de 2021)



Figura 38. Gráfico precipitación años 2015 - 2020, estación Quebrada Manizales – Skinco. (CDIAC, 28 de marzo de 2021)

PRECIPITACION (PPT) AÑOS 2011 - 2020 -ESTACIÓN Q, TESORITO	
Año	Ppt (mm)
2011	2292,20
2012	1392,20
2013	1538,20
2014	1567,80
2015	1319,80
2016	1329,80
2017	2080,00
2018	1644,00
2019	1813,60
2020	1438,80
Total	16416,40

Tabla 19. Precipitación años 2011 - 2020, estación quebrada Tesorito. (CDIAC, 28 de marzo de 2021)



Figura 39. Gráfico de precipitación años 2011 - 2020, estación quebrada Tesorito. (CDIAC, 28 de marzo de 2021)

Para la calificación de la susceptibilidad por precipitación se toma el máximo valor anual de la precipitación de ambas estaciones y se saca un promedio entre ellas como se muestra en la tabla 20:

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	Ppt (mm)	Ppt promedio (mm)
ESTACIÓN Q, MANIZALES - SKINCO	4282,4	3181,2
ESTACIÓN Q, TESORITO	2080	

Tabla 20. Cálculo de la precipitación anual promedio de ambas estaciones meteorológicas.

Con base en la tabla anterior y los valores del factor detonante por precipitación anteriormente descritos, la calificación para el indicador Fdp es la que se muestra en la tabla 21:

VALOR MÁXIMO ANUAL (mm)	CALIFICACIÓN
> 1000	1.30

Tabla 21. Valor del factor detonante por precipitaciones en la zona de estudio.

✓ Factor detonante por erupciones volcánicas (Fdev).

La zona de estudio por encontrarse cerca al volcán Nevado del Ruiz, presenta susceptibilidad a la ocurrencia de una erupción volcánica como toda la ciudad de Manizales, sin embargo, está lejos de la zona de amenaza alta, como se muestra en el mapa de amenaza volcánica del volcán Nevado del Ruiz (2015), es por ello que será calificada con un valor de Fdev: 1.0

12.5 Resultado del cálculo de la amenaza relativa (Ar)

Para el cálculo de la amenaza relativa, como se explicó anteriormente, se tiene en cuenta el producto de la suma de los resultados de los indicadores de susceptibilidad antes mencionados, por los factores detonantes, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$Ar = (S_{cg} + S_{pt} + S_{uc}) * (Fd_s * Fd_{ev} * Fd_p)$$

De acuerdo a esto la tabla 22 muestra el resultado obtenido desde la metodología de Ambalagan (1992), este resultado se relaciona con la tabla 12. (Rangos de amenaza relativa por deslizamientos) y se obtiene de manera general un resultado de amenaza grado II, es decir de tipo baja, cuyo rango de calificación esta entre 2.0 y 4.0.

El mapa de amenaza por movimiento en masa obtenido para la zona de estudio se puede visualizar en el anexo 10:

CALCULO DE LA AMENAZA RELATIVA						
Cálculo Susceptibilidad	Scg	Spt	Suc	Σ indicadores	Total	2,81 (Grado II, Tipo Baja)
	0,80	0,00	1,00	0,80+0,50+1,00	1,80	
Cálculo Factores detonantes	Fds	Fdp	Fdev	* detonantes	Total	
	1,20	1,3	1,00	1,20*1,25*1,30	1,56	

Tabla 22. Cálculo de la amenaza relativa de la zona de estudio.

13 DISCUSIÓN

De los resultados se puede determinar que la zona de estudio en general presenta una amenaza muy baja a sufrir fenómenos de remoción en masa, y en las zonas donde se presenta amenaza media (Alcaldía de Manizales, 2017-2031), ahora se aprecia una amenaza baja, razón por la cual se deduce que esta área es apta para el desarrollo urbanístico. Sin embargo, como se muestra en la figura 23. (Perfil típico de la zona de estudio), la capa más superficial del lote corresponde a un lleno de espesor variable entre 1.4 m o más en algunas zonas y para llenos de este tipo, se recomienda realizar obras complementarias mencionadas ya en el Capítulo 11, y que corresponden a drenes horizontales y una zanja colectora a la base del talud en la zona sur. Adicionalmente, es importante recalcar que al presentarse estos llenos, lo más recomendable es que las edificaciones a construir estén apoyadas sobre cimentaciones de tipo profundas, que garanticen la durabilidad y la seguridad de las mismas.

13.1 Zonificación de la aptitud del suelo, conforme con los resultados del estudio

Una vez establecida la amenaza por movimiento en masa, la cual corresponde a una amenaza baja para la zona de estudio en general, el desarrollo de cualquier tipo de proyecto urbanístico es viable, siempre y cuando este cumpla con los requerimientos que la secretaría de planeación municipal exija y con sus respectivos estudios de soporte. Inicialmente se pueden proyectar edificaciones con cimentaciones superficiales apoyadas

sobre suelo natural o roca superando las capas de relleno, o si las edificaciones son de gran envergadura, deberán ser cimentaciones profundas apoyadas sobre suelo natural.

La zona en general presenta buena estabilidad, sin embargo, como se ha venido mencionando con anterioridad, el manejo de aguas es imperativo a la hora de mejorar las cualidades del suelo, pues los suelos saturados tienen más tendencia a presentar remoción.

13.2 Aspectos viales, entrega de aguas y de servicios públicos

Contiguo a la zona de estudio se encuentra la vía que de Manizales conduce al Magdalena, vía nacional de una calzada y de aproximadamente 7 m de ancho, con doble cuneta y obras hidráulicas a lo largo de la misma para el manejo de aguas; esta no posee andenes ni sardineles frente a la zona del lote. Adicionalmente, en lo que respecta a la entrega de aguas, el lote cuenta con tubería hacia la zona oeste donde descola a la quebrada Manizales, el permiso para estos vertimientos se encuentra vigente ante la Corporación Autónoma Regional de Caldas (Corpocaldas), sin embargo, se deben canalizar las diferentes aguas de escorrentía superficiales llevando las mismas a la línea de drenaje más cercana.

En lo que respecta a servicios públicos, el servicio de agua potable es suministrado por el Acueducto de Maltería, el servicio de energía por Vatia y no se cuenta con servicio de gas natural. El sistema de alcantarillado estará conducido al alcantarillado existente que va hacia la quebrada Manizales, con previo tratamiento en una PTAR.

13.3 Sistema de instrumentación, monitoreo y seguimiento

Como sistema de instrumentación, monitoreo y seguimiento, se plantea el monitoreo periódico del predio durante la construcción de los drenes horizontales y la zanja colectora. Posteriormente, cuando se vayan a realizar las obras de infraestructura urbanística, se deberá hacer un seguimiento y monitoreo a las mismas, de manera que con estos datos se generen criterios y conceptos base, acerca del comportamiento del talud y del predio en general posterior a la aplicación de la sobrecarga de las estructuras en la parte de dicho talud (control topográfico).

14 CONCLUSIONES

- ✓ La geología predominante de la zona de estudio es superficial y su composición se debe al transporte de lúicos por medio acuático, esta unidad superficial hallada es correlacionable con los depósitos del abanico aluvial de Maltería. Debe mencionarse, que estos resultados son concordantes con la fase de hidrología expuesta en el presente informe, en donde se evidencio como la zona de estudio hace parte de la cuenca de la Quebrada Manizales.

- ✓ El nivel de las aguas freáticas se detectó en las perforaciones a profundidades de entre 0.8 y 1.4 m, sin embargo, no se prevé problemas de saturación de la masa de suelos, adicionalmente se presume una buena capacidad de carga de los suelos a pesar del NAF, pues de realizarse las obras, se debe superar por completo este nivel de aguas.

- ✓ El área en donde se encuentra el lote objeto de estudio está clasificada como suelo urbano, y parte de él, se ubica sobre un área de interés ambiental correspondiente a retiro de fajas forestales protectoras o también conocidas como fajas de protección hidráulica, que no son más que las zonas dispuestas a ambos lados de las quebradas existentes y que no pueden ser ocupadas. El lote se clasificaba parcialmente con amenaza media por deslizamiento, pero con el estudio realizado se logró ver que el

- área con amenaza media en realidad presenta una amenaza baja, logrando de esta manera una desafectación de la amenaza para el lote en general.
- ✓ La zona en general corresponde a un lote con pendiente muy baja en la mayor parte del área, y con pendiente de baja a media de manera sectorizada al oeste y sur del predio. El lote ha sufrido intervenciones antrópicas moderadas producto de la adecuación del terreno con fines urbanísticos y de mejoramiento a nivel morfológico, esto es evidenciable en los sondeos realizados en la prospección, pues se encontró el lleno al inicio de las perforaciones. Las pendientes en su mayoría se encontraron dentro del rango entre el 0% y el 15% de inclinación, este rango represento aproximadamente el 69% del total del área.

 - ✓ De manera general en las edificaciones vecinas, no se evidenciaron afectaciones como fisuras o de algún otro tipo, ni se evidencian movimientos en masa a nivel general, ni falla de taludes por las excavaciones que han sido realizadas en partes del predio; fenómenos de licuación o potencial de expansión de los suelos. Esto indica que por el momento no hay fenómenos que comprometan las cimentaciones de las estructuras existentes, ni de las futuras planteadas.

 - ✓ El análisis de estabilidad presentó valores superiores a los exigidos por la normatividad vigente (valores de 1,05 condición seudo estática y 1,5 condición estática), en el estado actual del terreno y bajo las condiciones actuales. Sin

embargo, se realizaron de manera general las recomendaciones pertinentes para un buen manejo de las aguas del talud; es importante resaltar que para este análisis, no se tuvieron en cuenta las sobrecargas generadas por las edificaciones futuras, por lo cual se hace necesario realizar posteriormente el análisis con dichas sobrecargas.

- ✓ A nivel de campo no fue posible identificar afloramientos en los cuales se pudiera evidenciar la presencia de zonas de falla, desplazamientos, estrías, espejos, fracturamiento de la roca, entre otras características típicas; esto debido muy probablemente a la existencia de las espesas formaciones superficiales más recientes a la edad de las fallas, tales como los depósitos aluviales, que enmascaran dichas estructuras, por lo cual no es posible identificarlas de manera superficial.

- ✓ La metodología empleada permitió determinar por medio de la fórmula de la amenaza relativa, el valor o calificación de la amenaza para el lote, encontrándose un valor de 2.81, lo que indica que la amenaza es baja en las zonas mencionadas.

- ✓ Se encontró que el lote objeto de estudio, es apto para desarrollar cualquier tipo de proyecto urbanístico siempre y cuando este cumpla con los requerimientos que la secretaría de planeación municipal exija y adicionando obras para el manejo de aguas de las laderas, lo cual es imperativo a la hora de mejorar las características del suelo y preservar las obras que se vayan a plantear.

15 RECOMENDACIONES

- ✓ De preferencia garantizar que las aguas lluvias y de escorrentía sean conducidas a la línea de drenaje más cercana o al alcantarillado existente que se encuentra dentro del lote y conduce al descole de la quebrada Manizales.
- ✓ El análisis de amenaza en el sector donde se pretende desarrollar el proyecto urbanístico es bajo a sufrir fenómenos de remoción en masa. La edificación proyectada a futuro debe estar cimentada sobre cimientos superficiales apoyados sobre suelo natural, o cimentaciones profundas apoyadas sobre suelo natural o roca, de acuerdo al estudio de suelos.
- ✓ Se recomienda la construcción de drenes horizontales en el talud de la zona sur, mínimo de 15 m de longitud, con una separación horizontal entre drenes de al menos 10 m o menos, y de 1.5 m a 2.5 m de la corona del talud, esto con el fin de abatir las presiones de poro o los niveles de aguas freáticas. Con una sola batería de drenes debería ser suficiente para controlar las aguas superficiales, sin embargo, se debe realizar un monitoreo del talud y un nuevo análisis de estabilidad con las obras proyectadas para verificar el nuevo factor de seguridad con el manejo de aguas por infiltración. Dichos drenes deberían tener las siguientes características:

-Diámetro de la perforación de 3" a 4".

-Tubería perforada de 3" (los últimos 2,0 m se deben dejar sin perforación).

-Inclinación de la perforación máximo 5 grados.

-Profundidad de las excavaciones 15,0 m.

-Separación 10,0 m o menor.

-Número de drenes 10 unidades.

-Dichos afloramientos deben ser conducidos mediante mangueras de polietileno, al sistema de alcantarillado más cercano.

- ✓ Se recomienda también la construcción de una zanja colectora en la parte inferior del talud de la zona sur y esta debe ser conducida al alcantarillado del predio.
- ✓ Las obras de contención existentes hacia la parte oeste del lote deben ser limpiadas y revegetalizadas, esto con el fin de evitar acumulaciones de rastrojo y taponamiento de las vías de circulación del agua.
- ✓ El proceso constructivo de la nueva edificación debe realizarse de una forma lenta y progresiva, con el fin de que la masa de suelo se acomode lenta y progresivamente ante las nuevas condiciones de carga.
- ✓ Para un futuro se podría plantear un plan de reforestación y de la misma manera suprimir los semovientes (ganado), con el fin de tener un mejor comportamiento de estabilidad de la zona.

16 BIBLIOGRAFÍA

- Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2016). *Diccionario de datos geográficos*. Obtenido de Portal ANLA:
http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/comunicaciones/GDB/guia_modelodatosanla.pdf
- Aguirre, R., y López, J. (2003). *Cartografía geológica y petrografía del Stock de Manizales y su relación con sus rocas encajantes*. Manizales, Colombia. Trabajo de grado (Geólogo). Universidad de Caldas, Manizales, Colombia
- Alcaldía de Manizales. (2017-2031). *Plan de Ordenamiento Territorial*. Obtenido de Alcaldía de Manizales: <https://manizales.gov.co/plan-de-ordenamiento-territorial-2017-2031/>
- Ambalagan, R. (1992). *Terrain Evaluation and Landslide Hazard Zonation for Environmental Regeneration and Land Use Planning in Mountainous Terrain*. Proceedings of the sixth International Symposium on Landslides, Christchurch, p. 861-871.
- Aristizábal Botero, M. (2015). *La quebrada Manizales, quebrada ambientalmente por la legalidad e ilegalidad de los vertimientos*. Summa Iuris, 3(1), 207-233.
- Bishop, A. W. (1995). The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. En M. P. Alan W. Bishop, *Géotechnique*, pp. 7-17.
- Blackall, T. E. (1952). «A. M. Atterberg 1846-1916,» *Geotechnique*, 3(1), pp. 17-19.

- Botero, G. y González, H. (1983). *Algunas localidades fosilíferas cretáceas de la Cordillera Central, Antioquia y Caldas, Colombia*, Geología Norandina, v. 7, p. 15--8.
- Cadavid, C. y Giraldo, O. (4 de diciembre de 2012). *Emergencia en Maltería por avalancha de quebrada Manizales*. Eje 21. Obtenido de:
<https://www.eje21.com.co/2012/12/emergencia-en-malteria-por-avalancha/>
- Cardona, O. (1991). *Evaluación de la Amenaza, la Vulnerabilidad y el Riesgo, Taller Regional de Capacitación para la Administración de Desastres ONAD/PNUD/OPS/UNDRO*. Bogotá, p. 3.
- Casagrande, A. Research on the Atterberg limits of Soils, Vol.13, N° 8, 1932.
- Congreso de Colombia. (1997). *Ley 388 “Ley de Desarrollo Territorial”*. Obtenido de Recursos CCB: <http://recursos.ccb.org.co/ccb/pot/PC/files/ley388.html>
- Congreso de Colombia. (2012). *Ley 1523 “Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones”*. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá:
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=47141>
- Corpocaldas. (11 de Febrero de 2011). *Resolución Número 053 “Por la cual se fijan los lineamientos para demarcar la faja de protección de los cauces naturales de las corrientes urbanas y las reglas para su intervención”*. Obtenido de Corporación Autónoma Regional de Caldas:
<http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/692/RESOLUCION%20053.PDF>

Dane. (2012). *Mapas del departamento de Caldas*. Obtenido de Mapas para colorear:

<https://www.mapasparacolorear.com/colombia/mapa-departamento-caldas.php>

Decreto 1077. (26 de Mayo de 2015). *Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*, Republica de Colombia.

Decreto 1807, Titulo II. (19 de Septiembre de 2014). *Condiciones técnicas para la elaboración de estudios básicos y detallados*, Republica de Colombia.

Decreto 926 . (2010). *Por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10*. Obtenido de Función pública:

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39255>

Escobar, G. (2013). *Desafíos del Complejo Volcánico Ruiz – Tolima*. Manizales, Colombia. Universidad Nacional de Colombia.

Etayo-Serna, F. (1985). *Documentación paleontológica del infracretácico de San Félix y Valle Alto, Cordillera Central*, En Etayo-Serna, F. and Laverde, F. (eds.), *Proyecto Cretácico*, Publicaciones Geológicas Especiales, Ingeominas, v.16, no 25, p. 1-7.

Gómez-Tapias, J. ; Montes-Ramírez, N. ; Nivia, A. & Diederix, H. (2015). *Mapa Geológico de Colombia 2015*. 10.13140/RG.2.1.1310.2802.

Gómez-Cruz, A. de J., Moreno-Sánchez, M., & Pardo-Trujillo, A. (1995). *Edad y Origen del “Complejo metasedimentario Aranzazu-Manizales” en los Alrededores de Manizales (Departamento de Caldas, Colombia)*. Geología Colombiana, 19, 83-

93. Recuperado a partir de
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/geocol/article/view/31329>
- González, H. (1976). *Geología del cuadrángulo J8 Sonsón*, Medellín, Ingeominas, 421 P.
- González, H. (1980). *Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina)*, Boletín Geológico, Ingeominas, v. 23 (1), p. 1-174.
- González, H. (1989). *Análisis de la nomenclatura estratigráfica de las rocas metamórficas (Litodema "A") al este del límite oriental de la zona de Falla de Romeral, Cordillera Central, Colombia*. Informe interno INGEOMINAS. p.1-21.
- González, H. (2001). *Geología de las planchas 206 Manizales y 225 Nevado del Ruiz. Memorias explicativas de los mapas*. Escala, 1(100.000)
- GTA IHA. (2021). *Centro de datos e Indicadores Ambientales de Caldas (CDIAC)*.
Obtenido de Universidad Nacional de Colombia:
<http://cdiac.manizales.unal.edu.co/inicio/>
- Hermelin, M. (1987). *Bases de Geología Ambiental*. Universidad Nacional, Facultad de Minas. Medellín, 300p.
- IDEA UNAL & Corpocaldas. (2013). *Instituto de Estudios Ambientales Sede Manizales*.
Obtenido de IDEA Manizales: <http://idea.manizales.unal.edu.co/>
- Jaramillo, J. M. (1978). *Determinación de las Edades de algunas Rocas de la Cordillera Central por el Método de Huellas Fisión*. En Memorias II Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.
- Köppen, W. (1918). *Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf*. Petermanns Mitteilungen 64: 193-203.

- Lemoigne, Y. (1984). Données nouvelles sur la paléofl ore de Colombie: *Geobios*, V. 17, pp. 667-690.
- Manrique, A., Montoya, A., López, D., & Colombo. S. (2016). *Movimientos en masa*. Medellín, Colombia. Obtenido de:
https://www.medellin.gov.co/irj/go/km/docs/pccdesign/SubportaldelCiudadano_2/PlandeDesarrollo_0_8/Publicaciones/Shared%20Content/Documentos/2016/CartillaMovMasa.pdf
- Maya, M., & González, H. (1995). *Unidades litodémicas en la cordillera Central de Colombia*. *Boletín Geológico*, 35(2-3), 44-57. Recuperado a partir de <https://revistas.sgc.gov.co/index.php/boletingeo/article/view/316>
- McCourt, W. J., Aspden, J. A., y Brook, M. (1984). *New geological and geochronological data from the Colombian Andes: continental growth by multiple accretion*. *Journal of the Geological Society*, 141(5), 831-845.
- Montenegro Rippe, C. (2017). *Caracterización petrológica del stock de Manizales*.
- Moreno-Sánchez, M., Gómez-Cruz, A. de J., & Toro, L. M. (2007). *Proveniencia del material clástico del Complejo Quebradagrande y su relación con los complejos estructurales adyacentes*. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 1(22), 27-38.
Recuperado a partir de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/1808>
- Naranjo, H. y Ríos, A. (1989). *Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos*. Universidad de Caldas, Facultad de Geología y Minas. Manizales, Colombia.

- Nelson, H.W. (1957). *Contribution to the geology of the Central and Western Cordillera of Colombia in the sector between Ibagué and Cali*. Leidse Geol. Meded. Vol. 22: 1-76.
- Nivia, A. (2001). *Mapa Geológico del Departamento del Valle del Cauca, Memoria Explicativa*. Ingeominas. 111p.
- POMCA Chinchiná. (2013). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca Hidrográfica del Río Chinchiná Departamento de Caldas*. Obtenido de <http://www.corpocaldas.gov.co/publicaciones/1508/2017/03-09/01-SintesisPOMCARioChinchina.pdf>
- Quintero, J. (2013). *Diagnóstico De La Gestión Integral Del Riesgo Por Inundaciones Y Avenidas Torrenciales En Ríos Urbanos Del Departamento De Caldas*. Universidad Católica de Manizales. Manizales, Colombia.
- RCN Radio. (4 de Diciembre de 2012). *Avalancha causó pánico en Manizales*. RCN Radio. Obtenido de: <https://www.rcnradio.com/colombia/avalancha-causo-panico-en-manizales-36810>
- Rodríguez., G.; & Zapata, G. (2012). *Análisis comparativo entre la Formación Barroso y el Complejo Quebradagrande: Un arco volcánico toleítico-calcoalcalino, segmentado por el sistema de fallas de Romeral en los Andes del norte*. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (33), p. 39-57.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Atlas Geológico de Colombia*. Obtenido de SGC Geoportal: http://srvags.sgc.gov.co/JSViewer/Atlas_Geologico_colombiano_2015/

- SGC. (2016-2017). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Obtenido de Servicio Geológico Colombiano:
https://www2.sgc.gov.co/Noticias/boletinesDocumentos/1642_Guia-Metodologica-27-07-2016-SinGuias.pdf
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander.
- Toro, R. A., & Osorio, J. A. (2005). *Determinación de los tensores de esfuerzos actuales para el segmento norte de los Andes calculados a partir de mecanismos focales de sismos mayores*. Boletín de Geología, 27(1),13-24.
- Unidad de Gestión del Riesgo & Sociedad Caldende de Ingenieros y Arquitectos. (2020). *Términos de Referencia SCIA-041*. Manizales, Colombia.
- Villagómez, D., Spikings, R., Magna, T., Kammer, A., Wincler, W. & Beltrán, A. (2011). *Geochronology, geochemistry and tectonic evolution of the Western and Central Cordilleras of Colombia*, *Lithos*, doi: 10.1016/j. lithos.2011.05.003.
- Zinck, J. (1989). *Aplicación de la geomorfología al levantamiento de suelos en zonas aluviales y definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos*. Bogota, Colombia. IGAC, Subdirección de Agrología.

17. ANEXOS

MAPA ÁREA A INTERVENIR Y ÁREA DE INFLUENCIA



UNIVERSIDAD DE CALDAS
 FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
 Stefanny Quiroga Quiroga
 Director: John Jairo Cardona Ríos
 Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
 DESLIZAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
 KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
 JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000



CONVENCIONES

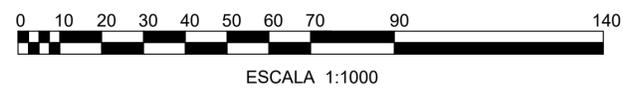
- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- CORONA, PATA
- PARAMENTO
- VÍA
- CERCO
- QUEBRADA
- MURO DE CONTENCIÓN
- CÁMARA

UNIDAD

- Área a Intervenido
- Área de Influencia

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2
 EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
 Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
 Projection: Transverse Mercator
 Datum: MAGNA
 False Easting: 1,000,000.0000
 False Northing: 1,000,000.0000
 Central Meridian: -74.0775
 Scale Factor: 1.0000
 Latitude Of Origin: 4.5962
 Units: Meter



MAPA 1 DE 8

MAPA GEOLÓGICO ZONA DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Stefanny Quiroga Quiroga
Director: John Jairo Cardona Ríos
Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
DESIZAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000

CONVENCIONES

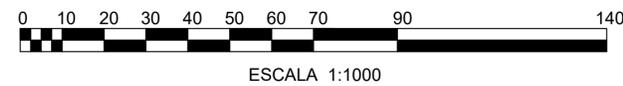
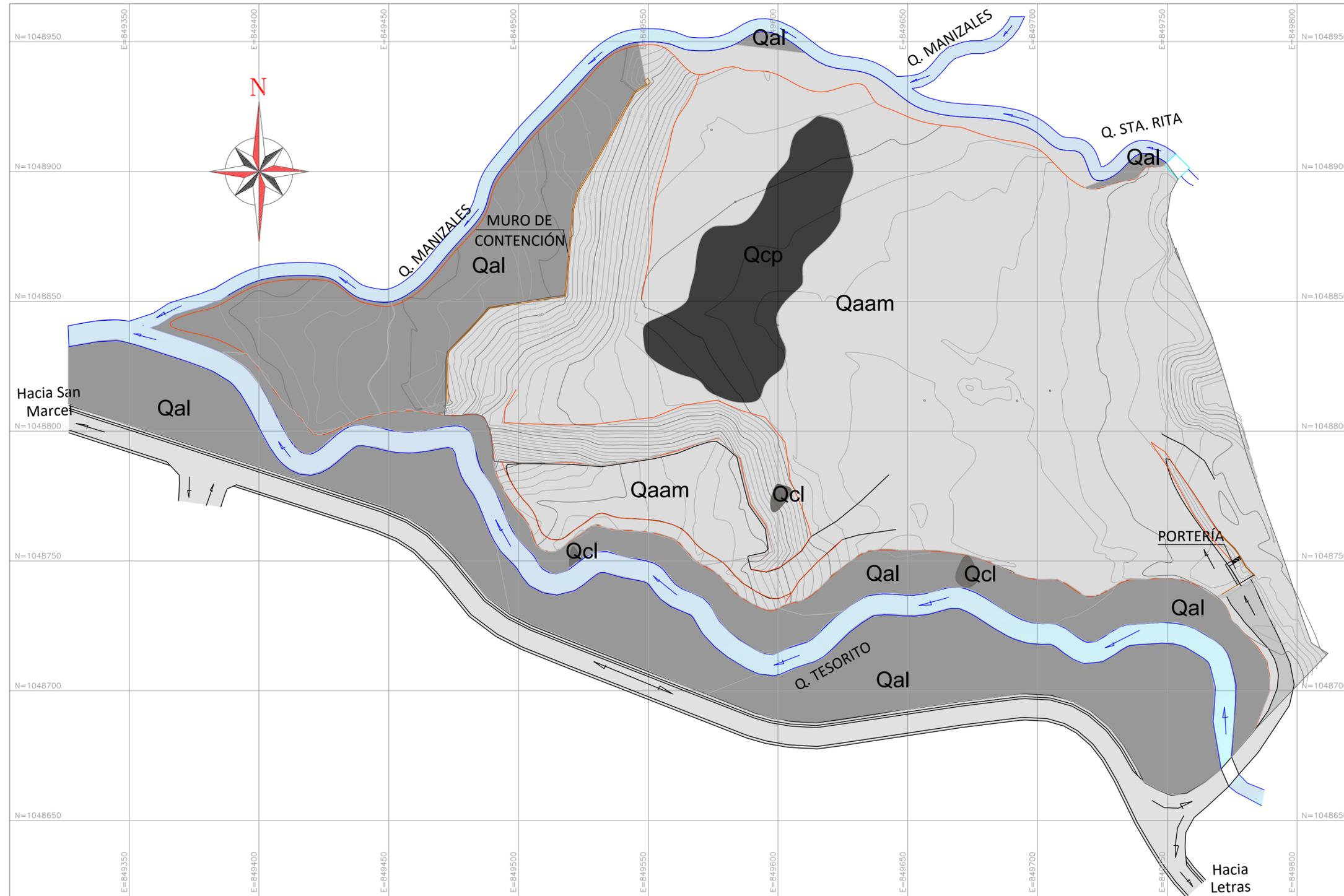
- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- CORONA, PATA
- VÍA
- QUEBRADA
- MURO DE CONTENCIÓN
- CÁMARA

UNIDAD GEOLÓGICA

- Qcp: Depósitos de Caída Piroclástica
- Qcl: Depósitos Coluviales
- Qal: Depósitos Aluviales de las Quebradas Maltería, Tesorito y Sta. Rita
- Qaam: Abanico Aluvial de Maltería

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2
EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter



MAPA 2 DE 8

MAPA GEOMORFOLÓGICO ZONA DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Stefanny Quiroga Quiroga
Director: John Jairo Cardona Ríos
Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
DESPLAZAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000



CONVENCIONES

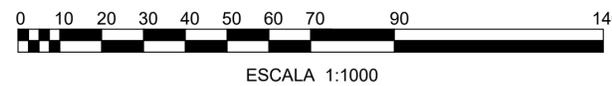
- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- CORONA, PATA
- VÍA
- CERCO
- QUEBRADA
- MURO DE CONTENCIÓN
- CÁMARA
- SOBREPASTOREO

UNIDAD GEOMORFOLÓGICA

- Dn: Orígen Denudacional
- Dp: Orígen Deposicional
- Qt1: Terraza de nivel 1
- Qt2: Terraza de nivel 2
- SAPGN: Unidad Antropogénica

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2 EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter



MAPA 3 DE 8

MAPA MORFOMÉTRICO



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Stefanny Quiroga Quiroga
Director: John Jairo Cardona Ríos
Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
DESPLAZAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000

CONVENCIONES

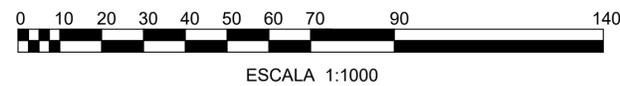
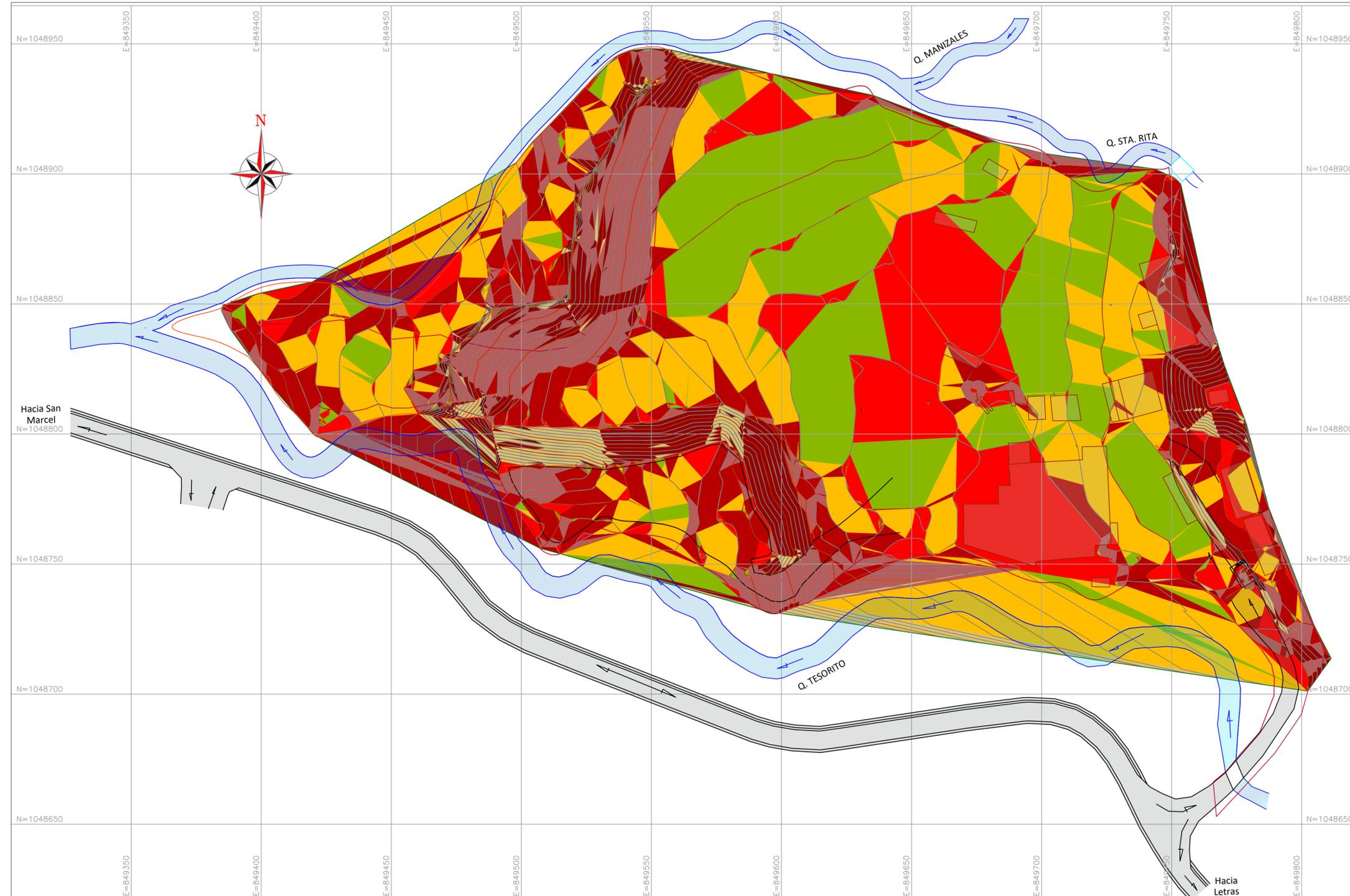
- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- CORONA, PATA
- PARAMENTO
- VÍA
- QUEBRADA
- CÁMARA

ZONIFICACIÓN DE PENDIENTES

0.00% - 1.00%		25.00% - 50.00%	
1.00% - 3.00%		50.00% - 75.00%	
3.00% - 7.00%		75.00% - 100.00%	
7.00% - 12.00%		> 100.00%	
12.00% - 25.00%			

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2
EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter



MAPA 4 DE 8

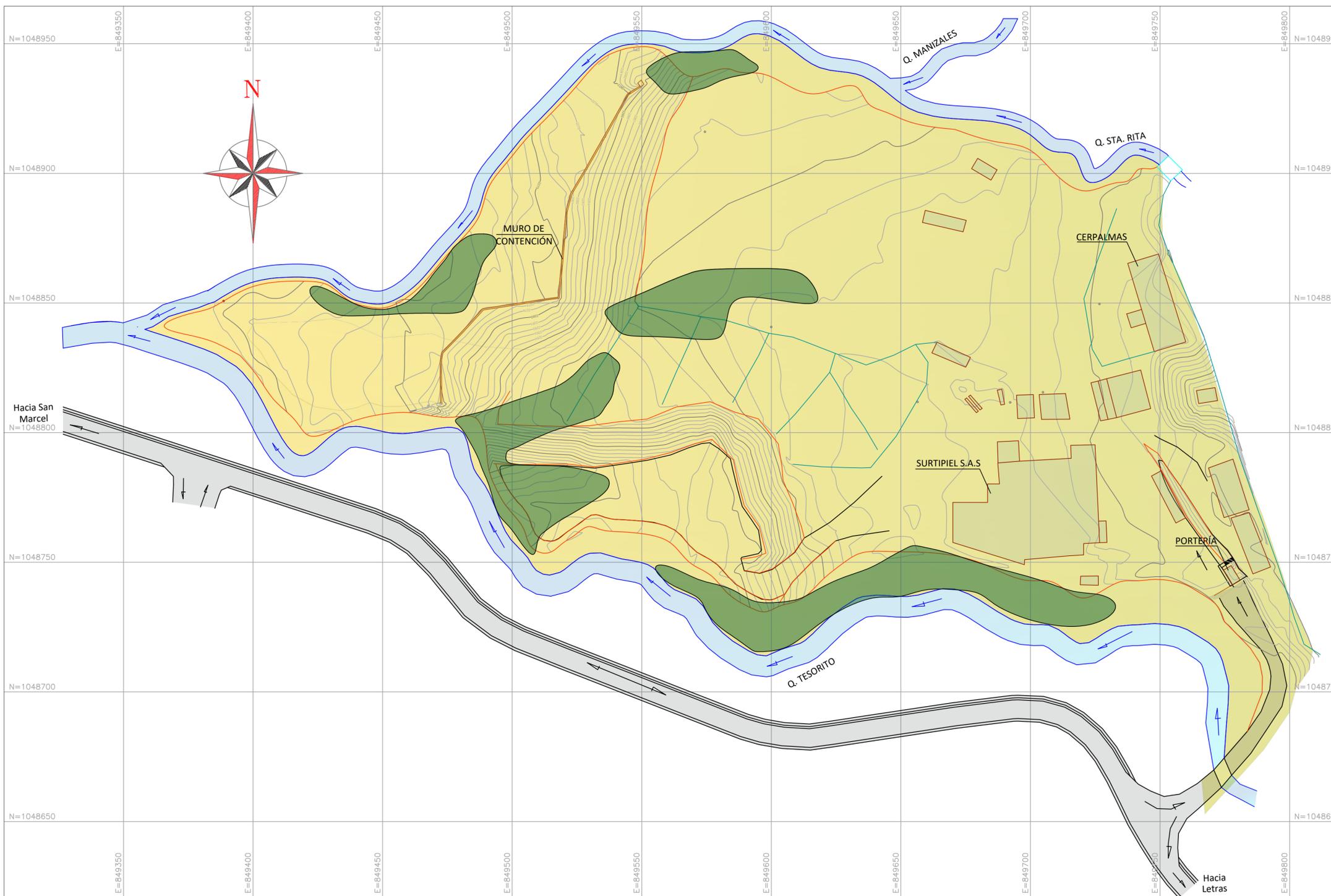
MAPA USO DEL SUELO Y COBERTURA VEGETAL



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Stefanny Quiroga Quiroga
Director: John Jairo Cardona Ríos
Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
DESIZAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000



CONVENCIONES

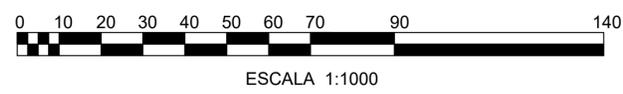
- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- CORONA, PATA
- PARAMENTO
- VÍA
- CERCO
- QUEBRADA
- MURO DE CONTENCIÓN
- CÁMARA

USO DEL SUELO Y COBERTURAS

- Pastos
- Rastrojo
- Uso Industrial

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2
EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter



MAPA 5 DE 8

PROYECTO:
LOCALIZACION:
SONDEO EXPLORATORIO:

Estudio de suelos
 Surtipieles - Malleria
 1

FECHA:

PROFUNDIDAD	N.A.F.	DESCRIPCION DEL MATERIAL ENCONTRADO	COMPRESION INCONFINADA			CLASIFICACION					
			P.U.H. gr/cm ³	P.U.S. gr/cm ³	Qu kg/cm ²	HUMEDAD %	L.L. %	L.P. %	I.P. %	Tamiz 200 %	USCS
0.0		Relleno limo arenoso pardo oscuro con afirmado									
0.80		Arena limosa gris pardo humedad alta - resistencia baja	2,024	1,568	0,210	29,1	36,9	31,6	5,3	37,7	SM
1.0		Fin- rechazo fragmentos de roca									
1.50											



PROYECTO: Estudio de suelos
LOCALIZACION: Surtipieles - Malteria
SONDEO EXPLORATORIO: 2

FECHA:

PROFUNDIDAD	N.A.F.	DESCRIPCION DEL MATERIAL ENCONTRADO	COMPRESION INCONFINADA			CLASIFICACION					
			P.U.H. gr/cm ³	P.U.S. gr/cm ³	Qu kg/cm ²	HUMEDAD %	L.L. %	L.P. %	I.P. %	Tamiz 200 %	USCS
0,0		Relleno limo arenoso gris pardo con negro organico humedad media - resistencia baja									
1,0											
1,40		Fin- rechazo fragmentos de roca									



PROYECTO: Estudio de suelos
LOCALIZACION: Surtiplies - Maltería
SONDEO EXPLORATORIO: 3

FECHA:

PROFUNDIDAD	N.A.F.	DESCRIPCION DEL MATERIAL ENCONTRADO	COMPRESION INCONFINADA			CLASIFICACION						
			P.U.H.	P.U.S.	Qu	HUMEDAD	L.L.	L.P.	I.P.	Tamiz 200	USCS	
			gr/cm ³	gr/cm ³	Kg/cm ²	%	%	%	%	%		
0,0		Relleno limo arenoso gris pardo oscuro con negro organico humedad media - resistencia baja										
0,80	N.A.F.											
1,0		Arena limosa gris pardo oscuro humedad alta - resistencia baja	1,989	1,499	0,310	32,7	37,8	31,6	6,2	41,1	SM	
1,60		Fin-rechazo fragmentos de roca										



PROYECTO: Estudio de suelos
LOCALIZACION: Surtipieles - Malteria
SONDEO EXPLORATORIO: 4

FECHA:

PROFUNDIDAD	N.A.F.	DESCRIPCION DEL MATERIAL ENCONTRADO	COMPRESION INCONFINADA			CLASIFICACION					
			P.U.H. gr/cm ³	P.U.S. gr/cm ³	Qu Kg/cm ²	HUMEDAD %	L.L. %	L.P. %	I.P. %	Tamiz 200 %	USCS
0,0											
1,0		Relleno limo arenoso pardo oscuro con gris y negro organico humedad media - resistencia media	1,719	1,087	0,360	58,1	60,6	39,9	20,7	65,5	MH
1,40		Fin- rechazo fragmentos de roca									



ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

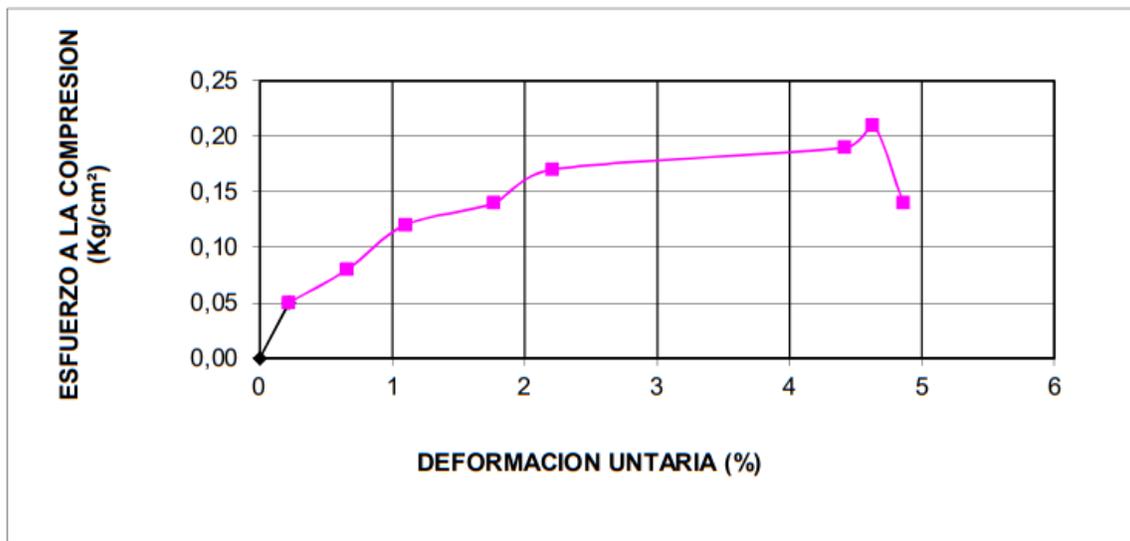


Fecha:		Obra:	Estudio de suelos
Solicitado por:		Localización:	Surtipieles - Maltería
Descripción de la muestra:	Gris pardo arenoso	Barrio:	0
Perforación:	1	Muestra:	SH - 1
Profundidad:	-1,0 m	Peso Específico:	Gr/cm³

DIMENSIONES DE LA PROBETA			DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD		
Dimensión	Inicial		Taza No.		
Diámetro - Do	5,50	cm	P.tara + suelo húmedo	553,1	grs
Área - Ao	23,76	cm²	P.tara + suelo seco	428,4	grs
Altura - Ho	11,50	cm	P.agua	124,7	grs
Volumen - Vo	273,24	cm³	Contenido de agua	29,1	%

Humedad (%): 29,1 %
 Peso Unitario Húmedo: 2,024 Gr/cm³
 Peso Unitario Seco: 1,568 Gr/cm³
 Factor de Calibración:

Deformacion Vertical	Carga Dial	Carga Axial Kg.	Deformacion Unitaria	1 - E	Área Corregida cm²	Esfuerzo Compresivo P/A
			0			0,00
10	7	1,10	0,22	0,9978	23,81	0,05
30	12	1,80	0,66	0,9934	23,92	0,08
50	19	2,90	1,10	0,989	24,02	0,12
80	23	3,50	1,77	0,9823	24,19	0,14
100	28	4,20	2,21	0,9779	24,30	0,17
200	31	4,70	4,42	0,9558	24,86	0,19
210	35	5,30	4,63	0,9536	24,91	0,21
220	23	3,50	4,86	0,9514	24,97	0,14



EJECUTÓ


 REVISÓ

JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 Especializado en Geotecnia y
 Hidráulica

APROBÓ

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

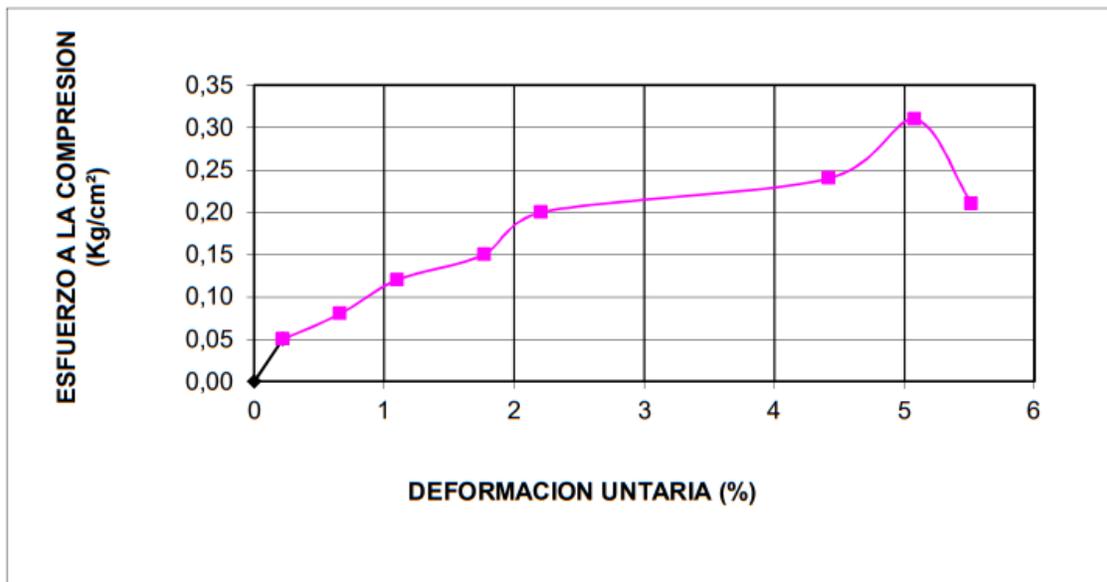


Fecha: _____ **Obra:** Estudio de suelos
Solicitado por: _____ **Localización:** Surtiplies - Maltería
Descripción de la muestra: Gris pardo oscuro arenoso **Barrio:** _____
Perforación: 3 **Muestra:** SH - 1
Profundidad: -1,0 m **Peso Específico:** Gr/cm³

DIMENSIONES DE LA PROBETA		DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	
Dimensión	Inicial	Taza No.	
Diámetro - Do	5,50 cm	P.tara + suelo húmedo	543,5 grs
Área - Ao	23,76 cm ²	P.tara + suelo seco	409,6 grs
Altura - Ho	11,50 cm	P.agua	133,9 grs
Volumen - Vo	273,24 cm ³	Contenido de agua	32,7 %

Humedad (%): 32,7 %
 Peso Unitario Húmedo: 1,989 Gr/cm³
 Peso Unitario Seco: 1,499 Gr/cm³
 Factor de Calibración: _____

Deformacion Vertical	Carga Dial	Carga Axial Kg.	Deformacion Unitaria	1 - E	Área Corregida cm ²	Esfuerzo Compresivo P/A
-----	-----	-----	0	-----	-----	0,00
10	7	1,10	0,22	0,9978	23,81	0,05
30	13	2,00	0,66	0,9934	23,92	0,08
50	19	2,90	1,10	0,989	24,02	0,12
80	24	3,60	1,77	0,9823	24,19	0,15
100	32	4,80	2,21	0,9779	24,30	0,20
200	40	6,00	4,42	0,9558	24,86	0,24
230	51	7,70	5,08	0,9492	25,03	0,31
250	36	5,40	5,52	0,9448	25,15	0,21



EJECUTO

REVISO

JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 Especializado en Geotecnia y
 Hidráulica

APROBO

ENSAYO DE COMPRESION INCONFINADA

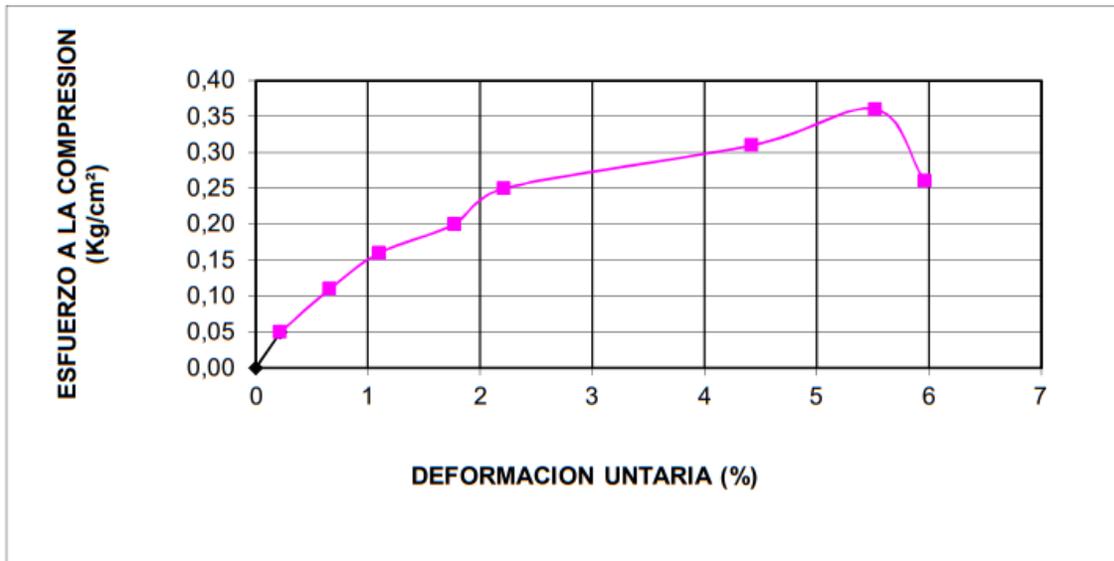


Fecha: _____ **Obra:** Estudio de suelos
Solicitado por: _____ **Localización:** Surtipieles - Maltería
Descripción de la muestra: Relleno pardo oscuro con gris arenoso y negro orgánico **Barrio:** _____
Perforación: 4 **Muestra:** SH - 1
Profundidad: -1,0 m **Peso Específico:** Gr/cm³

DIMENSIONES DE LA PROBETA		DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD	
Dimensión	Inicial	Taza No.	
Diámetro - Do	5,50 cm	P.tara + suelo húmedo	469,7 grs
Área - Ao	23,76 cm ²	P.tara + suelo seco	297,1 grs
Altura - Ho	11,50 cm	P.agua	172,6 grs
Volumen - Vo	273,24 cm ³	Contenido de agua	58,1 %

Humedad (%): 58,1 %
 Peso Unitario Húmedo: 1,719 Gr/cm³
 Peso Unitario Seco: 1,087 Gr/cm³
 Factor de Calibración

Deformacion Vertical	Carga Dial	Carga Axial Kg.	Deformacion Unitaria	1 - E	Área Corregida cm ²	Esfuerzo Compresivo P/A
-----	-----	-----	0	-----	-----	0,00
10	8	1,20	0,22	0,9978	23,81	0,05
30	18	2,70	0,66	0,9934	23,92	0,11
50	25	3,80	1,10	0,989	24,02	0,16
80	32	4,80	1,77	0,9823	24,19	0,20
100	40	6,00	2,21	0,9779	24,30	0,25
200	51	7,70	4,42	0,9558	24,86	0,31
250	60	9,10	5,52	0,9448	25,15	0,36
270	43	6,50	5,96	0,9404	25,27	0,26



EJECUTÓ

[Handwritten Signature]
 REVISÓ

JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 Especializado en Geotecnia y
 Hidráulica

APROBÓ



Solicitado por: 0 Perforación: P-1
Obra: Estudio de suelos **Muestra No.:** 1
Localización: Surtipieles - Maltería **Profundidad:** -1,0 m
Fecha: **Descripción:** Gris pardo arenoso

LIMITES DE ATTERBERG DETERMINACION No.	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	1	2	3
Número de golpes	34	23	13			-----	-----	
Recipiente No.	40	75	32			96,00	74,00	
Recipiente + suelo húmedo.gris	22,99	21,43	20,99			21,59	20,93	
Recipiente + suelo seco.gris	18,61	17,32	17,03			18,04	17,33	
Peso del agua. Grs	4,38	4,11	3,96			3,55	3,60	
Peso del recipiente. Grs	6,43	6,25	6,80			6,75	6,01	
Peso del suelo seco. Grs	12,18	11,07	10,23			11,29	11,32	
Contenido de agua. %	36,00	37,10	38,70			31,40	31,80	

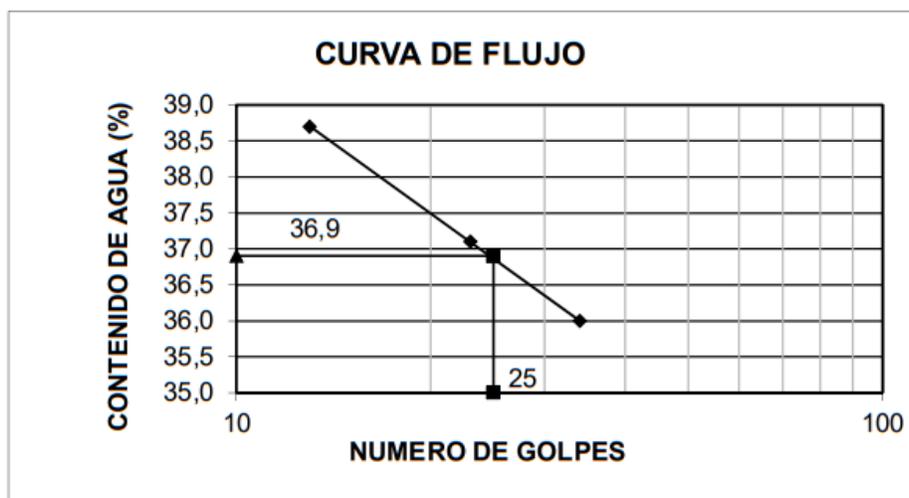
HUMEDAD NATURAL 29,1 %

GRADACION			
P1 428,8 Grs		P2 Grs	
Tamiz	Peso retenido	% retenido	% pasa
4			100
200	267,1	62,3	37,7
-200	161,7	37,7	-----
Fracción menor del Tamiz No. 200.		37,7 %	

Límite Líquido 36,9
 Límite Plástico 31,6
 Índice de Plasticidad 5,3
 Límite Contracción -----

CLASIFICACION MUESTRA

U.S.C.S SM
 A.A. SHO -----
 INDICE DE GRUPO -----



EJECUTÓ


REVISÓ

JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 Especializado en Geotecnia y
 Hidráulica

APROBÓ



Solicitado por: 0 Perforación: P-3
 Obra: Estudio de suelos Muestra No.: 1
 Localización: Surtipieles - Maltería Profundidad: -1,0 m
 Fecha: Descripción: Gris pardo oscuro arenoso

LIMITES DE ATTERBERG DETERMINACION No.	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	1	2	3
Número de golpes	32	21	14			-----	-----	
Recipiente No.	24	71	90			74,00	66,00	
Recipiente + suelo húmedo.gris	23,71	22,99	23,81			21,00	20,43	
Recipiente + suelo seco.gris	19,09	18,28	18,76			17,44	17,07	
Peso del agua. Grs	4,62	4,71	5,05			3,56	3,36	
Peso del recipiente. Grs	6,61	5,99	6,03			6,18	6,45	
Peso del suelo seco. Grs	12,48	12,29	12,73			11,26	10,62	
Contenido de agua. %	37,00	38,30	39,70			31,60	31,60	

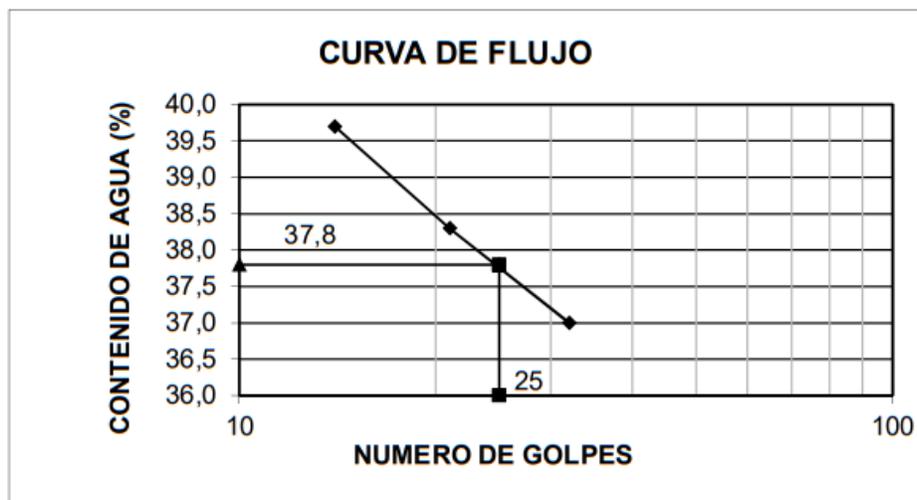
HUMEDAD NATURAL 32,7 %

GRADACION			
P1 421,9 Grs		P2 Grs	
Tamiz	Peso retenido	% retenido	% pasa
4			100
200	248,5	58,9	41,1
-200	173,4	41,1	-----
Fracción menor del Tamiz No. 200.		41,1	%

Límite Líquido 37,8
 Límite Plástico 31,6
 Índice de Plasticidad 6,2
 Límite Contracción _____

CLASIFICACION MUESTRA

U.S.C.S SM
 A.A. SHO _____
 INDICE DE GRUPO _____



EJECUTÓ

[Handwritten Signature]
 REVISÓ

JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 Especializado en Geotecnia y
 Hidráulica

APROBÓ



Solicitado por: Obra: Estudio de suelos 0 Perforación: P-4
 Muestra No.: 1
 Localización: Surtipieles - Maltería Profundidad: -1,0 m
 Fecha: Descripción: Relleno pardo oscuro con gris arenoso y negro organico

LIMITES DE ATTERBERG DETERMINACION No.	LIMITE LIQUIDO					LIMITE PLASTICO		
	1	2	3	4	5	1	2	3
Número de golpes	33	21	12			-----	-----	
Recipiente No.	25	74	6			64,00	98,00	
Recipiente + suelo húmedo.gris	21,11	22,90	21,73			20,64	21,02	
Recipiente + suelo seco.gris	15,62	16,60	15,75			16,67	17,02	
Peso del agua. Grs	5,49	6,30	5,98			3,97	4,00	
Peso del recipiente. Grs	6,43	6,29	6,23			6,71	6,99	
Peso del suelo seco. Grs	9,19	10,31	9,52			9,96	10,03	
Contenido de agua. %	59,70	61,10	62,80			39,90	39,90	

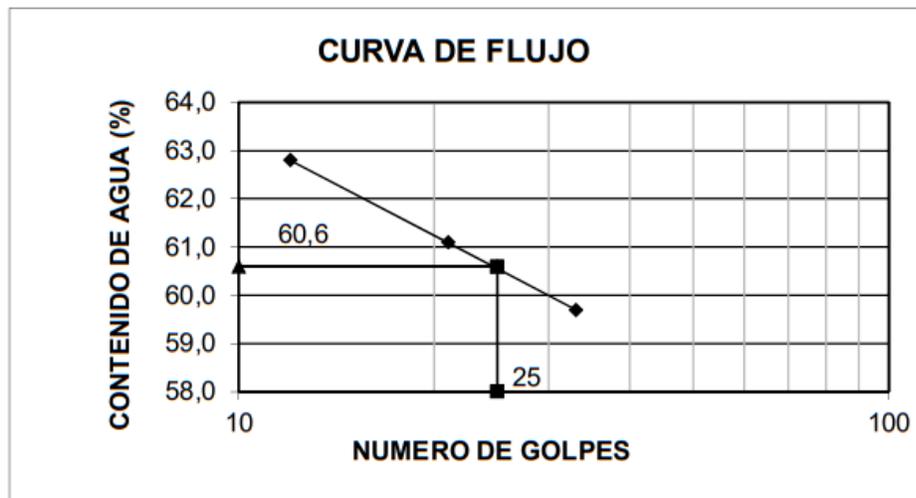
HUMEDAD NATURAL 58,1 %

GRADACION			
P1 426,6 Grs		P2 Grs	
Tamiz	Peso retenido	% retenido	% pasa
4			100
200	147,2	34,5	65,5
-200	279,4	65,5	-----
Fracción menor del Tamiz No. 200.		65,5 %	

Límite Líquido 60,6
 Límite Plástico 39,9
 Índice de Plasticidad 20,7
 Límite Contracción _____

CLASIFICACION MUESTRA

U.S.C.S MH
 A.A. SHO _____
 INDICE DE GRUPO _____



EJECUTÓ

[Handwritten Signature]
 REVISÓ

JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS
 INGENIERO CIVIL
 Especializado en Geotecnia y
 Hidráulica

APROBÓ

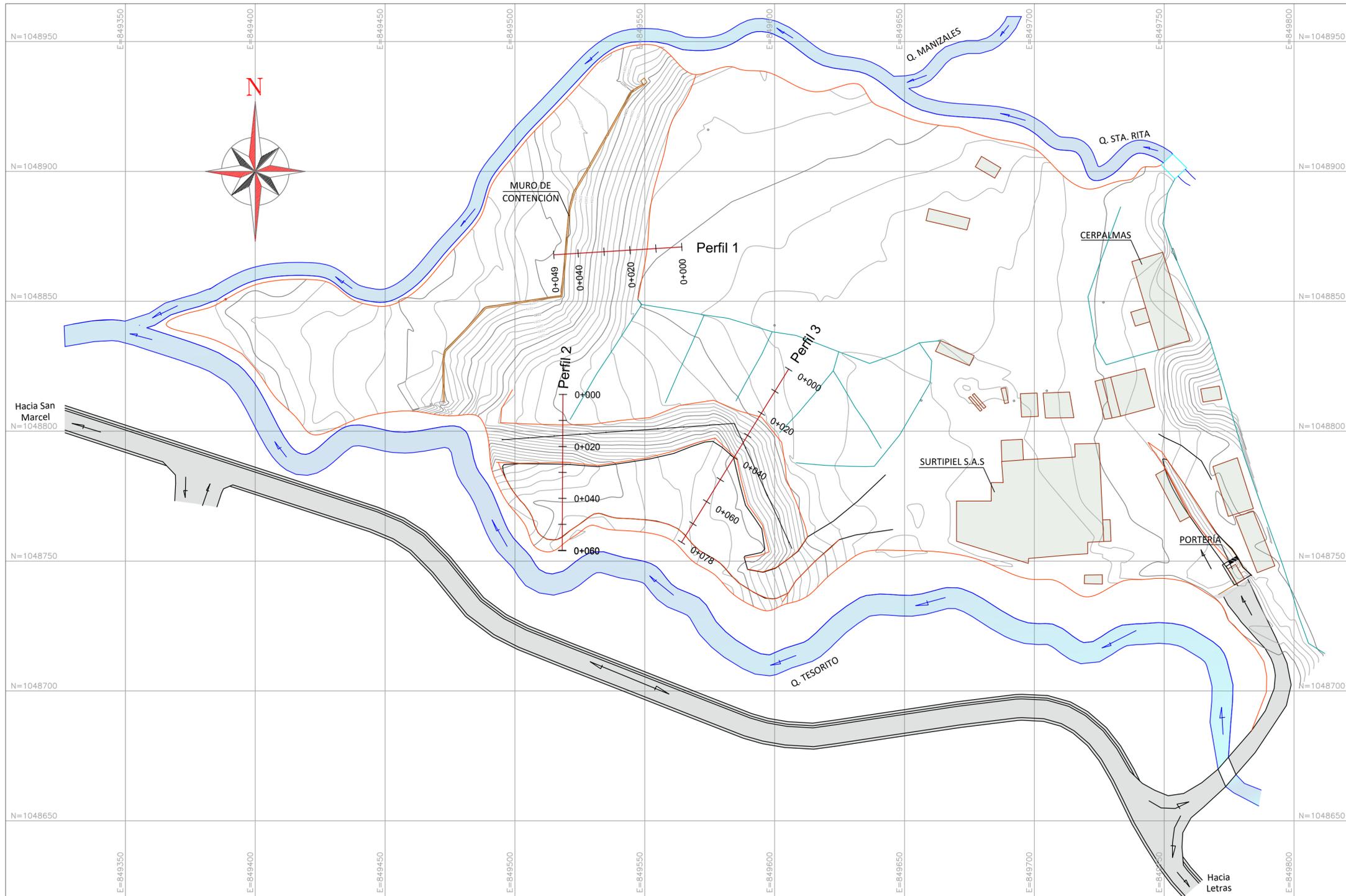
MAPA DE LOCALIZACIÓN DE PERFILES TRANSVERSALES



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Stefanny Quiroga Quiroga
Director: John Jairo Cardona Ríos
Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
DESPLAZAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000



CONVENCIONES

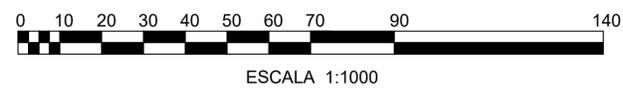
- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- CORONA, PATA
- PARAMENTO
- VÍA
- CERCO
- QUEBRADA
- MURO DE CONTENCIÓN
- CÁMARA

PERFILES TRANSVERSALES

Perfil 1 0.0 - 49.0 Perfil 2 0.0 - 60.0 Perfil 3 0.0 - 78.0

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2 EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter



MAPA 6 DE 8

PERFILES TRANSVERSALES ZONA DE ESTUDIO



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Stefanny Quiroga Quiroga
Director: John Jairo Cardona Ríos
Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
DESPLAZAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000

CONVENCIONES

- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- CORONA, PATA
- PARAMENTO
- VÍA
- CERCO
- QUEBRADA
- MURO DE CONTENCIÓN
- CÁMARA

PERFILES TRANSVERSALES

Perfil 1 0.0 - 49.0 Perfil 2 0.0 - 60.0 Perfil 3 0.0 - 78.0

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2
EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter

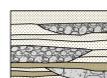
Depósitos de caída piroclástica desde cenizas finas y cenizas gruesas de tamaño limos y arenas finas y gruesas, hasta lapilli típicamente conformados por pequeños fragmentos de composición pumítica. Los contactos entre los diferentes depósitos que conforman la secuencia son predominantemente discordantes, formando superficies irregulares.



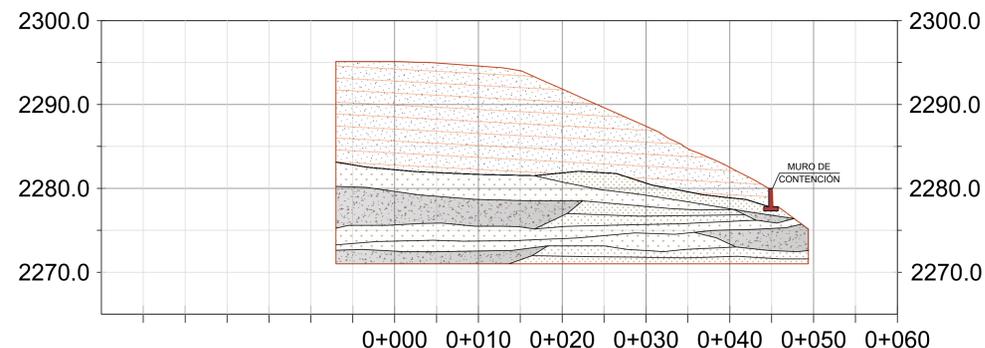
Relleno limo arenoso de color pardo oscuro con gris y negro orgánico



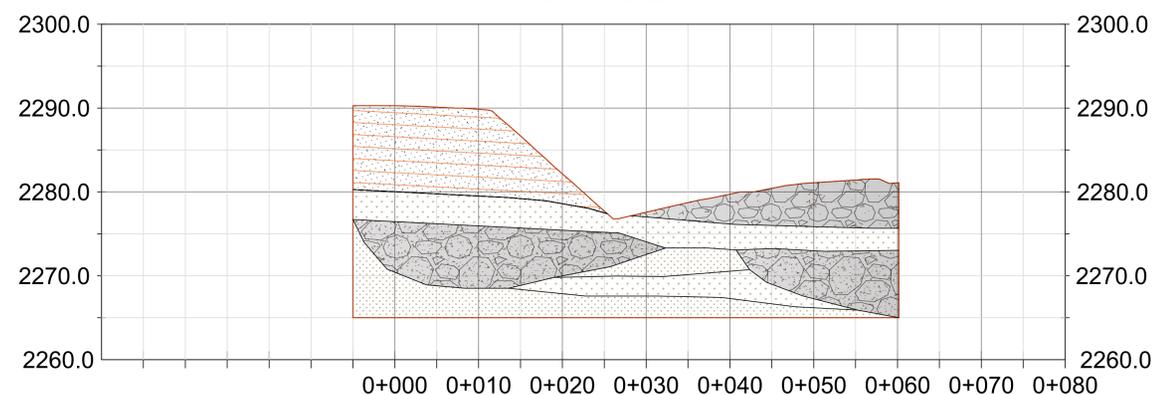
Suelo residual, correlacionable con los depósitos aluviales, los cuales corresponden a un limo arenoso, el cual presenta una coloración gris pardo oscura con presencia de rocas granodioritas, andesitas y esquistos en general, este supera los 6m de espesor. Dicho depósito se presenta de forma lenticular y en ocasiones esta intercalado con cenizas y lapilli.



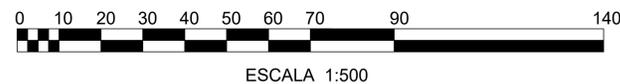
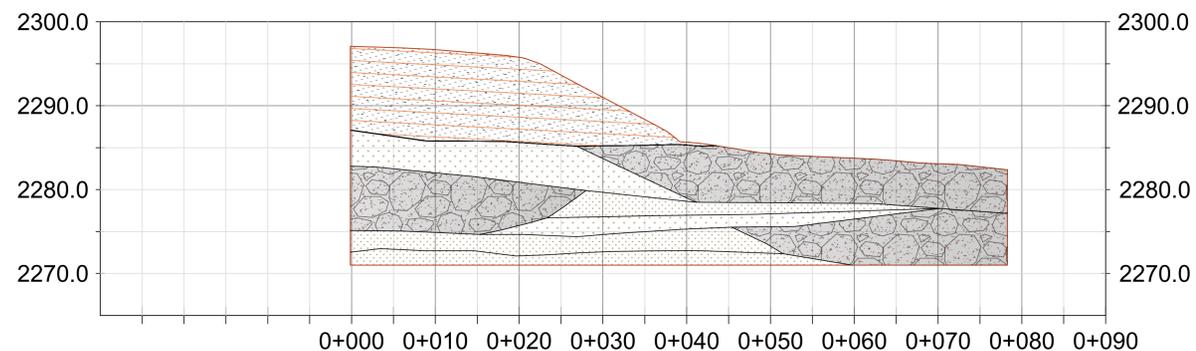
PERFIL 1

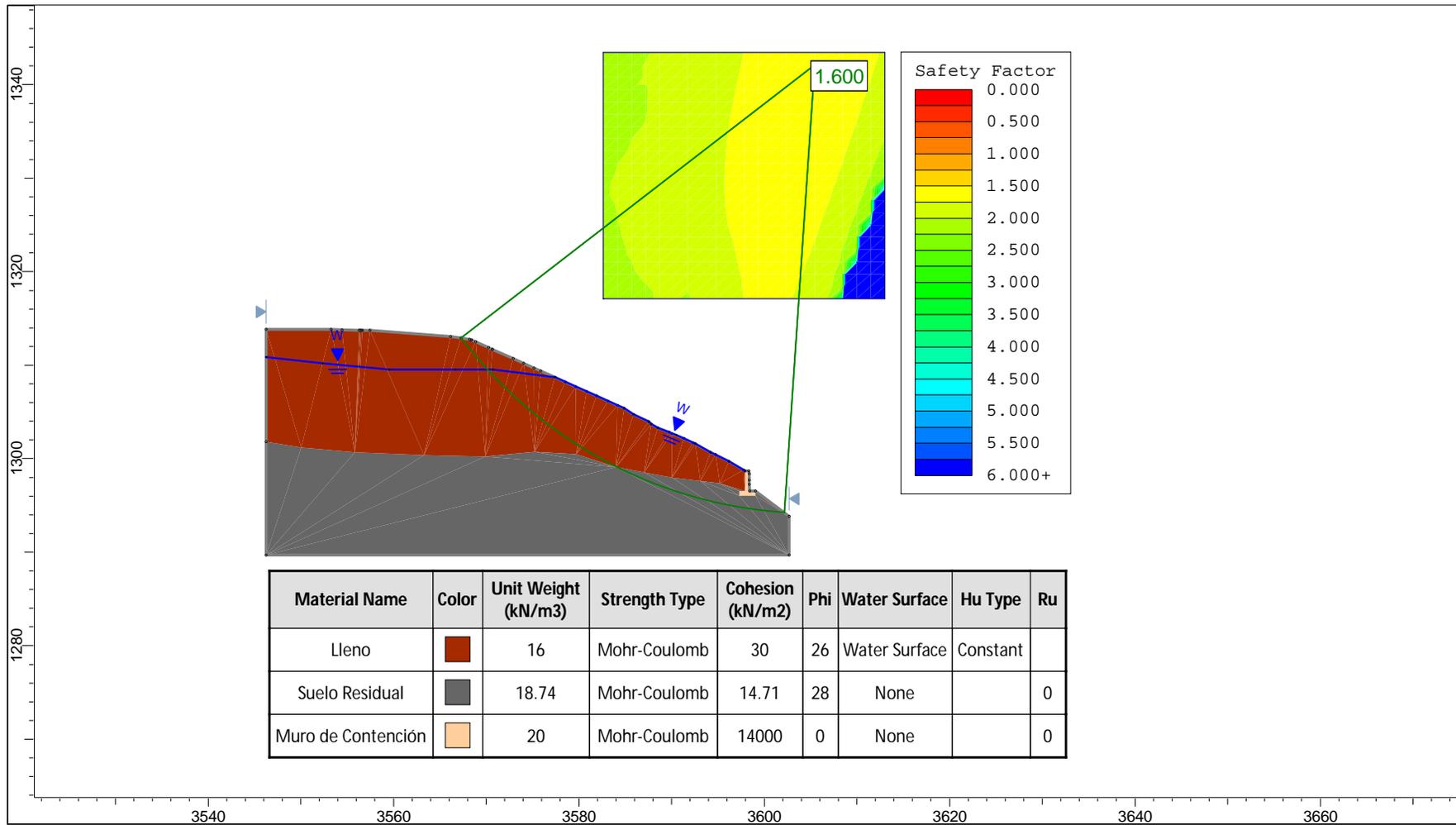


PERFIL 2

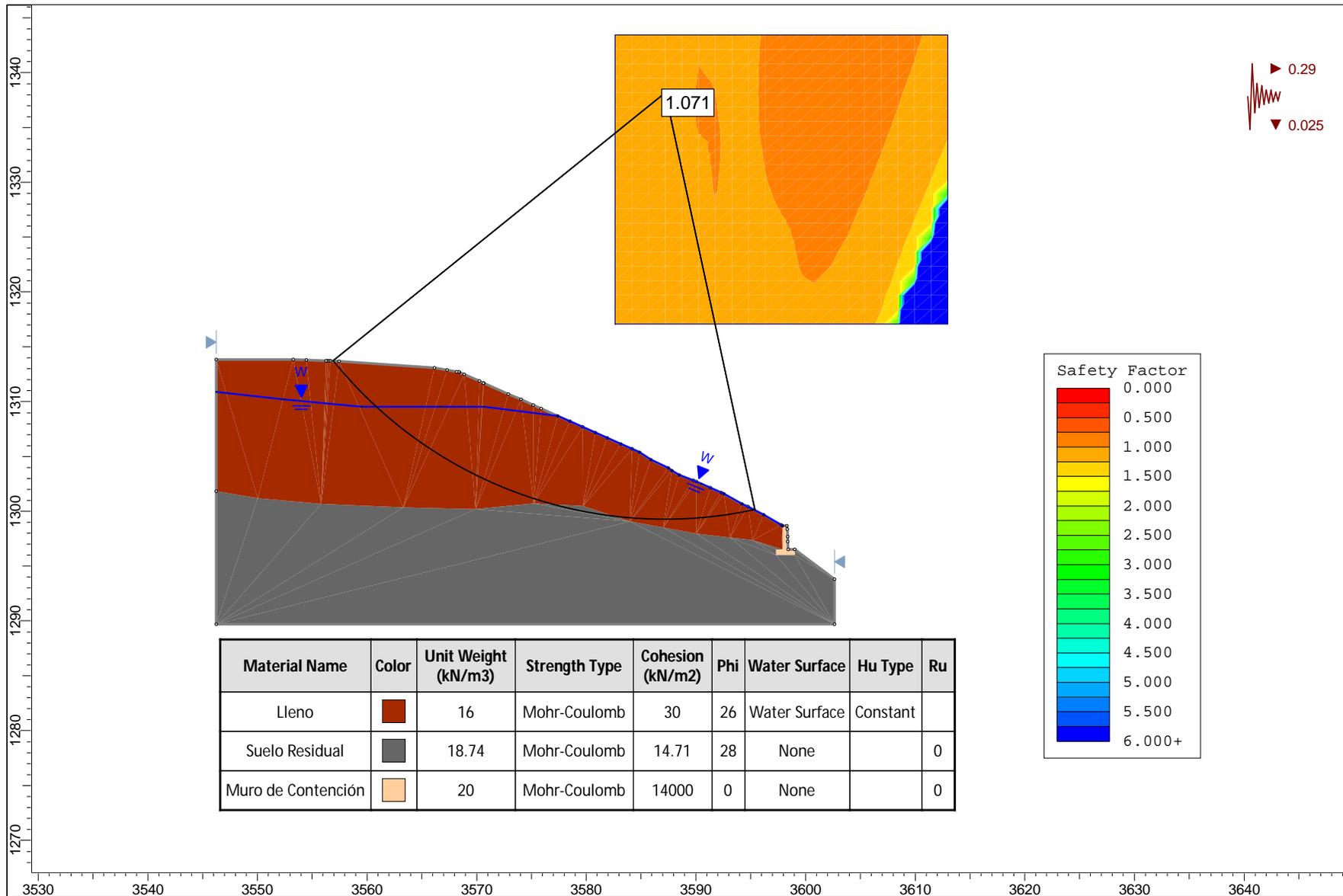


PERFIL 3



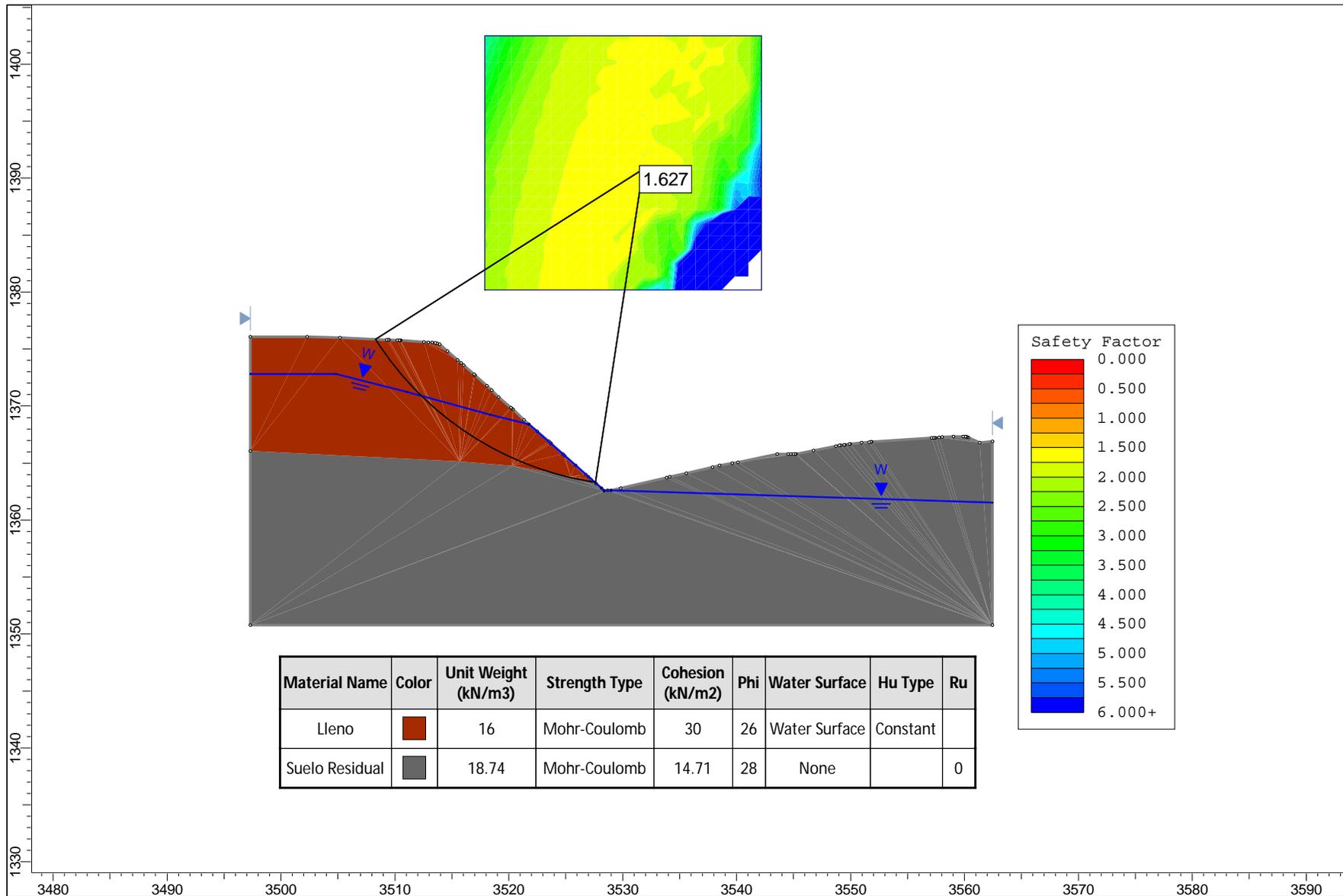


	Project			SLIDE - An Interactive Slope Stability Program		
	Analysis Description					
	Drawn By			Scale	1:604	Company
	Date			18/01/2021, 12:21:24 p. m.		File Name

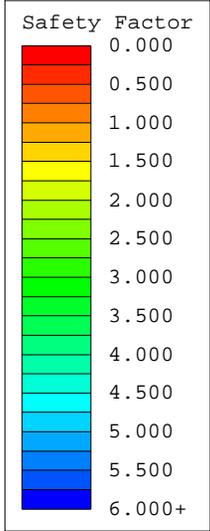


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type	Ru
Lleno		16	Mohr-Coulomb	30	26	Water Surface	Constant	
Suelo Residual		18.74	Mohr-Coulomb	14.71	28	None		0
Muro de Contención		20	Mohr-Coulomb	14000	0	None		0

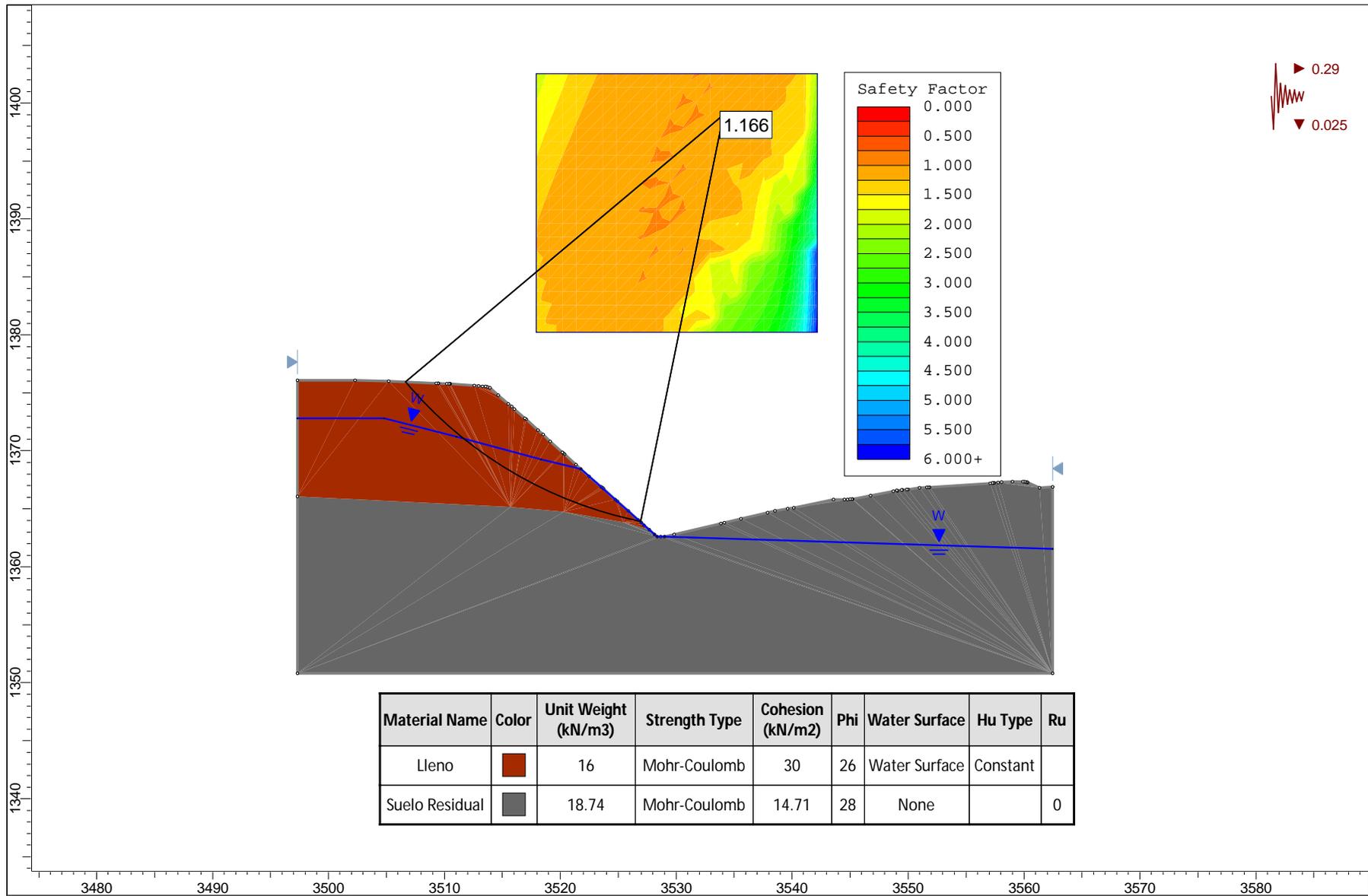
 <small>SLIDEINTERPRET 6.005</small>	Project			SLIDE - An Interactive Slope Stability Program		
	Analysis Description					
	Drawn By		Scale	1:471.1	Company	
	Date			18/01/2021, 12:21:24 p. m.		File Name



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type	Ru
Lleno	■	16	Mohr-Coulomb	30	26	Water Surface	Constant	
Suelo Residual	■	18.74	Mohr-Coulomb	14.71	28	None		0



	Project		
	SLIDE - An Interactive Slope Stability Program		
	Analysis Description		
	Drawn By	Scale 1:453.4	Company
Date	18/01/2021, 4:07:35 p. m.	File Name	PERFIL 2.slim

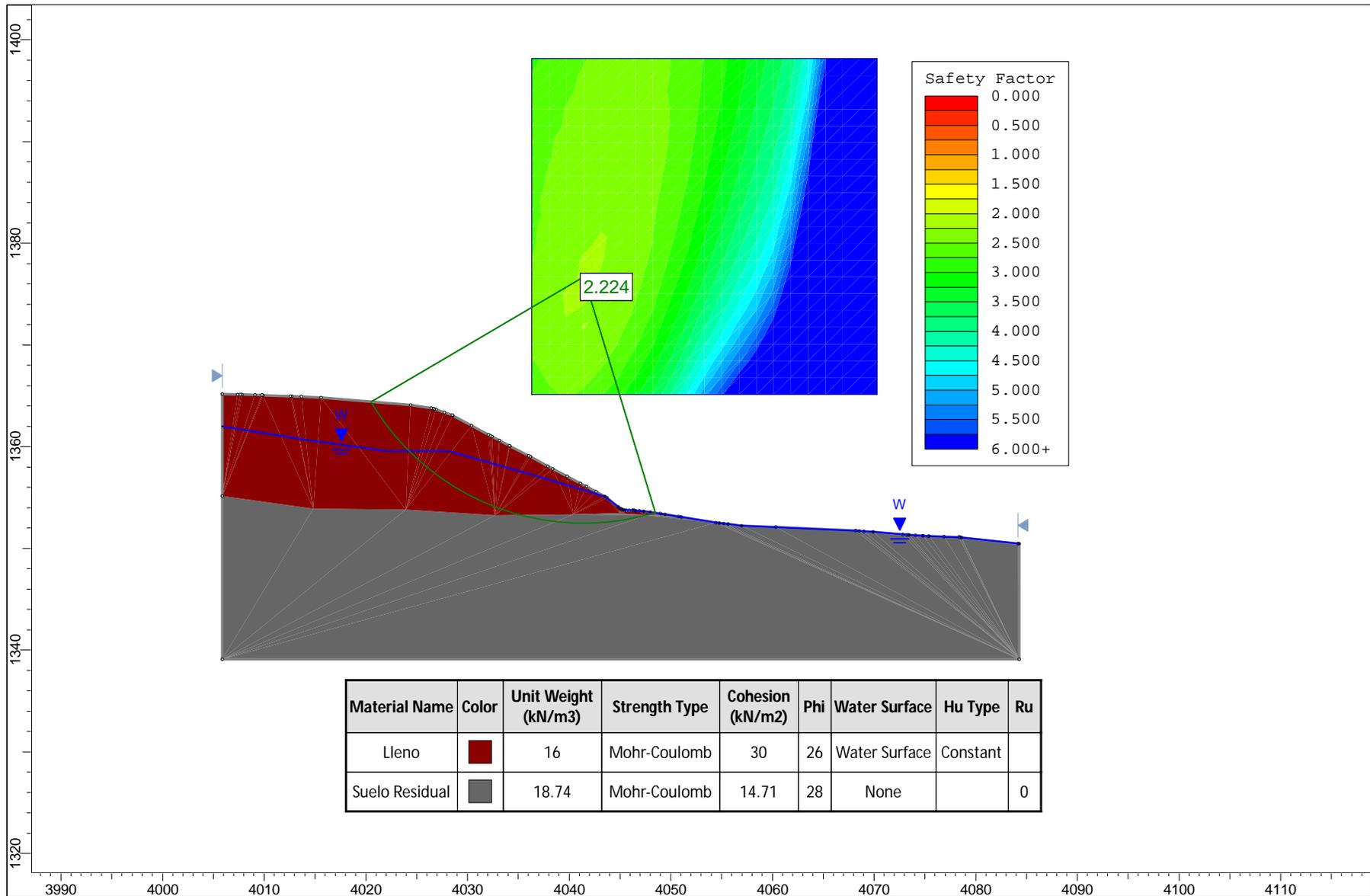


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type	Ru
Lleno	■	16	Mohr-Coulomb	30	26	Water Surface	Constant	
Suelo Residual	■	18.74	Mohr-Coulomb	14.71	28	None		0



SLIDEINTERPRET 6.005

Project				SLIDE - An Interactive Slope Stability Program			
Analysis Description							
Drawn By			Scale 1:444.8		Company		
Date 18/01/2021, 4:07:35 p. m.			File Name			PERFIL 2.slim	

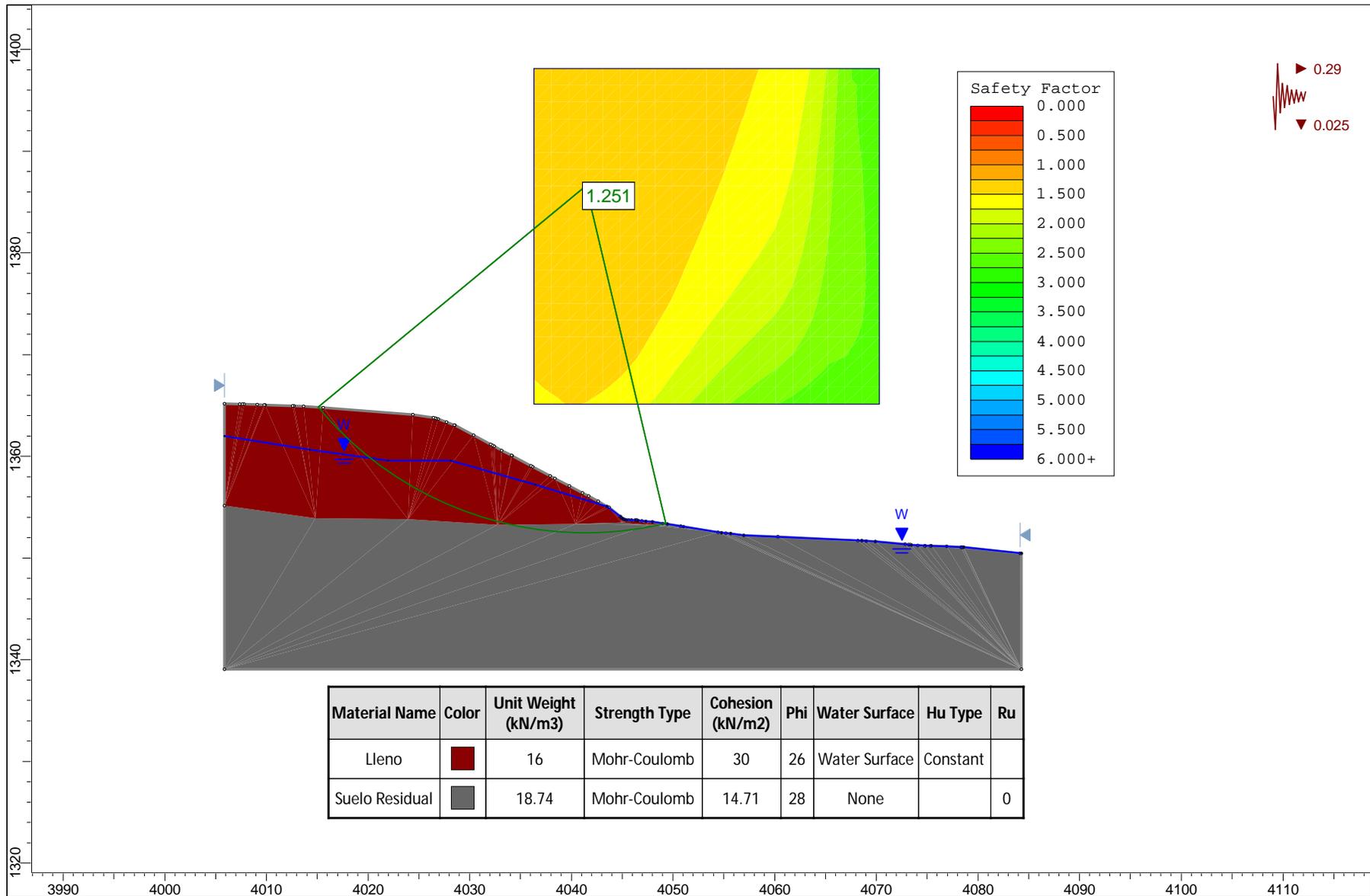


Material Name	Color	Unit Weight (kN/m ³)	Strength Type	Cohesion (kN/m ²)	Phi	Water Surface	Hu Type	Ru
Lleno	■	16	Mohr-Coulomb	30	26	Water Surface	Constant	
Suelo Residual	■	18.74	Mohr-Coulomb	14.71	28	None		0



Project		
SLIDE - An Interactive Slope Stability Program		
Analysis Description		
Drawn By	Scale	Company
Date	18/01/2021, 7:05:38 p. m.	File Name
		PERFIL 3.slim

SLIDEINTERPRET 6.005



	Project			SLIDE - An Interactive Slope Stability Program		
	Analysis Description					
	Drawn By		Scale		Company	
	Date		18/01/2021, 7:05:38 p. m.		File Name	
				PERFIL 3.slim		

MAPA DE AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA



UNIVERSIDAD DE CALDAS
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

Elaborado por:
Stefanny Quiroga Quiroga
Director: John Jairo Cardona Ríos
Enero de 2021

PROYECTO: EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR
DESlizAMIENTO EN EL SECTOR DE MALTERÍA,
KM 4 VÍA AL MAGDALENA, URBANIZACIÓN
JUANCHITO, LOTE 17001010800310001000

CONVENCIONES

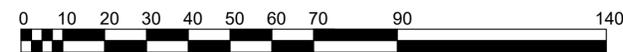
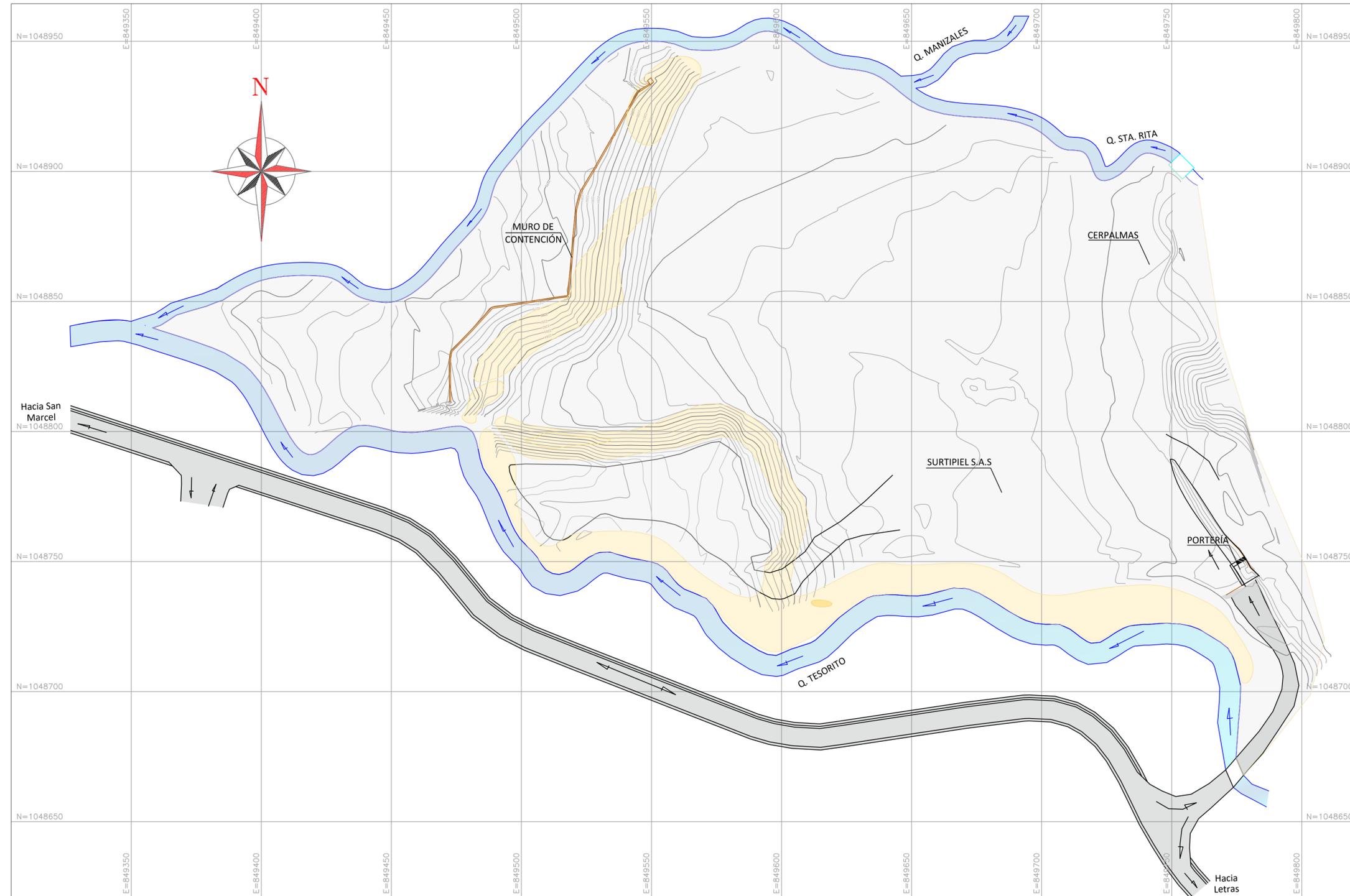
- CURVA DE NIVEL @ 5m
- CURVA DE NIVEL @ 1m
- VÍA
- QUEBRADA
- MURO DE CONTENCIÓN
- CÁMARA

TIPO DE AMENAZA

- Muy baja
- Baja
- Media
- Alta
- Muy alta

AREA TOTAL DEL PREDIO: 70213.00M2
EMPRESA: SURTIPIEL S.A.S

SISTEMA DE REFERENCIA
Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota
Projection: Transverse Mercator
Datum: MAGNA
False Easting: 1,000,000.0000
False Northing: 1,000,000.0000
Central Meridian: -74.0775
Scale Factor: 1.0000
Latitude Of Origin: 4.5962
Units: Meter



ESCALA 1:1000

MAPA 8 DE 8