

MICROZONIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE
REMOCIÓN EN MASA, EN LA VÍA ENTRE LA CABECERA MUNICIPAL DE
PUEBLO BELLO Y LA VEREDA MONTE GRANDE, DPTO DEL CESAR.

JHON LORENZO MENDOZA MENDOZA

ANDREA JULIETH NAVARRO AGUILAR

YOMARI VANESSA ZEQUEDA AVILA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOLOGICA
VALLEDUPAR
2018

MICROZONIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE AMENAZAS POR FENÓMENOS DE
REMOCIÓN EN MASA, EN LA VÍA ENTRE LA CABECERA MUNICIPAL DE
PUEBLO BELLO Y LA VEREDA MONTE GRANDE, DPTO DEL CESAR.

JHON LORENZO MENDOZA MENDOZA
ANDREA JULIETH NAVARRO AGUILAR
YOMARI VANESSA ZEQUEDA AVILA

Monografía para optar al título de Ingeniero geólogo

Asesor temático

LUIS CARLOS TAPIA VELA

Asesor metodológico

LUIS ALBERTO QUINTERO LOPEZ

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA GEOLOGICA
VALLEDUPAR

2018

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Valledupar, 10 de abril de 2018.

Dedico este proyecto:

A Dios, a quien le debo todo lo que soy.

Mis padres quienes con su amor, ejemplo y dedicación me ayudaron a llegar a esta importante etapa de mi vida.

Mis hermanos Kelly y Sebastián, por su compañía y palabras de aliento en mis momentos difíciles.

Y a mis compañeros de proyecto, por permitirme seguir adquiriendo conocimientos a su lado.

Todo esto fue posible gracias a ustedes.

Andrea Navarro

Quiero dedicar éste proyecto a Dios por siempre ser mi soporte y esperanza en las diversas circunstancias que afronté para llegar hasta este momento.

A mis queridos padres Sonia y Jhon por su entrega y amor hacia mí, y apoyarme cuando decidí emprender éste camino que ya termino de cruzar.

A mis hermanas Aylin y Evelin, y a mis abuelos por ser mi inspiración.

A mi sobrino Emmanuel por ser quien cada día me llena de más motivos para luchar por un mejor futuro.

A mis familiares por confiar en mí, por siempre estar pendientes de mi proceso y extenderme una mano de ayuda cuando lo necesité.

Y a mis compañeras por toda su paciencia y compromiso, ¡Lo logramos!

Jhon Lorenzo Mendoza

Este proyecto se lo dedico a Dios quien me ha dado fuerzas para seguir adelante y enfrentar cada obstáculo que se me presenta en la vida.

A mi familia a quien le debo todo lo que soy, mis padres Albert y Claudia por su amor, por creer en mí, por su comprensión y apoyo con todo lo necesario para poder realizar este logro; a mis hermanos María Fernanda y Albert quienes me han dado aliento para nunca desfallecer.

A mis compañeros por su esfuerzo, dedicación y entrega absoluta para poder concluir con éxito este proyecto.

Vanessa Zequeda

AGRADECIMIENTOS

Para nosotros es muy importante extenderles a nuestros tutores el Geólogo Luis Carlos Tapia, y a los Ingenieros Luis Alberto Quintero y Juan Miguel Ortega; nuestros más sinceros agradecimientos por su entrega para con nuestro proyecto, siempre prestos a atender a nuestras inquietudes y dando siempre muy buenas recomendaciones para poder culminar nuestro trabajo de la mejor manera. También queremos agradecer al señor Antonio García por ser nuestro guía en la realización de todos los ensayos de laboratorio, a las entidades y corporaciones territoriales del departamento del Cesar por estar atentos a nuestros requerimientos, a los habitantes del municipio de Pueblo Bello por su amabilidad y comprensión, y no menos importante a nuestros familiares, docentes y compañeros por siempre estar acompañándonos en este proceso.

CONTENIDO

	Pag.
LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABLAS	14
LISTA DE ECUACIONES	15
LISTA DE ANEXOS	16
I. INTRODUCCIÓN	18
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	20
2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	21
2.3 JUSTIFICACIÓN.....	22
III. OBJETIVOS.....	24
3.1 OBJETIVOS GENERALES.....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
IV. MARCO TEORICO	25
4.1 ANTECEDENTES.....	25
4.2 MARCO GEOGRÁFICO	29
4.2.1 Accesibilidad	30
4.3 MARCO SOCIOECONÓMICO	31
4.4 MARCO CONCEPTUAL	33
4.4.1 Estabilidad de taludes	36
4.4.2 Factores que influyen en la inestabilidad de los taludes	37
4.4.3 Procesos en el deterioro de falla	38
4.4.4 Procesos en la etapa de deterioro.....	39
4.4.5 Tipos de movimientos en masa.....	39
4.5 MARCO LEGAL.....	43
V. METODOLOGIA	47
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
5.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	47

5.3	ESQUEMA METODOLOGICO	48
VI.	ANALISIS DE RESULTADOS.....	61
6.1	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	61
6.1.1	Ensayo granulométrico.....	61
6.1.2	Ensayo de plasticidad	65
6.1.3	Ensayo de compactación	65
6.2	PENDIENTE DE LOS TALUDES vs ÁNGULO DE REPOSO.....	68
6.2.1	Pendiente de los taludes.....	68
6.2.2	Angulo de reposo	69
6.2.3	Terrazas.....	72
6.3	DESCRIPCIÓN FOTOGEOLOGICA.....	75
6.3.1	Patrón de drenaje Dendrítico	75
6.3.2	Patrón de drenaje Subparalelo.....	77
6.3.3	Unidades geomorfológicas.....	79
6.4	GEOLOGIA LOCAL.....	81
6.4.1	Cuarzosienita	81
6.4.2	Sienita	82
6.4.3	Basalto	84
6.4.4	Depósitos recientes.....	86
6.4.5	Mapa geológico.....	87
6.4.6	Perfiles de meteorización	89
6.5	GEOMORFOLOGÍA.....	91
6.5.1	Distribución geomorfológica en el área estudiada.....	91
6.5.2	Ambiente denudacional.....	93
6.5.3	Ambiente fluvial.....	96
6.5.4	Mapa geomorfológico.....	97

6.6	PENDIENTES.....	99
6.6.1	Mapa de pendientes.....	100
6.6.2	Taludes muestreados.....	101
6.7	COBERTURA Y USO DEL SUELO	104
6.7.1	Bosques	104
6.7.2	Pastos	104
6.7.3	Suelos desnudos.....	104
6.7.4	Rastrojos	104
6.7.5	Mapa de cobertura de suelo.....	106
6.8	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA	107
6.8.1	Precipitación (mm)	107
6.8.2	Clima	110
6.8.3	Cuencas.....	111
6.9	Análisis de factores detonantes y condicionantes más influyentes.....	113
6.9.1	Condicionantes (intrínsecos o pasivos).....	113
6.9.2	Detonantes (extrínsecos o activos)	114
6.10	EVALUACION DE LA AMENAZA	116
6.10.1	Aplicación del método MORA-VAHRSON.....	116
6.10.2	Mapa de microzonificación de amenazas por remoción en masa en la vía Pueblo Bello - Monte Grande.	120
VII.	CONCLUSIONES	127
VIII.	RECOMENDACIONES.....	130
8.1	PROCESOS DE DETERIORO	130
8.1.1	Desmoronamiento.....	130
8.1.2	Caída de granos.....	130
8.1.3	Lavado superficial o erosión.....	131

8.1.4	Flujo de detritos.....	131
8.1.5	Caída de rocas.....	132
IX.	BIBLIOGRAFIA	133
X.	ANEXOS	138

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de estudio.....	29
Figura 2. Vía municipio de Pueblo Bello - vereda Monte Grande.	30
Figura 3. Producción de café, Departamento del Cesar.....	31
Figura 4. Deslizamiento	34
Figura 5. Talud.....	35
Figura 6. Deslizamiento rotacional donde incide el movimiento de la masa de tierra y la orientación de los árboles.	40
Figura 7. Ejemplos de deslizamientos de tipo traslacional.....	41
Figura 8. Representación de flujos en grandes cantidades de material.	42
Figura 9. Ensayo de compactación, muestras 1 y 2.....	66
Figura 10. Ensayo de compactación, muestras 3 y 4.	66
Figura 11. Terraceo en taludes teniendo en cuenta “ ϕ ” y “ β ”.....	72
Figura 12. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3169, R602-3170. IGAC. Evidencia del tipo de drenaje dendrítico en la zona de estudio.	75
Figura 13. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia tipo de drenaje dendrítico. Fuente: Los autores.....	76
Figura 14. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3169, R602-3170. IGAC. Evidencia tipo de drenaje subparalelo presente en la zona de estudio.....	77
Figura 15. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia tipo de drenaje.....	78
Figura 16. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia de lomas denudadas en la geomorfología de la zona.....	79
Figura 17. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia tipo de drenaje.....	80
Figura 18. Cuarzosienita encontrada en la zona de estudio.....	82
Figura 19. Denominación de rocas ígneas (Cuarzosienita).	82
Figura 20. Sienita encontrada en la zona de estudio.	83
Figura 21. Denominación de rocas ígneas (sienita).	83
Figura 22. Basalto encontrado en la zona de estudio.	84
Figura 23. Depósito aluvial. Bloques, gravas, cantos, arenas y limos. (Estación 20).....	86
Figura 24. Mapa geológico del área de estudio que comprende 18km ² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.	88
Figura 25. Localización Plancha 26 Magdalena y Cesar, Colombia. Y plancha 26IVD - Pueblo Bello.	91
Figura 26. Identificación de geoformas: Dldeml, Dlo, Dldeal, Dsr.....	93
Figura 27. Identificación de geoformas: Dld, Dlo, Dldeal, Dsr.	94
Figura 28. Identificación de geoformas: Dld, Dldeml, Dlo, Dmo.....	95
Figura 29. Identificación de geoformas: Dld, Dlres, Ftas.....	96

Figura 30. Mapa geomorfológico del área de estudio que comprende 18km ² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.....	98
Figura 31. Mapa de pendientes del área de estudio que comprende 18km ² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.....	100
Figura 32. Estación 2 sector 1, talud 1 en la sectorización muestral de taludes.	101
Figura 33. Estación 2 sector 2, talud 1 en la sectorización muestral de taludes.	102
Figura 34. Estación 20, Talud 4 en la sectorización muestral taludes.	103
Figura 35. Bosques y pastos en la zona de estudio.....	105
Figura 36. Suelos desnudos y rastrojos en la zona de estudio.	105
Figura 37. Mapa de Cobertura Vegetal del área de estudio que comprende 18km ² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.....	106
Figura 38. Diagrama de barras de la precipitación anual histórica hasta el año 2013 en el municipio de Pueblo Bello.	108
Figura 39. Mapa del Departamento del Cesar y Municipio de Pueblo Bello con sus principales climas.....	110
Figura 40. Mapa de temperatura media del municipio de Pueblo Bello.....	111
Figura 41. Instalación de acueductos y redes de drenaje en el kilómetro 10 de la vía. ..	115
Figura 42. Mapa de amenazas por remoción en masa correspondiente a los 8km viales entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.	120
Figura 43. Talud que presenta nivel de amenaza muy baja y baja.....	122
Figura 44. Talud que presenta nivel de amenaza media.....	123
Figura 45. Talud que presenta nivel de amenaza alta.	124
Figura 46. Talud que presenta nivel de amenaza alta.	124
Figura 47. Talud que presenta nivel de amenaza muy alta.	125
Figura 48. Talud que presenta nivel de amenaza muy alta.	126

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Antecedentes bibliográficos.	25
Tabla 2. Normatividades.	43
Tabla 3. Clasificación de los tamaños de granos de los suelos.	51
Tabla 4. Descripción de pendientes.	54
Tabla 5. Clasificación de niveles de amenaza.	59
Tabla 6. Determinación de los diferentes tipos de suelos.	61
Tabla 7. Resultado de los suelos que presentan plasticidad.	65
Tabla 8. Pendientes de los taludes en el tramo Monte Grande – Pueblo Bello.	68
Tabla 9. Representación del ángulo de reposo para los cuatro taludes escogidos en la zona de estudio.	70
Tabla 10. Determinación de la altura óptima de estabilización de taludes.	71
Tabla 11. Tipos de suelos asociados a las formaciones geológicas que han sufrido procesos pedogenéticos.	85
Tabla 12. Horizontes de meteorización de suelos.	89
Tabla 13. Convenciones de los distintas unidades geomorfológicas.	92
Tabla 14. Precipitación máxima en 24 horas-estación Pueblo Bello (mm).	109
Tabla 15. Subcuencas hidrográficas del Municipio de Pueblo Bello, Departamento del Cesar.	112
Tabla 16. Pesos de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenazas a deslizamientos.	116

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Método de evaluación de amenaza según Mora y Vahrson.....	57
Ecuación 2. Formula de combinación de factores detonantes y condicionantes según Mora y Vahrson.	58

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Tabla de clasificación de suelos AASTHO.....	138
Anexo 2. Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS.....	139
Anexo 3. Granulometría de la muestra N° 1.....	140
Anexo 4. Granulometría de la muestra N° 2.....	140
Anexo 5. Granulometría de la muestra N° 3.....	141
Anexo 6. Limite líquido y plástico de la muestra N°3.....	141
Anexo 7. Granulometría de la muestra N°4 parte 1.....	142
Anexo 8. Granulometría de la muestra N° 4 parte 2.....	142
Anexo 9. Granulometría de la muestra N° 4.....	143
Anexo 10. Granulometría de la muestra N° 5 y 6.....	143
Anexo 11. Granulometría de la muestra N°7.....	144
Anexo 12. Granulometría de la muestra N°8.....	144
Anexo 13. Limite líquido y plástico N°8.....	145
Anexo 14. Granulometría de la muestra N°9.....	145
Anexo 15. Granulometría de la muestra N°10.....	146
Anexo 16. Granulometría de la muestra N° 11.....	146
Anexo 17. Granulometría de la muestra N°12.....	147
Anexo 18. Limite líquido y plástico de la muestra N° 12.....	147
Anexo 19. Granulometría de la muestra N° 13.....	148
Anexo 20. Granulometría de la Muestra N° 14.....	148
Anexo 21. Limite líquido y plástico de la muestra N° 14.....	149
Anexo 22. Granulometría de la muestra N° 15.....	149
Anexo 23. Limite líquido y plástico de la muestra N° 15.....	150
Anexo 24. Granulometría de la muestra N° 16.....	150
Anexo 25. Limite líquido y plástico de la muestra N°16.....	151
Anexo 26. Granulometría de la muestra N° 17.....	151
Anexo 27. Granulometría de la muestra N°18.....	152
Anexo 28. Ensayo proctor modificado, muestra N1.....	153
Anexo 29. Ensayo proctor modificado, muestra N2.....	154
Anexo 30. Ensayo proctor modificado, muestra N3.....	155
Anexo 31. Ensayo proctor modificado, muestra N4.....	156
Anexo 32. Perfil de meteorización. Talud N1.....	157
Anexo 33. Perfil de meteorización. Talud N2.....	157
Anexo 34. Perfil de meteorización. Talud N2.1.....	158
Anexo 35. Perfil de meteorización. Talud N3.....	158
Anexo 36. Perfil de meteorización. Talud N4, lado izquierdo de la vía.....	159
Anexo 37. Perfil de meteorización. Talud N4, lado derecho de la vía.....	159
Anexo 38. Perfil de meteorización. Talud N5.....	160
Anexo 39. Perfil de meteorización. Talud N6.....	160

Anexo 40. Perfil de meteorización. Talud N7.	161
Anexo 41. Perfil de meteorización. Talud N8.	161
Anexo 42. Perfil de meteorización. Talud N9.	162
Anexo 43. Perfil de meteorización. Talud N10.	162
Anexo 44. Perfil de meteorización. Talud N11.	163
Anexo 45. Perfil de meteorización. Talud N12.	163
Anexo 46. Perfil de meteorización. Talud N13.	164
Anexo 47. Perfil de meteorización. Talud N14.	164
Anexo 48. Perfil de meteorización. Talud N15.	165
Anexo 49. Perfil de meteorización. Talud N16.	165
Anexo 50. Perfil de meteorización. Talud N17.	166
Anexo 51. Perfil de meteorización. Talud N18.	166
Anexo 52. Perfil de meteorización. Talud N19.	167
Anexo 53. Perfil de meteorización. Talud N20.	167
Anexo 54. Valores totales mensuales de precipitación (mm.s)	168

I. INTRODUCCIÓN

Entre los años 2011 y 2013 en el municipio de Pueblo Bello, se presentaron siete diferentes movimientos en masa en las veredas La honda, Guacamayal, El cañón y El Cerro Sabanitas; asociados a fenómenos de remoción aumentando progresivamente en los últimos años su nivel de amenaza debido a las topografías abruptas y su geología compleja¹. Según la ley 1523 del 24 de abril de 2012 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, la amenaza generada por fenómenos de remoción en masa es un peligro ocasionado por la actuación de eventos físicos de origen natural, causado por el accionamiento de factores detonantes como las lluvias y la antropización, con tal severidad que puedan ocasionar pérdida de vidas e impactos en la salud, así como daños y pérdidas de bienes, infraestructura, medios de sustento, prestación de servicios y recursos ambientales.

Según lo descrito anteriormente es necesario que las entidades territoriales del municipio de Pueblo Bello - Cesar cuenten con estudios preliminares de suelos y mapas de amenazas cómo herramienta útil para la toma de decisiones en cuanto a intervenciones en el terreno, especialmente en las primeras etapas de planeación de proyectos con el fin de cumplir con todos los requerimientos solicitados por las entidades reguladoras de los mismos como la UNGRD “Unidad Nacional de Gestión de riesgo de Desastres”, el SIMMA “Sistema de Información de Movimientos en Masa”, el IDEAM “Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales”, INGEOMINAS y el SGC “Servicio Geológico Colombiano”.

La realización de este proyecto abarcó el estudio de factores condicionantes (geología, geomorfología, cobertura de suelo, pendientes) y detonantes

¹ CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1523, Gestión del riesgo, responsabilidad, principios, definiciones y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Cap. I. Abril 24, 2012.

(antropización y precipitaciones), que influyen en la inestabilidad de los taludes, los cuales por medio de su estudio y análisis arrojan resultados primordiales para la evaluación de las amenazas generadas por fenómenos de remoción en masa llevando a cabo la microzonificación de amenaza, por medio de variables numéricas condicionadas por el método de Mora & Vahrson² 1991, con las que se midieron los resultados para cuantificar las amenazas; de igual forma el uso de referencias bibliográficas de autores como Suárez³ 1998, Aristizábal et. al⁴. 2010, Cruden, D. y Varnes, D⁵. 1996, entre otros; obteniendo información primordial para la digitalización en ArcGIS 10.1 del mapa de microzonificación de amenazas por procesos de remoción en masa en la vía entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.

² RODRIGUEZ SOLANO, Juan. et. al. Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según método de análisis Mora y Vahrson: Estudio de caso. Revista ambiental agua, aire y suelo. ISSN 1900-9178, Volumen 4 número 1. 2003.

³ SUAREZ, DIAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga – Colombia. Julio de 1998.

⁴ ARISTIZÁBAL. et. al. Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare, convenio Cornare-gobernación Antioquia municipio del Santuario. Editorial 2011-CF-12-0051 Y 217-2011. 2010

⁵ CRUDEN, D.M y VARNES, D.J. Landslides: investigation and mitigation. Chapter3: Landslides Types and Processes. July 15, 1996.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Según reportes del IDEAM, El valor máximo de precipitación mensual en el municipio de Pueblo Bello se presenta en octubre con valor de 350.7 mm, seguido de septiembre con 290.3 mm, mientras que las precipitaciones más bajas se generan en el mes de enero con 16.8mm. En total el municipio de Pueblo Bello presenta un promedio de precipitación mensual de 2098.7 mm. Lo que influye directamente en la generación de procesos por fenómenos de remoción en masa sumado a las condiciones propias que presenta la zona, como geología, hidrología y geomorfología⁶. Desde el 2013 se han presentado consecutivos deslizamientos debido a que se limitan solo a retirar los materiales deslizados y no interfieren en la implementación de medidas correctivas que permitan mitigar dichos fenómenos⁷. Por lo tanto es de gran relevancia llevar cabo éste proyecto el cual permita mostrar la problemática latente que afecta a toda la comunidad, en cuanto a interrupciones viales y lesiones a los habitantes⁸, al mismo tiempo ofrecer soluciones prácticas que pueden ser implementadas

Los últimos 8 km de carretera que conducen a Pueblo Bello, están compuestos por suelos residuales que generan inestabilidad en los taludes, produciendo amenazas por fenómenos de remoción en masa afectando el tránsito en el sector. Entre los años 2011-2013 se presentaron 7 diferentes movimientos en el municipio de Pueblo Bello, específicamente en las veredas La Honda, Los Antiguos,

⁶ ARISTIZÁBAL. et. al. Op, Cit.

⁷ SIMMA. Servicio de información de movimientos en masa. 2011-2013.

⁸EL TIEMPO. Pueblo Bello, en observación por deslizamientos. Web: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-823706>

Guacamayal y El Cañón⁹, clasificados según Cruden y Varnes¹⁰ como deslizamientos y flujo de detritos; los cuales se consideran suspendidos y presentan una edad de entre 1 y 5 años.

Es muy importante tener en cuenta que en algunos casos se han llevado a cabo proyectos viales como “Rehabilitación y pavimentación de la vía Zanjón – Pueblo Bello, Departamento del Cesar. Etapa II y atención a emergencias” y “Rehabilitación y pavimentación de la vía la Honda – Pueblo Bello, Departamento del Cesar”¹¹ con fin de mejorar la calidad de vida, movilidad y seguridad de los transeúntes, donde se han intervenido las laderas generando taludes a los cuales no se les realizan procesos adecuados de estabilización que permitan preservar tanto el trabajo ingenieril realizado, como la seguridad vial para el sector.

2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo la microzonificación puede contribuir en la mitigación de las amenazas generadas por fenómenos de remoción en masa que afectan la movilidad en la vía entre el municipio de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande?

⁹ SIMMA. Op. Cit.

¹⁰ CRUDEN, D.M y VARNES, D.J. Landslides: investigation and mitigation. Chapter3: Landslides Types and Processes. July 15, 1996.

¹¹ GOBERNACIÓN DEL CESAR. Rehabilitación y pavimentación de la vía Zanjón – Pueblo Bello, Departamento del Cesar. Etapa II y atención a emergencias” y “Rehabilitación y pavimentación de la vía la Honda – Pueblo Bello, Departamento del Cesar. 2017.

2.3 JUSTIFICACIÓN

En Colombia según su geografía, geología, geomorfología y clima; los fenómenos de remoción en masa suceden con gran frecuencia. Por consiguiente, causan un gran impacto ambiental, económico y social. Las causas de desastres tales como inundaciones, deslizamientos, avalanchas, entre otros, son en un 93% meteorológica mientras que el otro 7% está ceñido a las condiciones del terreno. Donde el 56% son causadas por las lluvias prolongadas y el 37% por lluvias intensas de baja duración¹². Las vías de acceso a distintos puntos estratégicos de la Sierra Nevada de Santa Marta son muy restringidas por aspectos tanto culturales como viales; este último generado por la topografía brusca y por los distintos tipos de litologías que lo componen, las cuales pueden hacer más complicada la delimitación y construcción de las vías propiciando amenazas relacionadas con el desarrollo de la población, no obstante que los factores críticos que actúen como condicionantes y/o detonantes sean generados.

Teniendo en cuenta los registros arrojados por el sistema de información de movimientos en masa en cuanto a gestión de riesgo y desastres, se han presentado en el departamento del Cesar 107 fenómenos de remoción en masa definidos como deslizamientos, caídas, flujos y reptación desde los años de 1961 hasta el 2014. Sin embargo, se encuentra que existen deficiencias de orden técnico y metodológico debido a que no todos los municipios poseen un plan de gestión de riesgos adecuado para la elaboración de estudios en su territorio, ni instrumentos que permitan ejecutarlos de manera adecuada. Los proyectos de microzonificación de amenazas son muy importantes para tener en cuenta en

¹² MAYORGA. R. Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Bogotá. 2003.

diferentes tipos de proyectos ingenieriles que se esperen realizar, contando con la información disponible y las resoluciones mínimas para cada caso¹³.

Es de gran importancia realizar estudios a los fenómenos por remoción en masa para generar mapas que permitan clasificar la zona en niveles de amenazas en beneficio del municipio, mostrando a la población y a las entidades territoriales los puntos críticos, y la importancia que tiene realizar estudios de gestión de riesgos en vías de zonas rurales que presentan una demanda considerable en cuanto a producción agrícola y turismo. Basándonos en las amenazas generadas por los distintos fenómenos de remoción en masa que se puedan llegar a presentar, como deslizamientos, caídas de rocas y flujos¹⁴ considerados los más reiterativos en el municipio de Pueblo Bello, se requiere de la realización de diferentes trabajos ingenieriles que proporcionen mayor control en la estabilización de taludes y de esta manera mitigar las amenazas que se presentan ocasionando pérdidas significativas en cuanto a transferencia de recursos agrícolas, lesiones a las personas y obstaculización a los distintos medios de transporte que por ahí circulan¹⁵.

¹³ EL PILON. Deslizamientos de tierra bloquean vía a Pueblo Bello. Web: <http://elpilon.com.co/deslizamientos-tierra-bloquean-via-pueblo-bello/>

¹⁴ RODRIGUEZ SOLANO, Juan. et, al. Op. Cit.

III. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GENERALES

- Analizar las amenazas generadas por fenómenos de remoción en masa, por medio de una microzonificación en la vía entre el municipio de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar geológicamente las propiedades físicas y mecánicas de los taludes para determinar su granulometría.
- Identificar los procesos condicionantes y detonantes que influyen en el comportamiento de las áreas propensas a fenómenos de remoción en masa.
- Realizar estudios geomorfológicos, hidrológicos, de precipitación, antrópicos, de pendiente, de cobertura vegetal y uso del suelo; con el fin de realizar el mapa de microzonificación de amenazas
- Evaluar las áreas susceptibles a deslizamientos para proponer alternativas de estabilización que ayuden a mitigar estos procesos.

IV. MARCO TEORICO

4.1 ANTECEDENTES

Tabla 1. Antecedentes bibliográficos.

TITULO	DESCRIPCIÓN	UTILIDAD
Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el valle de Aburrá, Colombia¹⁶.	El análisis hecho para el pronóstico de deslizamientos en el valle de Aburrá se hizo empíricamente, donde se construyeron bases de datos tanto de movimientos en masa como precipitaciones con registros cada 15 min, estimando así la lluvia de corto plazo -LA- (1, 3, 5 y 7 días) y de largo plazo -LAA- (5, 10, 15, 30, 60 y 90 días). Los resultados expresan que el mayor condicionante es la LAA.	Por decaimiento de la resistencia de los materiales de las laderas por las intervenciones antrópicas, meteorización, y factores detonantes como la precipitación o sismos, generan deslizamientos. El pronóstico de lluvias, el seguimiento en tiempo real y la identificación de umbrales críticos se han convertido en instrumentos para identificar las amenazas por remoción en masa.
Evaluación cuantitativa del riesgo por deslizamientos detonados por lluvia en una carretera del	Utilizaron una metodología que evalúa de forma cuantitativa los riesgos por deslizamientos en carreteras de zonas tropicales montañosas, evaluando la amenaza por	Los factores detonantes y condicionantes nos sirven para clasificar diferentes condiciones que influyen al momento de analizar las amenazas por remoción en masa, los porcentajes de

¹⁶ ARISTIZÁBAL, E; et al. Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el valle de Aburrá, Colombia. 2011.

<p>noroeste de Colombia. Medellín – Colombia y Brasilia – Brasil¹⁷.</p>	<p>medio de relaciones estadísticas entre la precipitación y eventos donde se presentase mayor inestabilidad, obteniendo umbrales de falla que permiten identificar la magnitud y tiempo de las lluvias que pueden detonar los deslizamientos.</p>	<p>implicación de los factores arrojan resultados de gran aporte para definir las partes donde es más imprescindible realizar estudios específicos y crear sistemas para controlar o estabilizar los taludes.</p>
<p>Zonificación geotécnica preliminar del casco urbano del municipio de Barrancabermeja, Santander. Bogotá – Colombia¹⁸.</p>	<p>Se propone que la representación de componentes geotécnicos en terreno urbano se hace cada vez más relevante. Debido a esto los municipios en crecimiento y que presentan amenazas naturales, les corresponde hacer estudios de zonificación que ayuden en su planificación. Además, se expone que los problemas geotécnicos deben estudiarse de manera individual.</p>	<p>El uso de parámetros geomecánicos permite desarrollar un análisis de comportamiento del suelo, su resistencia, su plasticidad, entre otros. Todo ello con la finalidad de generar mapas de microzonificación de amenaza según el comportamiento de las variables como las propiedades mecánicas, ubicación, posición del nivel freático, geología, pendientes, hidrología, clima, la vegetación y el uso actual del suelo.</p>

¹⁷ HIDALGO, C y ASSIS, A., Evaluación cuantitativa del riesgo por deslizamientos detonados por lluvia en una carretera del noroeste de Colombia. Medellín – Colombia y Brasilia – Brasil. 2013.

¹⁸ ROBAYO, F y LOPEZ, L. Zonificación geotécnica preliminar del casco urbano del municipio de Barrancabermeja, Santander. Bogotá – Colombia. 2007

<p>Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica¹⁹.</p>	<p>Su finalidad fue aplicar un modelo para zonificar y analizar la distribución de susceptibilidad por remoción en masa por medio de estadística multivariada y un SIG, para el análisis y procesamiento de sus variables, se manejaron sistemas de análisis de data espacial como el Módulo Vertical Mapper, ArcShell, y ArcView. Pudiendo definir que la pendiente en los taludes oscila entre 18-33%. La adaptación del modelo original presentado por INGEOMINAS Colombia, la similitud con la fotointerpretación en el litoral central de Venezuela es de 80%, por tanto, la calibración se puede calificar como exitosa.</p>	<p>Teniendo en cuenta la gran variedad de software aplicado en este modelo de zonificación de susceptibilidades por procesos de remoción en masa, en nuestro trabajo es de gran importancia conocer el manejo que se le dio a éstos en la fase de análisis de datos obtenidos en campo referentes a los factores tanto condicionantes como detonantes y la porcentualización y ejecución en los softwares, en nuestro caso ArcGIS 10.1.</p>
<p>Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación</p>	<p>Analiza la peligrosidad de las extremas lluvias y sus implicaciones en la evaluación y zonificación de los procesos de remoción en masa. Aplicando el software</p>	<p>Las extremas lluvias son consideradas como factor detonante y es necesario su estudio y el de sus implicaciones al momento de realizar una evaluación y zonificación de los procesos</p>

¹⁹ CARTAYA, S; MÉNDEZ, W; y PACHECO, H. Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica. 2006.

<p>urbana de Tampico, México²⁰.</p>	<p>Statistical 8.0, que permitió realizar análisis estadísticos para el cálculo del Índice Modificado de Fournier (IMF) que calcula las precipitaciones con características erosivas en un año y una estación climática.</p>	<p>por remoción en masa.</p>
---	--	------------------------------

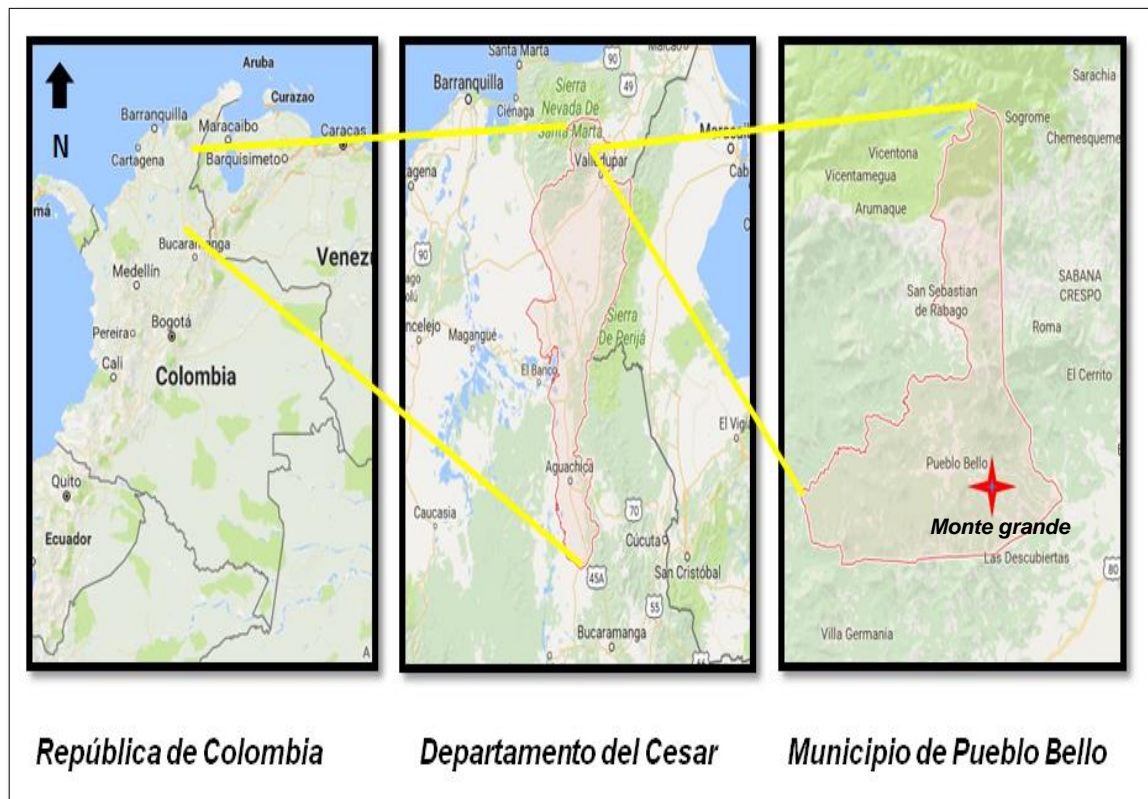
Fuente: Los autores.

²⁰ GONZÁLEZ, G. Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México. 2011.

4.2 MARCO GEOGRÁFICO

La zona de estudio se encuentra ubicada al norte del departamento del Cesar, al este del municipio de Pueblo Bello con las coordenadas $10^{\circ}24'59''N$ $73^{\circ}35'12''O$, sobre la vía que conduce desde la cabecera del municipio a la vereda Monte Grande con una extensión de 18 kilómetros² y alturas variables entre 961 msnm – 1125 msnm en donde actualmente se están presentando problemas de inestabilidad en taludes afectando la movilidad de los habitantes.

Figura 1. Localización de la zona de estudio.



Fuente: Google Earth.

4.2.1 Accesibilidad

Para llegar al municipio de Pueblo Bello las vías de acceso al área de estudio se pueden identificar en la plancha 26IVD del Instituto Geográfico Agustín Codazzi a escala 1:25000. El acceso se puede realizar por cualquier medio de transporte en la vía que conduce del municipio de Valledupar a Bosconia (ruta del Sol) donde, a 15 km de Valledupar a la derecha se encuentra una vía secundaria alterna, la cual tiene una extensión de 30 Km donde al final de la misma se localiza el municipio de Pueblo Bello. Los últimos 8 km de esta vía fueron los usados para realizar este proyecto de microzonificación de amenazas.

Figura 2. Vía municipio de Pueblo Bello - vereda Monte Grande.

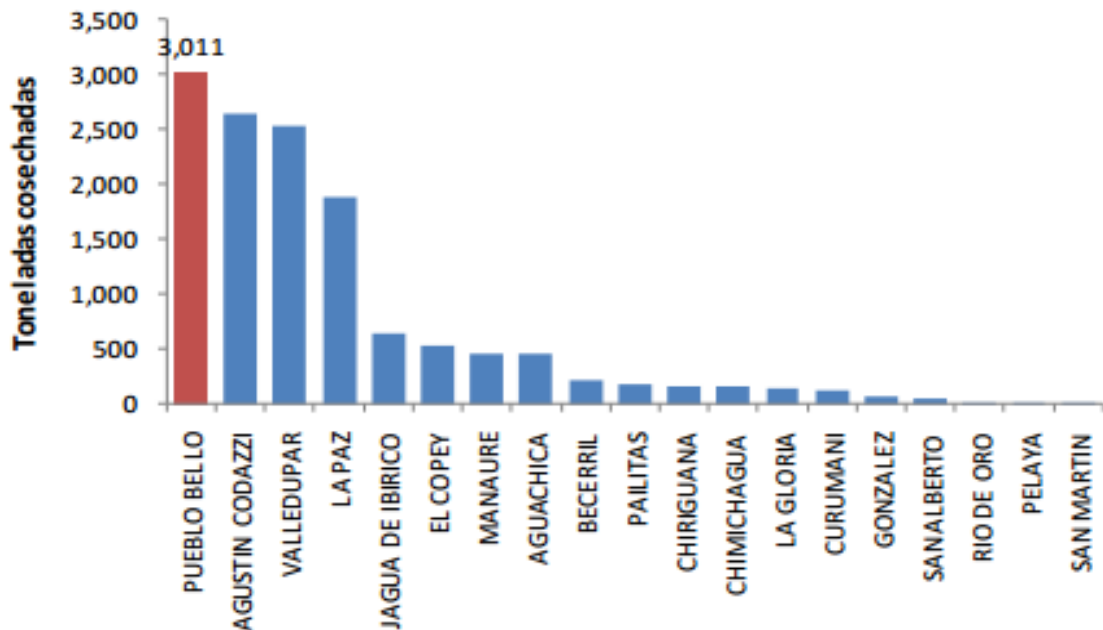


Fuente: Google Earth.

4.3 MARCO SOCIOECONÓMICO

El municipio de Pueblo Bello cuenta con una población total de 23.404 habitantes que alude al 2% de la población total del departamento²¹. El municipio es principalmente rural ya que en esta zona se concentra el 75% de la población total donde se cuenta con la presencia de la etnia indígena Arhuaca que corresponde al 58%. Su desarrollo socioeconómico está basado en la agricultura los productos representativos para este sector son el café, el cacao y el plátano, siendo a nivel departamental el primer productor de café y plátano.

Figura 3. Producción de café, Departamento del Cesar.



Fuente: Secretaria de Agricultura, Producción de café. Dpto del Cesar, 2012.

El municipio es el primer productor departamental de café, con más de 3000 ton de producción anual. En el sector pecuario ha presentado un crecimiento

²¹ DANE. Proyecciones de población municipales por área. Colombia. 2005 – 2020.

económico continuó destacándose la participación bovina en materia de producción, a pesar de no contar con grandes extensiones de tierra dedicadas a la ganadería, se ha logrado consolidar como un sector base para el desarrollo económico del municipio. En cuanto al tema piscícola, los datos del censo 2014 muestran una participación del municipio de tan solo 10% de los 255 cultivos de peces reportados por el departamento.

En lo que concierne al turismo el municipio cuenta con sitios naturales como Nabusimake, hoteles y restaurantes, y actividad empresarial. En la vía de acceso a Pueblo Bello se han manifestado una serie de procesos de remoción en masa a lo largo de la historia, generando obstrucciones en la vía e imposibilitando el tránsito. Para que su economía sea más productiva y tenga mayor impacto económico, es necesario la distribución de dichos productos (agrícola, pecuario y el café) al interior y exterior del país para poder tener mejores índices de producción y venta. Es por ello que es necesario identificar los procesos que desencadenan este tipo de fenómenos de remoción en masa con sus respectivas amenazas para proveer medidas de prevención y estabilización, y que no se presenten continuamente deslizamientos en zonas vulnerables que ocasionan pérdidas en la economía del municipio²².

²² PLAN DE DESARROLLO DEL MUNICIPIO DE PUEBLO BELLO. 2012-2015.

4.4 MARCO CONCEPTUAL

Los **Movimientos en masa** son procesos de movilización lenta o rápida de un volumen de suelo o roca generados en ambientes de morfología inclinada, con rocas tectonizadas y material fragmentario suelto²³; los que una vez activados alcanzan enorme poder destructivo, en función del volumen y velocidad de deslizamiento. Otros factores como la sismicidad, meteorización y lluvias intensas, intervienen en estos procesos en especial en zonas montañosas en donde existe más amenaza a sufrir problemas por remoción en masa, siendo los deslizamientos uno de los procesos geológicos más destructivos que generan grandes pérdidas de vida y de propiedad²⁴.

Se define **deslizamiento** como movimiento de una masa de roca, tierra o derrubios hacia abajo de una ladera²⁵. Se pueden agrupar bajo el nombre de movimientos en masa todos los procesos de transporte que movilizan en conjunto un volumen más o menos grande de materiales²⁶. Los fenómenos de movimiento en masa están condicionados por factores geológicos, morfológicos, físicos y humanos, pero son provocados por un estímulo externo, tales como lluvias intensas, derretimiento rápido de nieves, cambios niveles del agua, erupciones volcánicas, terremotos, rápida erosión de corrientes, etc., que causa una respuesta inmediata en la forma de estos fenómenos, por el rápido incremento de los estrés o por la disminución de la resistencia de los materiales expuestos en las

²³ ARAYA VERGARA, J. Apuntes de Cátedra de Geomorfología. Escuela de Geografía. Santiago de Chile. 2002.

²⁴ SUAREZ, DIAZ, Jaime. Op. Cit., cap. 1. p. 1.

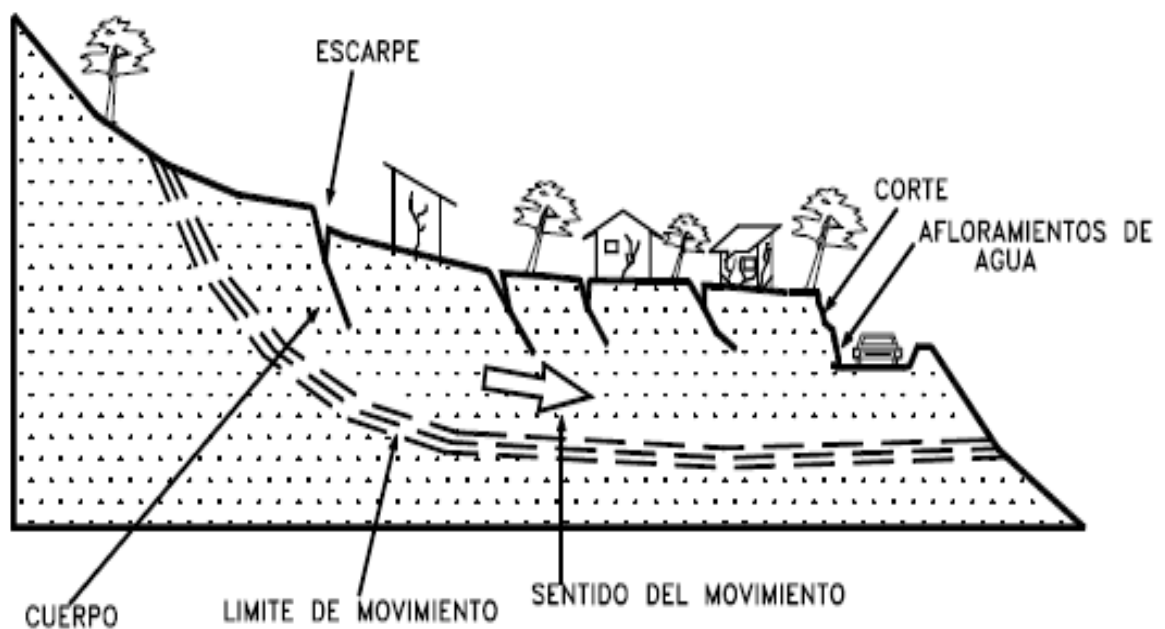
²⁵ CRUDEN, D.M y VARNES, D.J. Op. Cit.

²⁶ COQUE, ROGER (1984). Geomorfología, Paris: Editorial Armand Collin.

laderas²⁷. Los estudios por remoción en masa pueden realizarse de dos maneras²⁸:

1. Considerando la existencia del movimiento; termino que genera el nombre de la actividad y si son activos e inactivos.
2. Incluyendo el tiempo; a través del periodo del retorno el cual define que tan activo, dormido o inactivo es el fenómeno, permitiendo conocer los fenómenos activos y diferenciarlos por mediciones de material desprendido e incluso el comienzo y el término de éste.

Figura 4. Deslizamiento



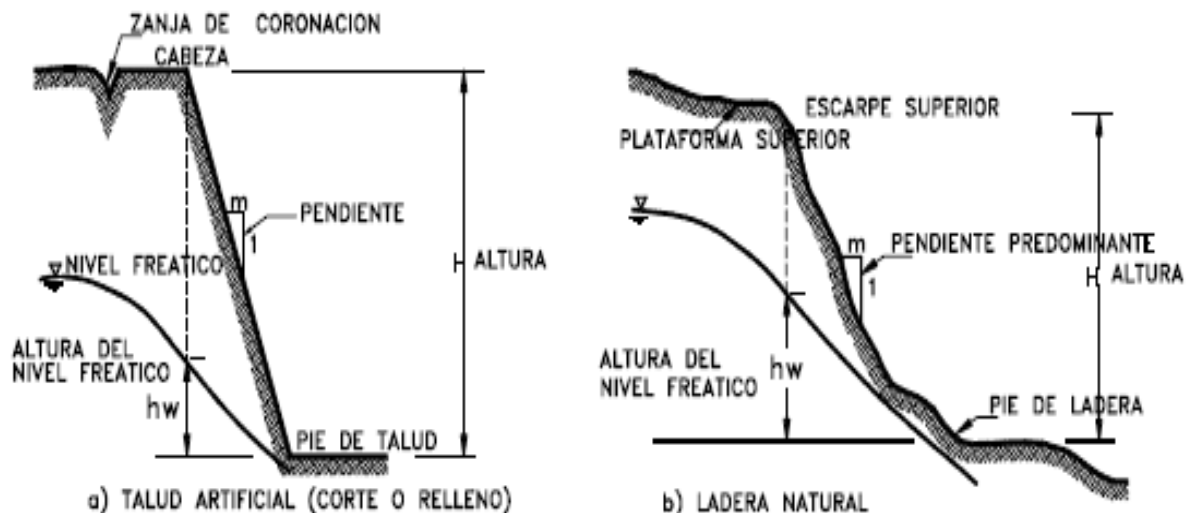
Fuente: Suarez, Díaz J. 1998.

²⁷ CARRASCO, N. 2000. Peligros de remoción en masa en el sector de San José de Maipo, Región Metropolitana. Geólogo. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

²⁸ FLAGEOLLET, J.C., 1996. The time dimension in the study of mass movements. *Geomorphology*, 15: 185-190.

Se considera **Talud** como “una masa de tierra que no es plana si no que posee pendiente o cambios de altura significativa”²⁹, en la literatura técnica se define como ladera cuando su conformación actual tuvo como origen un proceso natural y talud cuando se formó artificialmente. Los deslizamientos en taludes se producen por la rotura y posterior deslizamiento de una cuña de suelo a lo largo de un plano de debilidad lo que ocasiona un desmoronamiento total o parcial de dicho talud, añadiendo que algunas de las causas que producen estos deslizamientos son; filtraciones de agua, vibraciones, socavaciones, lo que hace difícil su encuadre analítico³⁰.

Figura 5. Talud



Fuente: Suarez, Díaz J. 1998.

²⁹ SUAREZ, DIAZ, Jaime. Op. Cit., cap.1. p.1.

³⁰ BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis. Manual de carreteras. Ingeniería técnica de obras públicas. España, Alicante. Universidad de Alicante, escuela politécnica superior. Cap. 17. 15 septiembre, 1999.

4.4.1 Estabilidad de taludes

El estudio de la estabilidad de taludes se basa en la integración de dos tipos de fuerzas, descritas en el método de Fellenius usado para analizar el proceso de rotura de un talud:

1. Fuerzas estabilizantes o resistentes.
2. Fuerzas desestabilizantes o movilizantes.

Las fuerzas estabilizantes se resisten a las modificaciones que puedan llegar a tener el cuerpo del talud, mientras que las fuerzas desestabilizantes permiten que ocurran modificaciones que alteren el estado inicial del talud³¹. Estos tipos de fuerzas siempre dependerán de la condición en que este el talud en estudio y el lugar donde estén aplicadas, en general, los estudios se encuentran concentrados en tres cargas principales:

-La gravedad: se refiere al peso de los materiales que conforman el talud, esta fuerza no siempre desestabiliza el talud debido a que su efecto depende de la disposición espacial que tengan los materiales que lo componen.

-Resistencia intrínseca: hace referencia a las fuerzas internas que poseen los materiales que conforman el talud como lo son; la fricción y la cohesión.

-Efectos del agua: Es una de las fuerzas que más producen los deslizamientos, debido a que la presencia de agua disminuye significativamente la resistencia de los materiales presentes en el talud. Algunos de sus efectos son:

1. Disminución de la resistencia al corte
2. Aumento del peso de los materiales por la saturación

³¹ POVEDA ORDUÑA, Jhon y VARGAS ALDANA, Guillermo. Estabilización del talud en el pr 55 + 950 de la vía Manizales, Mariquita. Ingeniería civil. Universidad de la Salle. Bogotá D.C. 2006. P.20.

3. Meteorización
4. Modificaciones en la composición mineralógica de los materiales
5. Erosión interna por flujos subterráneo.

4.4.2 Factores que influyen en la inestabilidad de los taludes

Condiciones que presenta el terreno

- Material de comportamiento plástico débil
- Material meteorizado
- Discontinuidades orientadas desfavorablemente (esquistosidad, estratificación, clivaje, fallas o contactos sedimentarios)

Procesos geomorfológicos

- Actividad tectónica
- Socavación por corrientes de agua
- Remoción de la vegetación (por erosión, quemas, sequías)
- Carga por sedimentación en la cresta del talud

Procesos físicos

- Lluvias intensas
- Terremotos
- Erupción volcánica
- Meteorización por congelamiento, contracción y expansión de suelos.

Procesos humanos

- Excavación de la pata del talud
- Carga en la cresta del talud

- Deforestación
- Explotación minera
- Vibración artificial (tráfico, maquinaria pesada, hincado de pilotes).

4.4.3 Procesos en el deterioro de falla

Jaime Suarez Díaz expone qué la clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes hasta el momento son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas. Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, como las propuestas por Varnes 1978 y Hutchinson 1988³². En este orden de ideas se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- a.** Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- b.** Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c.** La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d.** La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

³² SUAREZ DÍAZ, Jaime. Op. Cit., cap.1 p. 5

4.4.4 Procesos en la etapa de deterioro

El deterioro, con el tiempo puede dar lugar a la necesidad de mantenimiento o construcción de obras de estabilización. Cuando un talud se corta, para la construcción de una vía, ocurre una relajación de los esfuerzos de confinamiento y una exposición al medio ambiente, cambiándose la posición de equilibrio por una de deterioro acelerado, comprendiendo la alteración física y química de los materiales y su subsecuente desprendimiento. La iniciación y propagación de fracturas es de significativa importancia en la destrucción de la superficie que puede conducir a colapso del talud.

4.4.5 Tipos de movimientos en masa

En la literatura científica y técnica existen numerosas clasificaciones de los movimientos de ladera. La primera clasificación de amplia aceptación fue la de Sharpe en 1938. Con posterioridad aparecieron las de Varnes 1958 - 1978, Nemcok et al. 1972, Hutchinson 1988, Sassa 1989 y más recientemente, las de Dikau et al., en 1996 y en el año 1996 Cruden y Varnes³³. Todas estas ofrecen ilimitadas posibilidades de clasificación y coinciden con cinco mecanismos principales: caídas, vuelcos, deslizamientos, expansiones laterales y flujos. La clasificación que será descrita en nuestro proyecto es la de Cruden y Varnes 1996³⁴, que es hoy en día la más usada en Colombia e incluso es de las más aceptadas a nivel internacional, complementándola con otros autores, se describirán a continuación los procesos de remoción en masa que se producen en la zona.

³³ COROMINAS, Jordi. Doctor en Ciencias Geológicas. Catedrático de Ingeniería Geológica en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. p. 1.

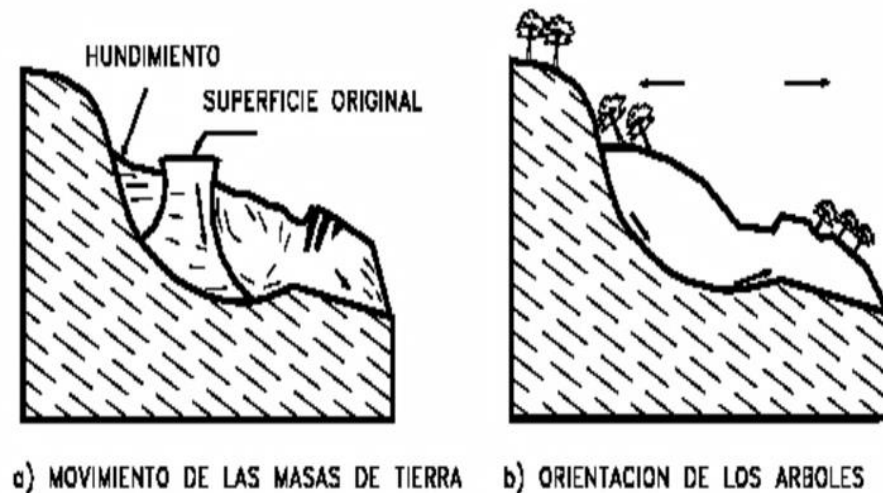
³⁴ CRUDEN, D.M y VARNES, D.J. Op. Cit.

4.4.5.1 Deslizamientos

Son movimientos de ladera de una masa de suelo o roca sobre superficies de roturas o estrechas zonas de intensa deformación por cizalla. Por lo general en las primeras señales de movimientos suelen presentarse grietas superficiales y a lo largo de las que se desencadena el deslizamiento. Una vez producido el deslizamiento se pueden observar en los flancos y escarpes las estrías que indican la dirección en la que se produjo el movimiento.

- **Deslizamientos rotacionales:** En estos, la superficie de falla se forma por una curva cuyo centro de giro está por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento, este deslizamiento posee agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.

Figura 6. Deslizamiento rotacional donde incide el movimiento de la masa de tierra y la orientación de los árboles.

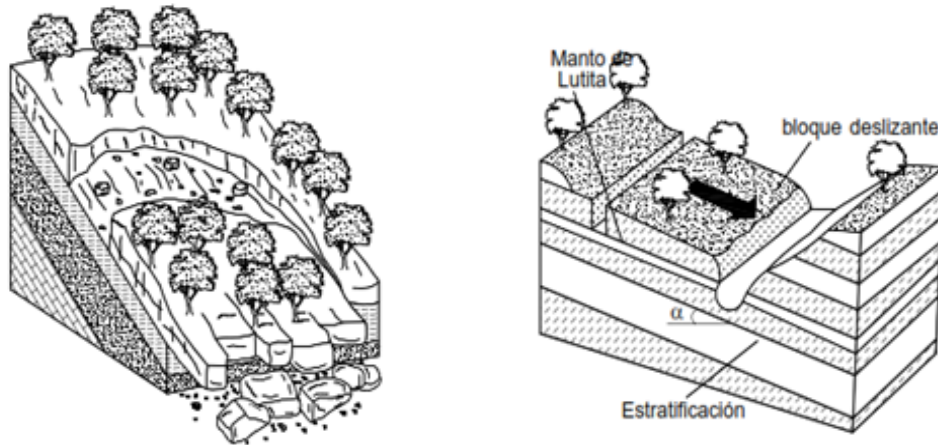


Fuente: Suarez, Díaz J. 1998.

- **Deslizamiento Traslacional:** El movimiento de la masa se desplaza a lo largo de una superficie más o menos plana y tiene muy poco o nada de

movimiento de rotación. La diferencia importante entre los movimientos de rotación y traslación está en la aplicabilidad o no de sistemas de estabilización³⁵.

Figura 7. Ejemplos de deslizamientos de tipo traslacional.



Fuente: Suarez, Díaz J. 1998.

- **Deslizamientos detonados por lluvias:** Aristizábal et al. en el 2010 Señala la existencia de algunas variables que controlan la ocurrencia y distribución de movimientos en masa, las cuales se dividen en condicionantes y detonantes; las primeras como la geología, el relieve, la geomorfología y la vegetación; contribuyen a la susceptibilidad del terreno, y las últimas, los procesos hidrológicos (incluida la lluvia) y actividades antrópicas, las cuales caracterizan el patrón de ocurrencia de los movimientos por remoción en masa. Es decir, el relieve tiene unas características innatas que lo hacen susceptible a deslizarse por las fuerzas gravitacionales, el cual necesita de una variable que lo detone, en este caso las constantes precipitaciones. Así mismo Dhakal et al. en el 2000, dice que la contribución en la ocurrencia de movimientos en masa por factores

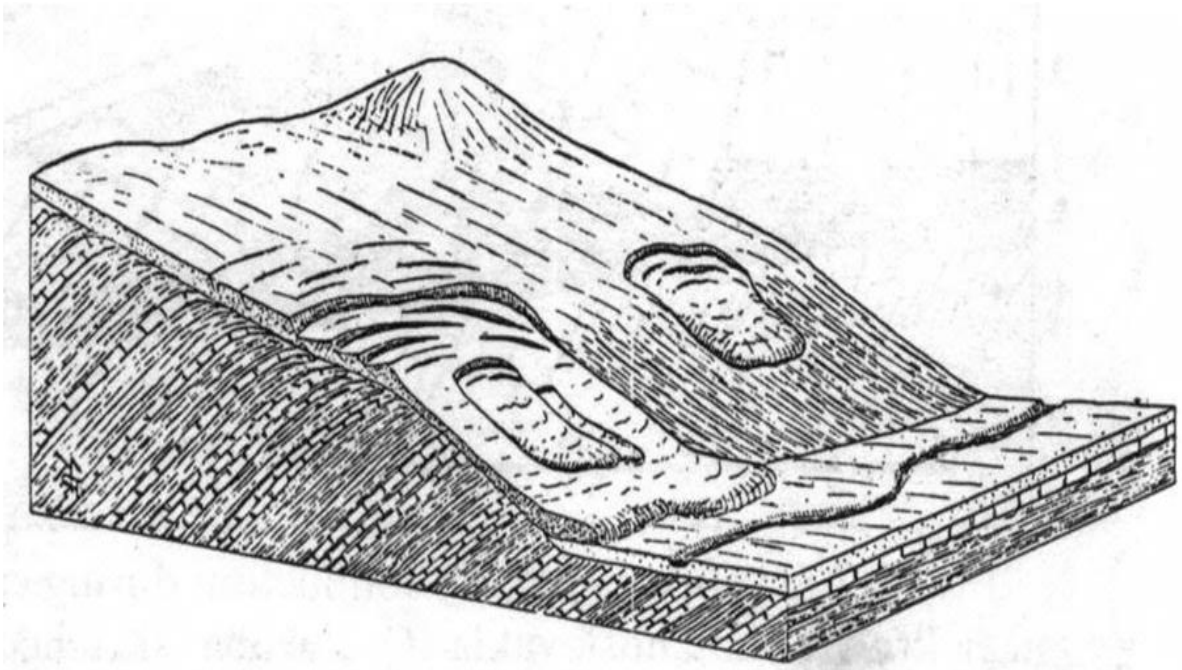
³⁵ SUAREZ, DIAZ, Jaime. Op. Cit.

condicionantes puede ser valorada, ya que no incurren de la misma forma en cada región por ser características variables, así mismo como los factores detonantes.³⁶

4.4.5.2 Flujos

En los flujos el tipo de movimiento se ve influenciado por el agua y/o el aire, esto implica que se produzca una mayor deformación en su parte interna en comparación con los deslizamientos. Los movimientos tienen lugar sobre pequeñas superficies de cizalla o porque el contenido de agua es tan alto que llega a comportarse como un fluido.

Figura 8. Representación de flujos en grandes cantidades de material.



Fuente: Suarez, Díaz J. 1998.

³⁶ ARISTIZÁBAL. et. Al. Op. Cit.

4.5 MARCO LEGAL

La ejecución de este proyecto se rige por distintas normatividades de ensayos, identificados en los tomos 1 y 2 de INVIAS³⁷, así como de leyes nacionales.

Tabla 2. Normatividades.

NORMA	TÍTULO	DESCRIPCIÓN
LEY 1523 DE 2012, Congreso de Colombia	"Gestión de riesgo".	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.
DECRETO 1807 DE 2014	"Artículo 8"	Estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, para determinar las condiciones de amenaza por movimientos en masa en suelos, de expansión urbana y rural, los estudios básicos tienen especificaciones mínimas.
RESOLUCIÓN 227 DE 2006	"Por la cual se adoptan los términos de referencia para la ejecución de estudios de amenaza por fenómenos de remoción en masa"	Prevenir la ocurrencia de daños que afecten la habitabilidad, funcionalidad y confiabilidad estructural de nuevas edificaciones o de las existentes, así como de la funcionalidad y permanencia de la

³⁷ INVIAS. Instituto nacional de vías. Normas y especificaciones. 2012.

		infraestructura nueva y existente de servicios públicos, de vías, etc., que pueda verse afectada por el desarrollo propuesto, como resultado de la reactivación de fenómenos de remoción en masa existentes o el desencadenamiento de otros nuevos.
INV E-102	“Descripción e identificación de suelos”.	Esta práctica describe un procedimiento para identificar suelos y se basa en el sistema de clasificación convencional. La identificación se hace mediante un examen visual y por medio de ensayos manuales.
INV E-123	“Análisis granulométrico de suelos por tamizado”.	El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. Esta norma describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el No. 200.
INV E-126	“Limite liquido e índice de plasticidad”.	El objeto de este ensayo es la determinación en el laboratorio del límite plástico de un suelo, y el cálculo del índice de plasticidad si se conoce el límite liquido del

		mismo.
INV E-217	“Peso Unitario”.	El peso unitario de un suelo está controlado por el peso de los minerales que lo componen y por la densidad de su estructura. Por lo general entre más denso es un suelo (mayor es su peso unitario) mayor es la probabilidad de que resista los movimientos asociados con los deslizamientos.
INV E-101	“Investigación de suelos y rocas para propósitos de ingeniería”.	Esta norma proporciona métodos para el muestreo y la investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normalizados, mediante los cuales se pueden determinar las condiciones de distribución del suelo, de la roca y del agua freática.
ASTM D 1557	“Compactación”	Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 o 6 pulgadas de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas, produciendo

		una Energía de Compactación de 56000 lb-pie/pie ³ (2700kN-m/m ³). ³⁸
ASTM C 1444	“Angulo de reposo”	Se denomina ángulo de reposo al ángulo máximo con que un montículo de suelo se mantiene estable sin que se produzca una falla por deslizamiento. Este ángulo juega un rol fundamental en la estimación de valores máximos de inclinación de masas de suelo como taludes o muros de tierra, lo que impacta directamente tanto en la seguridad como en los costos de los proyectos.

Fuente: INVIAS, ASTM.

³⁸ ASTM D 1557. J. E. Bowles. Experimento N° 9. MTC E 115-2000.

V. METODOLOGIA

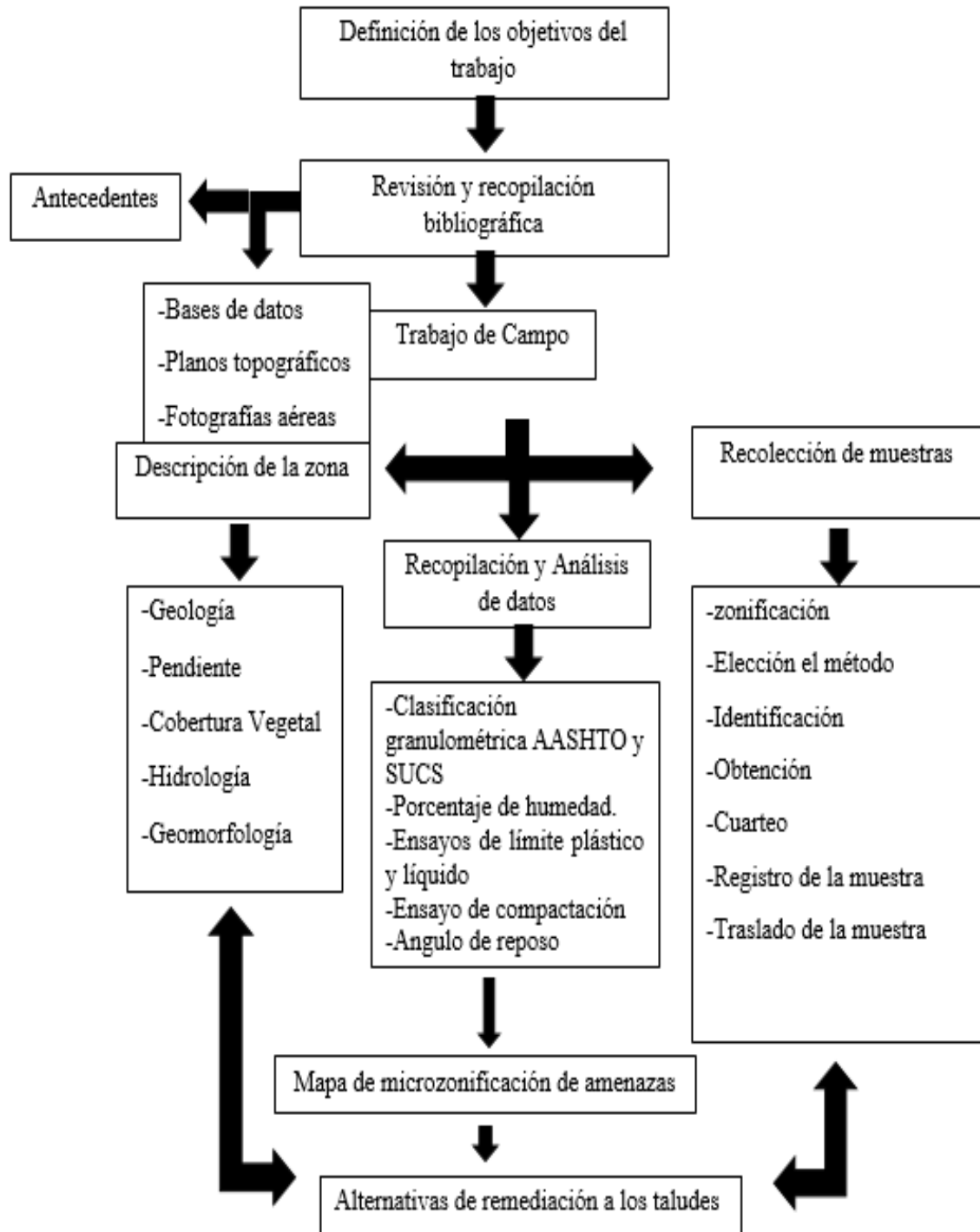
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto es de tipo cuantitativo, debido a que se utilizan métodos numéricos para evaluar los procesos complejos como los movimientos por remoción en masa, requiriendo la ayuda de técnicas matemáticas, teóricas e informáticas, para generar las posibles alternativas de mejora para los taludes presentes en la vía Pueblo Bello- Monte Grande, mediante la mitigación de amenazas, así mismo la implementación del software ArcGIS 10.1 con el fin de generar el mapa de microzonificación de las respectivas amenazas.

5.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este proyecto de investigación corresponde a la línea de Geotecnia, usando la sublínea de profundización de Gestión del riesgo establecida por la facultad de Ingeniería Geológica de la Fundación Universitaria del Área Andina, para la identificación y descripción de cada una de las amenazas por procesos de remoción en masa ya sea muy baja, baja, media, alta o muy alta; presentes en la vía Pueblo Bello – Monte Grande. Para ello fue necesario e indispensable realizar una investigación que fue segmentada en diferentes etapas para hacer más fácil su completo estudio.

5.3 ESQUEMA METODOLOGICO



Fuente: Los autores.

La **primera etapa**, consistió en la recopilación de la mayor parte de las investigaciones existentes en la zona, o trabajos que sirvan como antecedentes para sustentar el proyecto, basándonos en fuentes bibliográficas, cartográficas y consulta directa de la base de datos de la Fundación Universitaria del Área Andina, también comprendió la parte experimental de la investigación, que permitió obtener los datos necesarios, para realizar una adecuada microzonificación de las amenazas. Incluyendo los siguientes aspectos:

-Recopilación de datos: Esta revisión bibliográfica se realizó compilando toda la información pertinente y existente de la zona tal como inventarios, datos históricos o actualizados de procesos de inestabilidad que han ocurrido local y también regionalmente que puedan involucrar el área y los factores que lo producen, sumándole estudios de caracterización y comportamiento geomecánico.

-Visitas a campo: Se estableció inicialmente el área de investigación, donde se escogieron 18km² debido a que la vía entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande comprende esta área según la plancha 26 IVD del IGAC, realizando paralelamente la descripción y análisis de la zona a nivel geológico, geomorfológico, hidrológico, antrópico, de cobertura y de pendientes y zonas donde históricamente se han producido movimientos en masa.

-Toma de muestras: Se recolectaron teniendo en cuenta distintos factores en el talud como lo son el color predominante, el grado de humedad, vegetación y alteración. La recolección de estas muestras se realizó de manera sistemática del tipo aleatorio simple, basándonos en los siguientes criterios:

Para el muestreo de los materiales se usaron técnicas seguidas de procedimientos e interpretaciones influenciadas por condiciones geológicas y geográficas, haciendo primeramente un reconocimiento del área donde se realizó el proyecto; el cual es uno de los principales requisitos antes de iniciar cualquier trabajo de campo. En base a esta información se elaboró un plan de exploración con el fin de conocer las principales características de los materiales e indicar las áreas con

condiciones que requieran una investigación más detallada. Las muestras fueron tomadas en base a la norma I.N.V. E – 101 – 13 dividiendo el talud en 4 partes iguales de los cuales se tomó una porción de cada uno, que luego fueron homogeneizadas para obtener una muestra representativa de cada talud. De igual manera los taludes fueron limpiados retirándoles el material vegetal excedente que impedía la visualización de las capas de meteorización y así poder realizar los perfiles correspondientes, las cantidades que se utilizaron para realizar los diferentes estudios a los suelos fueron los siguientes:

- Clasificación visual: 50 a 500 g.
- Análisis granulométrico y constantes de suelos finos: 500g a 2.5 kg.
- Ensayo de compactación y granulometría de suelos gruesos: 20 a 40 kg.

Las muestras fueron identificadas cuidadosamente, colocándole una etiqueta impermeable dentro del recipiente o bolsa usada, posteriormente fueron cerradas en forma segura protegiéndolas del manejo rudo y marcándolas exteriormente con una identificación apropiada.

La **Segunda etapa** consistió en el trabajo realizado en el laboratorio y además del análisis de los datos obtenidos en este.

-Laboratorios: Una vez tomadas las muestras de suelo, se llevaron al laboratorio donde fueron sometidas a los siguientes ensayos:

➤ **Clasificación granulométrica por tamizado INV E-123**

La nomenclatura de las muestras obtenidas, se realizó mediante el uso de la USC (Sistema de clasificación unificada de suelos) y la AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials). (Anexo 5 y 6). Los suelos poseen

texturas distintas según sea el tamaño de los fragmentos de roca ya sea de tamaño fino, medio o grueso, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 3. Clasificación de los tamaños de granos de los suelos.

Tipo de Suelo	Tamaño
Arena	Entre 0,005 y 2 mm
Limo	Entre 0,002 y 0,005 mm
Arcilla	<0,002 mm

Fuente: Clasificación de suelos de la AASHTO 1997.

➤ **Límite plástico e índice de plasticidad de suelos (I.N.V. E – 126 – 07).**

Este análisis fue realizado a 8 de las 20 muestras obtenidas en campo, debido a que las otras 12 por su composición granulométrica fueron catalogadas como no plásticas (NP). Mediante la realización de pequeños rollos con un fragmento de suelo hasta convertirlo en cilindro de 3 mm aproximadamente, justo antes de desmoronarse, indicando que el suelo se encuentra en su límite plástico.

Cuanto mayor sea el rango de humedad entre los límites plásticos, mayor cantidad de agua podrá ocupar un suelo sin variar su estado de consistencia. Es de gran importancia conocer la diferencia entre la humedad natural “hn” y la de equilibrio “he” que se genera luego de realizado el talud. Si “he” es mayor que “hn”, y si el suelo tiene una elevada capacidad de expansión puede ocurrir ésta en alto grado, evidenciada por el levantamiento del suelo, o bien por el desarrollo de grandes presiones de expansión; cabe resaltar que si “he” es < “hn”, el suelo no se expandirá, sino que se contraerá.

➤ **Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (56 000 pie-lb/pie³ [2 700kn-m/m³]) (proctor modificado)**

Se realizó este ensayo a 4 de los 20 taludes presentes en la zona con el fin de conocer el porcentaje de compactación de estos, la relación densidad seca vs humedad, y la humedad correspondiente para alcanzar las propiedades geotécnicas requeridas en esos suelos (Anexos del 28 al 31).

➤ **Angulo de reposo**

Este ensayo consiste en vaciar arena en una superficie de papel a través de un embudo de dimensiones específicas desde una altura de 1.5 pulgadas (o 3.81 cm). Para este proyecto el diámetro interno de la salida del embudo fue de 0,9 cm. Luego de poner el embudo a la altura señalada, se tapó la salida inferior y se llenó el embudo con una muestra de arena previamente secada al horno. Se procedió a quitar el tapón y se añadió arena continuamente de manera de mantener un flujo constante hasta que el punto de descarga del embudo fuese tapado por el peak del montículo formado. Se midieron cuatro diámetros en la base del montículo los cuales se promediaron, registrándose este valor como D1. Este procedimiento se repitió dos veces más de manera de obtener tres diámetros parciales (D1, D2, y D3) y calcular el ángulo de reposo³⁹.

Al momento de realizar los análisis de los datos se tuvieron en cuenta todas las características y propiedades físicas observadas en campo y posteriormente descritas; concernientes a aspectos geomorfológicos, hidrológicos, antrópicos, geológicos y de pendientes.

³⁹ RODAS, R. - ROUSÉ, P. Análisis Comparativo de Métodos para la Medición del Ángulo de Reposo de Suelos Granulares. Revista de la Construcción. Volumen 9 N° 1. 2010.

➤ **Geomorfología**

Inicialmente se realizó la fotointerpretación de las fotografías aéreas (R 602-3169, R 602-3170, R 602-3171, R 602-3172) proporcionadas por el IGAC (Instituto geográfico Agustín Codazzi). Realizando una delimitación de las unidades geomorfológicas presentes, determinación de vías y clasificación de drenajes con lo que se pudo definir los tipos de roca; corroborando la información con visitas a campo para realizar la descripción detallada de las unidades geomorfológicas existentes, elaborando el mapa geomorfológico a escala 1:5000 en ArcGIS 10.1.

➤ **Pendientes**

Para realizar el mapa de pendientes se utilizó como referencia las curvas de nivel que componen la topografía del lugar plasmadas en la plancha 26IVD, tomando como base los rangos establecidos por el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), y la FAO (organización para la alimentación y la agricultura) con el fin de reclasificar los rangos de las pendientes, dándole valores cuantitativos para ser ubicados en la tabla y asignarles un color para ser clasificados. Describiendo los rangos tomados para lograr la construcción del mapa, especificando los valores en porcentajes agrupados, símbolos, descripciones, procesos y condiciones que caracterizan los suelos comprendidos en la vía Monte Grande-Pueblo Bello. Finalmente, con estos datos se elaboró el mapa de pendientes a escala 1:5.000.

A continuación, se presenta la Tabla 4 usada como base para realizar el mapa de pendientes, donde se identifican todos los rangos de pendientes establecidos en el documento “Elaboración del mapa de riesgo por eventos geotécnicos en la parte media de la cuenca de la corriente hidrográfica del río Guatapurí. 2010”, así mismo su color e identificación de los procesos propios que se generan en su cambiante topografía.

Tabla 4. Descripción de pendientes.

PENDIENTE	SIMBOLO	DESCRIPCION	PROCESOS CARACTERITICOS
0-3%	A	A nivel/casi a nivel	Denudación no apreciable; por su condición transitable y laborable, es objeto de uso agrícola, solamente se dificulta su uso bajo condiciones secas.
3-7%	B	Ligeramente inclinada/ ligeramente ondulada	Aunque escasos en las áreas con reemplazos forestales existen movimientos en masa de diferentes clases y baja velocidad, especialmente soliflucción y erosión.
7-12%	C	Moderadamente inclinada / moderadamente ondulada/ ligeramente quebrada	Condiciones similares al rango anterior con aumento de la concentración hídrica por efectos la mayor pendiente.
12-25%	D	Fuertemente inclinada/fuertemente ondulada/	Movimientos en masa de todo tipo, especialmente soliflucción, reptación, erosión en surcos,

		moderadamente quebrada	ocasionalmente deslizamientos. Ante cambios en el uso del suelo existen peligros de erosión del suelo y deslizamientos.
25-50%	e	Fuertemente quebrada/ligeramente escarpada	Procesos denudacionales intensivos de diferentes clases de zonas con reemplazos forestales y evidencias claras de erosión del suelo.
50-75%	F	Moderadamente escarpada	Desprendimiento de rocas, coluviación.
75-100%	G	Fuertemente escarpada (incluye escarpes sub verticales y verticales)	Caída de rocas, por efectos de tectonismo y bioclastia.

Fuente: FAO (organización para la alimentación y la agricultura).

➤ Geología

Se tomó como base la memoria explicativa del Departamento del Cesar⁴⁰, igualmente la memoria explicativa de la plancha 26 del IGAC, con el fin de identificar las principales litologías existentes en la zona de estudio. Se realizaron

⁴⁰ IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2013

visitas a campo para corroborar el material bibliográfico referente a las formaciones rocosas descritas en los documentos nombrados anteriormente y, por último, se elaboró el mapa geológico a escala 1:5000 en el software ArcGIS 10.1.

➤ **Hidrología**

Mediante los datos pluviométricos, climatológicos y de cuencas hidrográficas, obtenidos de la información recopilada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios ambientales "IDEAM", el Atlas Climatológico de Colombia, y la Corporación Autónoma Regional del Cesar "CORPOCESAR", se identificaron los principales comportamientos de éstos parámetros en el municipio de Pueblo Bello con el fin de conocer el nivel de influencia que tienen al momento de generarse un deslizamiento.

➤ **Cobertura de suelo**

Se tomaron como referencias las fotografías aéreas del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) Para la identificación de las diferentes coberturas presentes en el suelo, se procedió mediante la siguiente clasificación: Bosques; aquellas zonas donde se presenta un color fuerte y las pendientes son más altas. Rastrojos; zonas que presentan una coloración un poco más clara y la vegetación no se observa tan espesa. Pastos; zonas que presentan un color bastante claro y zonas cercanas al municipio. Suelos desnudos; que corresponden a aquellas zonas que no presentan ningún tipo de coloración o vegetación; esta información se comparó con la existente en Google Earth, debido a que las fotos suministradas por el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) no se encuentran actualizadas. Por último, se elaboró un mapa de cobertura de suelo identificando las distintas coberturas presentes en la zona de estudio.

Por último en la **tercera fase** se realizó la identificación y evaluación de amenazas por fenómenos de remoción en masa basándonos en el método de Sergio Mora y Wilhelm-Guenther Vahrson. 1991, con el propósito de clasificar amenazas por deslizamientos en determinada zona o región utilizando indicadores morfodinámicos del terreno⁴¹.

Este método se basa principalmente en la interacción de los factores condicionantes y detonantes. Teniendo en cuenta las observaciones y estudios realizados en campo se establecieron como factores condicionantes los siguientes: La geología, el relieve, la geomorfología y la cobertura y uso del suelo. Mientras que como factores detonantes se tomaron las fuertes lluvias y la actividad humana. Donde a cada una de las variables se les asigna un valor que será reemplazado en la siguiente relación matemática:

Ecuación 1. Método de evaluación de amenaza según Mora y Vahrson.

$$H = SUSC * DISP = EP * D$$

La combinación de los elementos condicionantes, que incluye el pendiente (Pe), la geología (SI), la geomorfología (GE) y la cobertura y uso del suelo (Cs) adicionalmente, la intensidad de la precipitación (Dp) es incorporada como factor detonante. De tal forma que la combinación de estos factores da como resultado que la ecuación anterior se pueda expresar como sigue:

⁴¹ RODRIGUEZ SOLANO, Juan. et, al. Op. Cit.

Ecuación 2. Formula de combinación de factores detonantes y condicionantes según Mora y Vahrson.

$$H = (Pe \times SI \times GE \times Cs) * (Dp)$$

Se puede establecer susceptibilidad de deslizamientos por intensidad de precipitaciones multiplicando el producto de los factores intrínsecos con el parámetro detonante. Los valores obtenidos mediante las formulas serán posteriormente manejados en un sistema de información geográfica (SIG) para obtener un mapa de microzonificación de amenazas.

➤ **Ponderación de los parámetros**

Posterior a la definición y análisis de cada una de las variables que intervienen en la generación de fenómenos de remoción en masa, se procede con la asignación de valores teniendo en cuenta la influencia de cada uno sobre la ocurrencia de estos fenómenos. El método usado para la elaboración de la evaluación de amenazas fue el Heurístico, que permite conocer las principales características del terreno por medio de revisiones bibliográficas y visitas a campo con el fin de darle solución a problemas complejos. Basándose en todos los resultados obtenidos se le asigno valores de 1 a 5 según lo designa el método de Mora – Vahrson, a las variables que componen cada uno de los mapas (geológico, de pendientes, geomorfológico, y cobertura y uso del suelo).

➤ **Niveles de amenaza**

Basándonos en el método de Mora - Vahrson 1992 se clasificó la zona en los siguientes niveles de amenaza.

Tabla 5. Clasificación de niveles de amenaza.

CLASE	CALIFICATIVO	CARACTERÍSTICAS
1	Muy baja	Sectores estables, no se requieren medidas correctivas. Se debe considerar la influencia de sectores aledaños con susceptibilidad de moderada a muy alta.
2	Baja	Sectores estables que requieren medidas correctivas menores, solamente en casos especiales. Se debe considerar la influencia de los sectores aledaños con susceptibilidad desde moderada a muy alta.
3	Moderada	No se debe permitir la construcción de infraestructura si no se mejora la condición del sitio.
4	Alta	Probabilidad de deslizamiento alta en caso de sismos de magnitudes importantes y lluvias de intensidad alta. Se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.
5	Muy Alta	Probabilidad de deslizamiento alta en caso de sismos de magnitudes importantes y lluvias de intensidad alta. Se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad del sector en caso contrario, deben mantenerse como áreas de protección.

Fuente: MORA - VAHRSON, 1992.

➤ **Generación del mapa de amenaza**

Para realizar del mapa de amenaza por remoción en masa en la vía Monte Grande – Pueblo Bello, se utilizó el software ArcGIS versión 10.1. Donde inicialmente, se asignaron valores ponderados a cada una de las variables en los mapas de geología, geomorfología, pendiente, y cobertura y uso del suelo.

En lo que respecta a la realización del mapa geológico que ilustra los distintos cuerpos ígneos que ahí afloran, es de saberse que en la actualidad la zona no posee tales afloramientos ya que en su mayoría se encuentran en procesos pedogenéticos ya sea como suelo o material saprolitizado. Por lo tanto, a la hora de evaluar la geología como factor condicionante en la configuración del mapa de amenazas según el método de MORA – VAHRSON, se relacionan los resultados arrojados según los distintos tipos de suelo obtenidos en las 20 estaciones según la clasificación de la AASTHO y las rocas de las cuáles se formaron esos suelos y conforman nuestro mapa geológico.

VI. ANALISIS DE RESULTADOS

6.1 ENSAYOS DE LABORATORIO

6.1.1 Ensayo granulométrico

Tabla 6. Determinación de los diferentes tipos de suelos.

MUESTRA	AASHTO	USC	CARACTERISTICAS
1	Arena fina	NP	COLOR: Amarillo pálido (2,5 Y8/3). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA.
2	Arena fina	NP	COLOR: Amarillo pálido (2,5 Y8/6). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA.
2.1	Limo	Limo arcilloso de baja plasticidad y compresibilidad	COLOR: Pardo amarillo claro (10 Y 6/4). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO.
3	Arcilla	Limo arcilloso orgánico de baja compresibilidad y plasticidad	COLOR: Pardo amarillo claro (10 Y 6/4). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO.
4	Arcilla	Arcilla de baja plasticidad	COLOR: Amarillo pálido (2,5 Y8/2). COMPORTAMIENTO:

			REGULAR A MALO.
4.1	Arena fina	NP	COLOR: Gris pardo claro (2,5 Y6/2). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA.
5 y 6	Arcilla	Arena con %apreciable de finos.	COLOR: Amarillo pálido (2,5 Y8/3). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO.
7	Arena fina	NP	COLOR: Gris pardo claro (2,5 Y6/2). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA.
8	Arena fina	NP	COLOR: Pardo oscuro (7,5 Y R 3/2). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA.
9	Limo	Limo de baja compresibilidad	COLOR: Amarillo pálido (2,5 Y8/3). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO.
10	Arena fina	NP	COLOR: Pardo rojizo oscuro (2,5 Y R 3/4). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA
11	Limo	Limo de baja plasticidad	COLOR: Pardo amarillo claro (10 Y 6/4). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO.

12	Arena fina	Np	COLOR: Amarillo (2,5 Y8/6). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA
13	Arena fina	Np	COLOR: Amarillo pálido (2,5 Y8/3). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA
14	Arena fina	Np	COLOR: Pardo olivo claro (2,5 Y5/3). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA
15	Arena con limo arcilla	Arena arcillosa	COLOR: Pardo amarillo (10 Y R 5/8). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA
16	Limo	Arcilla de baja plasticidad	COLOR: Amarillo olivo (2,5 Y6/8). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO
17	Limo	Arcilla de baja plasticidad	COLOR: Amarillo olivo (2,5 Y6/8). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO
18	Arena fina	NP	COLOR: Olivo grisáceo (5 Y4/2). COMPORTAMIENTO: EXCELENTE A BUENA.
19	Arcilla	Arena arcillosa	COLOR: Amarillo pálido (2,5

			Y8/3). COMPORTAMIENTO: REGULAR A MALO.
20	No clasificado	No clasificado	Coluvión el cual no pudo ser clasificado por los sistemas de clasificación de suelo debido a que los valores arrojados fueron negativos.

Fuente: Los autores. (Anexos 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19, 20, 22, 24, 26, 27)

El 55% de los suelos descritos en la Tabla 6, son arenas finas que pasan la malla 0.5mm y retenida en 0.02mm, tienen la ventaja de drenar muy bien el agua (la retienen muy poco), no son expansivas y se secan muy rápido; lo cual las hace un material óptimo para que no se presenten deslizamientos en la vía.

Por otra parte, los limos representan un 20% de los suelos muestreados, en el ensayo de humedad arrojaron ser muy porosos por lo que retienen poca agua y reúne las mejores cualidades entre arenas y arcillas por lo tanto son medianamente resistentes.

Por último, con un 25% para el caso de las arcillas, las cuales al tener agua en su estructura resulta ser jabonosa; pero cuando está seco es muy fino y suave dado que está formado por partículas muy finas. Geológicamente hablando, las arcillas son los materiales más contradictorios desde el punto de vista de su uso ingenieril, ya que generan muchas complicaciones de estabilidad.

6.1.2 Ensayo de plasticidad

Tabla 7. Resultado de los suelos que presentan plasticidad.

Talud	LL	LP	Plasticidad
1	34,0	8,3	25,7
3	41,0	33,9	7,1
4	35,0	24,4	10,6
8	31,2	25,5	5,7
12	35,4	21,1	14,3
14	34,0	16,4	17,6
15	43	28,8	14,2
16	36,0	45,0	9,0

Fuente: Los autores. (Anexos 6, 13, 18, 21, 23,25).

Se puede interpretar que los suelos referenciados en la Tabla 7, presentan un grado de plasticidad bajo según el SUCS, evidenciado por su bajo grado de humedad; lo que indica que estos suelos con su humedad natural no son tan propensos a sufrir procesos de remoción en masa a menos de que actúe en ellos un factor detonante como son las precipitaciones.

6.1.3 Ensayo de compactación

Al realizar este ensayo se tienen en cuenta dos variables principales que son la humedad y la densidad. Por medio de los resultados que arrojan, se puede apreciar que la compactación que presentan los materiales de los 4 taludes utilizados (muestra) de los 20 taludes totales (población) que se encuentran a lo largo de los 8 km de carretera entre la vereda Monte Grande y la cabecera municipal de Pueblo Bello, son variables teniendo en cuenta que en donde es más

arenosa la compactación es buena, y donde es arcilloso y limoso arroja resultados negativos, en definitiva el tramo vial posee compactación de regular a buena.

Figura 9. Ensayo de compactación, muestras 1 y 2.

Densidad max	1,91	g/cm3
Densidad max	119	Lb/pie3
Humedad óptima	8,9	
Densidad max	1,84	g/cm3
Densidad max	114,9	Lb/pie3
Humedad óptima	10,9	

Fuente. Los autores

Figura 10. Ensayo de compactación, muestras 3 y 4.

Densidad max	2,07	g/cm3
Densidad max	129	Lb/pie3
Humedad óptima	8,3	
Densidad max	1,78	g/cm3
Densidad max	111	Lb/pie3
Humedad óptima	12,0	

Fuente: Los autores.

Las densidades secas obtenidas bajo compactación en general son bajas 1,91 – 1,84 – 2,07 – 1,78 valores dados en g/cm3. Los suelos expansivos son un problema en los taludes que acompañan a la carretera, por consecuencia de los daños que se producen por aumentar o contraer su volumen con las continuas variaciones de humedad producto de las constantes precipitaciones. El grado de compactación relativamente elevado del suelo, o una presión por sobrecarga, favorecerán la expansión cuando aumente el contenido de agua.

Mediante la aplicación del ensayo Proctor modificado en suelos arcillosos y limosos se obtuvo que son cohesivos y medianamente cohesivos con propiedades

resistentes que varían con la humedad y la rapidez con la que se ejercen los esfuerzos en ellos. Son un tanto conflictivos, ya que si están muy húmedos no soportan los esfuerzos aplicados y fluyen. A diferencia de cuando están secos, en este caso tienen buen aguante, pero se desmoronan al instante resultando poco confiables. Su respuesta puede ser más favorable dependiendo de la rapidez con la que se le aplique una carga; si lo hacemos poco a poco se deforman, pero aguantan.⁴²

En cambio, en los suelos arenosos la compactación actúa sobre una estructura simple la cual genera una igual, pero con una densidad mayor. Siendo ésta estable ante la absorción o expulsión de agua, exhibiendo una resistencia que no depende de la compactación alcanzada (influenciada por la angulosidad de los granos). Así, la compactación de estos suelos lleva a formaciones menos compresibles y con una resistencia mayor. La forma suelta de la estructura de los suelos arenosos no los hace propensos al agrietamiento, por lo que podría decirse que cuanto mayor es la compactación se lograrán mejores comportamientos en las arenas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, si estos suelos son sobre compactados se convertirían en pesados, rompiéndose las partículas. Otra, mucho menos usual se daría al ejercer presiones tan altas que se llegara a producir flujo plástico en los bordes de los granos⁴³.

⁴² MONTALAR, Enrique. Blog de geotecnia, ingeniera y opinión. 2009.

⁴³ RICO, A y DEL CASTILLO, H. Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte. 1992.

6.2 PENDIENTE DE LOS TALUDES vs ÁNGULO DE REPOSO

6.2.1 Pendiente de los taludes

La Tabla 8, muestra los datos obtenidos en campo en cuanto a la geometría de los taludes para obtener su ángulo de inclinación o pendiente, teniendo como base su altura (distancia vertical) y la distancia horizontal entre la cabeza y el pie del talud, la cual fue tomada por la diferencia en metros generados por las coordenadas obtenidas en GPS. La pendiente en grados se halló mediante el Arcotangente de la diferencia entre V y H. El inconveniente que se plantea a la hora de hacer desmonte en taludes, es asegurar la estabilidad ya que las propiedades resistentes del suelo no servirán de nada si se originan deslizamientos constantes que pongan en peligro la funcionalidad de la vía. La estabilidad de un talud depende de su geometría (pendiente y altura), como las características específicas del propio suelo que lo forma como el ángulo de reposo y la cohesión los cuales definen su resistencia al corte⁴⁴.

Tabla 8. Pendientes de los taludes en el tramo Monte Grande – Pueblo Bello.

TALUD	DISTANCIA H(m) : ALTURA(m)	PENDIENTE
1	1.16H: 4.4V	75°
2	6H: 8.2V	53°
2.2	2.10H: 13V	80°
3	0.50H: 3.4V	81°
4	0.85H: 10V	85°
4.2	2.54H: 12V	78°
5	1.44H: 5V	73°
6	3H: 7.7V	68°
7	1.80H: 10V	79°
8	1.60H: 4.5V	70°
9	1.64H: 7V	76°
10	1.54H: 10V	81°
11	0.40H: 11.20V	87°
12	0.17H: 5V	88°

⁴⁴ BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis. Op. Cit.

13	1.55H: 8V	79°
14	0.70H: 3.5V	78°
15	0.28H: 2.30V	83°
16	1.0H: 6.20V	80°
17	0.10H: 4V	88°
18	0.25H: 6.20V	87°
19	0.30H :4.70V	86°
20	6H: 8V	53°

Fuente: Los autores.

Por lo tanto, un suelo sin cohesión como lo son las arenas limpias y secas, será estable si el ángulo de reposo o rozamiento interno (ϕ) es mayor al ángulo que forma el talud con la horizontal; o sea la pendiente (β). En suelos cohesivos este valor aumenta, dado que a la fuerza de rozamiento interno que se opone al movimiento se suma la procedente de la cohesión entre las partículas de suelo del talud.

6.2.2 Angulo de reposo

En la Tabla 9, se muestra el ángulo de reposo de 4 taludes del área de trabajo. Los taludes en cuestión están compuestos en su totalidad según la clasificación AASTHO por Arena fina (A6) de coloración amarillo-amarillo pálido, para la cual está estandarizado un ángulo de reposo (rozamiento interno) entre 20 – 30° el cual depende de la forma de los granos y su configuración de estructura⁴⁵. El ángulo de reposo es muy relevante en los trabajos de ingeniería en el área de la geotecnia y en cuanto a zonificaciones de amenaza por remoción en masa, ya que sirve como base para determinar el tamaño óptimo de un talud o el comportamiento de las

⁴⁵ YEPES, V. Cálculo de la capacidad de la hoja empujadora de un Bulldozer. Valencia, España-2015.

cimentaciones, pues la resistencia que opone el suelo al peso de una obra está directamente relacionada con este ángulo⁴⁶.

Tabla 9. Representación del ángulo de reposo para los cuatro taludes escogidos en la zona de estudio.

<i>Diámetros</i>	TALUD 1	TALUD 2	TALUD 3	TALUD 4	
D1	14,4	15,6	13,3	13,9	H (altura)
D2	14,1	15,2	13,5	14,2	3,81
D3	14,7	15,3	13,6	14,1	D salida
DA	14,4	15,3666667	13,4666667	14,0666667	0,9
Ø reposo	29,442314	27,7770371	31,2312003	30,0594334	

Fuente: Los autores.

Su buena ejecución implica que, al hacer un buen corte al talud, se prevén futuros deslizamientos en las vías, disminuyendo la amenaza que genera un talud de suelo expuesto en una zona con una pluviosidad alta donde es inminente el daño que se puede llegar a generar. En la Tabla 10 se muestra la relación entre ángulos de pendientes de taludes “ β ” y ángulos de reposo o fricción interna “ \emptyset ”, lo cual nos brinda la posibilidad de conocer la altura ideal “ V_e ” que debe tener un talud para que presente una estabilidad optima teniendo en cuenta los ángulos obtenidos y su altura real “ V_r ” de tal manera se genera un equilibrio limite en el talud. Para este proceso fueron usados los taludes 2, 6, 11, 20 como representativos de todos los 20 taludes estudiados, los cuales fueron renombrados como 1, 2, 3, 4 respectivamente.

Cabe destacar que un talud formado por arena seca y limpia es estable, independientemente de su altura con tal de que el ángulo de pendiente sea menor que el ángulo de reposo de la arena, correspondiente a su compactación y demás propiedades⁴⁷.

⁴⁶ BUSTABAD, R. El Bulk Carrier en la práctica. 1980.

⁴⁷ GOOGLE BOOKS. Método de cálculo de estabilidad de taludes.

Tabla 10. Determinación de la altura optima de estabilización de taludes.

	TALUD	B	\emptyset	Vr	Ve		
<table border="1"> <tr> <td>H</td> </tr> <tr> <td>3.81cm</td> </tr> </table>	H	3.81cm	N°1	78°	29.4°	13m	10m
	H						
	3.81cm						
	N°2	53°	27.7°	8.2m	7.4m		
N°3	87°	31.2°	11.2m	10.6m			
N°4	53°	30°	8m	6.7m			

Fuente: Los autores.

Los resultados de los valores de “Ve” se obtuvieron mediante la aplicación de una regla de tres, donde se multiplicaron los valores de (H y β) y el resultado dividido con el valor de (\emptyset). El problema de estabilidad en nuestra área, se puede plantear para un grano de arena fina en el plano de frontera del talud, o en cualquier punto interno de la masa de suelo. Como se plantea el equilibrio de un cuerpo sobre una pendiente, ya que el mecanismo resistente al corte o a deslizamientos es debido a la fricción interna, el grano se deslizará si el terreno posee una pendiente más inclinada que el ángulo de fricción disponible. Si el material del plano extremo de frontera no se desliza los granos de arena fina del talud tampoco. Lo cierto es que estará más estable entre más tendida sea la pendiente hipotética. Hay que tener en cuenta que si el talud posee una igualdad entre (β , \emptyset) cualquier plano de inclinación interno, estaría menos inclinado y sería estable estando así garantizada una respuesta positiva a la amenaza generada. Es importante saber una condición típica que debe aplicarse, y es que la inclinación del talud “ β ” sea desde el inicio de la obra un poco más bajo que el ángulo de reposo “ \emptyset ”, hasta en 1 o 2°.

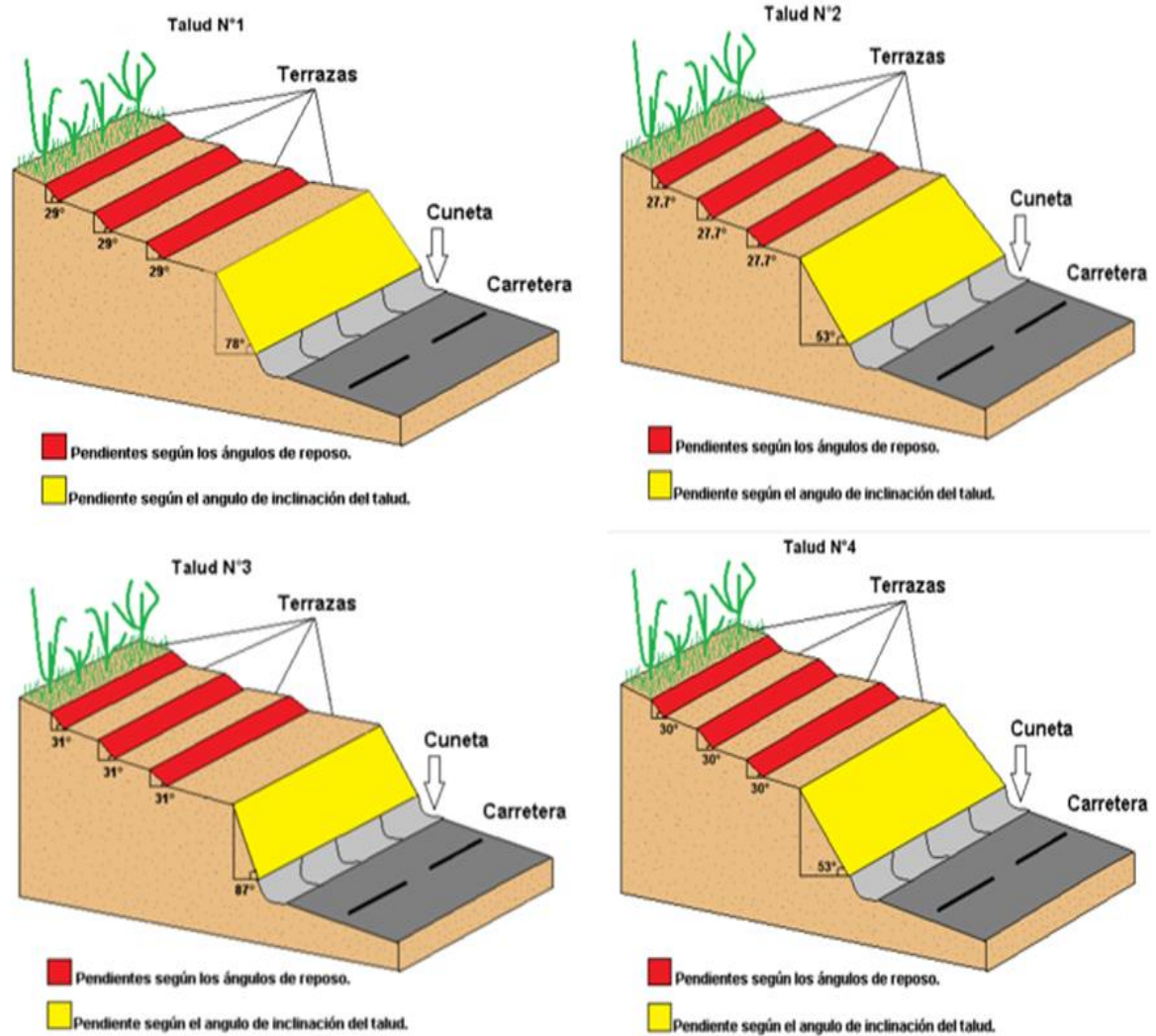
6.2.3 Terrazas

En taludes se llevan a cabo éste de tipo de procesos (Figura 11), con la finalidad de controlar la erosión y facilitar la reincorporación de la vegetación. Su construcción en la parte alta de un talud disminuye las fuerzas actuantes y controla los movimientos desestabilizantes en las zonas más críticas. Al construir las terrazas el talud se fracciona en varios taludes con comportamiento autónomo, los cuales deben ser estables.

Habitualmente; en suelos residuales cuando se hace el terraceo, la grada superior debe tener una pendiente menor, teniendo en cuenta que en muchos casos el suelo subsuperficial es el de menos resistencia. Las gradas inferiores pueden tener mayor pendiente, la cual debe disminuir hacia la parte superior del talud donde el suelo residual es menos competente. En todos los casos es importante considerar la repercusión sobre los taludes arriba y abajo de la terraza a excavar. La pendiente, dimensión y localización de las terrazas deben ser consecuentes con la estructura del material en éste caso arenas finas. El terraceo de la superficie del talud tiene como ventaja que además de estabilizar el talud a los deslizamientos, permite construir obras para controlar la erosión, pero también tiene una desventaja; y es que cada terraza debe poseer estabilidad independiente a las otras. En los taludes ubicados en el tramo vial entre la vereda Monte Grande y la cabecera municipal de Pueblo Bello es muy viable realizar un control de estabilidad de taludes mediante el método de conformación topográfica de terraceo ya que nos permite lograr un equilibrio de masas reduciendo las fuerzas que producen los movimientos en masa, además que es un método que no genera muchos costos⁴⁸.

Figura 11. Terraceo en taludes teniendo en cuenta “ \emptyset ” y “ β ”.

⁴⁸ SUAREZ DIAZ, Jaime. Op. Cit., cap. 12



Fuente: Los autores.

El terreno se compone en su totalidad por suelos residuales con predominancia de arenas finas, las cuales se prestan para que en ellas sean aplicadas las terrazas, el cual como se dijo al principio tiene en sus objetivos revegetalizar los suelos y así hacerlos más resistentes a deslizamientos. Para realizar las terrazas en el talud, deben tenerse en cuenta los datos obtenidos sobre los ángulos de reposo o fricción interna “ ϕ ” y de pendientes o inclinaciones de los taludes “ β ”, los cuales son de suma importancia a la hora de hacer análisis de estabilidad de taludes puesto que el primero arroja el ángulo ideal al cual debe estar expuesto el talud

para ser estable, y el segundo representa el ángulo de inclinación que posee el talud luego de que en el hayan actuado diversos agentes exógenos que han generado inestabilidad. En la Figura 11, se representan los cuatro taludes utilizados como muestra para definir cuál método de estabilización era el más óptimo, donde se ilustró la ejecución del método de terrazas.

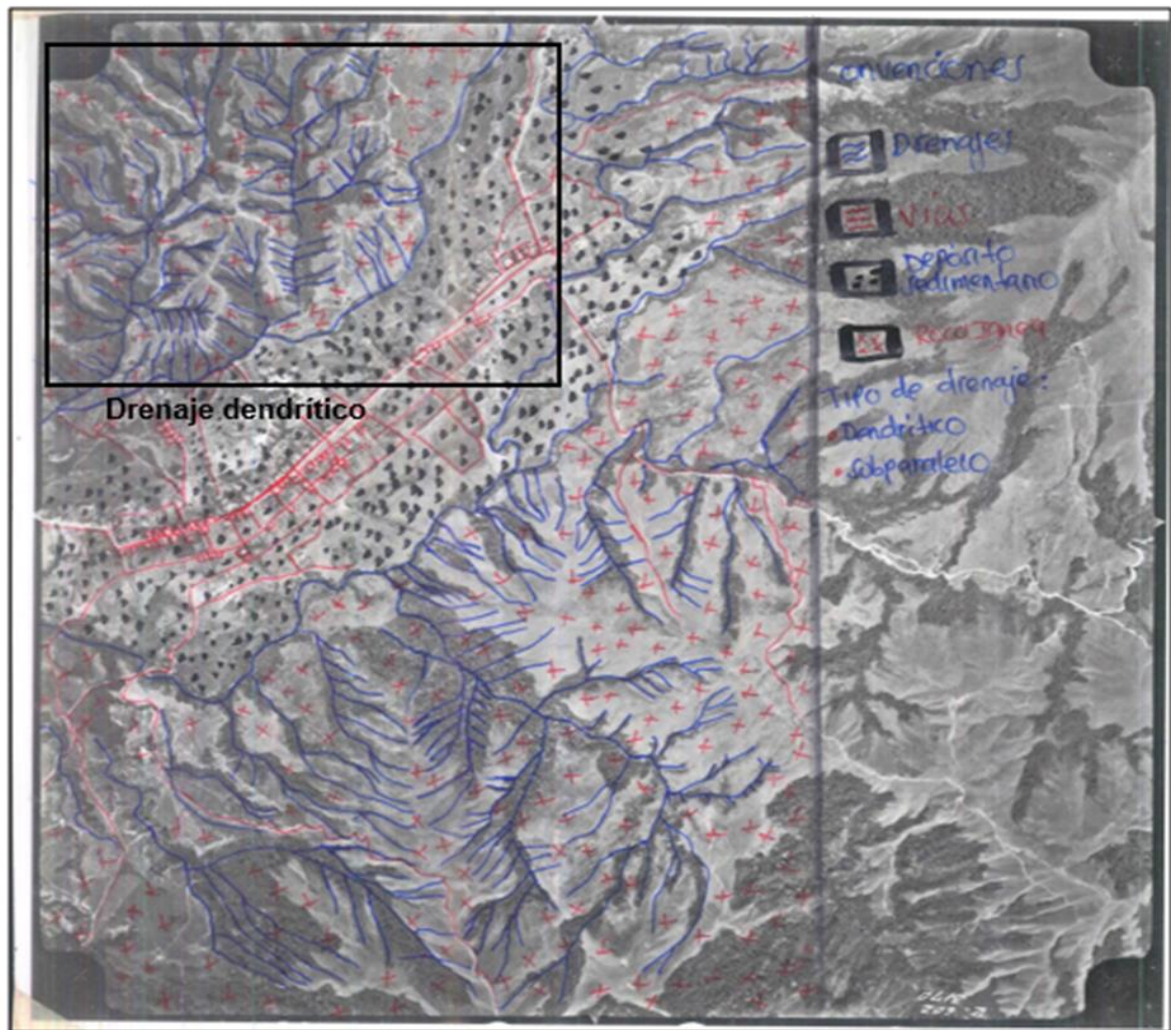
Para su realización es importante saber que hacia la disminución de la amenaza a movimientos en masa se debe primero sectorizar el talud creando las terrazas con ayuda de retroexcavadoras, teniendo en cuenta los valores óptimos de inclinación que debe tener la grada superior de color rojo basado en los datos arrojados por los ensayos de ángulo de reposo. Y además en la última pared que queda cercana a la vía, el ángulo de inclinación no se modifica por tanto queda el " β " intacto lo que favorece a una mayor retención de material si en caso dado llega a presentarse un fenómeno desestabilizante que genere deslizamientos.

6.3 DESCRIPCIÓN FOTOGEOLÓGICA

En nuestra zona de estudio gracias a las observaciones en campo y a la correcta interpretación fotogeológica se puede concluir que existen los siguientes patrones de drenaje:

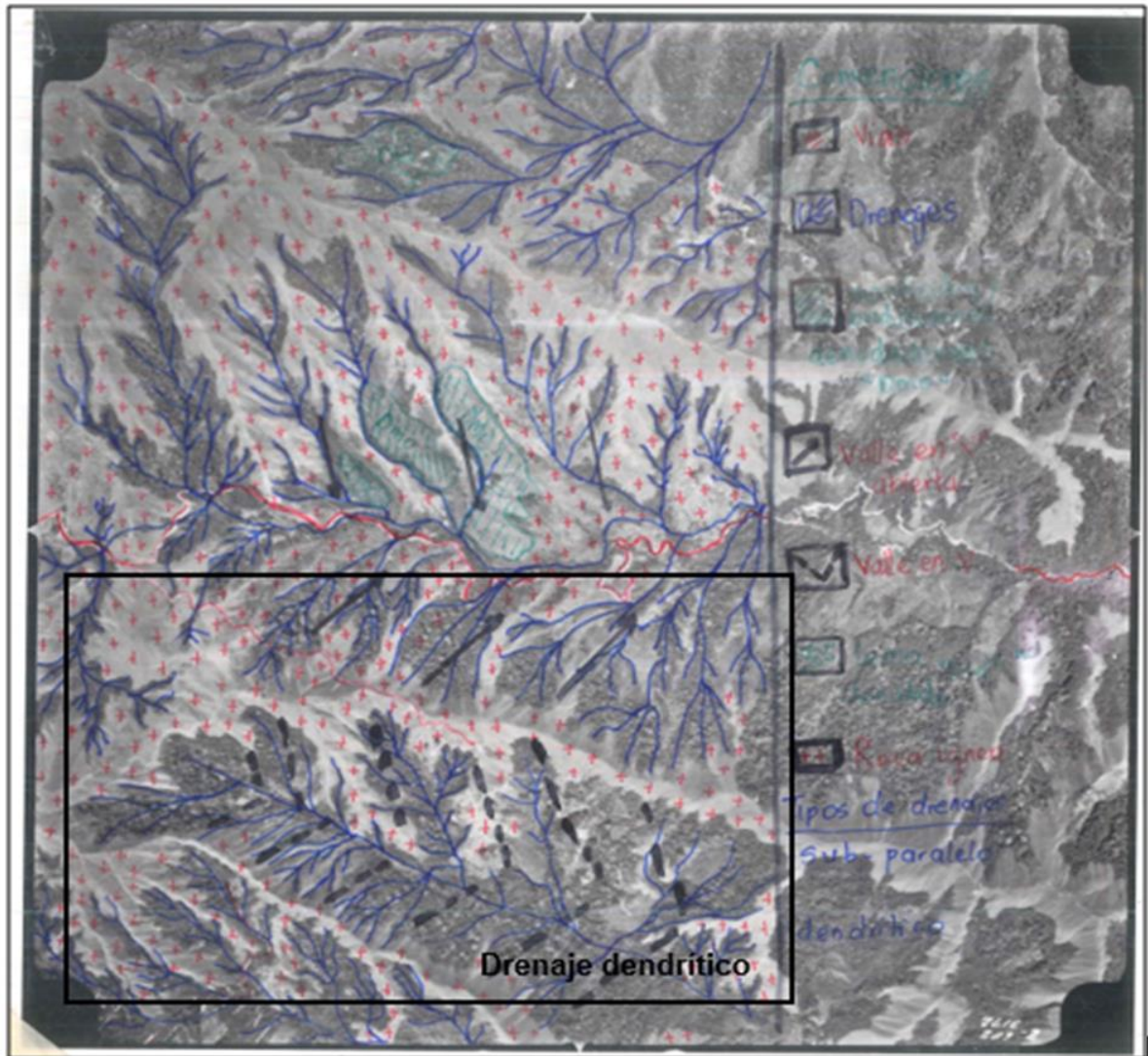
6.3.1 Patrón de drenaje Dendrítico

Figura 12. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3169, R602-3170. IGAC. Evidencia del tipo de drenaje dendrítico en la zona de estudio.



Fuente: Los autores

Figura 13. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia tipo de drenaje dendrítico. Fuente: Los autores.

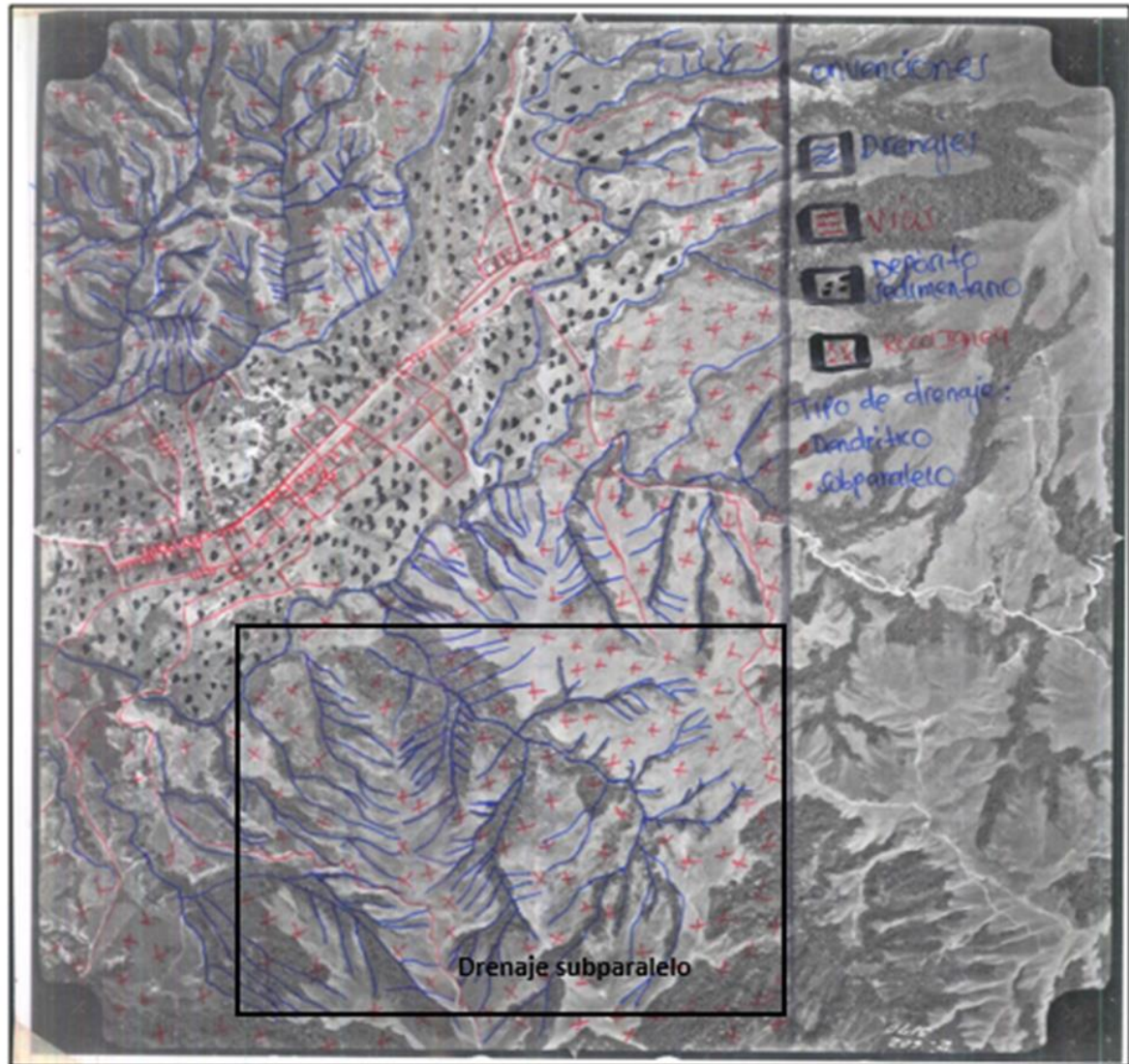


Fuente: Los autores.

Este patrón lo identificamos debido a que se observó una corriente principal con afluentes primarios y secundarios uniéndose en varias direcciones formando diferentes ángulos, lo que indica que la pendiente inicial del área era plana y compuesta de materiales uniformes; presenta poca cobertura vegetal y también se observaron características como baja coloración y pendientes moderadas lo que indica que la zona está compuesta por material ígneo.

6.3.2 Patrón de drenaje Subparalelo

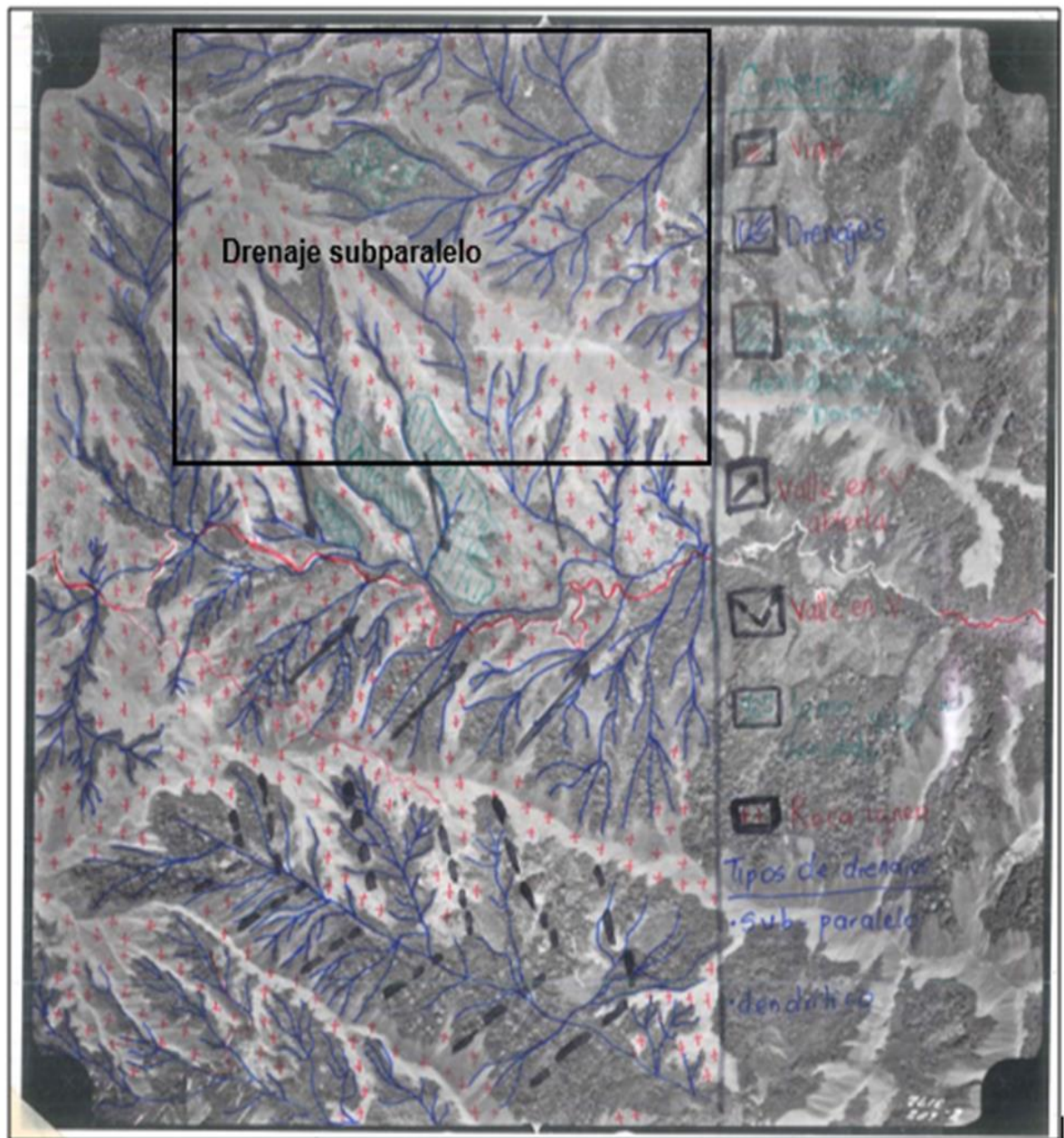
Figura 14. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3169, R602-3170. IGAC. Evidencia tipo de drenaje subparalelo presente en la zona de estudio.



Fuente: Los autores.

En el área se observaron drenajes ramificados que forman ángulos agudos con el cauce de mayor orden, cambiando después de dirección de manera que se tornan paralelos al cauce al cual confluyen. Esta forma indica normalmente pendientes uniformes.

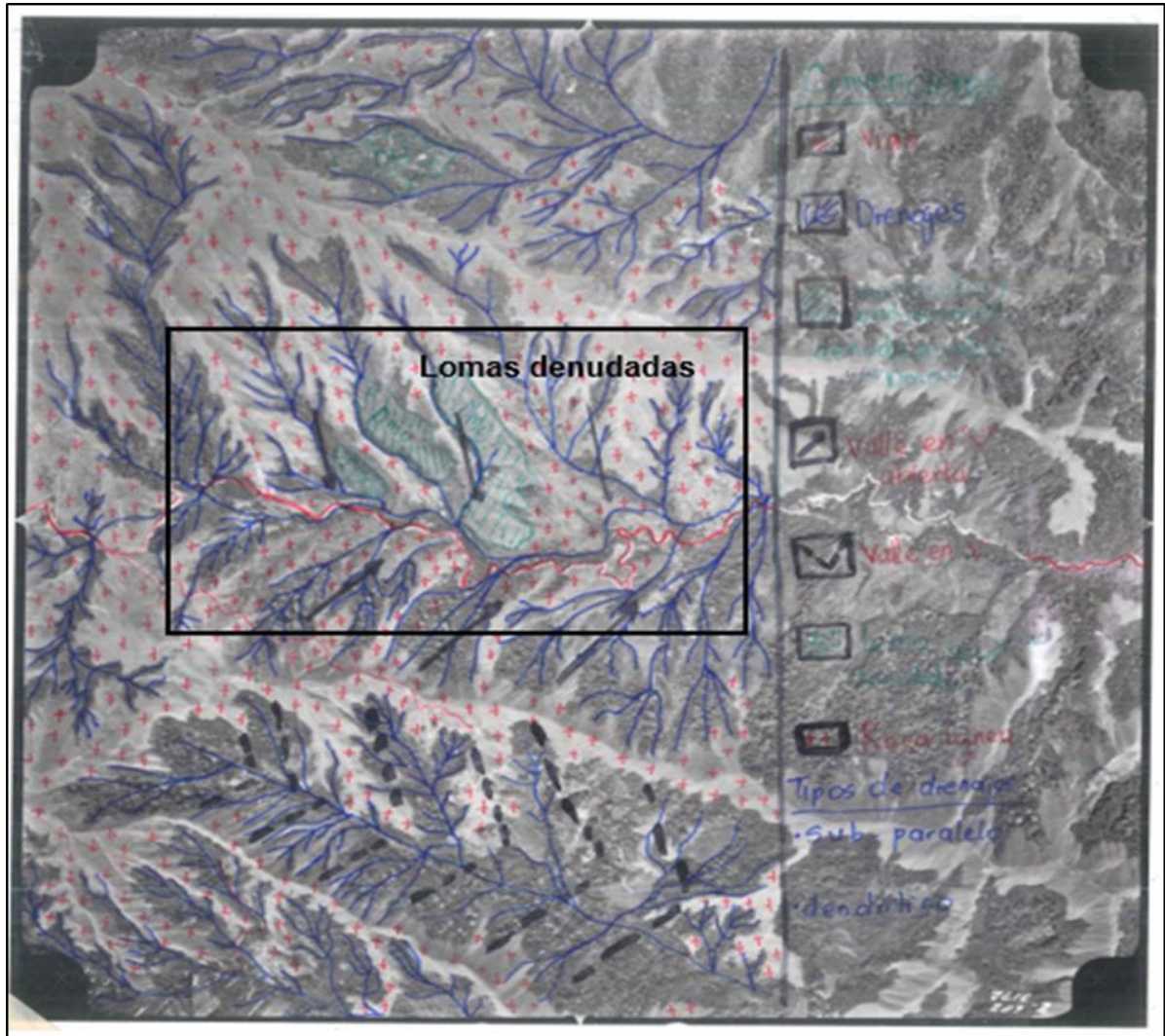
Figura 15. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia tipo de drenaje.



Fuente: Los autores.

6.3.3 Unidades geomorfológicas

Figura 16. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia de lomas denudadas en la geomorfología de la zona.



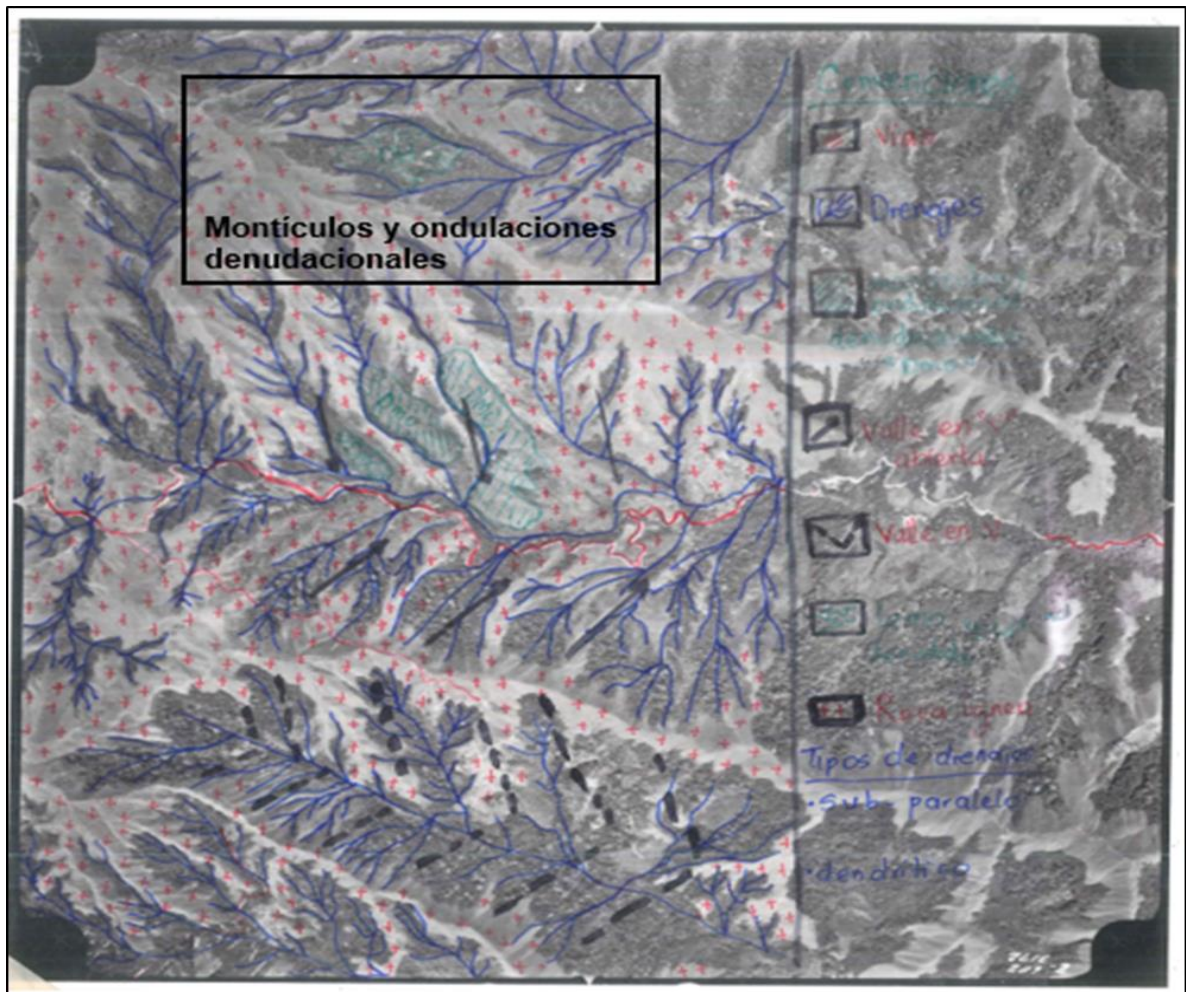
Fuente: Los autores.

En el área de estudio también se identificaron en las fotografías aéreas unidades geomorfológicas predominantes de ambiente denudacional el cual han sido determinadas por la actividad de procesos moderados a intensos de meteorización, procesos erosivos hídricos y pluviales al igual que fenómenos de remoción en masa en las geoformas; es así como se pueden identificar dos

unidades geomorfológicas distintivas de éste ambiente como las lomas denudadas, donde la topografía es de bajo relieve, con una morfología alomada y elongada, laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas.

Por otra parte, también se identificaron Montículos y ondulaciones denudacionales donde el índice de relieve es muy bajo con respecto al nivel base local, 50 m de morfología colinada con topes subredondeados y laderas muy cortas, de forma convexa a recta, con pendientes planas a inclinadas.

Figura 17. Fotografía Aérea vuelo N° R602-3171, R602-3172. IGAC. Evidencia tipo de drenaje.



Fuente: Los autores.

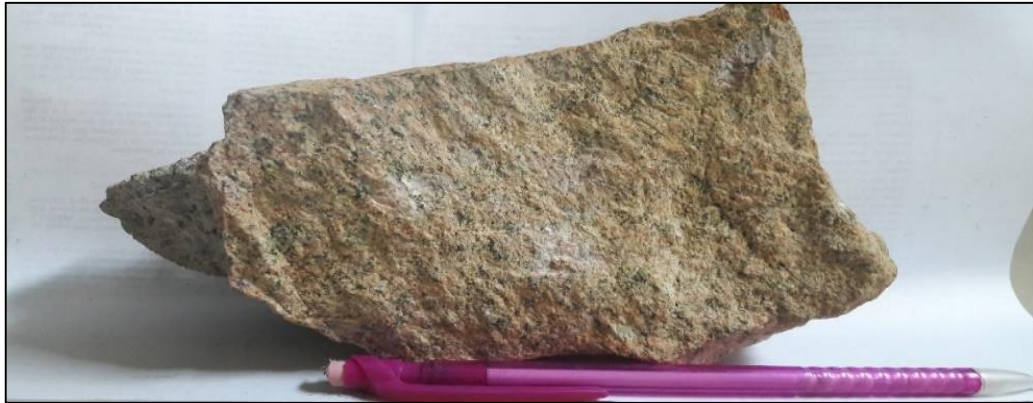
6.4 GEOLOGIA LOCAL

Por encontrarse dentro de la zona fisiográfica de la Sierra Nevada de Santa Marta y dentro del departamento del César, gracias a la interpretación de las fotografías aéreas, el mapa geológico del César IGAC, 2005., y las visitas a campo; se puede deducir que la mayor parte de la zona está comprendida por rocas ígneas saprolitizadas con alto grado de meteorización. Según la cartografía geológica del Cesar IGAC, 2005., Nuestra área de estudio está compuesta por Ignimbritas, Brechas y Cuarzomonzonita, las cuales han sufrido un proceso pedogenético y se han transformado en suelos residuales, pero no se evidenció presencia de éstas rocas, sino de rocas no cartografiadas, en pequeña cantidad sobre el cauce de la Quebrada Monte Grande, tal como la Cuarzosienita y la Sienita de origen plutónico y el Basalto de origen volcánico que no están datadas actualmente.

6.4.1 Cuarzosienita

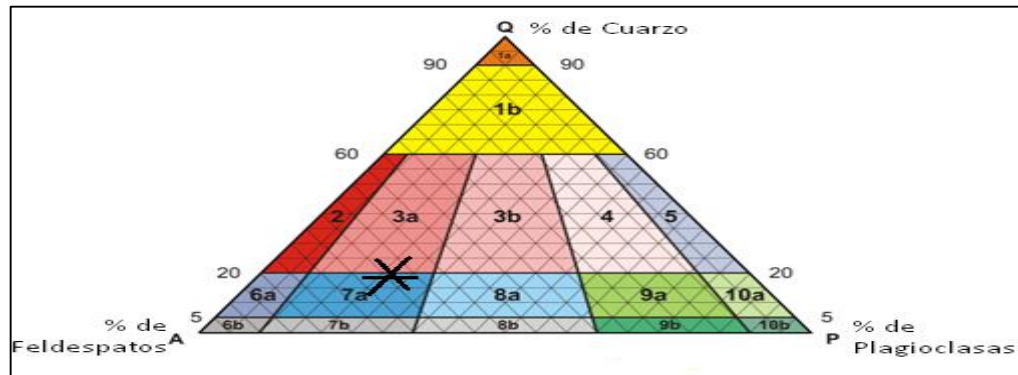
Roca ígnea de origen plutónico de composición intermedia, de textura cristalina fanerítica media (tamaño cristalino entre 1 - 5mm), holocristalina, posee una estructura masiva, con una distribución de granos inequigranular. Compuesta principalmente por Feldespato potásico (58.8%), Plagioclasa blanca (23.52%), Cuarzo lechoso y pequeños cristales de cuarzo translucido (17.64%). Además, pueden observarse como minerales ferromagnesianos: biotita color pardo y piroxenos negros tabulares y como mineral accesorio pequeños agregados de epidota.

Figura 18. Cuarzosienita encontrada en la zona de estudio.



Fuente: Los autores.

Figura 19. Denominación de rocas ígneas (Cuarzosienita).



Índice de color: 15 %
 F= 50% → 58.8%
 P= 20% → 23.52%
 Q= 15% → 17.64%

7: Sienitas

7a: Cuarzosienita

7b: Sienita

7c: Sienita con feldespatoides

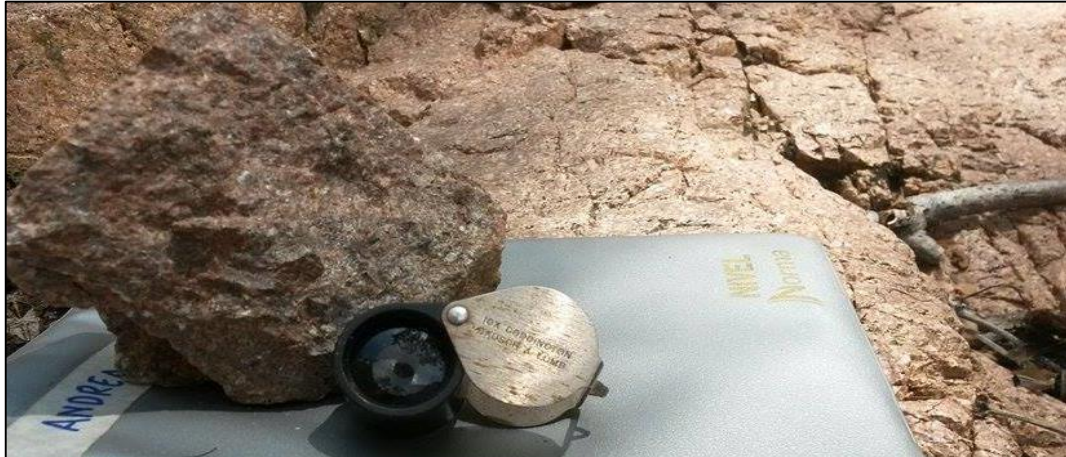
Fuente: triángulo de Streckeisen.

6.4.2 Sienita

Roca ígnea de origen plutónico de composición intermedia, con un grado de cristalinidad holocristalina, de textura cristalina fanerítica media (tamaño cristalino entre 1 - 5mm), posee una estructura masiva, con una distribución de granos

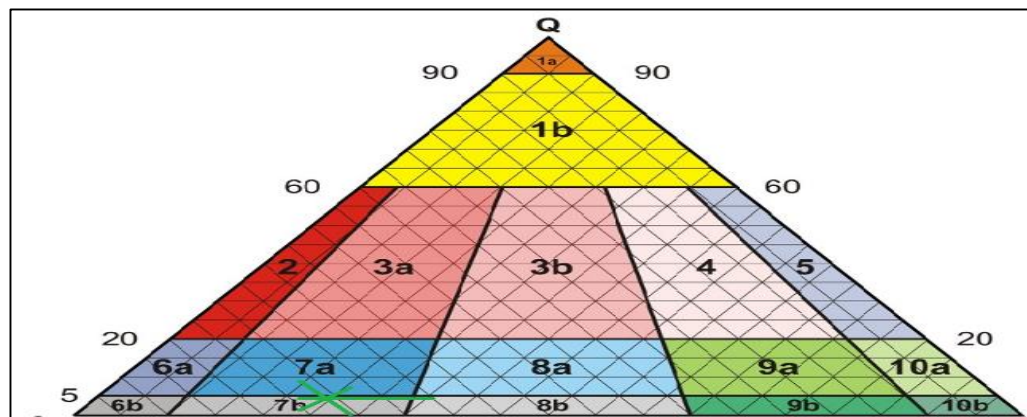
inequigranular. Compuesta principalmente por Feldespato potásico (72.2%), Plagioclasas blanca (5.6%), y pequeños cristales de cuarzo translucido (22.2%). Además, pueden observarse como minerales ferromagnesianos biotita color pardo y piroxenos negros tabulares.

Figura 20. Sienita encontrada en la zona de estudio.



Fuente: Los autores

Figura 21. Denominación de rocas ígneas (sienita).



Índice de color: 10%
F= 65% → 72.2%
P=20% → 5.6%
Q=5% → 22.2%

7: Sienitas
7a: Cuarzosienita
7b: Sienita
7c: Sienita con feldespatoideos

Fuente: triángulo de Streckeisen.

6.4.3 Basalto

Roca de origen volcánico de color negro perteneciente a la serie sub-alcalina, de matriz vítrea, textura hialocristalina, compuesta por plagioclasas cálcicas y piroxenos disgregados, posee algunos cristales de cuarzo.

Figura 22. Basalto encontrado en la zona de estudio.



Fuente: Los autores.

En lo que respecta a los distintos cuerpos ígneos que ahí afloran, es de saberse que en la actualidad la zona no posee tales afloramientos ya que en su mayoría se encuentran en procesos pedogenéticos ya sea como suelo o material saprolitizado. Por lo tanto, a la hora de evaluar la geología como factor condicionante en la configuración del mapa de amenazas según el método de MORA – VAHRSON, se relacionan los resultados arrojados según los distintos tipos de suelo obtenidos en las 20 estaciones según la clasificación de la AASTHO y las rocas de las cuáles se formaron esos suelos y conforman nuestro mapa geológico.

Tabla 11. Tipos de suelos asociados a las formaciones geológicas que han sufrido procesos pedogenéticos.

Jgr: Granitos de la SNSM		Jvi: Volcánico Ignimbrítico	
Estación	Tipo de suelo	Estación	Tipo de suelo
2	arena fina	1	arena fina
2.1	limo	3	arcilla
4	arcilla	13	arena fina
4.1	arena fina	14	arena fina
5	arcilla	15	arena limo-arcillosa
6	arena fina	16	limo
7	arena fina	17	limo
9	limo	18	arena fina
8	arena fina	19	arcilla
10	limo		
11	arena fina		
12	arena fina		
Jgr: Granitos de la SNSM		Jvi: Volcánico Ignimbrítico	
Tipo de suelo	%	Tipo de suelo	%
Arena fina	58,333333	Arena limo-arcillosa	11,111111
limo	25	Arena fina	44,444444
Arcilla	16,666667	Arcilla	22,222222
		Limo	22,222222

Fuente: Los autores.

En la Tabla 11 se muestran valores en porcentaje de los distintos tipos de suelos residuales generados por procesos pedogenéticos teniendo en cuenta la ubicación de las diferentes estaciones en la zona. Por tanto, se tiene que las arenas finas son los materiales predominantes seguidos por las arcillas y limos. De esta manera podríamos evaluar la geología teniendo en cuenta no las rocas madres sino los suelos que ya se generaron y que no han dejado rastro de tales formaciones geológicas, dado que no podemos darles valores a cuerpos de roca inexistentes.

6.4.4 Depósitos recientes

Se evidenció un depósito aluvial en la estación número 20 (Figura 23), constituido por bloques, gravas, cantos, arenas y limos, suspendidos en una matriz limosoportada, con una morfología subangular, angular y subredondeada como resultado de la erosión de las rocas que afloran en la región. Los rodados que lo componen presentan una imbricación hacia la derecha y por su alta meteorización no es posible determinar el tipo de roca de donde provienen.

Figura 23. Depósito aluvial. Bloques, gravas, cantos, arenas y limos. (Estación 20)



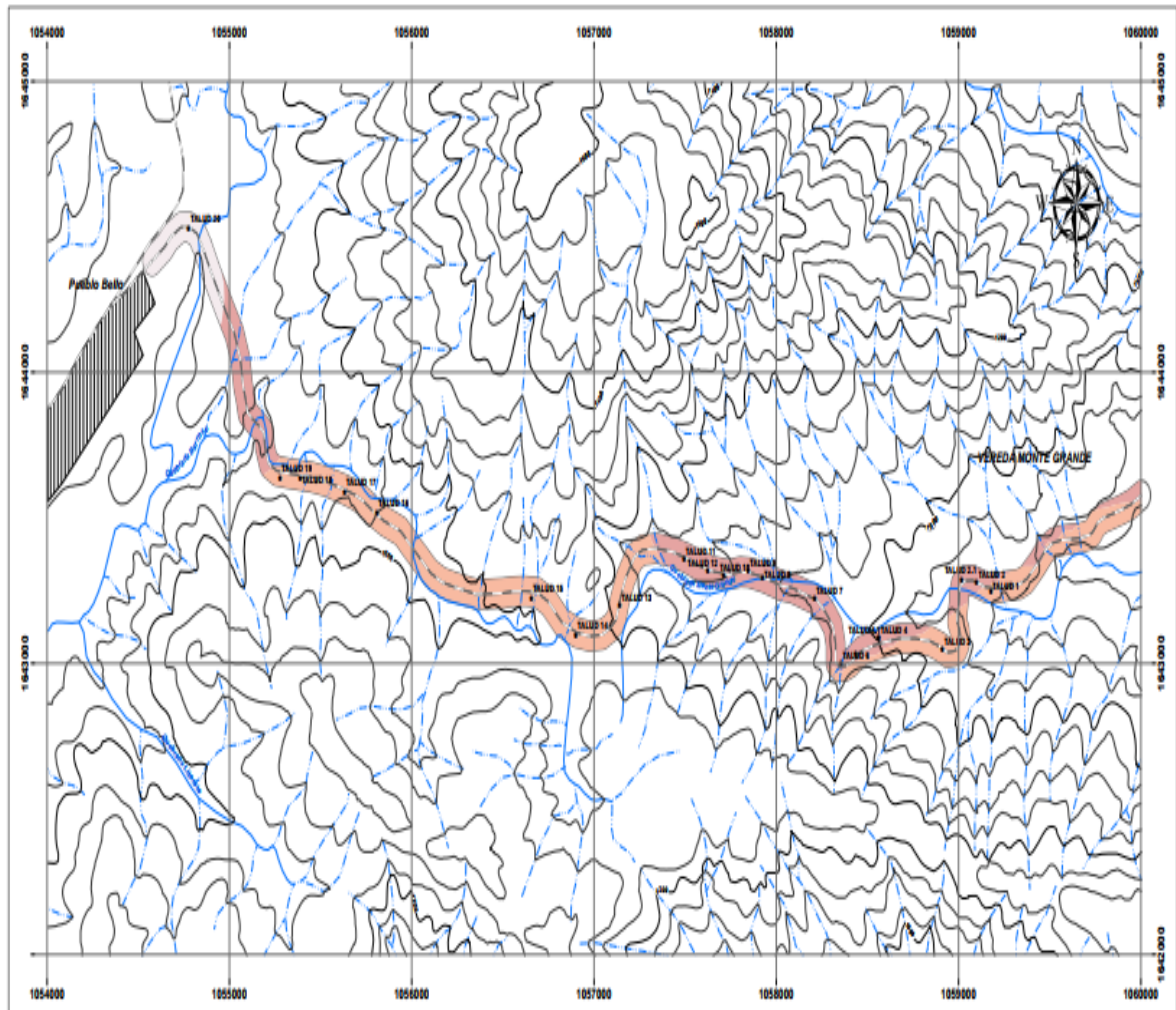
Fuente: Los Autores.

6.4.5 Mapa geológico

Para la realización del mapa geológico, se tomaron como base las litologías encontradas en el mapa geológico del departamento del Cesar⁴⁹. Teniendo en cuenta todos los eventos exógenos a los cuales han estado expuestas las unidades ígneas predominantes en el área, compuestas por Ignimbritas, Brechas y Cuarzomonzonita, las cuales han sufrido un proceso pedogenético y se han transformado en suelos residuales. Además de ellas, se encontraron tres tipos de rocas diferentes a las anteriores las cuales no se encuentran datadas en la cartografía del IGAC, entre las que están la Sienita, Cuarzosienita y Basalto clasificados mediante el triángulo de Streckeisen.

⁴⁹ IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2005.

Figura 24. Mapa geológico del área de estudio que comprende 18km² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.



0 250 500 1,000 1,500 2,000 E 1:10,000
Metros

LEYENDA GEOLOGICA		
ROCAS SEDIMENTARIAS	ROCAS IGNEAS	
Qal	Jvi	Jgr
ALUVIALES RECIENTES Bloques, cantos, gravas, arenas limos, arcillas y calizas.	VOLCÁNICO IGNIMBRÍTICO Ignimbritas y brechas.	GRANITOS DE LA SNSM Cuarzomonzonita color rosado de grano medio a grueso de plagioclasa, feldespato potásico y cuarzo, y granito

CONVENCIONES
Curvas de Nivel
Drenaje Permanente
Drenaje Intermitente
Vías

Fuente: Los autores.

6.4.6 Perfiles de meteorización

Como resultado de la descomposición de las rocas se forman secuencias de horizontes de los cuales cada uno posee características físicas, químicas y mecánicas diferentes⁵⁰. Con base en esta concepción geotécnicamente se reconocen 6 horizontes:

Tabla 12. Horizontes de meteorización de suelos.

TIPO DE HORIZONTE	DESCRIPCIÓN
Horizonte VI Suelo Residual. (SR)	Con nuevos minerales y sin vestigio de estructura heredada de la roca parental. Corresponde a los horizontes A y B agronómico.
Horizonte V Roca Completamente Descompuesta. (RCD)	Con nuevos minerales, pero con vestigios de la estructura heredada. Por presentar vestigio de la roca parental se le llama Saprolito (Fino). Corresponde al horizonte C agronómico.
Horizonte IV Roca Altamente Descompuesta.(RAD)	Parcialmente contiene minerales producto de la descomposición, saprolito (Grueso) y pequeños fragmentos de roca.
Horizonte III Roca Moderadamente Descompuesta. RMD)	Con alto porcentaje de rocas (bloques algo entrabados mecánicamente), y algo de saprolito (Meteorización penetra los bloques).
Horizonte II	Roca Débilmente Descompuesta, (RDD) con 100% de roca fresca, pero con oxidación en la cara de las diaclasas, debido a que éstas están ligeramente abiertas y permiten el acceso al agua. Es decir que los bloques

⁵⁰ ORDÓÑEZ, ANTE, Carlos. El perfil de meteorización en la ingeniería geotécnica. Politécnica N. 1. Medellín, Colombia. Junio – Octubre, 2005, p.p. 47-54

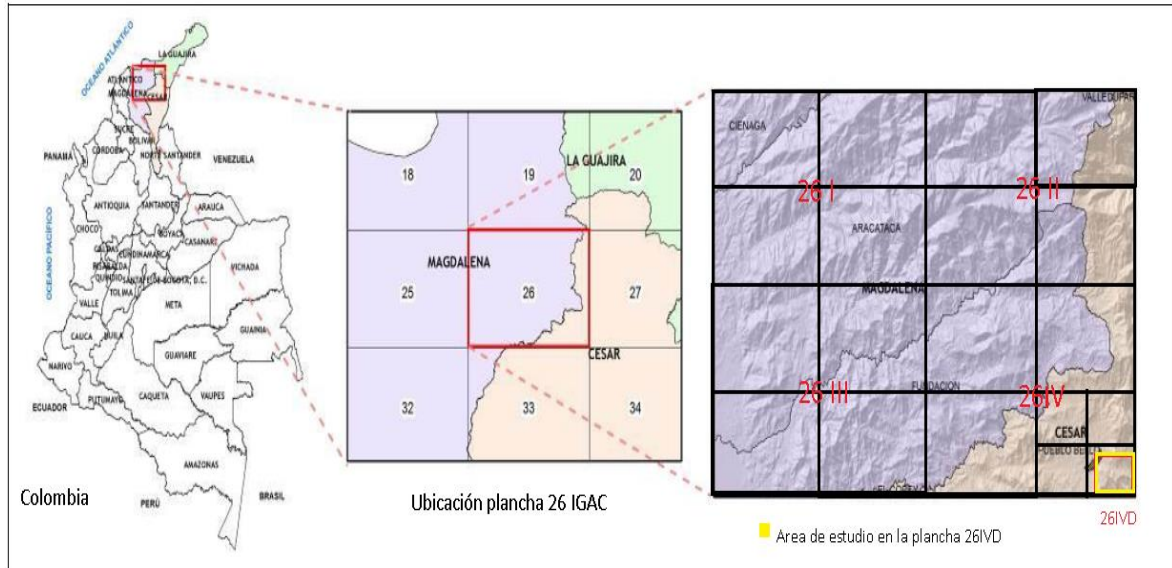
	están algo sueltos.
Horizonte I	Roca fresca (o descompuesta), (RF) con bloques perfectamente entrabados.

Fuente: ORDÓÑEZ 2005.

En la zona de estudio no se observaron todos los horizontes de meteorización, debido a que el terreno ha estado expuesto a muchos procesos exógenos, por ende, los horizontes I, II, no fueron identificados. Fueron realizados 20 perfiles de meteorización (Anexos del 32 al 53) correspondientes a los taludes muestreados, los cuales presentan características típicas de zonas tropicales de montaña.

6.5 GEOMORFOLOGÍA

Figura 25. Localización Plancha 26 Magdalena y Cesar, Colombia. Y plancha 26IVD - Pueblo Bello.



Fuente: Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa 1:100.000. Plancha 26.

En el territorio del municipio de Pueblo Bello se encuentran alrededor de 20 unidades geomorfológicas distribuidas espacialmente en lo que concierne al SE de la Sierra Nevada de Santa Marta. En nuestra zona de trabajo que corresponde 18 Km² de la esquina inferior derecha de la plancha topográfica 26IVD (Figura 25) del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Se distinguen 8 unidades geomorfológicas predominantes de dos ambientes geomorfológicos distintos:

6.5.1 Distribución geomorfológica en el área estudiada

Para la definición de la geomorfología se tuvieron en cuenta tres parámetros como fueron la descripción fotogeológica, el análisis visual en campo comparando el relieve con imágenes específicas de los distintos tipos de ambientes que se

podiesen presentar en esta área de la Sierra Nevada de Santa Marta e información suministrada en la Memoria explicativa del mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa escala 1:100.000. Plancha 26 - municipio de Pueblo Bello.

En la tabla 13 se representan todos los tipos de ambientes geomorfológicos que se pudieron identificar en la topografía que compone las estribaciones Sur de la Sierra Nevada de Santa Marta en el municipio de Pueblo Bello; de tal manera fueron identificados con un color característico para su fácil visualización en las Figuras de la 26 hasta la 29.

Tabla 13. Convenciones de las distintas unidades geomorfológicas.

	Loma denudada "Dld"
	Lomo denudado moderado de longitud larga "Dldeml"
	Ladera Ondulada "Dlo"
	Lomo denudado alto de longitud larga "Dideal"
	Lomo residual "Dlres"
	Montículos y ondulaciones denudacionales "Dmo"
	Sierra residual "Dsr"
	Terraza de acumulación subreciente "Ftas"

Fuente: Los autores

Lo siguiente, proporciona la distribución espacial de los ambientes geomorfológicos, los cuales son de gran importancia para poder evaluar a la geomorfología y les serán asignados valores entre 1 y 5 dependiendo de qué tanta afectación en cuestión de deslizamientos pueden generar en el sector⁵¹. De

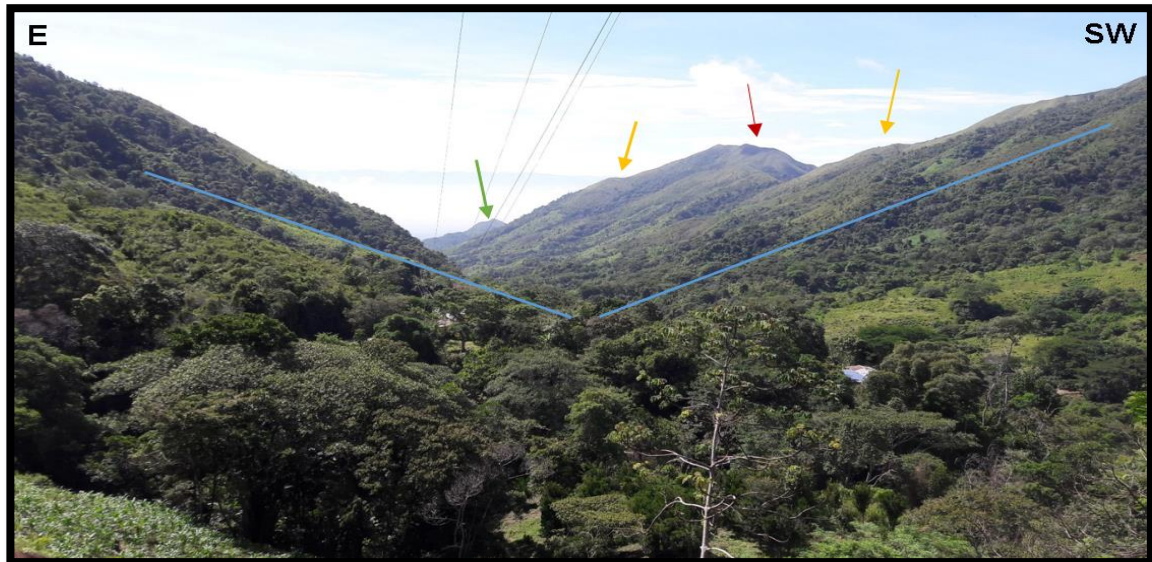
⁵¹ RODRIGUEZ SOLANO, Juan. et, al. Op. Cit.

tal manera que se puede realizar el mapa geomorfológico como factor condicionante en la generación del mapa de microzonificación de amenazas.

6.5.2 Ambiente denudacional

Determinado por la actividad de procesos moderados a intensos de meteorización, y donde predominan los procesos erosivos hídricos y pluviales, y fenómenos de remoción en masa, en las que la expresión morfológica está dada por la erosión y transporte de origen gravitacional que han remodelado y dejado remanentes creando nuevas geoformas por acumulación de sedimentos, las unidades o subunidades geomorfológicas distintivas de éste ambiente son:

Figura 26. Identificación de geoformas: Dldeml, Dlo, Dldeal, Dsr.



Fuente: Los autores.

Lomo denudado alto de longitud larga “Dldeal”: Conjunto de lomos ubicados a diferentes alturas que presentan relieves mayores a 1000 m, con eje principal

mayor de 2000 m y morfología alargada. Sus topos son agudos; con patrón de drenaje paralelo que genera valles en forma de “V” abierta.

Lomo denudado moderado de longitud larga “Dldeml”: Conjunto de lomos con alturas distintas definidas por exhibir un relieve relativo que varía entre 300 y 800 m, con eje principal > 2000 m y morfología alargada. Los topos de los lomos son agudos. Esta unidad tiene un patrón de drenaje paralelo que genera valles en “V” al sur y en “V” abierta al norte.

Ladera Ondulada “Dlo”: es una superficie muy larga en declive, de morfología colinada, con un relieve moderado, pendientes inclinadas a escarpadas y forma convexa a cóncava, se distingue por presentar un drenaje subparalelo algo denso.

Sierra residual “Dsr”: Elevaciones de morfología elongada y montañosa, con alto relieve, laderas muy largas, pendientes desde muy abruptas escarpadas y de forma recta a cóncava. Presenta un patrón de drenaje paralelo a subdendrítico asociado a valles en “V”. Esta unidad se desarrolla sobre ignimbritas asociadas a suelos residuales espesos en los que han ocurrido procesos erosivos y denudativos intensos.

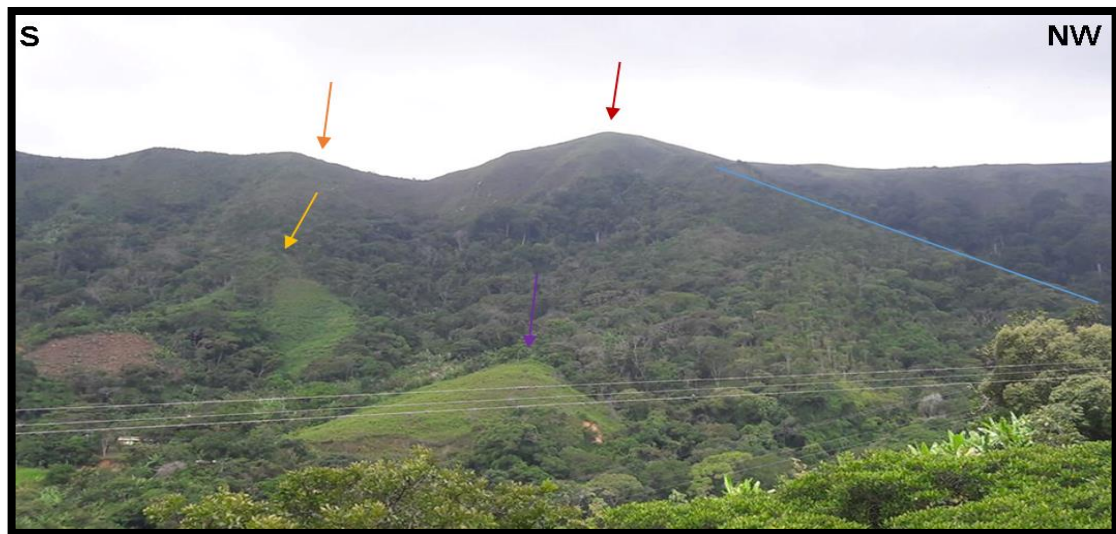
Figura 27. Identificación de geoformas: Dld, Dlo, Dldeal, Dsr.



Fuente: Los autores

Loma denudada “Dld”: topografía de bajo relieve, con cimas subredondeadas a redondeadas estrechas alargadas, con pendientes que fluctúan de inclinadas a muy abruptas. Caracterizadas por exhibir laderas cortas predominantemente convexas.

Figura 28. Identificación de geoformas: Dld, Dldeml, Dlo, Dmo.



Fuente: Los autores.

Montículos y ondulaciones denudacionales “Dmo”: Unidad morfológica caracterizada por elevaciones del terreno con un índice de relieve muy bajo con respecto a su nivel de base local, con topos subredondeados y laderas muy cortas, de forma convexa a recta, con pendientes planas a inclinadas. El patrón de drenaje característico es divergente, con valles en forma de “V”.

6.5.3 Ambiente fluvial

Unidades geomorfológicas formadas por procesos erosivos asociados a afluentes hídricos como ríos, arroyos, lagos y lagunas; así como a la acumulación y sedimentación de materiales transportados en zonas adyacentes. A éste tipo de ambiente geomorfológico pertenecen:

Figura 29. Identificación de geoformas: Dld, Dlres, Ftas.



Fuente: Los autores.

Terraza de acumulación subreciente “Ftas”: Superficie plana a suavemente ondulada, con índice de relieve muy bajo, de morfología alargada en dirección a la corriente de la quebrada La Solera, afluente del río Ariguaní.

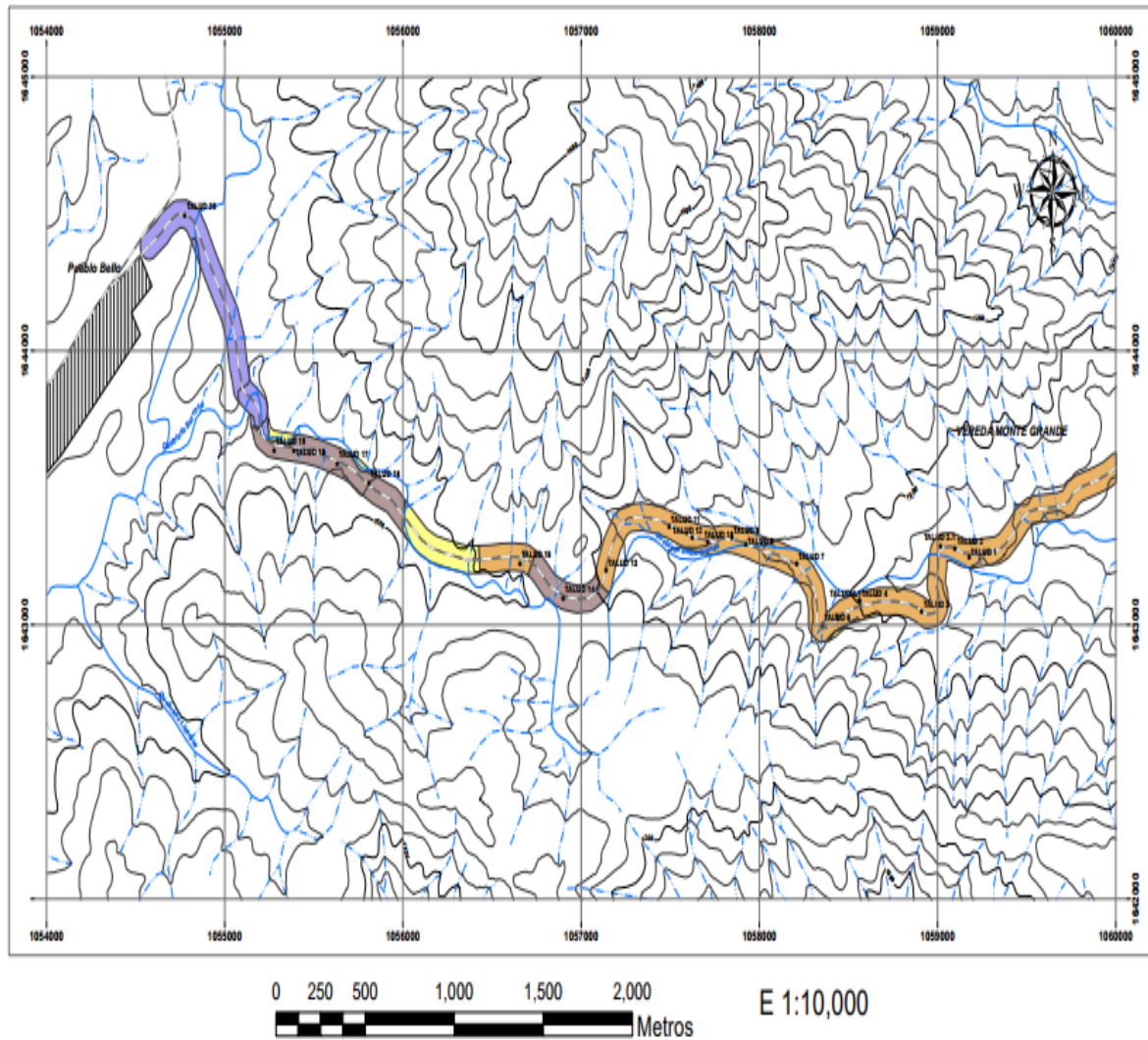
Lomo residual “Dlres”: Elevación del terreno, con índice de relieve relativo bajo, desarrollado sobre el Batolito de Pueblo Bello debido a procesos de meteorización diferencial. Se caracteriza por presentar una morfología alomada y elongada, con laderas cortas, de forma convexa.

6.5.4 Mapa geomorfológico

En la Figura 30, se presenta la geomorfología en la que han interactuando distintos procesos y agentes tanto internos como externos de la tierra, que han dado como resultado el actual relieve que podemos apreciar. El mapa geomorfológico ilustra mediante tramas, colores y símbolos el relieve del área de 18 km² comprendidos entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la Vereda Monte Grande, donde se detalla con contenidos morfométricos y morfográficos el comportamiento geomorfológico de la zona. Para su realización se tuvieron en cuenta todos los parámetros geomorfológicos como el análisis de las fotografías aéreas y la determinación de ambientes geomorfológicos⁵².

⁵² SGC y Universidad EAFIT. Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa Esc 1:100.000. plancha 26 - Pueblo Bello. Medellín, Mayo de 2015

Figura 30. Mapa geomorfológico del área de estudio que comprende 18km² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.



LEYENDA	
Geoformas	
Dld	Loma denudada
Dideal	Lomo denudado alto de longitud larga
Dldem	Lomo denudado moderado de longitud larga
Dlo	Ladera ondulada
Dires	Lomo residual
Dmo	Montículos y ondulaciones denudacionales
Dsr	Sierra residual
Fpi	Plano o llanura de inundación
Fta	Terrazas de acumulación
Ftae	Escarpes de terrazas de acumulación
Ftas	Terrazas de acumulación Subcreiente

CONVENCIONES	
	Curvas de Nivel
	Drenaje Permanente
	Drenaje Intermitente
	Vías

Fuente: Los autores.

6.6 PENDIENTES

Las pendientes ubicadas entre los rangos de 0 - 3%, 12 - 25%, 25 - 50%, corresponden al 90%, donde la variedad de suelos ostenta distintos tipos según las clasificaciones de AASTHO y USC como Arena fina, Arcilla y limos, pertenecientes a la microcuenca tributaria de las quebradas Barroso y Monte Grande, siendo una de las zonas de mayor tamaño y más homogéneas en cuanto a la fluctuación en los ángulos de pendiente. Ellos constituyen el relieve dominante.

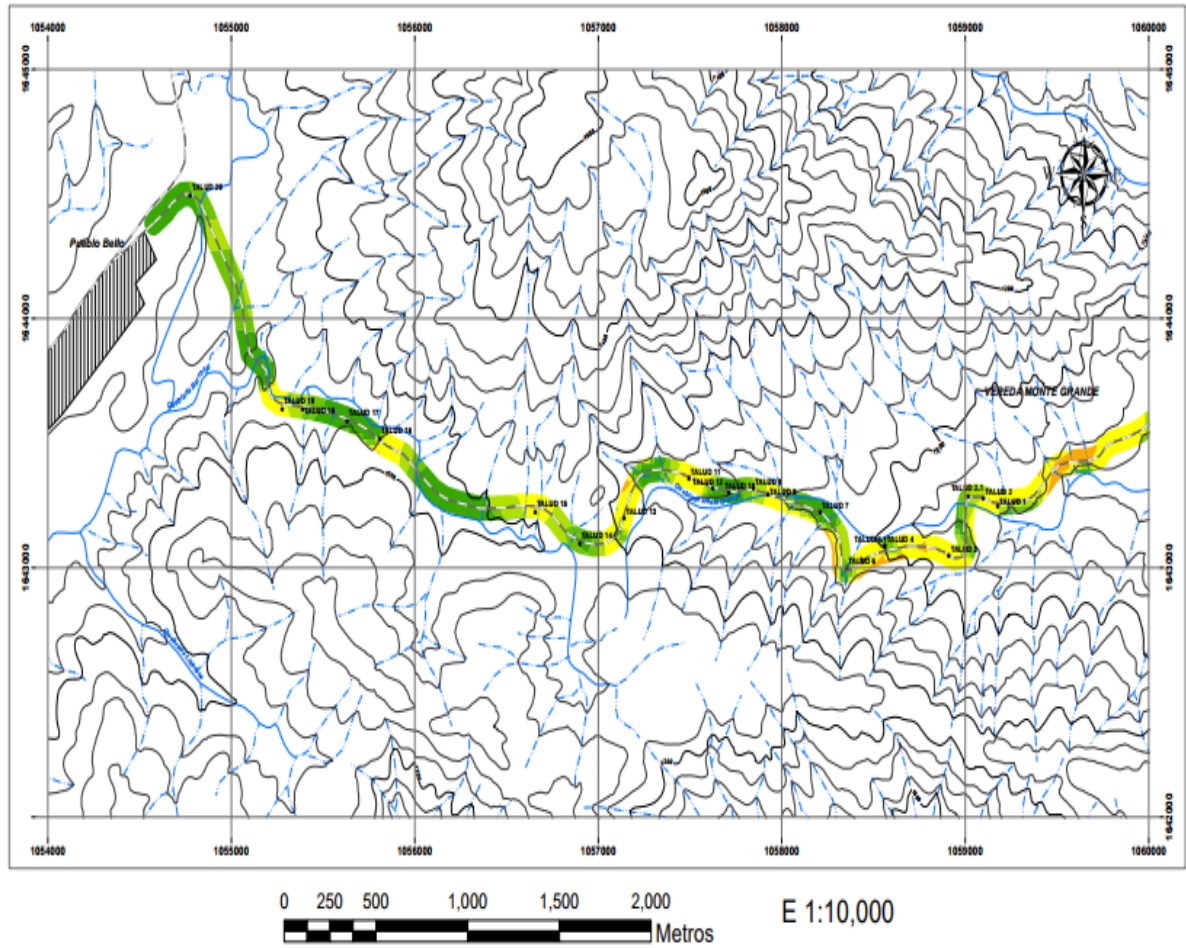
Los rangos de pendiente de 3 - 7%, 7 - 12%, 50 - 75%, conciernen al 10% del área, distribuidos de manera desordenada en todo el tramo vial, lo que se expresa en el ascenso pronunciado del relieve hasta llegar a las partes medias de colinas y montañas donde los materiales predominantes son Arcilla y Arena limo-arcillosa.








Se concentran en la zona más adyacente a la vereda Monte Grande y áreas aisladas al sureste siendo topografías moldeadas sobre un cuerpo ígneo muy meteorizado, donde se encuentran las mayores alturas con cotas de hasta 1000 msnm donde los rasgos geomorfológicos son más prominentes. La inclinación de los taludes corresponde al tipo de material que los constituye y se relaciona con la amenaza a deslizamientos por remoción en masa. Las áreas con pendiente muy inclinada a muy abrupta presentan una moderada a alta susceptibilidad a fenómenos de deslizamientos. Las zonas con inclinación escarpada a muy escarpada indican que los materiales son resistentes y por lo cual la amenaza relativa a movimientos en masa es baja⁵³.

⁵³ CORNARE. Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de cornare. convenio cornare-gobernación de Antioquia. 2011-cf-12-0051 y 217-2011. municipio de Granada. 2012.

6.6.1 Mapa de pendientes

Figura 31. Mapa de pendientes del área de estudio que comprende 18km² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.



PENDIENTES	
	0- 3% A Nivel
	3- 7% Ligeramente Inclínada
	7- 12% Moderadamente Inclínada
	12- 25% Fuertemente Inclínada
	25- 50% Ligeramente Escarpadas
	50- 75% Moderadamente Escarpadas
	75- 100% Fuertemente Escarpadas

CONVENCIONES	
	Curvas de Nivel
	Drenaje Permanente
	Drenaje Intermitente
	Vías

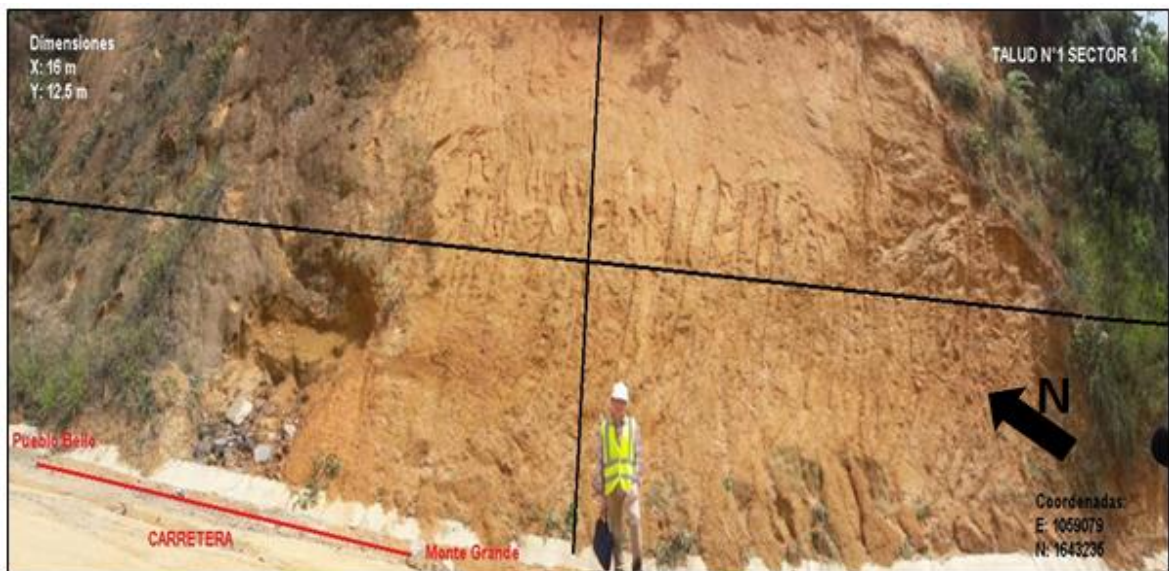
Fuente: Los autores.

6.6.2 Taludes muestreados

Fueron tomados 4 taludes de los 20 totales a lo largo de la vía, que presentasen características heterogéneas entre sí como su color, tipo de suelo y plasticidad, para luego llevar las muestras al laboratorio aplicando en ellas el ensayo de compactación y así determinar su capacidad portante. Para la correcta obtención de los datos se procedió a dividir en cuadrantes los taludes y tomar una muestra de 1 kg de cada uno que luego fueron mezcladas para que la muestra fuese lo más homogénea posible, ya que los taludes no son constantes granulométricamente en su estructura.

En la figura 32 se pueden observar las marcas dejadas por la ejecución de trabajos de ingeniería con maquinaria pesada como las retroexcavadoras que generan una mayor tensión superficial que se va expandiendo al interior del terreno, acelerando los procesos de desestabilización entre las partículas de suelo deteriorando los taludes, generando una mayor amenaza.

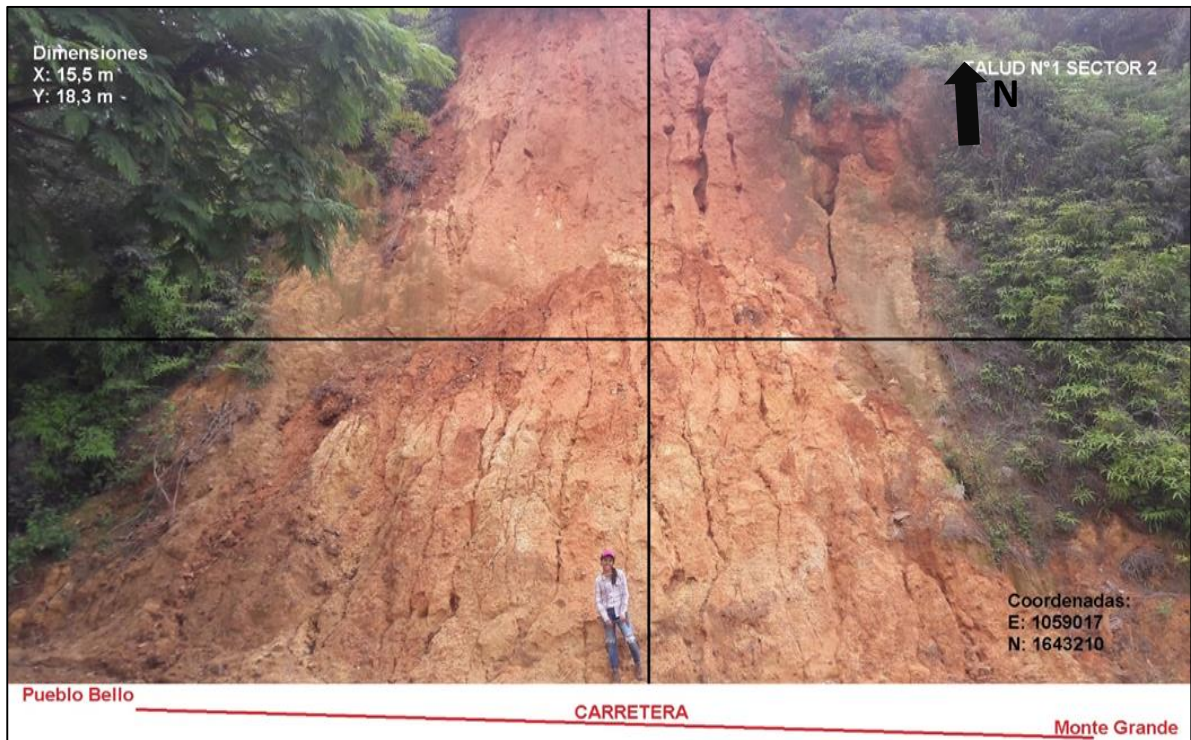
Figura 32. Estación 2 sector 1, talud 1 en la sectorización muestral de taludes.



Fuente: Los autores.

A continuación, se diferencian los distintos surcos de hasta 30 cm de profundidad generados por los continuos flujos de agua producto de las constantes lluvias en el sector aumentado su humedad natural, lo cual ayuda a que los taludes se desestabilicen aún más de lo normal.

Figura 33. Estación 2 sector 2, talud 1 en la sectorización muestral de taludes.



Fuente: Los autores.

Para finalizar, en la figura 34 podemos identificar un tipo de deslizamiento rotacional, evidenciado por el arrastre y posterior inclinación a 35°, generada en los árboles por los movimientos de tierra.

Figura 34. Estación 20, Talud 4 en la sectorización muestral taludes.



Fuente: Los autores.

6.7 COBERTURA Y USO DEL SUELO

En zona de estudio; debido a las características climatológicas que presenta, se pueden identificar principalmente cuatro tipos de cobertura vegetal descritos a continuación:

6.7.1 Bosques

Pueden ser fácilmente identificados en las fotos aéreas debido a su color que por lo regular tiende a ser oscuro, y suelen observarse superficies coposas y pequeños círculos que indican que la vegetación es bastante diversa y frondosa, por lo general en campo puede notarse que los árboles presentan alturas que pueden alcanzar hasta los 9 metros y sirven como hábitat para gran cantidad de especies de fauna y flora.

6.7.2 Pastos

En las fotografías aéreas presentan un tono más bajo que la que es observada en los bosques haciendo así su fácil identificación, se incluyen en esta unidad las zonas cubiertas por distintas especies gramíneas destinadas para el sustento de los animales, más específicamente a la ganadería.

6.7.3 Suelos desnudos

Dentro de esta unidad se incluyeron las zonas que según las fotografías aéreas no presentan ningún tipo de vegetación o de actividad clorofílica, debido a que se observan como pequeños parches de color bastante claro, casi blanco. Son producto de la actividad humana o intervenciones naturales que han dejado las zonas libres de cobertura vegetal.

6.7.4 Rastrojos

Comprende las áreas compuestas por pequeños arbustos y pastizales, se puede distinguir en las fotos aéreas debido a que su coloración es un poco más alta que la de los suelos desnudos y la vegetación se observa no tan frondosa. Entre esta

unidad se incluyen los cultivos de café, yuca, plátano y malanga presentes en la zona.

Figura 35. Bosques y pastos en la zona de estudio.



Fuente: Los autores

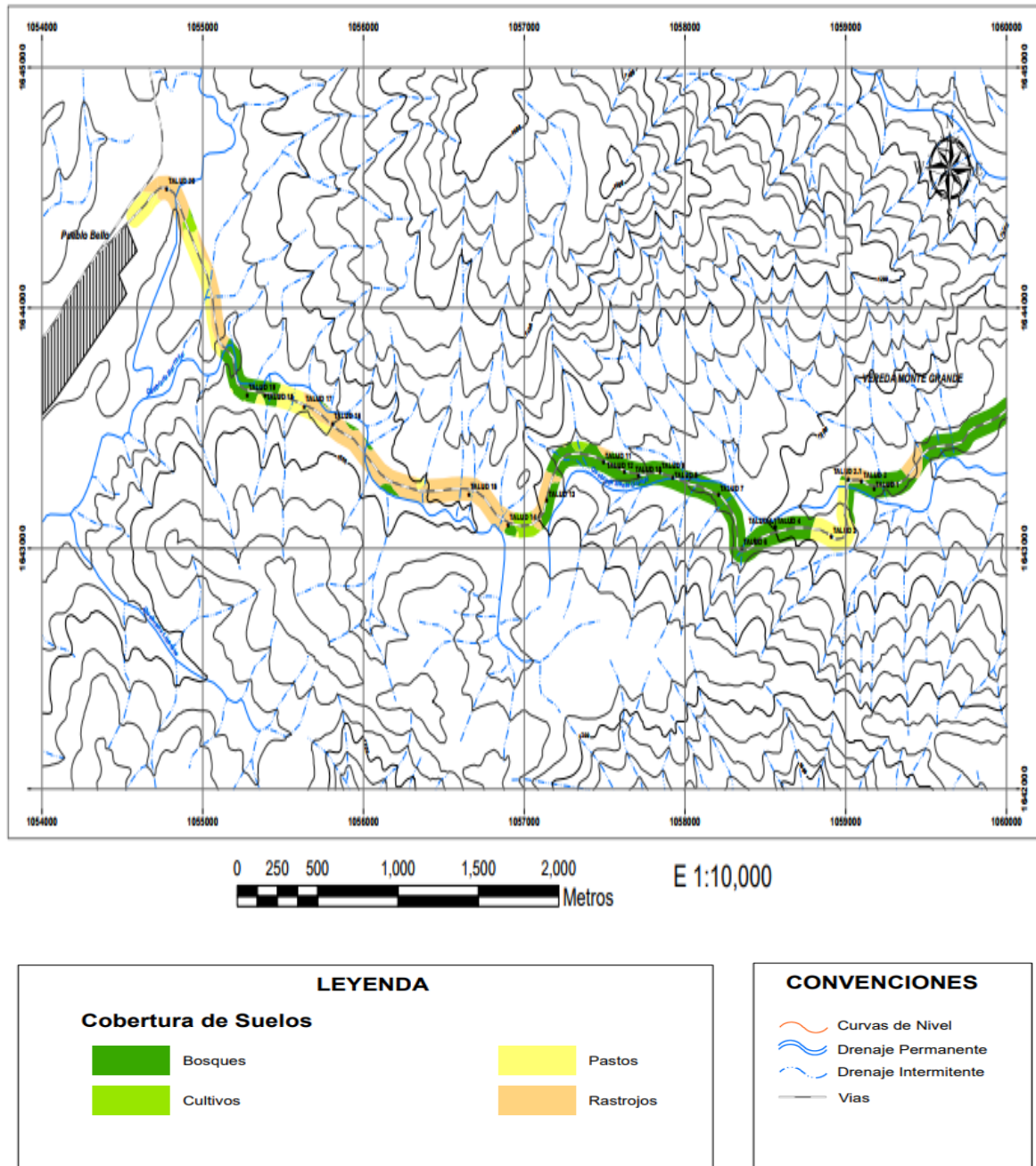
Figura 36. Suelos desnudos y rastrojos en la zona de estudio.



Fuente: Los autores.

6.7.5 Mapa de cobertura de suelo

Figura 37. Mapa de Cobertura Vegetal del área de estudio que comprende 18km² entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.



Fuente: Los autores.

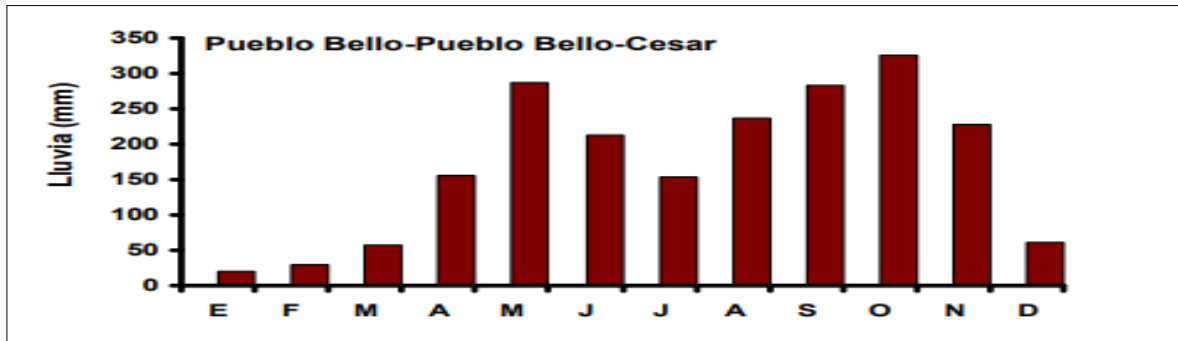
6.8 HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

El agua es considerada como uno de los factores que es más asociado a fallas de los taludes en zonas tropicales, debido a que la mayoría de los deslizamientos se producen después de fuertes lluvias o durante periodos de lluvias continuas. Por lo tanto, el control de estas aguas es la solución más efectiva para la estabilización de laderas y/o taludes y prevención de posibles deslizamientos. A continuación, se presenta un análisis del clima, la temperatura, las precipitaciones y cuencas que se encuentran entre la vía Monte Grande-Pueblo Bello. Los análisis hidrológicos de la zona de estudio se realizaron en base a la información suministrada por el instituto de hidrología, meteorología y Estudios ambientales, IDEAM, el proyecto “Rehabilitación y pavimentación de la vía el Zanjón - Pueblo Bello, Dpto. del Cesar” y los datos recogidos en las respectivas visitas a campo.

6.8.1 Precipitación (mm)

De acuerdo a los datos pluviométricos el régimen de lluvias que se presenta en la zona de estudio es BIMODAL tipo 1; es decir que se caracteriza por presentar dos periodos de lluvias intercalados por un periodo de sequía. El municipio de Pueblo Bello presenta una precipitación media anual de 1000 a 2000mm y mensual de 0 a 50mm, y un periodo seco al año. Los periodos lluviosos ocurren regularmente entre los meses de abril a julio y de agosto a noviembre, el periodo menos lluvioso tiene lugar entre los meses de diciembre y marzo, siendo diciembre y enero los meses más secos dentro de este periodo.

Figura 38. Diagrama de barras de la precipitación anual histórica hasta el año 2013 en el municipio de Pueblo Bello.



Fuente: IDEAM 2013

El valor máximo de precipitación mensual según el IDEAM (Anexo N°54) se presenta en el mes de octubre con 350.7 mm, seguido de septiembre con 290.3 mm, mientras que las precipitaciones más bajas se presentan en el mes de enero con 16.8mm. En total el municipio de Pueblo Bello presenta un promedio de precipitación mensual de 2098.7 mm. En la Tabla 14 se presenta el comportamiento mensual de las precipitaciones entre los años 2008 – 2015.

-Análisis de los valores máximos de precipitación

A lo largo de los años se pudo apreciar que en el municipio de pueblo bello los valores más bajos de precipitación se presentaron en los años 1966 (30.0mm) y 2004 (60.0mm). Mientras que en los otros años se mantuvo un régimen de lluvias entre moderado y alto.

Tabla 14. Precipitación máxima en 24 horas-estación Pueblo Bello (mm).

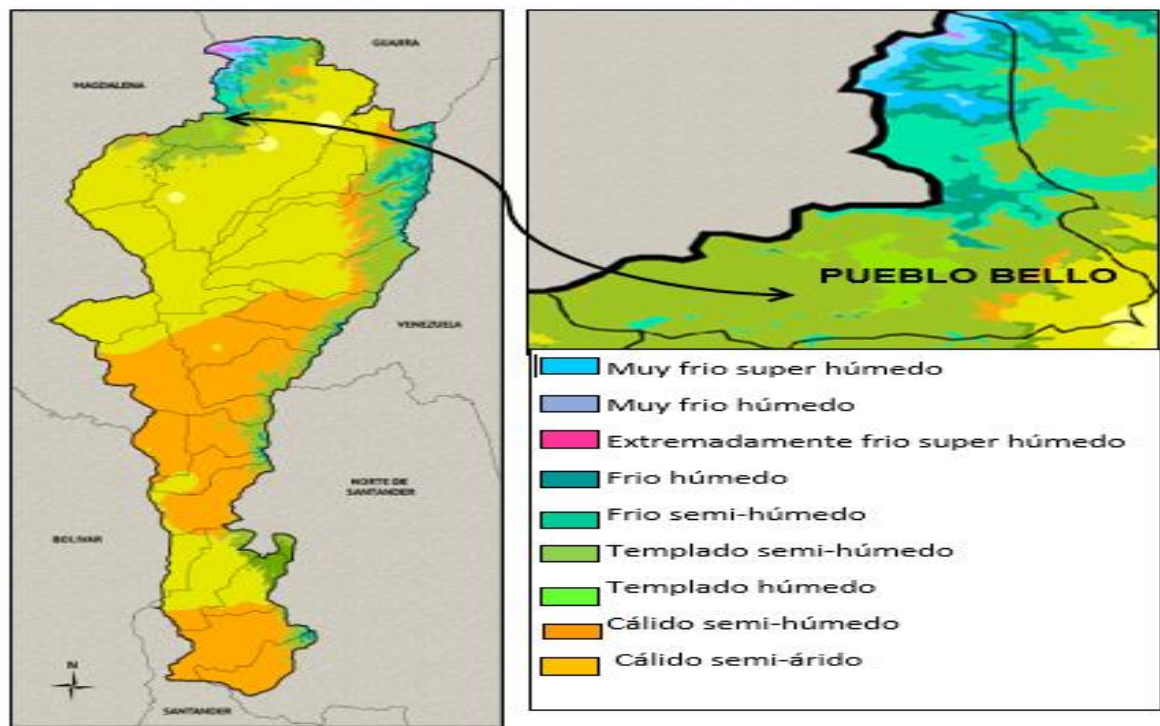
AÑO	ESTACIÓN PB	AÑO	ESTACIÓN PB
1964	76.0	1986	118.0
1965	78.7	1987	90.0
1966	30.0	1988	90.0
1967	64.0	1989	105.0
1968	93.0	1990	74.0
1969	104.8	1991	90.0
1970	107.0	1992	86.0
1971	97.0	1993	78.0
1972	92.0	1994	100.0
1973	104.0	1995	100.0
1974	64.0	1996	136.0
1975	93.0	1997	96.0
1976	85.0	1998	88.0
1977	67.0	1999	105.0
1978	132.0	2000	89.0
1979	65.0	2001	69.0
1980	90.0	2002	91.0
1981	110.0	2003	77.0
1982	70.0	2004	60.0
1983	130.0	2005	68.0
1984	62.0	2006	106.0

Fuente: IDEAM, 2013.

6.8.2 Clima

En el municipio de Pueblo Bello la unidad climática más representativa localizada es templado semi-húmedo⁵⁴, tal información puede corroborarse en el mapa de clasificación climática del departamento del Cesar presentado por el IDEAM (Figura 39), donde se añaden otras unidades climáticas.

Figura 39. Mapa del Departamento del Cesar y Municipio de Pueblo Bello con sus principales climas.



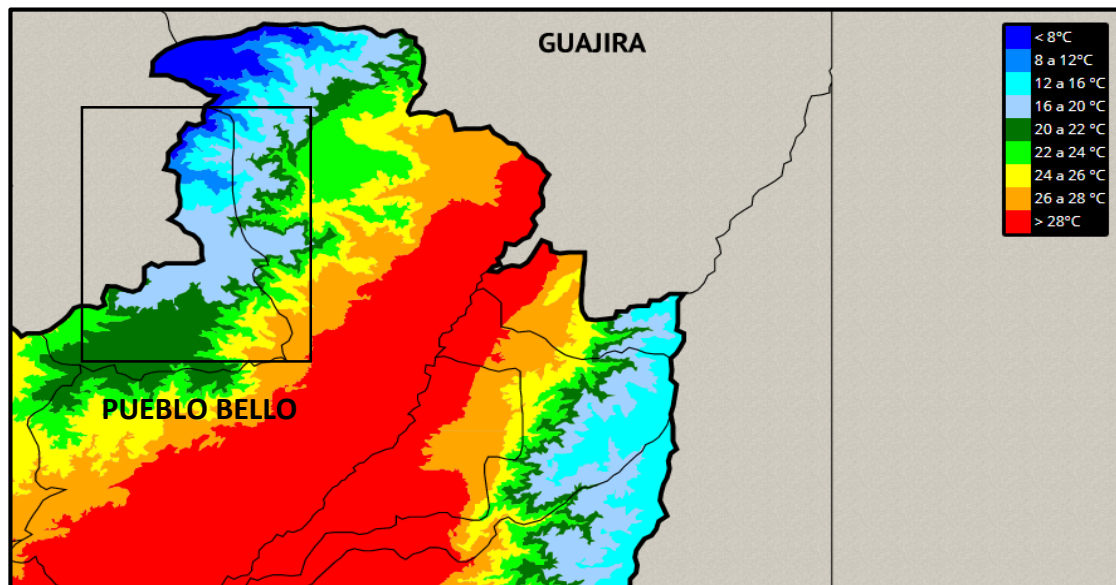
Fuente: IDEAM, 2013.

La Zona de estudio se encuentra aledaña a la cabecera municipal; posee un clima templado con alturas entre 1000 y 2000 msnm, con temperaturas promedio entre

⁵⁴ SGC. Servicio Geológico Colombiano.

16° y 24°C anuales condicionados por las lluvias y sequías que afectan el municipio. Además, la zona presenta un potencial de evapotranspiración anual entre 1200 y 1400 mm. La humedad relativa es alta, el cielo es bastante nublado y la vegetación crece rápidamente debido a las lluvias.

Figura 40. Mapa de temperatura media del municipio de Pueblo Bello.



Fuente: IDEAM, 2013.

6.8.3 Cuencas

La zona de estudio se encuentra dentro de la sub cuenca Cesarito, donde se lograron observar en las respectivas visitas a campo solo cuatro drenajes activos actualmente, de esos cuatro, se estableció lo siguiente: uno de ellos es afluente de la quebrada Barroso, los otros 3 son afluentes de la quebrada Monte Grande, los cuales son de gran relevancia a la hora de evaluar las zonas críticas ya que por medio de infiltraciones subterráneas, éstos cuerpos proporcionan agua al terreno

generando más inestabilidades por aumento de la presión de poros de los granos de suelo que componen los taludes.

Tabla 15. Subcuencas hidrográficas del Municipio de Pueblo Bello, Departamento del Cesar.

No	CUENCAS	RIOS DE LA CUENCA	AREA	%
1	Cuenca del rio Guatapurí	Río Timaca y Chimbirumieina	12.538	17.09
2	Cuenca del rio fundación	Río San Sebastián y de las Quebradas Cirimeima, Yaiquincina, Ciudadanca, Sogroni, Curacata, Tiomarua y Bunigamaica.	7.969	10.85
3	Cuenca Cesarito	Río los Clavos y las quebradas San Quitín, Monte grande, barroso, los Antiguos, Arroyo Hondo, Liberato y las Mariposas.	24.116	32.87
4	Cuenca del rio Ariguaní	Rio Ariguaní	28.745	39.18

Fuente: Los autores.

También se encontraron algunos nacimientos de agua en los taludes que conforman la vía, siendo este considerado como uno de los factores principales que afecta la inestabilidad de los materiales y por ende un detonante de deslizamientos.

6.9 Análisis de factores detonantes y condicionantes más influyentes.

En el caso particular de éste proyecto, los movimientos se han venido generando paulatinamente desde la apertura de la vía, pero la mayor parte de ellos han venido ocurriendo en los periodos de alta pluviosidad de los meses de mayo y septiembre. Se presentan escenarios variables que favorecen a los procesos de deslizamiento en los taludes, clasificados en factores condicionantes y detonantes. Su clasificación depende del estudio en campo de la complejidad de su acción en el terreno teniendo en cuenta los procesos generados recientemente como también los que ya se han presentado durante los años 2011 y 2016 registrados en el “SIMMA” A continuación, se describirán los factores que más influyen en la generación de fenómenos por remoción en masa:

6.9.1 Condicionantes (intrínsecos o pasivos)

- **Geología**

El tramo de la vía está compuesto por suelos residuales, generados en ambientes tropicales sometidos a altas temperaturas y lluvias abundantes, la meteorización de las rocas es muy fuerte, caracterizándose por la descomposición rápida de feldespatos y minerales ferromagnesianos. Sin embargo, se encontraron tres pequeños afloramientos de Sienita, Cuarzo-sienita (rocas ígneas plutónicas) y Basalto (roca ígnea volcánica) en el cauce de la quebrada Monte Grande. Teniendo en cuenta la gran cantidad de caolinita contenida en la mayoría de los taludes y sabiendo que es producto de la meteorización de los feldespatos que a su vez son los minerales principales en las Sienitas; podemos decir que es la roca madre de los suelos presentes, la cual fue afectada por procesos exógenos como meteorización y saprolitización, hasta convertirse en suelo. Los suelos con caolinita presentan un comportamiento normal en los ensayos, en términos de

baja a media plasticidad y permeabilidad. Suelen estar seguidos por coluviones y un gran porcentaje de los movimientos se relacionan con su inestabilidad.

Históricamente no ha habido ningún deslizamiento importante que haya cobrado vidas humanas y tampoco que haya generado grandes pérdidas materiales; pero si obstrucciones constantes de la vía. Ello puede ser sujeto a una de las evidentes características de los taludes y es que la mayoría son casi verticales y los planos de discontinuidad o de falla aún no están expuestos como para denominarlos planos potenciales de deslizamientos los cuales tienden a disgregar o individualizar los materiales y así disminuir su cohesión o ángulo de fricción interna. Los resultados arrojados por los límites líquido y plástico fueron intermedios a bajos, por lo que una vez separados y tras la adición de agua en cantidades mínimas, los taludes son susceptibles a deslizarse ya que el suelo podría tomar una consistencia semilíquida.

6.9.2 Detonantes (extrínsecos o activos)

- **Lluvias**

Los proyectos lineales tales como las vías, son muy vulnerables a los deslizamientos de tierra, las carreteras en las zonas tropicales pueden experimentar deslizamientos y caídos en forma continua, especialmente en las temporadas de lluvias. En algunos sectores del municipio de Pueblo Bello se han presentado algunos deslizamientos detonados por lluvias⁵⁵. En el SIMMA, existe un inventario de 8 tipos de movimientos como: deslizamientos, caídas de bloques y flujos de detritos ocurridos en los años 2011 – 2013, afirmando que el mayor problema en cuanto a factores detonantes es la lluvia. Varios de los deslizamientos ocurren durante o después de los períodos de lluvias en áreas en

⁵⁵ SIMMA. Op, Cit.

las que se registran precipitaciones más fuertes ya que los cuerpos de agua cercanos aumentan su caudal (quebradas Barroso y Monte Grande) y por la constitución suelta del terreno, ésta agua se infiltra y genera más inconvenientes de manera interna en los taludes.

- **Factor antrópico**

En la zona hay presencia de caseríos y con ello redes de abastecimiento de agua y saneamiento en zonas de pendiente elevada, propensos a sufrir deslizamientos. La implementación de acueductos (Figura 41) y alcantarillados también es un factor importante en la estabilidad de taludes, debido a que es muy común encontrar fugas de agua, produciendo focos de erosión e interviniendo infiltraciones que afectan a suelos permeables en los cuales el agua no sale a la superficie, es por eso que es fundamental determinar los sitios donde exista o pueda existir concentración de agua. Las corrientes de los cuerpos de agua son estables mientras no se modifique su cauce, ni ninguna practica que desequilibre sus condiciones hidráulicas, cabe anotar que debido al trabajo que se está implementando en la vía, en este caso las vibraciones que son otro factor importante de inestabilidad de taludes, se producen constantemente debido al movimiento de maquinaria.

Figura 41. Instalación de acueductos y redes de drenaje en el kilómetro 10 de la vía.



Fuente: Los autores.

6.10 EVALUACION DE LA AMENAZA

6.10.1 Aplicación del método MORA-VAHRSON.

Para la evaluación de las amenazas, los valores asignados por cada variable en los mapas son los siguientes:

- **MAPA GEOLOGICO**

Los datos fueron evaluados según la siguiente tabla:

Tabla 16. Pesos de los diferentes factores a tener en cuenta en la evaluación de amenazas a deslizamientos.

FACTORES GEOLOGICOS				
Factor	Descripción	Categoría	Peso	Observaciones
Litología	Tipo de material	Tipo I		Muy meteorizada
		Cuarcita y Caliza	0.2	multiplicar por 4.
		Granito y Gaugo	0.3	Algo meteorizada
		Neiss	0.4	multiplicar por 3.
				Poco meteorizada
				multiplicar por 2.
		Tipo II		Muy meteorizada
		Areniscas	1.0	multiplicar por 1.5
		Areniscas con algo de lutitas	1.3	Algo meteorizada
				multiplicar por 1.25.
				Poco meteorizada
				multiplicar por 1.1
		Tipo III		
Pizarra y Filita	1.2			
Esquisto	1.3			
Lutitas no arcillosas	1.8			
Lutitas, esquistos o filitas muy meteorizadas.	2.0			
Materiales aluviales antiguos muy bien consolidados	0.8			
Suelos arcillosos	1.0			
Suelos arenosos, blandos	1.4			
Coluviones antiguos	1.2			
Coluviones jóvenes	2.0			

Fuente: Ambalagan (1992).

Coluviones recientes: **2**

Volcánico ignimbrítico: **1.25**

Granitos de la SNSM: **1.28**

- **MAPA DE PENDIENTES**

0 - 3%: **1**

3 - 7%: **1**

7 - 12%: **1**

12 - 25%: **2**

25 - 50%: **3**

50 - 75%: **4**

75 - 100%: **5**

- **MAPA GEOMORFOLOGICO**

Loma denudada: **4**

Lomo denudado alto de longitud larga: **5**

Lomo denudado moderado de longitud larga: **5**

Ladera ondulada: **4**

Lomo residual: **2**

Montículo y ondulaciones Denudacionales:	3
Sierra residual:	2
Plano o llanura de inundación:	1
Terrazas de acumulación:	4
Escarpes de terrazas de acumulación:	4
Terraza de acumulación subreciente:	3

- **MAPA DE COBERTURA Y USO DE SUELOS**

Bosques:	1
Rastrojos:	3
Pastos:	4
Suelos Desnudos:	5

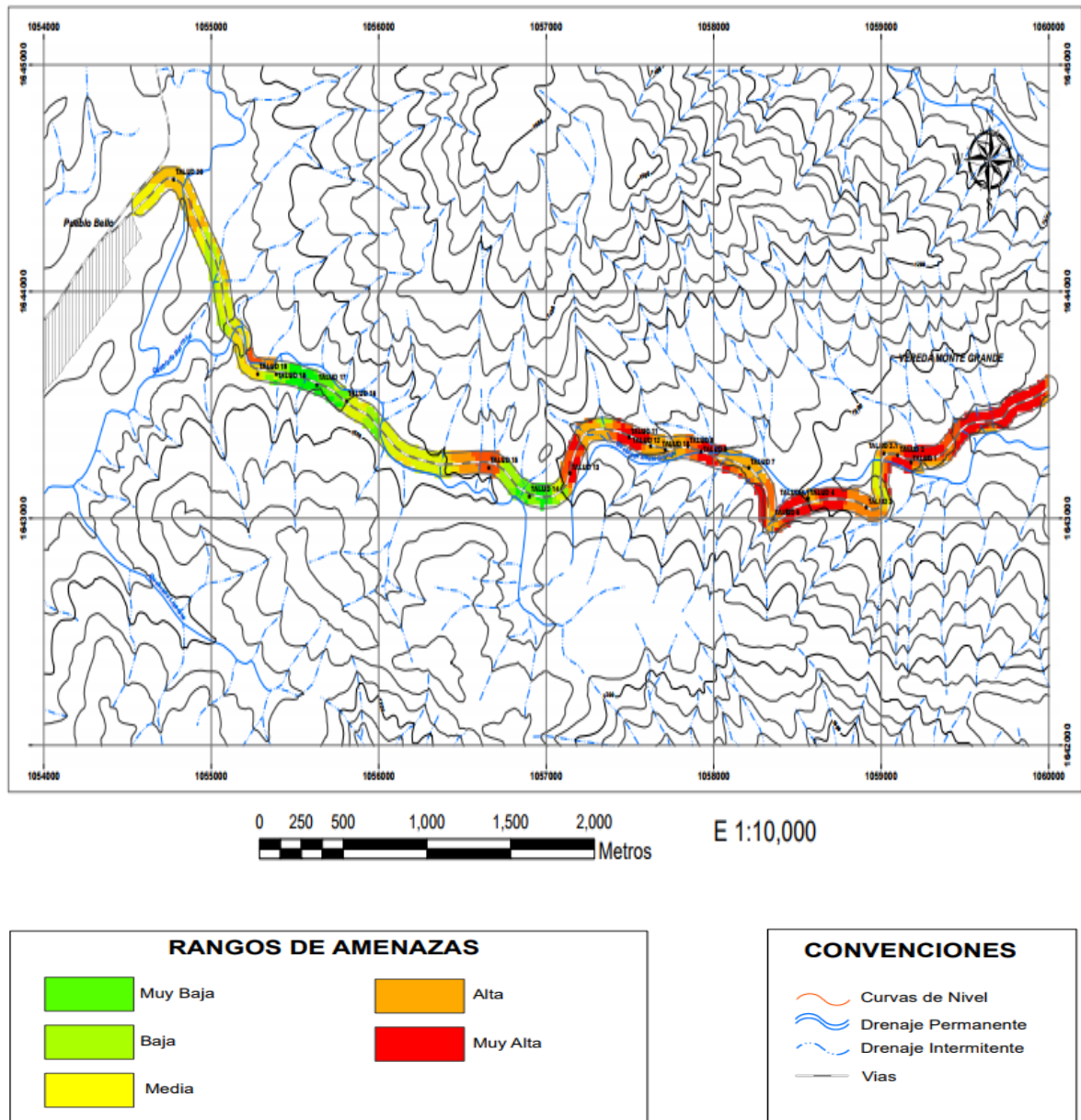
Luego de realizar la microzonificación de amenazas de la vía Monte Grande - Pueblo Bello correspondientes a 18km² de la parte inferior de la plancha 26IVD ICAG 2005. Se le asignaron a cada variable valores porcentuales que sumados generan un 100% de la amenaza total a la que está expuesta el área. Tales porcentajes fueron atribuidos según la influencia que pueda tener cada uno de estos factores; en el caso de la geología y la geomorfología se le asignó un porcentaje del 30% debido a que son variables intrínsecas del terreno que no pueden modificarse, además existe una condición en la evaluación de amenazas donde por más predominancia que tenga un factor su valor no debe exceder el

30% según el método de Mora Vahrson 1992. A diferencia de los mapas de pendientes cobertura y uso del suelo; los cuales a pesar de las condiciones intrínsecas que presenta el terreno pueden ser modificadas por la actividad humana y por ende varía el porcentaje que se le pueda asignar; tales valores se ilustran a continuación:

- Mapa Geológico: **30 %**
- Mapa de Pendiente: **25 %**
- Mapa Geomorfológico: **30 %**
- Mapa de Cobertura y Uso de Suelo: **15 %**

6.10.2 Mapa de microzonificación de amenazas por remoción en masa en la vía Pueblo Bello - Monte Grande.

Figura 42. Mapa de amenazas por remoción en masa correspondiente a los 8km viales entre la cabecera municipal de Pueblo Bello y la vereda Monte Grande.



Fuente. Los Autores

Con base en la geología, la geomorfología, las pendientes y la cobertura de suelo, se lograron obtener los diferentes niveles de amenazas por remoción en masa presentes en la vía Monte Grande- Pueblo Bello, plasmados en el mapa anterior. Observando de manera general, lo siguiente:

En la zona NE del área de estudio, correspondiente a la Cuchilla de San Quintín y el Cerro el Internado, predominan los niveles de amenaza Muy alto y Alto, aunque también se logra observar que dentro de estos existen algunas pequeñas zonas donde el nivel es medio y muy bajo. A diferencia de la parte NW del mapa que corresponde a la cabecera municipal de Pueblo Bello, donde los niveles de amenaza que predominan van de bajo a muy bajo, debido a que el municipio se encuentra sobre una terraza de acumulación. Logrando observar también, niveles altos y muy altos hacia el NW pero en pequeñas proporciones.

En la zona SE donde se encuentran la vereda Monte grande, Las delicias y el Cerro la cruz, los niveles de amenaza por remoción en masa que predominan son Muy alto y alto, aunque se puede observar una franja alargada en medio de la zona que se extiende en sentido SE – SW con un nivel de amenaza bajo y muy bajo a estos efectos de remoción. Todo lo contrario, se observa en la zona SW correspondiente al Cerro la cruz, y la Región piedra parada. Donde se observa un cambio brusco en los niveles de amenaza que van de Medio, Bajo y Muy bajo, debido a que la topografía presenta un relieve bajo.

-NIVELES DE AMENAZA

- **Zona de amenaza Muy Baja y Baja.**

Figura 43. Talud que presenta nivel de amenaza muy baja y baja.



Fuente: Los autores.

Corresponde a las zonas donde la cobertura vegetal es escasa. Esta zona se caracteriza por pendientes que van de 0-7 % propias de suelos que han sido derivados de rocas ígneas (ignimbritas, brechas y Cuarzosienita). Además, estos suelos están conformados por materiales como los limos y las arenas que poseen características que los definen como resistentes. En esta categoría se incluyen los taludes 14, 17 y 18.

- **Zona de amenaza Media**

Figura 44. Talud que presenta nivel de amenaza media.



Fuente: Los autores.

Corresponde a las zonas donde por lo general hay poca vegetación y las coronas de los taludes no se encuentran bien cubiertas permitiendo la infiltración de agua y la erosión del material que compone el talud, se caracteriza por poseer pendientes entre 7-12% propias de suelos como arenas finas y arcillas, este último incide en la inestabilidad de los taludes. En esta categoría se incluyen los taludes 16 y 19.

- **Zona de amenaza alta**

Figura 45. Talud que presenta nivel de amenaza alta.



Fuente: Los Autores.

Este nivel de amenaza se encuentra en la parte Este de la vía y de manera general es uno de los más predominantes, donde las pendientes correspondientes a estos suelos van desde 12 a 25% y se pueden observar laderas abruptas. Los materiales que componen estos taludes son inestables siendo más susceptibles a que se produzcan deslizamientos.

La vegetación es bastante densa, sin embargo, los taludes por lo general se encuentran a la intemperie de la erosión y la lluvia, permitiendo la infiltración de agua generando la desestabilización de los materiales que componen el talud. Los taludes que componen esta categoría son 2, 2.1, 3, 4, 5, 9, 13 y 15.

Figura 46. Talud que presenta nivel de amenaza alta.



Fuente: Los autores.

- **Zona de amenaza Muy alta**

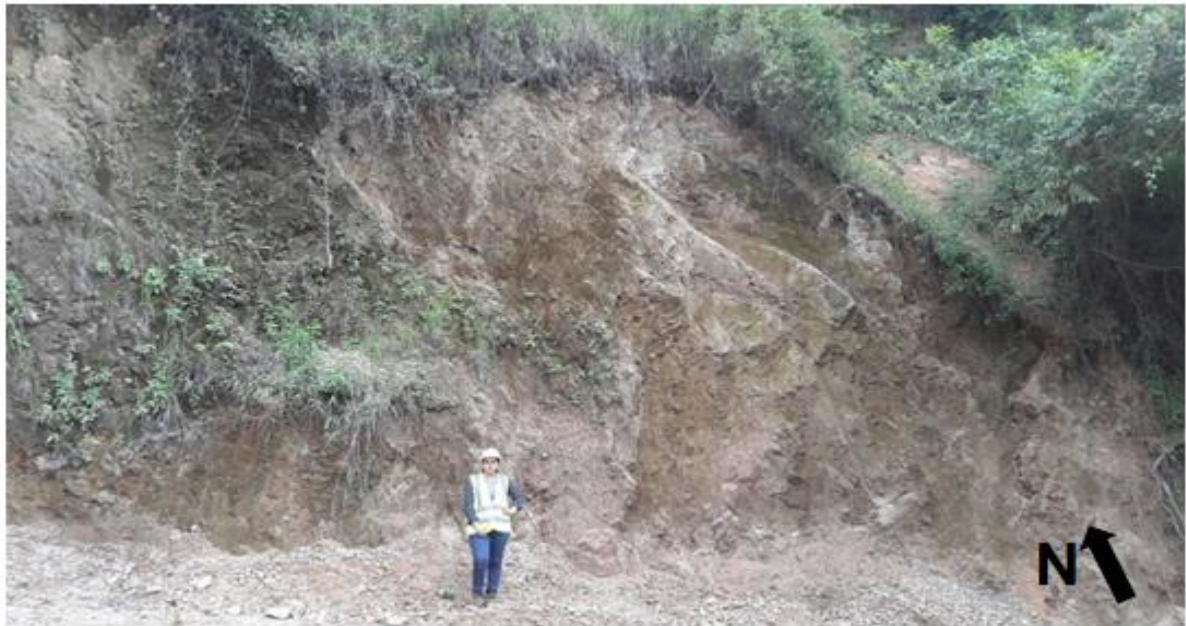
Figura 47. Talud que presenta nivel de amenaza muy alta.



Fuente: Los autores.

Se puede identificar en la parte NE y SE de la vía en donde las pendientes tienen un rango de inclinación del 12 – 25% (fuertemente inclinadas) y en menor proporción del 50 – 75% (ligeramente escarpadas) correspondiente al 10% del área. Las pendientes son muy pronunciadas lo que hace que se supere el ángulo de reposo de los taludes ubicados en esta zona de amenaza; la vegetación que predomina son los bosques con un promedio de precipitación anual de 1000 - 2000mm y mensual de 0-50mm. En esta categoría se incluyen los taludes 6,7, 8, 10, 11 y 12.

Figura 48. Talud que presenta nivel de amenaza muy alta.



Fuente: Los autores.

VII. CONCLUSIONES

- El paso de condiciones estables a inestables en los taludes es generado por sobresaturación de los suelos, debido a que esta zona posee muchos nacimientos de agua, sumado a la alta pluviosidad. Lo que conlleva a una mayor infiltración de agua en los suelos provocando su desestabilización interna.
- Las formaciones geológicas presentes en el mapa geológico de la plancha 26 propuesto por INGEOMINAS 1997 no se pudieron ubicar debido a que estas han estado sometidas a distintos procesos exógenos como; erosión, alteración, meteorización, pedogénesis, y saprolitización, por consiguiente, todos los materiales encontrados en los taludes de la vía son suelos.
- Se determinó mediante el comportamiento geomecánico de los taludes y el estudio de la metodología de MORA-VARHSON que los factores detonantes más influyentes al momento de producirse movimientos de remoción en masa, son las altas precipitaciones y la antropización.
- En los taludes presentes en la vía Monte Grande-Pueblo Bello se pudo constatar que ninguno de estos ha expuesto su plano de falla, evidenciado por sus pendientes casi verticales. Por lo tanto, las caídas de materiales que se presentan en ellos son considerados procesos de deterioro.
- Se pudo constatar que las compacidades de los taludes muestreados en las estaciones 2 (arena fina) al este, 6 (arcilla) y 11 (limo) al centro, 20 (coluvión) al oeste son variables, pudiendo establecer que las condiciones del suelo arenoso que compone el tramo sur en la vereda Monte Grande

son estables, con resultados positivos; la zona céntrica de la vía presenta un comportamiento regular, al igual que el sector norte en los límites con la cabecera municipal de Pueblo Bello.

- Los suelos más finos como las arcillas ubicadas en el sector de Monte Grande arrojaron valores de densidad seca más bajos que los arrojados por las arenas con tamaño de grano mayor 5mm, distribuidas en todo el tramo en la vía.
- De los taludes intervenidos, 20 fueron clasificados granulométricamente de los cuales 11 de estos son arenosos de grano fino ubicados en la parte central entre los kilómetros 4 y 6; 4 arcillosos en el kilómetro 7; 4 limosos en los kilómetros 2 y 4. Y un coluvión en la entrada a la cabecera municipal (km 1 -800m). Por lo tanto, se logró determinar por medio de estudios de fricción interna, compactación y densidad seca; que el comportamiento geomecánico promedio de los taludes estudiados es bueno en épocas seca en donde la humedad natural no ha sido alterada.
- Los suelos clasificados según la AASTHO poseían en su mayoría grandes contenido de Caolinita producto de la alteración de los minerales de feldespatos en las rocas que generaron dichos suelos.
- En las quebradas Monte Grande – Km 6 y Barroso - Km 14, se encontraron tres pequeños afloramientos correspondientes a roca ígneas de origen plutónico y volcánico que no se encuentran cartografiadas en el mapa geológico del departamento del Cesar INGEOMINAS 1997, tales como Sienita, Cuarzosienita y Basalto clasificadas mediante el triángulo de Streckeisen.

- Los niveles de amenaza observados en la parte NW y SW del mapa que corresponde a la cabecera municipal de Pueblo Bello, van de bajo a muy bajo debido a que el municipio se encuentra sobre una terraza de acumulación y sus suelos están constituidos por depósitos aluviales recientes.
- En la zona NE y SE (Cuchilla San Quintin, Vereda Monte Grande, Las Delicias) de la zona de estudio predominan los niveles de amenaza Muy alto y Alto, condicionados por las altas pendientes que superan su ángulo de reposo. Aumentando la susceptibilidad a producirse un movimiento de remoción en masa.

VIII. RECOMENDACIONES

8.1 PROCESOS DE DETERIORO

Los procesos de deterioro pueden considerarse como uno de los detonadores principales de los deslizamientos, debido a que modifican las condiciones físicas, químicas y mecánicas originales del talud, incrementando su susceptibilidad. En la zona de estudio se lograron identificar los siguientes procesos de deterioro, agrupados en las siguientes categorías:

8.1.1 Desmoronamiento

En esta categoría se incluyen los taludes (1, 5, 11,14) debido a que presentan bloques de diferentes dimensiones tanto en la corona como en la estructura del talud; y puede representar una amenaza significativa, produciendo acumulaciones de material al pie del talud, que puede imposibilitar el tránsito en la vía.

Algunas de las soluciones para este tipo de proceso de deterioro, según el libro del Ingeniero Jaime Suarez son:

- Construcción de bermas, colocación de mallas, gunitado
- Estructuras de contención (Gaviones)
- Cosido de grandes bloques (anclajes, bulones)
- Reducir en áreas de afección severa el ángulo de inclinación

8.1.2 Caída de granos

Este tipo de proceso es uno de los que más se presentan en la zona de estudio observándose en los taludes (3, 6, 7, 8, 15, 16, 18, 19) debido a que están compuestos por materiales desde muy finos a medio, y se logra observar en ellos

desintegración, provocando pérdida en la resistencia de las uniones intergranulares produciendo microgrietas, que causan el debilitamiento y pérdida del soporte del talud.

Se proponen como soluciones para este tipo de proceso de deterioro, la limpieza de los residuos que se encuentran al pie de talud y concreto lanzado o refuerzo local.

8.1.3 Lavado superficial o erosión

En este grupo se incluyen los taludes (2, 4, 9, 17) debido a que presentan desprendimientos, transporte y depositación de partículas. También se logran observar pequeños canales o surcos en el cuerpo del talud generados principalmente por el agua o el viento, produciendo posteriormente sedimentación de materiales en el pie del talud.

Soluciones para este tipo de proceso: Construcción de obras de drenaje y bioingeniería, concreto dental, concreto lanzado, y modificaciones de la topografía del talud.

8.1.4 Flujo de detritos

En esta categoría se incluyeron los taludes (10, 12, 13) debido a que sus partículas finas no se encuentran totalmente consolidadas, y pueden ocasionar fáciles desprendimientos del talud en forma de flujo en presencia del agua o cargas en la corona del talud. Este proceso puede crear amenaza de moderada a alta.

Para este caso en específico, no hay soluciones estándares que puedan tomarse como referencia, por eso es necesario hacer un estudio detallado del problema para poder darle la solución más conveniente.

8.1.5 Caída de rocas

En esta categoría se incluye el aluvión, compuesto por detritos y rocas de distintos tamaños, su soporte se ha ido perdiendo debido a la erosión por el viento y las fuertes lluvias, provocando un debilitamiento y desprendimiento de los materiales que se depositan en el pie del talud, obstruyendo la vía e imposibilitando el paso de los transeúntes generando una amenaza.

Las soluciones planteadas para este tipo de proceso de deterioro son: Mallas de triple torsión, soil nailing (gunita + anclaje + drenajes), estructuras de contención y generación de pasillos de protección al pie del talud.

En la zona de estudio para los procesos de deterioro que presenta cada talud se recomienda inicialmente limpiar los residuos que se encuentran al pie de ellos, reducir el ángulo de inclinación en áreas de afectación severa y finalmente implementar la solución adecuada para cada uno. Dependiendo del tipo de proceso de deterioro que presenten se realiza la construcción de terrazas, bermas colocación de mallas, concreto lanzado o refuerzo local, construcción de obras de drenaje y/o bioingeniería, estructuras de contención (Gaviones), entre otras. Con el fin de generar una óptima estabilización y así poder reducir el índice de amenaza que presenta la vía por procesos de remoción en masa.

IX. BIBLIOGRAFIA

ARAYA VERGARA, J. Apuntes de Cátedra de Geomorfología. Escuela de Geografía. Santiago de Chile. 2002.

ARISTIZÁBAL, E; et al. Análisis de umbrales empíricos de lluvia para el pronóstico de movimientos en masa en el valle de Aburrá, Colombia. 2011.

ARISTIZÁBAL. et. al. Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare, convenio Cornare-gobernación Antioquia municipio del Santuario. Editorial 2011-CF-12-0051 Y 217-2011. 2010

ASTM D 1557. J. E. Bowles. Experimento N° 9. MTC E 115-2000. URL: <http://www.lms.uni.edu.pe/labsuelos/MODOS%20OPERATIVOS/Proctor%20Modificado.pdf>

BAÑÓN BLÁZQUEZ, Luis. Manual de carreteras. Ingeniera técnica de obras públicas. España, Alicante. Universidad de Alicante, escuela politécnica superior. Cap. 17. 15 septiembre, 1999

BUSTABAD, R. El Bulk Carrier en la práctica. 1980.

CARRASCO, N. 2000. Peligros de remoción en masa en el sector de San José de Maipo, Región Metropolitana. Geólogo. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

CARTAYA, S; MÉNDEZ, W; y PACHECO, H. Modelo de zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de información geográfica. 2006.

CONGRESO DE COLOMBIA. Ley 1523, Gestión del riesgo, responsabilidad, principios, definiciones y Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Cap. I. Abril 24, 2012

COQUE, ROGER (1984). Geomorfología, Paris: Editorial Armand Collin.

CORNARE. Evaluación y zonificación de riesgos y dimensionamiento de procesos erosivos en los 26 municipios de la jurisdicción de Cornare. convenio Cornare-gobernación de Antioquia. 2011-cf-12-0051 y 217-2011. municipio de Granada. 2012.

COROMINAS, Jordi. Doctor en Ciencias Geológicas. Catedrático de Ingeniería Geológica en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. p. 1.

CRUDEN, D.M y VARNES, D.J. Landslides: investigation and mitigation. Chapter3: Landslides Types and Processes. July 15, 1996.

DANE. Proyecciones de población municipales por área. Colombia. 2005 – 2020.[URL:http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion](http://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/proyecciones-de-poblacion)

EL PILON. Deslizamientos de tierra bloquean vía a Pueblo Bello. Web:
[URL:http://elpilon.com.co/deslizamientos-tierra-bloquean-via-pueblo-bello/](http://elpilon.com.co/deslizamientos-tierra-bloquean-via-pueblo-bello/)

EL TIEMPO. Pueblo Bello, en observación por deslizamientos. Web:
[URL:http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-823706](http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-823706)

FLAGEOLLET, J.C., 1996. The time dimension in the study of mass movements. *Geomorphology*, 15: 185-190.

GOBERNACIÓN DEL CESAR. Rehabilitación y pavimentación de la vía Zanjón – Pueblo Bello, Departamento del Cesar. Etapa II y atención a emergencias” y “Rehabilitación y pavimentación de la vía la Honda – Pueblo Bello, Departamento del Cesar. 2017.

GONZÁLEZ, G. Precipitaciones extremas y sus implicaciones en procesos de remoción en masa en la planificación urbana de Tampico, México. 2011.

GOOGLE BOOKS. Método de cálculo de estabilidad de taludes.

HIDALGO, C y ASSIS, A., Evaluación cuantitativa del riesgo por deslizamientos detonados por lluvia en una carretera del noroeste de Colombia. Medellín – Colombia y Brasilia – Brasil. 2013

IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2013.
[URL:http://www.ideam.gov.co/](http://www.ideam.gov.co/)

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2005.
[URL:http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/ab58228047d01fd08ca7cc23e186de1d/Informe+de+Gestion+2005.pdf?MOD=AJPERES](http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/ab58228047d01fd08ca7cc23e186de1d/Informe+de+Gestion+2005.pdf?MOD=AJPERES)

INVIAS. Instituto nacional de vías. Normas y especificaciones. 2012.
[URL:ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Especificaciones%20Generales%20de%20Construcci%C3%B3n%20de%20carreteras/CAP%20TULO%201_1.pdf](ftp://ftp.ani.gov.co/Licitaci%C3%B3n%20VJVGCLP%20001-2016-M-1/Especificaciones%20Generales%20de%20Construcci%C3%B3n%20de%20carreteras/CAP%20TULO%201_1.pdf)

MAYORGA. R. Determinación de umbrales de lluvia detonante de deslizamientos en Colombia. Bogotá. 2003.

MONTALAR, Enrique. Blog de geotecnia, ingeniería y opinión. 2009. URL:
<http://enriquemontalar.com/un-blog-de-geotecnia-ingenieria-y-opinion/>

ORDÓÑEZ, ANTE, Carlos. El perfil de meteorización en la ingeniería geotécnica. Politécnica N. 1. Medellín, Colombia. Junio – Octubre, 2005, p.p. 47-54.

PLAN DE DESARROLLO DEL MUNICIPIO DE PUEBLO BELLO. 2012-2015.
[URL:http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pueblobellocesarpd20122015.pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/pueblobellocesarpd20122015.pdf)

POVEDA ORDUÑA, Jhon y VARGAS ALDANA, Guillermo. Estabilización del talud en el pr 55 + 950 de la vía Manizales, Mariquita. Ingeniería civil. Universidad de la Salle. Bogotá D.C. 2006. P.20.

RICO, A y DEL CASTILLO, H. Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte. 1992

RODAS, R. - ROUSÉ, P. Análisis comparativo de métodos para la medición del Ángulo de Reposo de suelos granulares. Revista de la Construcción. Volumen 9 N° 1. 2010

ROBAYO, F y LOPEZ, L. Zonificación geotécnica preliminar del casco urbano del municipio de Barrancabermeja, Santander. Bogotá – Colombia. 2007. URL:

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/15490/40011501.pdf?sequence=2>

RODRIGUEZ SOLANO, Juan. et, al. Zonificación del peligro de remoción en masa en las zonas urbanas según método de análisis Mora y Vahrson: Estudio de caso. Revista ambiental agua, aire y suelo. ISSN 1900-9178, Volumen 4 número 1. 2003

SGC. Servicio Geológico Colombiano. URL:
<https://www2.sgc.gov.co/paginas/servicio-geologico-colombiano.aspx>

SGC y Universidad EAFIT. Memoria explicativa mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa Esc 1:100.000. Plancha 26 - Pueblo Bello. Medellín, Mayo de 2015.

SIMMA. Servicio de información de movimientos en masa. 2011-2013. URL:
<http://simma.sgc.gov.co/>

SUAREZ, DIAZ, Jaime. Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Bucaramanga – Colombia. Julio de 1998. URL:
<http://www.erosion.com.co/deslizamientos-y-estabilidad-de-taludes-en-zonas-tropicales.html>

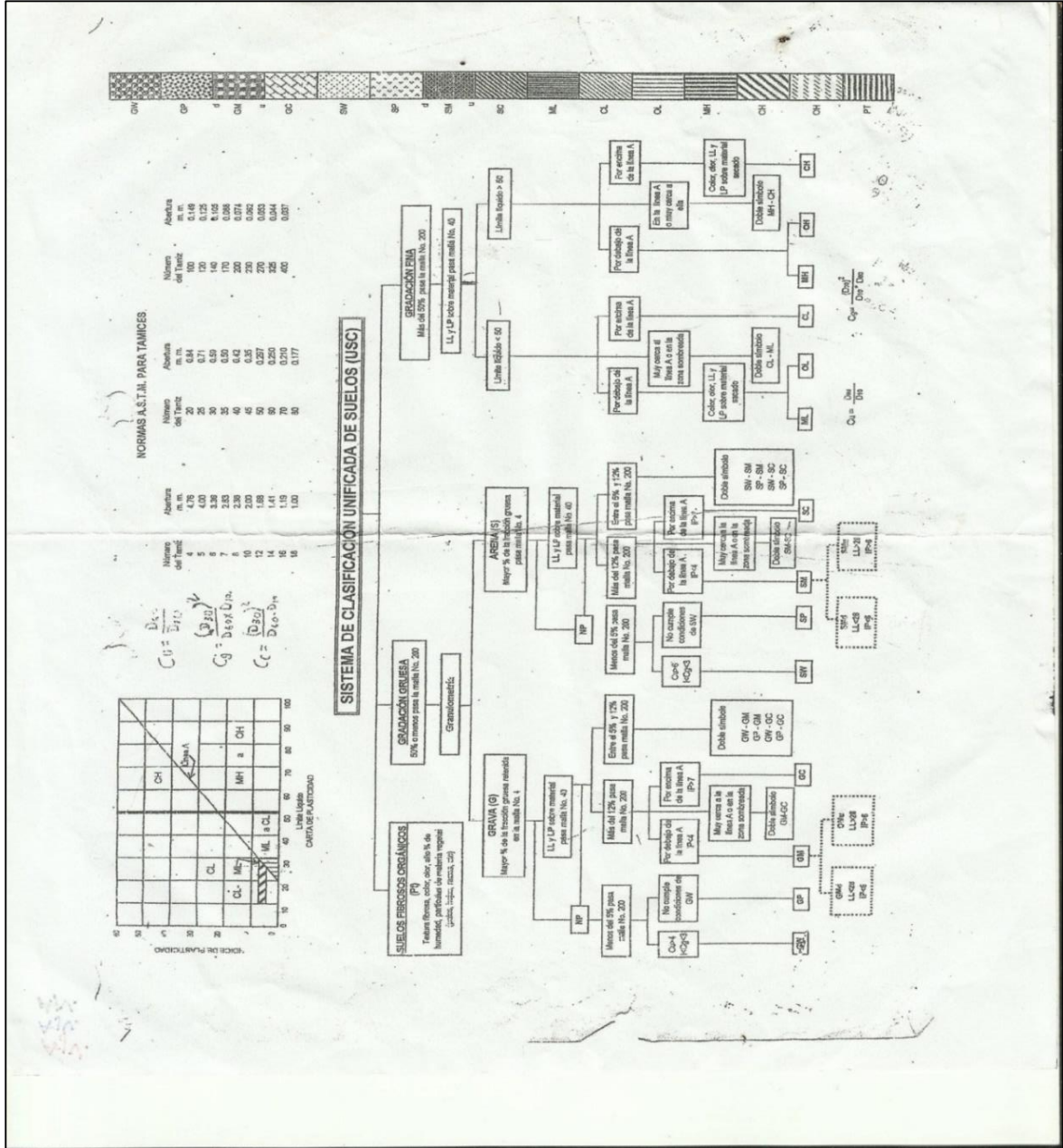
YEPES, V. Cálculo de la capacidad de la hoja empujadora de un Bulldozer. Valencia, España- 2015.

X. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de clasificación de suelos AASTHO

CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN AASTHO																
CLASIFICACION GENERAL	MATERIALES GRANULARES (35% o menos que pasa tamiz # 200)						MATERIALES LIMO - ARCILLOSOS (mas del 35% que pasa tamiz # 200)									
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11					
GRUPO	A-1 a	A-1 b	A-2-1	A-2-2	A-2-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7	A-7-1	A-7-2	A-7-3	A-7-4	A-7-5	A-7-6	A-7-7
ANALISIS GRANULOMETRICO PORCENTAJE QUE PASA:	50 max	50 max	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min	51 min
TAMIZ # 10	30 max	30 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max
TAMIZ # 40	15 max	25 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max	10 max
TAMIZ # 200																
CARACTERISTICAS DE LA FRACCION QUE PASA TAMIZ # 40	6 MAX.															
LIMITE LIQUIDO	N.P.															
INDICE DE PLASTICIDAD	N.P.															
INDICE DE GRUPO	0															
TIPOS DE MATERIAL	FRAGMENTOS DE ARENA, GRAVA Y ARENAS FINAS															
COMPORTEAMIENTO GENERAL COMO SUB - BASANTE	EXCELENTE A BUENA															
EL INDICE DE PLASTICIDAD DEL SUB-GRUPO A-7-5 ES IGUAL O MENOR QUE LL-30	EL INDICE DE PLASTICIDAD DEL SUB-GRUPO A-7-6 ES > LL -30															
INDICE DE GRUPO: $[F-35][0,2+0,005(LL-40)]+0,01(F-15)(IP-10)$	F= % que pasa tamiz # 200; LL= Límite Líquido; IP= Índice de plasticidad.															
CASCAJO (G)	LIMOS (M) Y ARCILLAS (C)															
GW: Cascajo con poco o nada de finos, bien graduado	ML: Limos de baja compresibilidad															
GP: Cascajo poco o nada de finos, mal graduado	CL: Arcillas de baja plasticidad															
GM: Cascajo con porcentaje apreciable de finos, cascajo limoso.	OL: Limos y arcillas orgánicas de baja compresibilidad o plasticidad															
GC: Cascajo con porcentaje apreciable de finos, cascajo arcilloso.	MH: Limos de alta compresibilidad															
	CH: Arcillas de alta plasticidad															
	OH: Limos y arcillas orgánicas de alta compresibilidad o plasticidad															
	PT: Suelos altamente orgánicos.															
	ARENAS: (S)															
	SW: Con poco o nada de finos, bien graduada															
	SP: Con poco o nada de finos, mal graduada															
	SM: Con porcentaje apreciable de finos, arena limosa															
	SC: Con porcentaje apreciable de finos, arena arcillosa															

Anexo 2. Sistema unificado de clasificación de suelos SUCS



Anexo 3. Granulometría de la muestra N° 1

Humedad Natural	
P1=	105,5
P2=	79,7
P3=	19,3
Humedad Natural 42,72	
Granulometría	
Peso Humedo:	701,5
Para Peso Seco:	1,427
Peso Seco:	491,54
K= 0,203	

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	7,10	1,44	99
1/2"	12,5	12,20	2,48	96
3/8"	9,5	1,60	0,33	96
#4	4,75	10,00	2,03	94
#10	2	26,80	5,45	88
#40	0,43	93,60	19,04	69
#200	0,075	102,70	20,89	48
Pasa 200	0,00	237,54	48,33	0
Σ			100	

Anexo 4. Granulometría de la muestra N° 2

Humedad Natural	
P1=	87,8
P2=	83,3
P3=	23,5
Humedad Natural 7,53	
Granulometría	
Peso Humedo:	812,4
Para Peso Seco:	1,075
Peso Seco:	755,54
K= 0,132	

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	5,50	0,73	99
#4	4,75	25,40	3,36	96
#10	2	159,10	21,06	75
#40	0,43	403,10	53,35	22
#200	0,075	93,00	12,31	9
Pasa 200	0,00	69,44	9,19	0
Σ			100	

Anexo 5. Granulometría de la muestra N° 3

Humedad Natural																																																											
P1=	76,7																																																										
P2=	60,8																																																										
P3=	19,3																																																										
Humedad Natural																																																											
	38,31																																																										
Granulometria																																																											
Peso Humedo:	622,4																																																										
Para Peso Seco:	1,383																																																										
Peso Seco:	449,99																																																										
K=																																																											
	0,222																																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th>TAMIZ</th> <th>ABERTURA (mm)</th> <th>Peso Retenido</th> <th>% Retenido</th> <th>% Que Pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1"</td> <td>25,0</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>3/4"</td> <td>19</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1/2"</td> <td>12,5</td> <td>7,70</td> <td>1,71</td> <td>98</td> </tr> <tr> <td>3/8"</td> <td>9,5</td> <td>6,80</td> <td>1,51</td> <td>97</td> </tr> <tr> <td>#4</td> <td>4,75</td> <td>7,20</td> <td>1,60</td> <td>95</td> </tr> <tr> <td>#10</td> <td>2</td> <td>19,00</td> <td>4,22</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td>#40</td> <td>0,43</td> <td>71,60</td> <td>15,91</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td>#200</td> <td>0,075</td> <td>67,20</td> <td>14,93</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Pasa 200</td> <td>0,00</td> <td>270,49</td> <td>60,11</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Σ</td> <td>100</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa	1"	25,0	0,00	0,00	100	3/4"	19	0,00	0,00	100	1/2"	12,5	7,70	1,71	98	3/8"	9,5	6,80	1,51	97	#4	4,75	7,20	1,60	95	#10	2	19,00	4,22	91	#40	0,43	71,60	15,91	75	#200	0,075	67,20	14,93	60	Pasa 200	0,00	270,49	60,11	0			Σ	100	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa																																																							
1"	25,0	0,00	0,00	100																																																							
3/4"	19	0,00	0,00	100																																																							
1/2"	12,5	7,70	1,71	98																																																							
3/8"	9,5	6,80	1,51	97																																																							
#4	4,75	7,20	1,60	95																																																							
#10	2	19,00	4,22	91																																																							
#40	0,43	71,60	15,91	75																																																							
#200	0,075	67,20	14,93	60																																																							
Pasa 200	0,00	270,49	60,11	0																																																							
		Σ	100																																																								

Anexo 6. Limite líquido y plástico de la muestra N°3

LIMITE LIQUIDO			
N° DE GOLPES	25	-	-
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	kama 3	-	-
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	32,2	-	-
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	29,5	-	-
PESO DEL RECIPIENTE (g)	22,9	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	40,9	-	-
LIMITE PLASTICO			
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	Lorenzo 3	Na # 41	Arena G-5
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	20,6	20,6	20,2
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	20,4	20,2	20
PESO DEL RECIPIENTE (g)	19,7	19,3	19,3
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	28,6	44,4	28,6
LIMITE LIQUIDO (%)=	41,0		
LIMITE PLASTICO (%)=	33,9		
INDICE DE PLASTICIDAD=	7,1		

Anexo 7. Granulometría de la muestra N°4 parte 1

Humedad Natural	
P1=	83
P2=	74,2
P3=	19,3
Humedad Natural	16,03
Granulometria	
Peso Humedo:	1492,6
Para Peso Seco:	1,160
Peso Seco:	1286,40
K=	0,078

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	205,10	15,94	84
1/2"	12,5	30,80	2,39	82
3/8"	9,5	35,60	2,77	79
#4	4,75	78,60	6,11	73
#10	2	88,70	6,90	66
#40	0,43	397,02	30,86	35
#200	0,075	240,80	18,72	16
Pasa 200	0,00	209,78	16,31	0
		Σ	100	

Anexo 8. Granulometría de la muestra N° 4 parte 2

Humedad Natural	
P1=	86,1
P2=	75,5
P3=	19,4
Humedad Natural	18,89
Granulometria	
Peso Humedo:	734,8
Para Peso Seco:	1,189
Peso Seco:	618,03
K=	0,162

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	14,20	2,30	98
3/8"	9,5	15,00	2,43	95
#4	4,75	65,90	10,66	85
#10	2	131,70	21,31	63
#40	0,43	197,90	32,02	31
#200	0,075	81,50	13,19	18
Pasa 200	0,00	111,83	18,09	0
		Σ	100	

Anexo 9. Granulometría de la muestra N° 4

LIMITE LIQUIDO			
N° DE GOLPES	24	-	-
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	grava G-5	-	-
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	37,8	-	-
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	33,6	-	-
PESO DEL RECIPIENTE (g)	21,7	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	35,3	-	-
LIMITE PLASTICO			
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	Na #39	2H #19	26* E
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	23,2	20,4	21,2
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	22,8	20,1	21
PESO DEL RECIPIENTE (g)	20,9	19	20,2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	21,1	27,3	25,0
LIMITE LIQUIDO (%)=	35,0		
LIMITE PLASTICO (%)=	24,4		
INDICE DE PLASTICIDAD=	10,6		

Anexo 10. Granulometría de la muestra N° 5 y 6

Humedad Natural				
P1=	68,4			
P2=	56,6			
P3=	19			
Humedad Natural	31,38			
Granulometría				
Peso Humedo:	727,6			
Para Peso Seco:	1,314			
Peso Seco:	553,80			
K=	0,181			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	0,00	0,00	100
#10	2	7,10	1,28	99
#40	0,43	139,40	25,17	74
#200	0,075	152,40	27,52	46
Pasa 200	0,00	254,90	46,03	0
		Σ	100	

Anexo 11. Granulometría de la muestra N°7

Humedad Natural	
P1=	57
P2=	50,9
P3=	20,1
Humedad Natural	19,81
Granulometria	
Peso Humedo:	697,8
Para Peso Seco:	1,198
Peso Seco:	582,45
K=	0,172

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	2,80	0,48	100
3/8"	9,5	4,60	0,79	99
#4	4,75	17,00	2,92	96
#10	2	88,50	15,19	81
#40	0,43	290,10	49,81	31
#200	0,075	89,00	15,28	16
Pasa 200	0,00	90,45	15,53	0
		Σ	100	

Anexo 12. Granulometría de la muestra N°8

Humedad Natural	
P1=	72,2
P2=	61,5
P3=	20,2
Humedad Natural	25,91
Granulometria	
Peso Humedo:	697,3
Para Peso Seco:	1,259
Peso Seco:	553,82
K=	0,181

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	0,50	0,09	100
#10	2	19,90	3,59	96
#40	0,43	163,30	29,49	67
#200	0,075	163,30	29,49	37
Pasa 200	0,00	206,82	37,34	0
		Σ	100	

Anexo 13. Limite líquido y plástico N°8

LIMITE LIQUIDO			
N° DE GOLPES	25	-	-
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	And #1	-	-
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	31,5	-	-
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	28,7	-	-
PESO DEL RECIPIENTE (g)	19,5	-	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	30,4	-	-
LIMITE PLASTICO			
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	Na # 38	Pjl #11	Na # 12
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	22,3	19,6	20,6
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	22,1	19,4	20,4
PESO DEL RECIPIENTE (g)	21,3	18,3	19,8
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	25,0	18,2	33,3
LIMITE LIQUIDO (%)=	31,2		
LIMITE PLASTICO (%)=	25,5		
INDICE DE PLASTICIDAD=	5,7		

Anexo 14. Granulometría de la muestra N°9

Humedad Natural				
P1=	75			
P2=	68,2			
P3=	19,1			
Humedad Natural	13,85			
Granulometria				
Peso Humedo:	506,1			
Para Peso Seco:	1,138			
Peso Seco:	444,54			
K=	0,225			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	1,30	0,29	100
#10	2	39,50	8,89	91
#40	0,43	211,20	47,51	43
#200	0,075	95,10	21,39	22
Pasa 200	0,00	97,44	21,92	0
		Σ	100	

Anexo 15. Granulometría de la muestra N°10

Humedad Natural	
P1=	87,1
P2=	78,6
P3=	18,7
Humedad Natural	14,19
Granulometría	
Peso Humedo:	341,6
Para Peso Seco:	1,142
Peso Seco:	299,15
K=	0,334

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	10,20	3,41	97
#10	2	109,10	36,47	60
#40	0,43	111,10	37,14	23
#200	0,075	32,80	10,96	12
Pasa 200	0,00	35,95	12,02	0
		Σ	100	

Anexo 16. Granulometría de la muestra N° 11

Humedad Natural	
P1=	80,2
P2=	70,9
P3=	21,3
Humedad Natural	18,75
Granulometría	
Peso Humedo:	1070,2
Para Peso Seco:	1,188
Peso Seco:	901,22
K=	0,111

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	5,50	0,61	99
#4	4,75	34,80	3,86	96
#10	2	174,90	19,41	76
#40	0,43	326,80	36,26	40
#200	0,075	159,70	17,72	22
Pasa 200	0,00	199,52	22,14	0
		Σ	100	

Anexo 17. Granulometría de la muestra N°12

Humedad Natural				
P1=	85			
P2=	70,9			
P3=	19,6			
Humedad Natural 27,49				
Granulometría				
Peso Humedo:	1000,5			
Para Peso Seco:	1,275			
Peso Seco:	784,80			
K= 0,127				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	34,50	4,40	96
3/8"	9,5	19,80	2,52	93
#4	4,75	41,40	5,28	88
#10	2	42,30	5,39	82
#40	0,43	155,50	19,81	63
#200	0,075	122,00	15,55	47
Pasa 200	0,00	369,30	47,06	0
		Σ	100	

Anexo 18. Limite líquido y plástico de la muestra N° 12

LIMITE LIQUIDO			
N° DE GOLPES	-	-	26
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	-	-	Lorenzo 1
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	-	-	34,4
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	-	-	30,3
PESO DEL RECIPIENTE (g)	-	-	19,2
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	-	-	36,9
LIMITE PLASTICO			
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	Andrea 1	Andrea 2	Andrea 3
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	20,8	21,9	21,3
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	20,6	21,7	21
PESO DEL RECIPIENTE (g)	19,6	20,6	19,8
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	20,0	18,2	25,0
LIMITE LIQUIDO (%)=	35,4		
LIMITE PLASTICO (%)=	21,1		
INDICE DE PLASTICIDAD=	14,3		

Anexo 19. Granulometría de la muestra N° 13

Humedad Natural	
P1=	90,6
P2=	86,5
P3=	20
Humedad Natural 6,17	
Granulometria	
Peso Humedo:	459,5
Para Peso Seco:	1,062
Peso Seco:	432,82
K= 0,231	

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	3,80	0,88	99
3/8"	9,5	15,60	3,60	96
#4	4,75	79,30	18,32	77
#10	2	116,40	26,89	50
#40	0,43	129,60	29,94	20
#200	0,075	50,70	11,71	9
Pasa 200	0,00	37,42	8,64	0
		Σ	100	

Anexo 20. Granulometría de la Muestra N° 14

Humedad Natural	
P1=	61,4
P2=	51,7
P3=	20,2
Humedad Natural 30,79	
Granulometria	
Peso Humedo:	808,1
Para Peso Seco:	1,308
Peso Seco:	617,84
K= 0,162	

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	0,80	0,13	100
#10	2	6,10	0,99	99
#40	0,43	10,30	1,67	97
#200	0,075	252,20	40,82	56
Pasa 200	0,00	348,44	56,40	0
		Σ	100	

Anexo 21. Límite líquido y plástico de la muestra N° 14

LIMITE LIQUIDO			
N° DE GOLPES	20	25	-
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	Pb #08	Na # 7	-
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	35,5	35,6	-
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	31,4	31,4	-
PESO DEL RECIPIENTE (g)	19,2	18,9	-
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	33,6	33,6	-
LIMITE PLASTICO			
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	Na #28	Alv 0001	Alj #3
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	23,6	22,2	20,9
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	23,3	21,9	20,4
PESO DEL RECIPIENTE (g)	18,9	19,2	18,8
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6,8	11,1	31,3
LIMITE LIQUIDO (%)=	34,0		
LIMITE PLASTICO (%)=	16,4		
INDICE DE PLASTICIDAD=	17,6		

Anexo 22. Granulometría de la muestra N° 15

Humedad Natural				
P1=	72,9			
P2=	59			
P3=	18,8			
Humedad Natural	34,58			
Granulometria				
Peso Humedo:	781,1			
Para Peso Seco:	1,346			
Peso Seco:	580,41			
K=	0,172			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	8,90	1,53	98
1/2"	12,5	4,10	0,71	98
3/8"	9,5	8,10	1,40	96
#4	4,75	4,40	0,76	96
#10	2	10,90	1,88	94
#40	0,43	21,80	3,76	90
#200	0,075	39,90	6,87	83
Pasa 200	0,00	482,31	83,10	0
		Σ	100	

Anexo 23. Limite líquido y plástico de la muestra N° 15

LIMITE LIQUIDO			
N° DE GOLPES	15	23	26
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	#37*	Lp3 M2	Na #6
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	35,1	30,2	31
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	30,1	26,9	28,2
PESO DEL RECIPIENTE (g)	19,9	19,6	21,5
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	49,0	45,2	41,8
LIMITE PLASTICO			
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	J #1	Lp 2	Ajv-17
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	20,8	21,4	20,6
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	20,4	20,9	20,5
PESO DEL RECIPIENTE (g)	19,5	19,2	19,7
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	44,4	29,4	12,5
LIMITE LIQUIDO (%)=	43		
LIMITE PLASTICO (%)=	28,8		
INDICE DE PLASTICIDAD=	14,2		

Anexo 24. Granulometría de la muestra N° 16

Humedad Natural	
P1=	61,3
P2=	50,8
P3=	21,6
Humedad Natural	35,96
Granulometría	
Peso Humedo:	734,1
Para Peso Seco:	1,360
Peso Seco:	539,94
K=	0,185

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	4,40	0,81	99
#10	2	10,90	2,02	97
#40	0,43	38,20	7,07	90
#200	0,075	105,70	19,58	71
Pasa 200	0,00	380,74	70,52	0
		Σ	100	

Anexo 25. Limite líquido y plástico de la muestra N°16

LIMITE LIQUIDO			
N° DE GOLPES	12	18	27,0
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	grava G-5	Pjl #35	Pjl #14
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	33,1	30,4	31,1
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	28,7	27,7	28,0
PESO DEL RECIPIENTE (g)	20,3	20,8	21,7
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	52,4	39,1	49,2
LIMITE PLASTICO			
ETIQUETA DEL RECIPIENTE	Ll.2 m2	AJV-52	Jhony #10
PESO RECIP. + MAT. HUMEDO (g)	19,7	20,4	21,2
PESO RECIP. + MAT. SECO (g)	19,4	20,1	20,9
PESO DEL RECIPIENTE (g)	18,9	19,3	20,1
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	60,0	37,5	37,5
LIMITE LIQUIDO (%)=	36,0		
LIMITE PLASTICO (%)=	45,0		
INDICE DE PLASTICIDAD=	9,0		

Anexo 26. Granulometría de la muestra N° 17

Humedad Natural	
P1=	64,1
P2=	53
P3=	19,7
Humedad Natural	33,33
Granulometría	
Peso Humedo:	428,6
Para Peso Seco:	1,333
Peso Seco:	321,45
K=	0,311

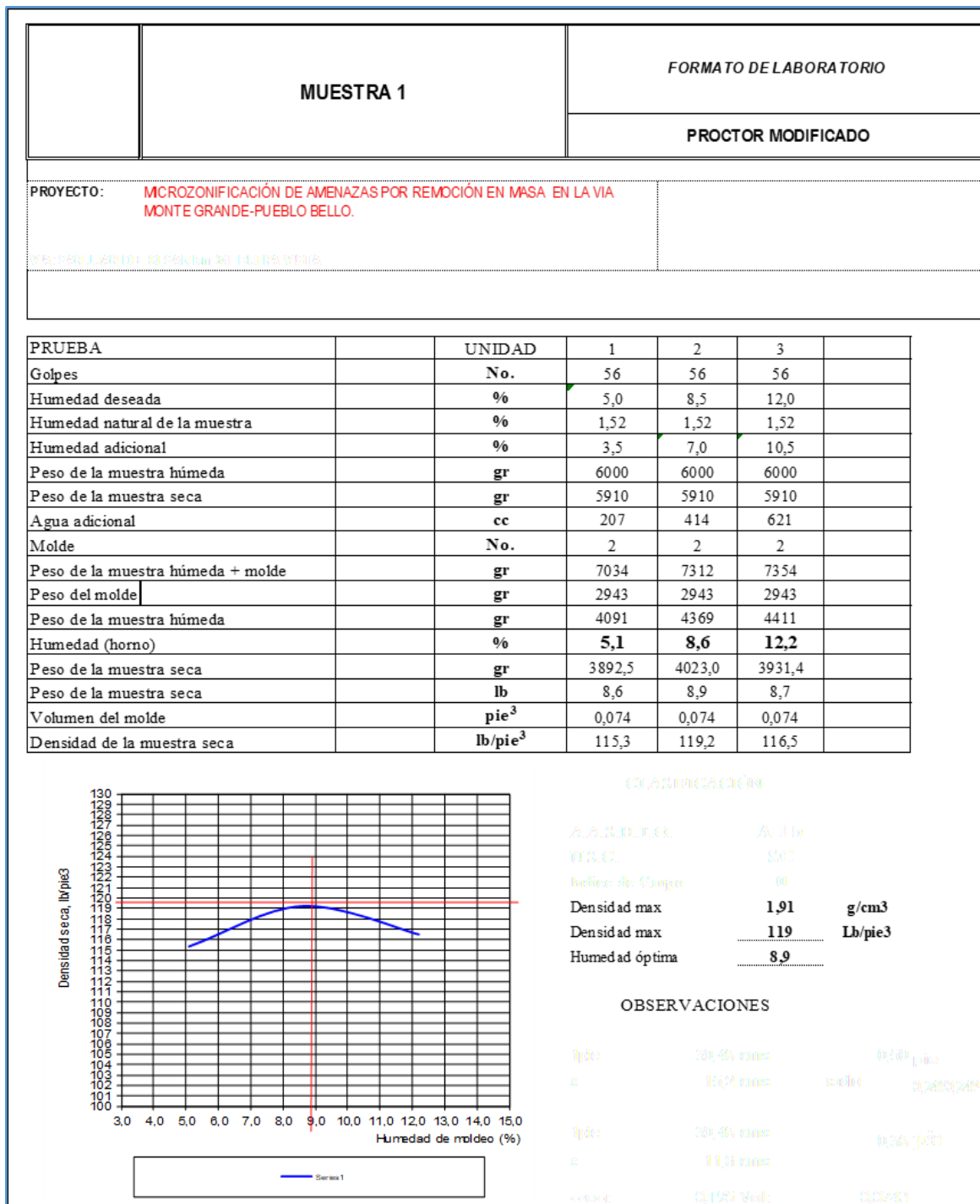
TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	0,60	0,19	100
#10	2	7,20	2,24	98
#40	0,43	17,80	5,54	92
#200	0,075	32,40	10,08	82
Pasa 200	0,00	263,45	81,96	0
		Σ	100	

Anexo 27. Granulometría de la muestra N°18

Humedad Natural	
P1=	86,8
P2=	69,8
P3=	21,1
Humedad Natural 34,91	
Granulometría	
Peso Humedo:	983
Para Peso Seco:	1,349
Peso Seco:	728,65
K= 0,137	

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Que Pasa
1"	25,0	0,00	0,00	100
3/4"	19	0,00	0,00	100
1/2"	12,5	0,00	0,00	100
3/8"	9,5	0,00	0,00	100
#4	4,75	0,00	0,00	100
#10	2	2,80	0,38	100
#40	0,43	27,20	3,73	96
#200	0,075	67,50	9,26	87
Pasa 200	0,00	631,15	86,62	0
		Σ	100	

Anexo 28. Ensayo proctor modificado, muestra N1



Anexo 29. Ensayo proctor modificado, muestra N2

	MUESTRA 2	FORMATO DE LABORATORIO			
		PROCTOR MODIFICADO			
PROYECTO:		MICROZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR REMOCIÓN EN MASA EN LA VÍA MONTE GRANDE-PUEBLO BELLO.			
FECHA:		10/03/2020			
PRUEBA					
	UNIDAD	1	2	3	
Golpes	No.	56	56	56	
Humedad deseada	%	8,0	11,1	14,2	
Humedad natural de la muestra	%	4,89	4,89	4,89	
Humedad adicional	%	3,1	6,2	9,3	
Peso de la muestra húmeda	gr	6000	6000	6000	
Peso de la muestra seca	gr	5720	5720	5720	
Agua adicional	cc	177	355	532	
Molde	No.	2	2	2	
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	7015	7237	7215	
Peso del molde	gr	2943	2943	2943	
Peso de la muestra húmeda	gr	4072	4294	4272	
Humedad (horno)	%	8,0	11,0	14,1	
Peso de la muestra seca	gr	3770,4	3868,5	3744,1	
Peso de la muestra seca	lb	8,3	8,5	8,2	
Volumen del molde	pie ³	0,074	0,074	0,074	
Densidad de la muestra seca	lb/pie ³	111,7	114,6	110,9	
AASDTC	A 11				
USC	UC				
Índice de Golpes	0				
Densidad max	1,84 g/cm ³				
Densidad max	114,9 Lb/pie ³				
Humedad óptima	10,9				

Anexo 31. Ensayo proctor modificado, muestra N4

MUESTRA 4		FORMATO DE LABORATORIO				
		PROCTOR MODIFICADO				
PROYECTO: MICROZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR REMOCION EN MASA EN LA VÍA MONTE GRANDE-PUEBLO BELLO.						
P. N. EVALUACIÓN DE RIESGOS DE DESASTRES NATURALES						
PRUEBA	UNIDAD	1	2	3		
Golpes	No.	56	56	56		
Humedad deseada	%	8,9	12,9	16,9		
Humedad natural de la muestra	%	4,89	4,89	4,89		
Humedad adicional	%	4,0	8,0	12,0		
Peso de la muestra húmeda	gr	6000	6000	6000		
Peso de la muestra seca	gr	5720	5720	5720		
Agua adicional	cc	229	458	686		
Molde	No.	2	2	2		
Peso de la muestra húmeda + molde	gr	6937	7156	6951		
Peso del molde	gr	2943	2943	2943		
Peso de la muestra húmeda	gr	3994	4213	4008		
Humedad (horno)	%	8,9	12,9	16,9		
Peso de la muestra seca	gr	3667,6	3731,6	3428,6		
Peso de la muestra seca	lb	8,1	8,2	7,6		
Volumen del molde	pie ³	0,074	0,074	0,074		
Densidad de la muestra seca	lb/pie ³	108,7	110,6	101,6		

Densidad seca, lb/pie³

Humedad de moldeo (%)

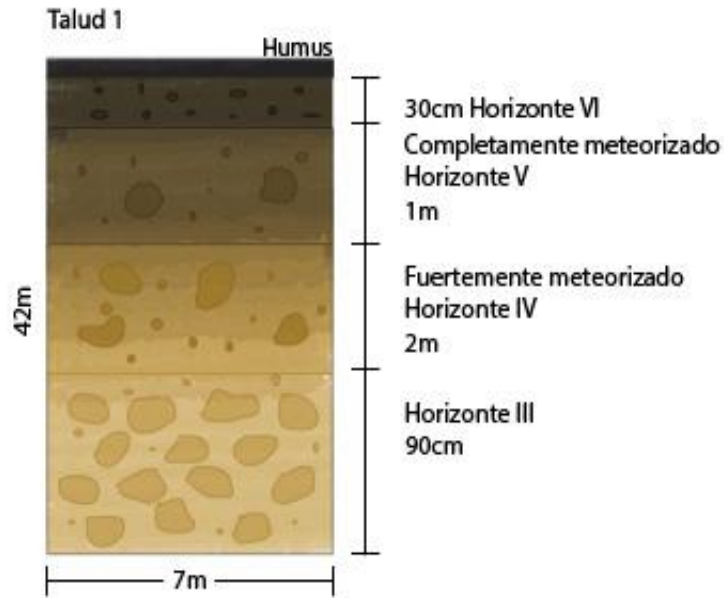
CLASIFICACIÓN

ASPECTO	Azul	
USO	Gr	
Índice de Sangre	0	
Densidad max	1,78	g/cm ³
Densidad max	<u>111</u>	Lb/pie ³
Humedad óptima	<u>12,0</u>	

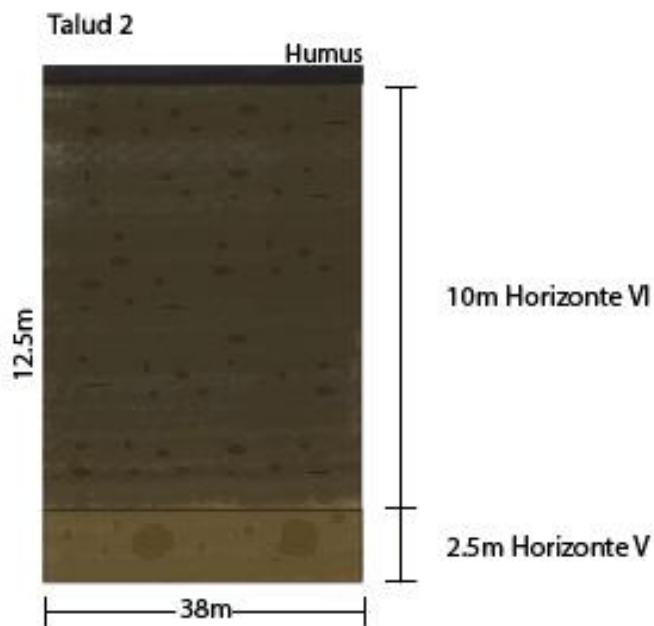
OBSERVACIONES

Módulo	200,0% a 1000	0,000 pie ³
ρ	11,2% a 1000	6000g a 10000g
Módulo	200,0% a 1000	0,000 pie ³

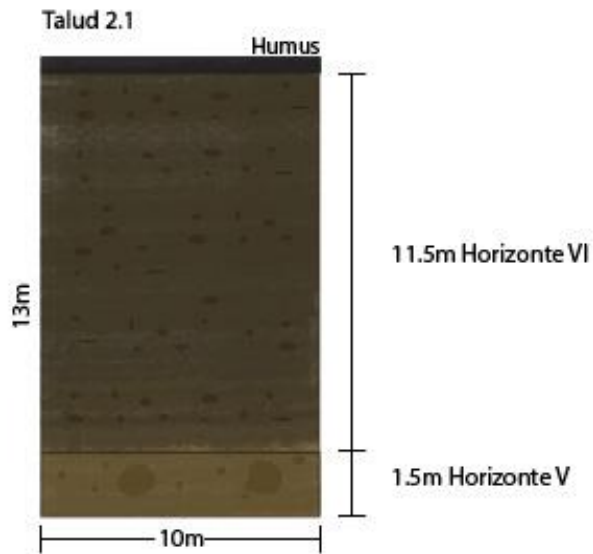
Anexo 32. Perfil de meteorización. Talud N1.



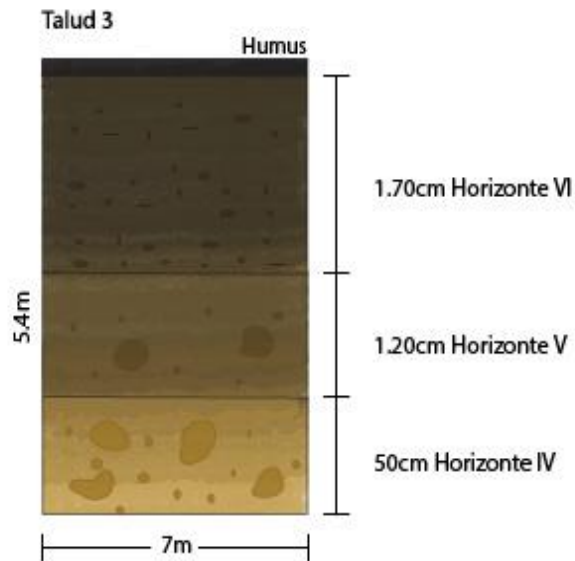
Anexo 33. Perfil de meteorización. Talud N2.



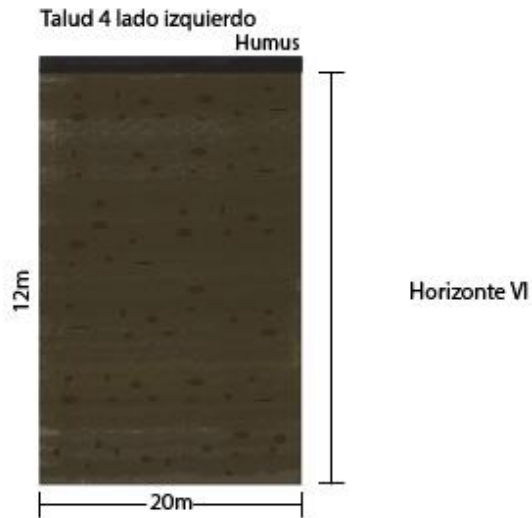
Anexo 34. Perfil de meteorización. Talud N2.1



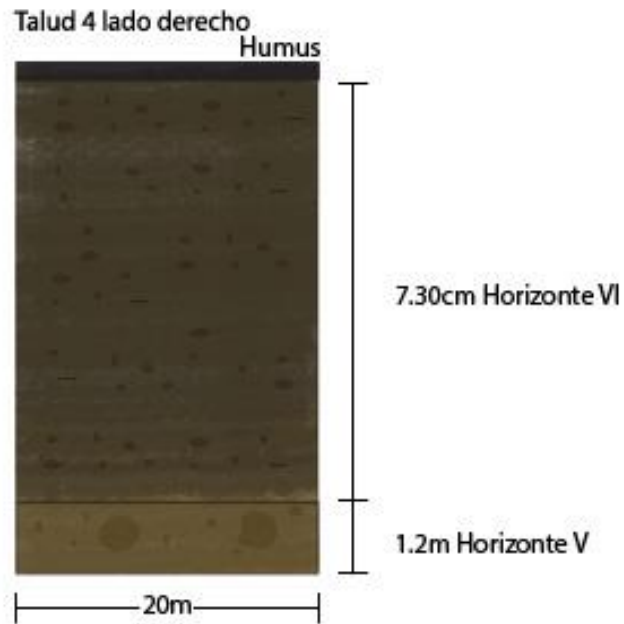
Anexo 35. Perfil de meteorización. Talud N3.



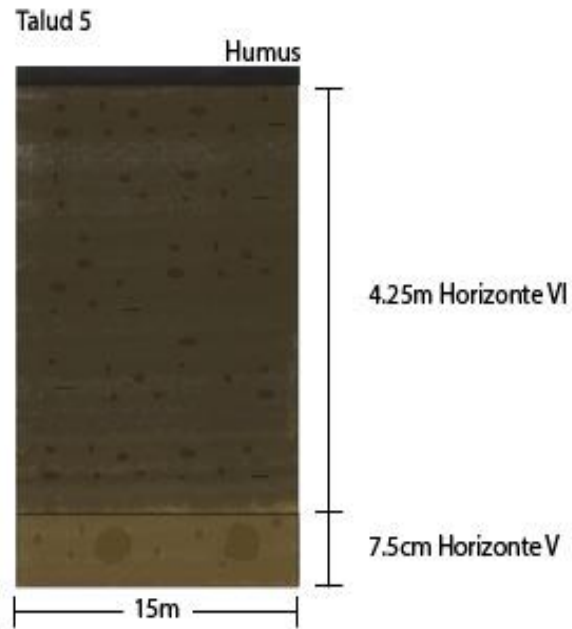
Anexo 36. Perfil de meteorización. Talud N4, lado izquierdo de la vía.



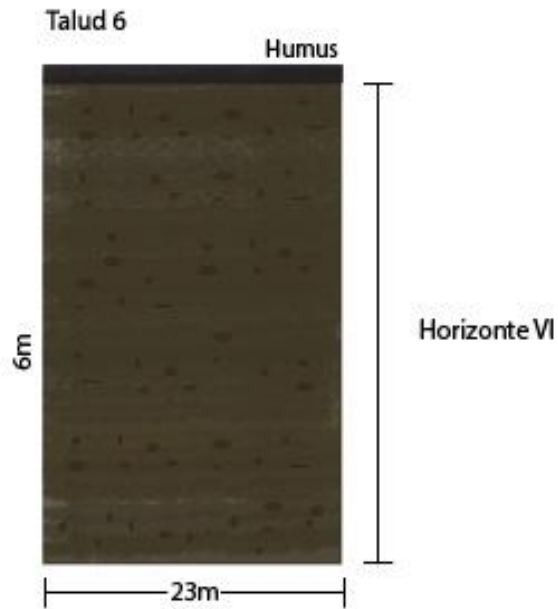
Anexo 37. Perfil de meteorización. Talud N4, lado derecho de la vía.



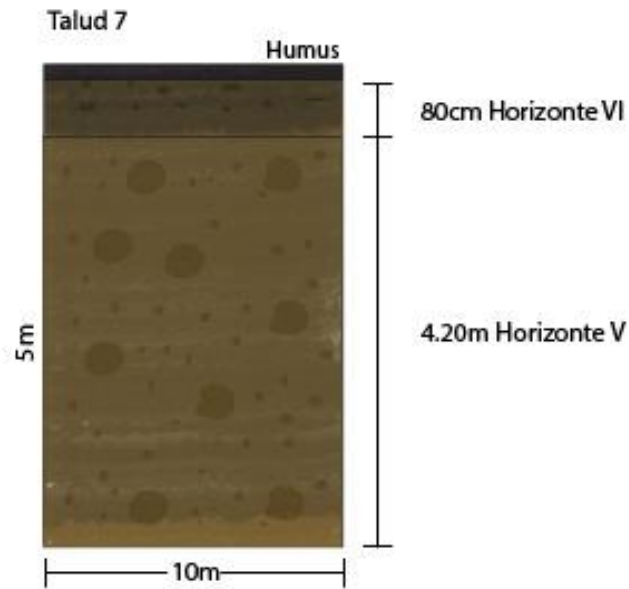
Anexo 38. Perfil de meteorización. Talud N5.



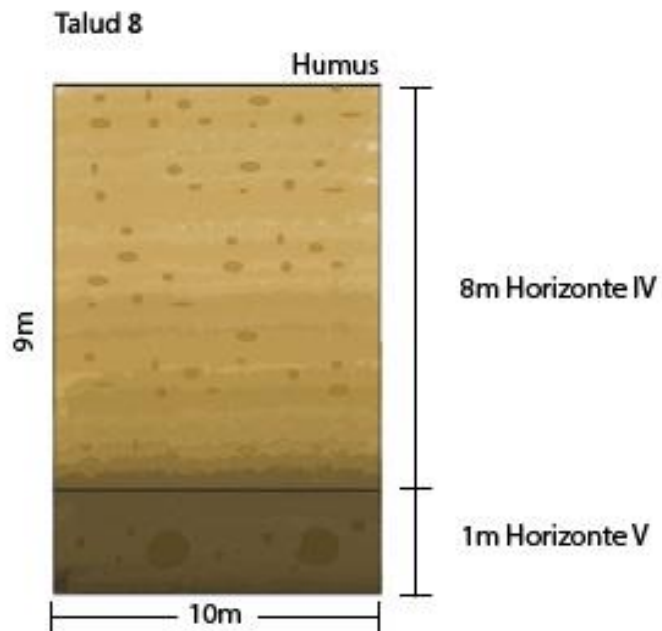
Anexo 39. Perfil de meteorización. Talud N6.



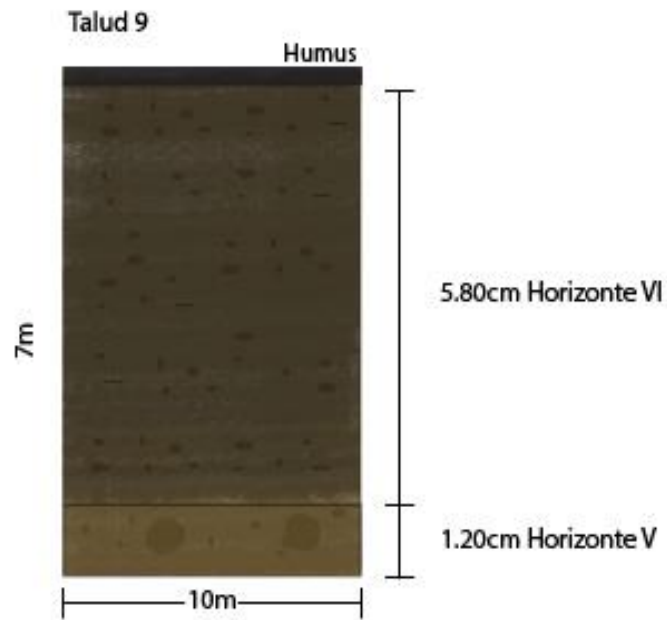
Anexo 40. Perfil de meteorización. Talud N7.



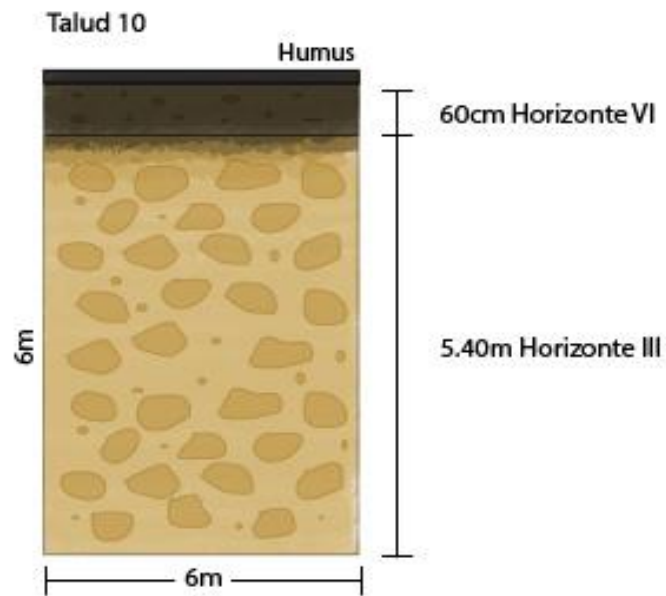
Anexo 41. Perfil de meteorización. Talud N8.



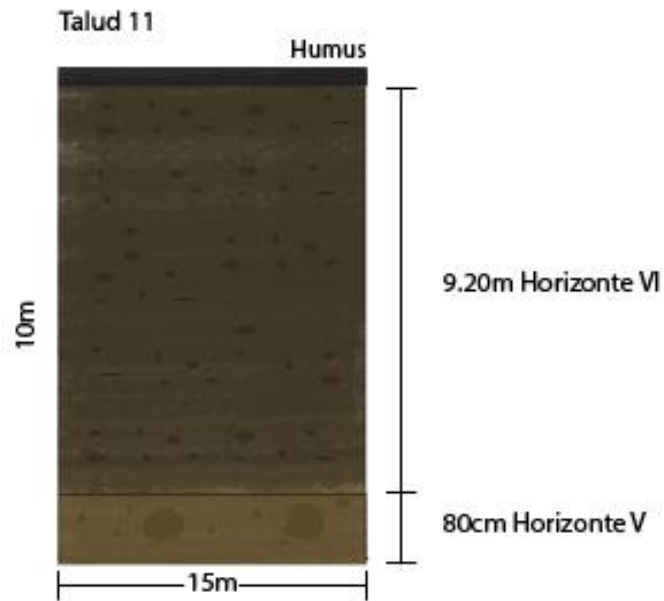
Anexo 42. Perfil de meteorización. Talud N9.



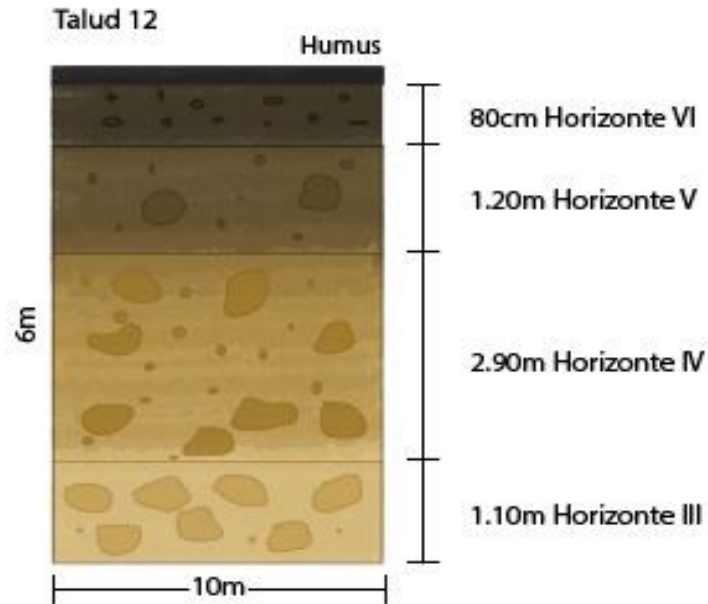
Anexo 43. Perfil de meteorización. Talud N10.



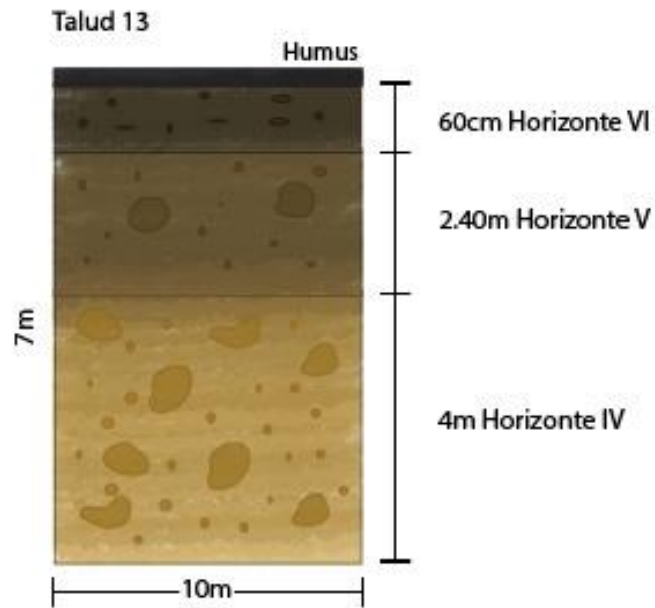
Anexo 44. Perfil de meteorización. Talud N11.



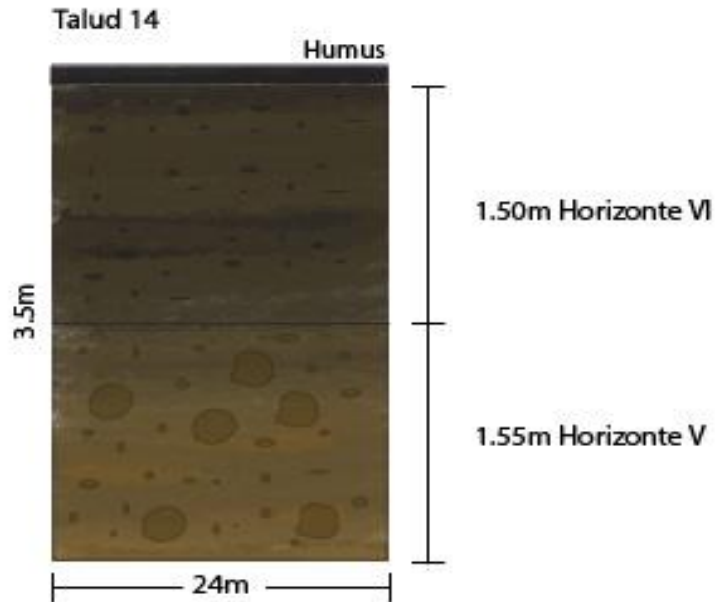
Anexo 45. Perfil de meteorización. Talud N12.



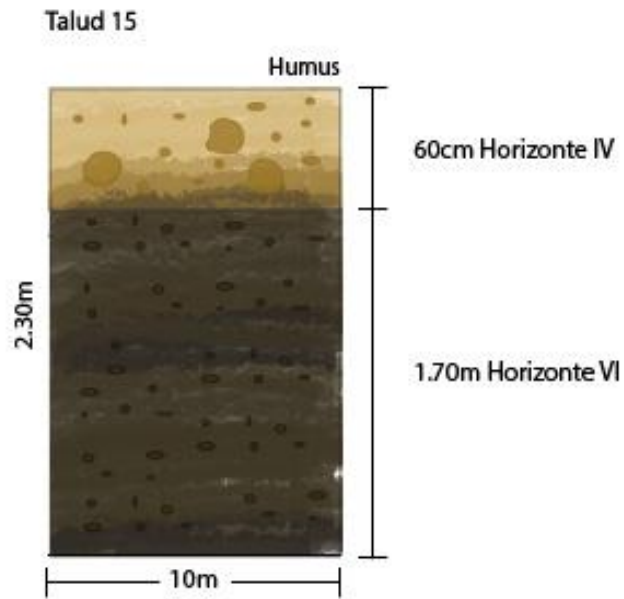
Anexo 46. Perfil de meteorización. Talud N13.



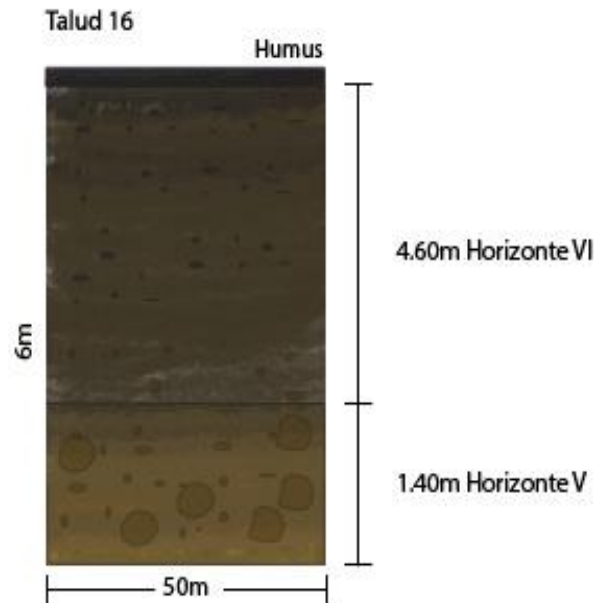
Anexo 47. Perfil de meteorización. Talud N14.



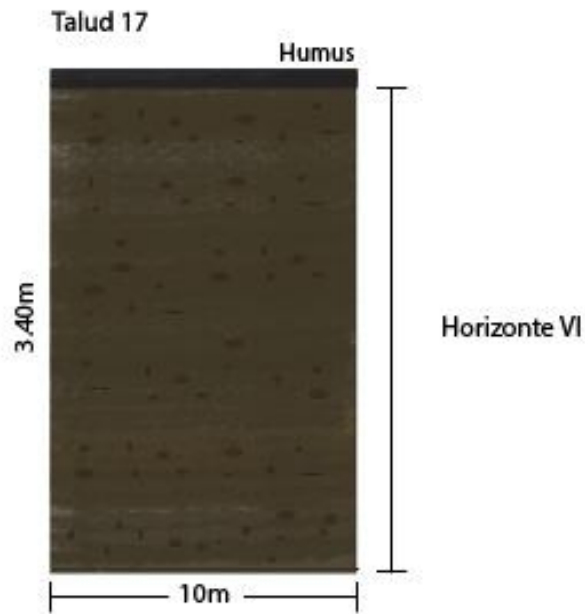
Anexo 48. Perfil de meteorización. Talud N15.



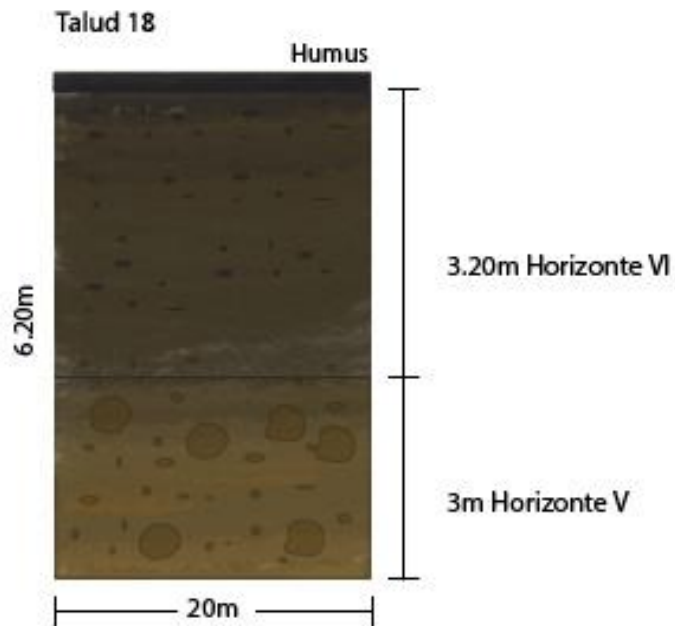
Anexo 49. Perfil de meteorización. Talud N16.



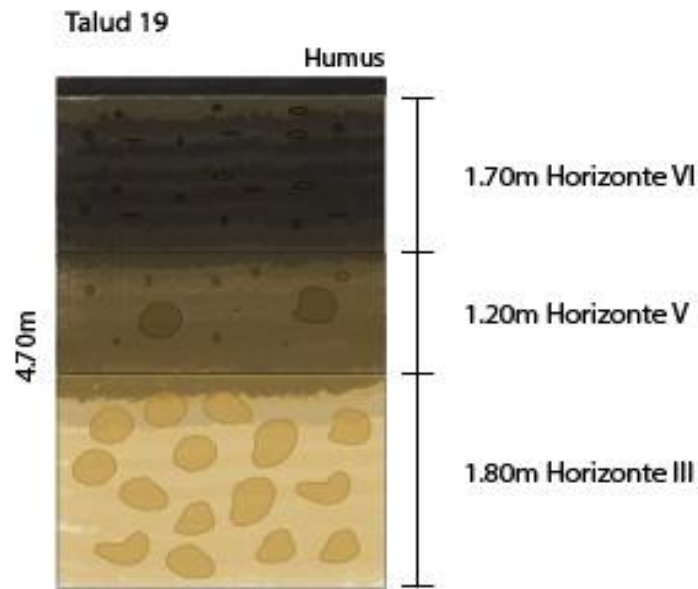
Anexo 50. Perfil de meteorización. Talud N17.



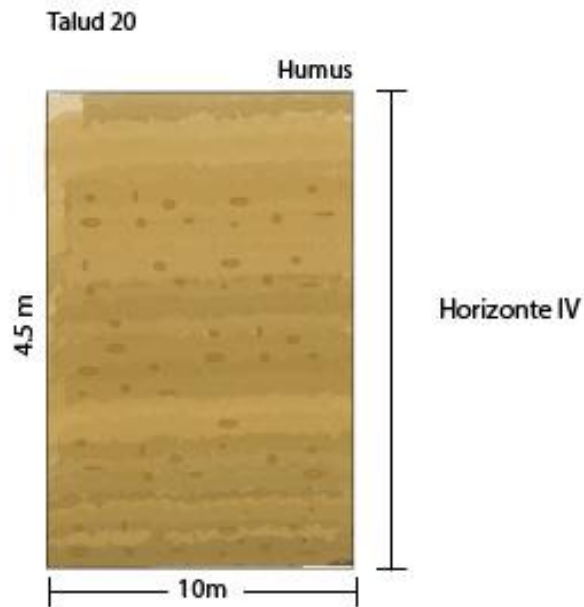
Anexo 51. Perfil de meteorización. Talud N18.



Anexo 52. Perfil de meteorización. Talud N19.



Anexo 53. Perfil de meteorización. Talud N20.



Anexo 54. Valores totales mensuales de precipitación (mm.s)

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)														SISTEMA DE INFORMACION NACIONAL AMBIENTAL	
FECHA DE PROCESO : 2017/07/05										ESTACION : 28040010 PUEBLO BELLO					
LATITUD	1025 N	TIPO EST	PM	DEPTO	CESAR	FECHA-INSTALACION	1963-ENE								
LONGITUD	7335 W	ENTIDAD	01 IDEAM	MUNICIPIO	PUEBLO BELLO	FECHA-SUSPENSION									
ELEVACION	1000 m.s.n.m	REGIONAL	05 MAGDALENA	CORRIENTE	ARIGUANI										

A#O	EST	ENT	ENERO *	FEBRE *	MARZO *	ABRIL *	MAYO *	JUNIO *	JULIO *	AGOST *	SEPTI *	OCTUB *	NOVIE *	DICIE *	VR ANUAL *

2008	1	01	.0	30.0	113.0	149.0	233.0	399.0	196.0	282.0	303.0	492.0	384.0	2.0	2283.0
2009	1	01	24.0	.0	64.0	125.0	244.0	167.0	131.0	218.0	68.0	275.0	255.0	25.0	1596.0
2010	1	01	.0	56.0	161.0	207.7	327.0	475.0	286.0	381.0	268.0	239.3	233.0	434.0	3068.0
2011	1	01	31.0	33.0	101.0	221.0	236.0	213.0	285.0	303.0	287.0	442.0	281.0	192.0	2625.0
2012	1	01	.0	.0	126.0	133.0	326.0	249.0	3108.0	401.0	107.0	468.0	64.0	53.0	2035.0
2013	1	01	.0	20.0	55.0	141.0	413.0	214.0	16.0	364.0	339.0	215.0	3127.0	38.0	1942.0
2014	1	01	4.0	18.0	64.0	269.0	245.0	32.0	24.0	265.0	386.0	257.0	120.0	164.0	1848.0
2015	1	01	6.0	10.0	29.0	78.0	129.0	236.0	93.0	120.0	163.0	261.0	145.0	29.0	1299.0
MEDIOS			16.8	29.3	65.5	177.4	284.2	213.6	138.1	250.2	290.3	350.7	218.9	63.8	2098.7
MAXIMOS			93.0	212.0	162.0	460.0	499.0	475.0	321.0	566.9	747.0	1193	749.0	434.0	1193.0
MINIMOS			0.0	0.0	0.0	38.0	67.0	32.0	3.0	42.0	68.0	80.0	0.0	0.0	0.0
I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES															