

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
PRELIMINAR A ESCALA 1:5000 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE
VÉLEZ Y SU ÁREA RURAL PERIMETRAL**

INFORME DE PASANTIA DE INVESTIGACIÓN

LEONEL IVAN PORRAS LARROTTA

FABIO ERNESTO VIANA CASTAÑO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2013

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA
PRELIMINAR A ESCALA 1:5000 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO
DE VÉLEZ Y SU ÁREA RURAL PERIMETRAL**

LEONEL IVAN PORRAS LARROTTA

FABIO ERNESTO VIANA CASTAÑO

**Proyecto de Grado para optar el título de
GEÓLOGO**

Director

LUIS EDUARDO MORENO TORRES

Ingeniero Civil

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA**

2013

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por bendecirme y brindarme la vida.

Agradezco a mis padres y sobre todo a mi madre por su amor y sacrificio.

*Agradezco a mis hermanos y sobrino, porque han estado conmigo en todo momento
y por su apoyo.*

*Agradezco a mi novia por estar siempre conmigo, por su amor, cariño, inspiración
y los bellos momentos que hemos compartido.*

Agradezco a mis amigos que hicieron de esta etapa más llevadera y agradable.

Leonel

A mis padres, porque gracias a ellos hoy veo cumplidas mis primeras metas, gracias a su gran esfuerzo y cariño y por ser una fuente de inspiración para mi vida. Esto lo logro va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí.

A mis hermanos Juan Camilo, Luisa, Luis Eduardo y Jairo, a ellos gracias por estar en esos momentos cuando los necesite.

A mi tía Luz Amparo con quien siempre he podido contar.

A aquellos muy buenos amigos que estuvieron junto a mí en esta importante etapa de mi vida.

Fabio

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela de Geología y a sus docentes por todo el conocimiento que nos brindaron.

Al profesor Luis Eduardo Moreno por su colaboración y constante apoyo a lo largo del desarrollo del presente proyecto.

Al Grupo de Investigación Gestión y Optimización de Sistemas (GEOMÁTICA) y su personal por patrocinar y participar en el desarrollo del proyecto.

A Juan Sebastián Luna Osorio por su colaboración en la fase de interpretación de resultados.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	20
1 OBJETIVOS	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
2 GENERALIDADES.....	25
2.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	25
2.2 CLIMA.....	26
3 ANTECEDENTES	27
4 METODOLOGÍA.....	29
5 MARCO TEÓRICO.....	34
6 RESULTADOS OBTENIDOS.....	50
6.1 GEOLOGIA.....	50
6.1.1 Estratigrafía.....	52
6.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	62
6.2.1 Anticlinal De Vélez.	66
6.2.2 Análisis Estructural De Diaclasas.....	66
6.3 GEOMORFOLOGÍA.....	73
6.3.1 Mapa Morfogenético.....	74
6.3.2 Mapa Morfodinámico.....	80
6.3.3 Mapa Morfométrico	87
6.4 GEOLOGIA AMBIENTAL.....	92
6.4.1 Uso Actual Del Suelo	92
6.5 CARACTERIZACION Y CLASIFICACION GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS	96
6.5.1 Descripción De Las Diaclasas.....	96

6.5.2	Modelo De Clasificación RMR (Rock Mass Rating)	99
6.5.3	Determinación Del Índice SMR	119
7	CONCLUSIONES.....	128
8	RECOMENDACIONES	130
9	BIBLIOGRAFIA	131
10	ANEXOS	138

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cumplimiento de Objetivos.	21
Tabla 2. Relación entre mapa y terreno para las escalas estándar.	36
Tabla 3. Clasificación de Remociones en Masa.	41
Tabla 4. RMR para la clasificación geomecánica de macizos rocosos.	44
Tabla 5. Clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.	45
Tabla 6. Clasificación Geomecánica de taludes SMR.	47
Tabla 7. Datos estructurales de diaclasas.	67
Tabla 8. Clases de pendientes, Condiciones del terreno y valoración del parámetro S_p	87
Tabla 9. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR.	100
Tabla 10. Resultados de la resistencia del martillo Schmidt. Valor promedio de Rebotes.....	102
Tabla 11. Densidades de las litologías presentes en los macizos rocosos. Peso Muestra = PM, Peso Muestra + Parafina = PMP, Volumen Desplazado = VD, Nombre Muestra = NM, ρ_M =Densidad Muestra.....	105
Tabla 12. Resultados de la resistencia uniaxial a la compresión MPa.....	107
Tabla 13. Valores de RQD para los macizos rocosos MR1 hasta MR20.....	108
Tabla 14. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR1 analizado en campo.	111
Tabla 15. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR2 analizado en campo.	114
Tabla 16. Resumen de resultados para la clasificación RMR para los macizos MR3 hasta MR20.	115

Tabla 17. Resumen de resultados del índice SMR para los macizos rocosos MR3 hasta MR20.	121
--	-----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización zona de estudio (cuadro rojo).	25
Figura 2. Flujograma de la metodología.....	33
Figura 3. Relación ente los tipos de mapas geomorfológicos del Sistema del ITC.	38
Figura 4. Mapa de localización de estaciones de trabajo.....	51
Figura 5. Afloramiento y detalle de Shale negro carbonatado con fisilidad baja, estructuras nodulares y fósiles de amonitas. Ubicado en la Quebrada el Hospital o las Flores.	53
Figura 6. Afloramiento y detalle lutita negra con diaclasamiento sub-vertical. ...	54
Figura 7. Afloramiento Shale negro calcáreo con nódulos de 10 cm.	54
Figura 8. Arenisca fina en contacto con Shale Negro.	55
Figura 9. Contacto Formación Tablazo (caliza) y Formación Paja (Shale negro).	56
Figura 10. Afloramiento y Detalle Caliza gris.	56
Figura 11. Mapa Geológico del municipio de Vélez.	58
Figura 12. Leyenda mapa Geológico del municipio de Vélez.	59
Figura 13. Corte Geológico A-A'	60
Figura 14. Columna Estratigráfica.....	61
Figura 15. Ubicación zona de estudio (cuadro rojo) dentro del contexto estructural regional.	63
Figura 16. Mapa de lineamientos estructurales.	65
Figura 17. Diagrama de roseta, análisis de diaclasas.....	70
Figura 18. Diaclasas con respecto a ejes ortogonales de estructuras plegadas.	71

Figura 19. Diaclasas con buzamientos entre 80°-90° (verticales). Ubicada en la Quebrada el Palenque	72
Figura 20. Diagrama de Eigenvectores y Grandes Círculos.	73
Figura 21. Escarpe rocoso de caliza que conforma la formación Tablazo y conos de talus.....	76
Figura 22. Mapa Morfogenético.	78
Figura 23. Leyenda Mapa Morfogenético.....	79
Figura 24. Deslizamiento Rotacional, vía Vélez-Barbosa.	81
Figura 25. Evidencia de flujo de lodo y reptación, curvamiento de árboles.	82
Figura 26. Evidencia del fenómeno de Hundimiento.....	83
Figura 27. Mapa Morfodinámico de Vélez.....	85
Figura 28. Leyenda Mapa Morfodinámico.....	86
Figura 29. Mapa Morfométrico o de Pendientes.	90
Figura 30. Leyenda Mapa Morfométrico.	91
Figura 31. Mapa de uso actual del suelo.	95
Figura 32. Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles está en el rango entre 1 y 10 metros (ISMR, 1981).....	98
Figura 33. Mapa de localización de macizos rocosos.....	101
Figura 34. Procedimiento para determinar densidad de las muestras. Normas ASTM E-145 y ASTM 2216-98.....	103
Figura 35. Resistencia a la compresión simple a partir de los datos tomados con un martillo Schmidt.....	106
Figura 36. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR1.	110
Figura 37. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR2.	113
Figura 38. Mapa de Clasificación RMR de taludes en la zona de estudio.	117

Figura 39. Leyenda Mapa clasificación RMR de taludes.	118
Figura 40. Mapa de Clasificación SMR de taludes en la zona de estudio.	124
Figura 41. Leyenda Mapa de clasificación SMR de taludes.	125
Figura 42. Mapa Geotécnico Preliminar de zona de estudio.....	126
Figura 43. Leyenda Mapa Geotécnico preliminar.	127

TABLA DE ANEXOS

Anexo A. Descripción de estaciones en fase de campo.	138
Anexo B. Foto aérea e información de vuelos. Tomadas y procesadas por el grupo de investigación GEOMATICA.....	170
Anexo C. Formato para la toma de datos geomecánicos en campo. Tomado de González et al. (2002), p. 241.....	172
Anexo D. Características generales, datos geomecánicos y clasificación RMR de los macizos rocosos MR3 hasta el MR20.	173
Anexo E. Procedimiento para hallar el índice SMR y su respectiva clasificación de los macizos MR3 hasta MR20.	219

RESUMEN

TITULO: CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEOTÉCNICA PRELIMINAR A ESCALA 1:5000 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ Y SU ÁREA RURAL PERIMETRAL

AUTORES: Leonel Iván Porras Larrotta**, Fabio Ernesto Viana Castaño**

PALABRAS CLAVES: Cartografía Geológica, Cartografía Geomorfológica, Cartografía Geotécnica, Formación Paja, Formación Tablazo

DESCRIPCIÓN

Como parte del proyecto “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Municipio de Vélez”. Se hizo necesario realizar cartografías geológicas, geomorfológicas y geotécnicas del municipio de Vélez que se encuentra localizado al sur-occidente del departamento de Santander, en estribaciones Orientales de la Cordillera Oriental Colombiana.

Las rocas más predominante en el área son las correspondientes a la Formación Paja que está compuesta por cuatro unidades de roca que corresponde a shale de color negro carbonatada con fósiles de amonita de 24 a 45cm, una arenisca de grano fino y ligeramente micácea, además de un shale de color negro y gris, que se caracteriza por tener una fisilidad alta y por ultimo tenemos un shale negro carbonatado con un grado de fisilidad de media a alta, con nódulos de aproximadamente 10 cm de diámetro y el mismo diaclasamiento sub-vertical que predomina en general en todas las litologías presentes en la zona de estudio. En contacto neto con la Formación Paja tenemos suprayaciendo la Formación Tablazo conformada por una caliza de color gris azulado a gris, con una textura tipo Packstone con bivalvos que se encuentran recristalizados y fuertemente compactada.

Se identificaron dos unidades geomorfológicas: de origen estructural y denudacional; esta última se presenta en casi toda la zona de estudio y corresponde a fenómenos de remoción en masa ocasionados por la infiltración del agua y la baja resistencia que presenta la Formación Paja. Se observan las características geomecánicas en el mapa geotécnico preliminar del punto MR5 que se ubica dentro del casco urbano del municipio de Vélez, la cual se puede considerar como una zona críticamente inestable para cualquier actividad de construcción. Las familias de diaclasas 1 y 2 son de tendencia sub-vertical a manera general que favorecen al desprendimiento de taludes y contribución a la generación de movimientos en masa.

*Proyecto de Grado. Modalidad: Pasantía de Investigación.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología. Director: Luis E. Moreno

ABSTRACT

TITLE: GEOLOGICAL, GEOMORPHOLOGICAL AND GEOTECHNICAL PRELIMINARY CARTOGRAPHY AT 1:5000 ESCALE ON THE URBAN AREA FROM VELEZ MUNICIPALITY AND THE SURROUNDING RURAL AREA.

AUTHORS: Leonel Iván Porras Larrotta**, Fabio Ernesto Viana Castaño**

KEYWORDS: Geological Cartography, Geomorphological Cartography, Geotechnical Cartography, Paja Formation, Tablazo Formation.

DESCRIPTION

As a part of the project “Studies and civil works recommendations for mitigation of inestability in the Urban area of Velez municipality”. It was necessary to realize geological, geomorphological and geotechnical cartographies for Velez municipality that is located to the southwest of Santander department on foothills of the Eastern Cordillera.

The prevailing rocks in the area corresponds to Paja Formation that is composed of four rock units corresponding to a black and grey carbonated shale with ammonite fossils from 24 to 45 cm, a slightly micaceous fine-grained sandstone, and a black and grey shale, which is characterized by a high fissility and finally we have a carbonated black shale with a medium to high fissility , with 10 cm nodules of and the same sub - Vertical jointing that prevails in all lithologies present in the study area. Overlaying Paja Formation with a net contact is the Tablazo Formation composed by a bluish-grey packstones with recrystallized bivalves.

Two geomorphological units were identified: denudational and structural origin, present in most of the study area and corresponds to landslide phenomena caused by water infiltration and the Paja Formation low resistance. Geomechanical characteristics are observed in the preliminary geotechnical map of the MR5 spot that is located within the urban municipality of Velez, which can be considered as a critical unstable area for any construction activity. Families of joints 1 and 2 follow a subvertical trend favoring the detachment slope and contributing to the generation of landslides.

*Graduate Project. Mode: Investigation Internship.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Geology. Director: Luis E. Moreno

INTRODUCCION

El presente trabajo corresponde a una pasantía de investigación presentado para optar el título de Geólogo y conforma la fase inicial del proyecto titulado “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Municipio de Vélez”, el cual es resultado del fallo (expediente rad.2009-0096-00) emitido por el juzgado administrativo de descongestión del circuito judicial de San Gil, como resultado a una acción popular presentada por los habitantes del municipio de Vélez Santander. El municipio de Vélez, suscribe un convenio inter administrativo con el grupo de investigación Gestión y Optimización de Sistemas (GEOMATICA) perteneciente a la Universidad Industrial de Santander para encargarse del desarrollo del citado proyecto.

Se fundamenta en estudios geológicos de unidades superficiales, geomorfológicos y geotécnicos preliminares que permitan generar el conocimiento necesario para identificar, entender y evaluar el problema de los movimientos en masa presentes en la zona, para desarrollar un planteamiento en las soluciones de mitigación y controlar dichos movimientos que afectan en forma generalizada al casco urbano y el área perimetral del municipio de Vélez Santander.

El presente proyecto de grado integra la etapa temprana o inicial de la investigación, y en él se fundamentan las demás acciones a desarrollar, plasmadas en el convenio inter administrativo.

TABLA DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

La Tabla 1. Relaciona los objetivos del presente proyecto con el respectivo capítulo en que se da cumplimiento a los mismos.

Tabla 1. Cumplimiento de Objetivos.

CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS DEL PROYECTO	
<p>OBJETIVO GENERAL: Realizar la cartografía geológica, geomorfológica y geotécnica preliminar a escala 1:5000 del casco urbano del municipio de Vélez y su área rural perimetral comprendida entre las coordenadas planas $X_1=1155500$, $X_2=1158200$, $Y_1=1043800$ y $Y_2=1046300$, como fundamento para el proyecto “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de Investigación Gestión y Optimización de Sistemas (GEOMÁTICA) de la Universidad Industrial de Santander.</p>	
OBJETIVO ESPECÍFICO	CUMPLIMIENTO
Realizar un mapa geológico de unidades superficiales a escala 1:5000. Mediante el reconocimiento de campo identificando los aspectos fundamentales y particulares del área de estudio.	CAPÍTULO 6 - 6.1
Observar y cartografiar los principales rasgos estructurales presentes en la zona.	CAPÍTULO 6 - 6.2
Identificar los principales rasgos geomorfológicos del área de estudio.	CAPÍTULO 6 - 6.3
Realizar un reconocimiento de los macizos rocosos que afloran en el área de estudio, según la clasificación geomecánica mediante el índice SMR (Slope Mass Rating), y plasmar la información como mapa preliminar geotécnico.	CAPÍTULO 6-6.5
Constituir una base de datos mediante el procesamiento de la información recolectada en un sistema de información geográfica, junto con la topografía, uso de suelos y pendientes; como Insumo fundamental para el desarrollo del Proyecto titulado “Estudios y	<p>ENTREGABLE DIGITAL. BASE DE DATOS.</p> <p>(CD)</p>

<p>recomendación de obras para la mitigación de la inestabilidad en el sector urbano del municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de investigación Gestión y Optimización de Sistemas, GEOMÁTICA, en convenio con la Gobernación de Santander y el municipio de Vélez Santander.</p>	
---	--

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar la cartografía geológica, geomorfológica y geotécnica preliminar a escala 1:5000 del casco urbano del municipio de Vélez y su área rural perimetral comprendida entre las coordenadas planas $X_1=1155500$, $X_2=1158200$, $Y_1=1043800$ y $Y_2=1046300$, como fundamento para el proyecto “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de Investigación Gestión y Optimización de Sistemas (GEOMÁTICA) de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un mapa geológico de unidades superficiales a escala 1:5000. Mediante el reconocimiento de campo identificando los aspectos fundamentales y particulares del área de estudio.
- Observar y cartografiar los principales rasgos estructurales presentes en la zona.
- Identificar los principales rasgos geomorfológicos del área de estudio.

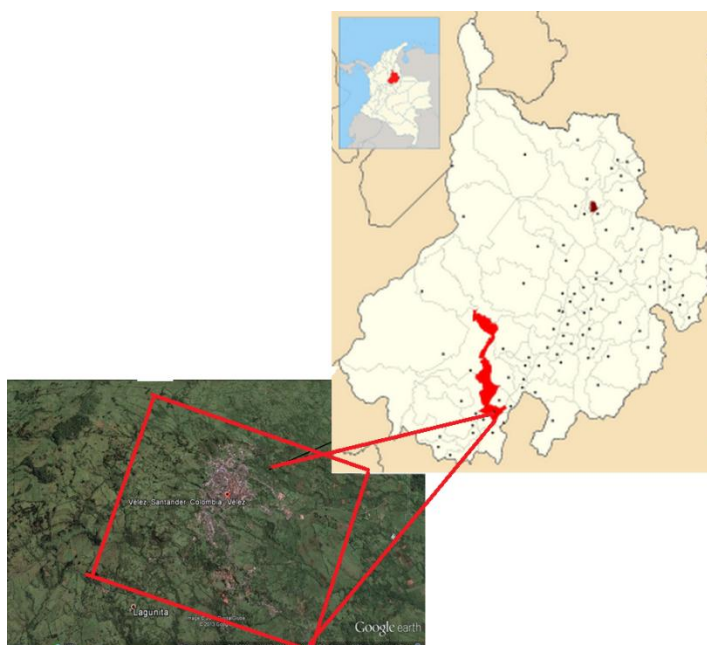
- Realizar un reconocimiento de los macizos rocosos que afloran en el área de estudio, según la clasificación geo mecánica mediante el índice SMR (Slope Mass Rating), y plasmar la información como mapa preliminar geotécnico.
- Constituir una base de datos mediante el procesamiento de la información recolectada en un sistema de información geográfica, junto con la topografía, uso de suelos y pendientes; como Insumo fundamental para el desarrollo del Proyecto titulado “Estudios y recomendación de obras para la mitigación de la inestabilidad en el sector urbano del municipio de Vélez” desarrollado por el grupo de investigación Gestión y Optimización de Sistemas, GEOMÁTICA, en convenio con la Gobernación de Santander y el municipio de Vélez Santander.

2 GENERALIDADES

2.1 LOCALIZACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El municipio de Vélez se encuentra localizado en el sur-occidente del departamento de Santander, en estribaciones Orientales de la Cordillera Oriental Colombiana, al sur limita con Chipata, norte con Barbosa, Occidente con Landázuri y al Oriente limita con Guepsa. Se halla a 231 kms de la cabecera municipal de Bucaramanga. Se localiza entre las coordenadas N= 1°155.500 y 1°158.200; E= 1°043.800 y 1°046.300, y en las planchas 170-II-A y 170-II-B del Instituto Geográfico Agustín Codazzi. El área de estudio corresponde a la zona urbana y al corredor rural aledaño al municipio de Vélez.

Figura 1. Mapa de localización zona de estudio (cuadro rojo).



Fuente: Tomado y modificado de Google Earth y Alcaldía Vélez Santander. [En línea]. [Citado 25-Mar-2013]. Disponible en internet: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Santander_-_Velez.svg.

Al Municipio de Vélez se accede por la vía nacional que comunica a Bucaramanga con Bogotá DC, derivando desde el Municipio de Barbosa por una vía secundaria que comunica finalmente con el Municipio de Vélez.

2.2 CLIMA

➤ PRECIPITACION:

La precipitación en el municipio de Vélez varía entre los 2000 y 3000 milímetros anuales en el municipio. La distribución de las lluvias a lo largo del año presenta dos temporadas lluviosas y dos secas, con características muy similares al resto de la región Andina Colombiana.

➤ TEMPERATURA:

Dada la variación y heterogeneidad del relieve del municipio las temperaturas medias anuales oscilan entre los 28°C a los 200 m.s.n.m. y los 14 °C a los 2530 m.s.n.m. La temperatura media de la cabecera municipal es de 16.5 °C considerando el gradiente medio anual de la temperatura en la zona que es de 0.60 grados centígrados por cada 100 metros.

➤ CLIMA:

El clima de Vélez según la clasificación climática empleada es en su gran mayoría SUPERHUMEDO, con poca o ninguna deficiencia de agua durante el año. Además presenta los pisos térmicos Cálido, Medio y Frío, ya que presenta alturas desde los 200 m.s.n.m. Hasta los 2700 m.s.n.m. (E.O.T., 2003)

3 ANTECEDENTES

A partir de la necesidad de desarrollar el proyecto denominado “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Municipio de Vélez” del cual hace parte de los estudios preliminares la presente investigación, se consultaron y se recopilaron los diferentes documentos de visitas técnicas realizadas por el Servicio Geológico Colombiano (Anteriormente INGEOMINAS), dentro de los que se destacan y se describen brevemente los siguientes:

En 1988, se realizó una visita técnica, realizada por el geólogo German Vargas Cuervo para el Servicio Geológico Colombiano (Anteriormente INGEOMINAS), trabajo titulado “PROBLEMAS GEOLOGICOS EN LOS BARRIOS EL PALENQUE, SANTA TERESITA Y RICAURTE. MUNICIPIO DE VELEZ, SANTANDER”. En donde observaron el área afectada y se identifica las condiciones geotécnicas centradas en el análisis de los fenómenos de reptación, hundimientos y desprendimiento de rocas determinando sus causas y se realizan las respectivas recomendaciones en los sectores afectados.

En 2008, el geólogo Diego Ibáñez, realizó un informe titulado “CONCEPTO TECNICO SOBRE AGRIETAMIENTOS QUE AFECTAN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ (BARRIOS LAS FERIAS, LA ESPERANZA Y SAN LUIS), DEPARTAMENTO DE SANTANDER” para el Servicio Geológico Colombiano (Antiguo INGEOMINAS) en la que se da una descripción breve de la problemática de agrietamientos que afectan el casco urbano de Vélez, se identifican y documentan con fotografías los sectores afectados y se concluyen y dan recomendación en la búsqueda de mitigar los deslizamientos.

En el año 2011, el geólogo Eduardo Castro Marín realizó un trabajo denominado "CONCEPTO TECNICO SOBRE MOVIMIENTOS DE REMOCION EN MASA EN LA CABECERA MUNICIPAL DE VELEZ, DEPARTAMENTO DE SANTANDER", para el Servicio Geológico Colombiano (Antiguo INGEOMINAS). Quienes detectaron las zonas afectadas, tomando un registro fotográfico de la problemática y se realizaron las recomendaciones pertinentes.

4 METODOLOGÍA

La metodología es una parte de vital importancia en el desarrollo de la pasantía de investigación y está en función al cumplimiento de los objetivos propuestos por el grupo de GEOMATICA, encargado del desarrollo del proyecto, “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Municipio de Vélez”.

En este capítulo se explica paso a paso la metodología empleada en el presente estudio (ver Figura 2), desde la obtención de información geológica, geomorfológica y geotécnica en campo, su procesamiento e interpretación, hasta los resultados obtenidos del trabajo.

Inicialmente se hace una recopilación, selección y análisis de información de estudios anteriores basada en cartografía geológica, geomorfológica y en trabajos geotécnicos referentes al área de estudio en el municipio de Vélez Santander, y la recopilación de información secundaria que se llevarán a cabo en pro al desarrollo del proyecto, tales como: artículos, informes, tesis, proyectos de grados, libros, revistas especializadas, bases de datos, imágenes, mapas y sus memorias explicativas, además de información relacionada a metodologías planteadas por otros autores en estudios anteriores (Definidas en el marco teórico).

Luego del análisis de la información recopilada, se prosigue con el reconocimiento del área de estudio en compañía del director de la pasantía de investigación, se recorre el Municipio de Vélez y sus áreas implicadas para identificar vías de acceso y la litología aflorante. Además, en esta campaña de reconocimiento en compañía de ingenieros y tecnólogos del grupo de investigación GEOMATICA, se tomaron fotografías aéreas con un vehículo aéreo no tripulado, UAV por las siglas en inglés (Unmanned Aerial Vehicle) denominado Sense Fly Swinglet Cam, es un mini-avión con piloto automático y manejo a control remoto que posee una cámara de alta resolución, que por

medio del software e-mo-tion se puede planificar y controlar la trayectoria antes y durante el vuelo, esto permite a rasgos generales reconocer las condiciones del terreno.

Posteriormente se realizó una salida de campo con el objetivo de recolectar los datos litológicos (muestras de roca) y estructurales (datos diaclasas, estratificación, foliación, etc.) esta información fue capturada por medio de implementos indispensables de campo como: 1. Martillo geológico Stwing para la recolección de muestras de roca; 2. Brújula Brunton, con la cual se midieron los rumbos (ángulo formado entre una línea horizontal del plano y el Norte Magnético) y buzamientos (ángulo que forma el plano a medir con respecto a un plano horizontal) de los planos estructurales; 3. GPS Garmin Etrex 10 para adquisición de coordenadas planas origen Bogotá de los afloramientos; 4. Cámara Samsung 5X 12 megapíxeles, registro fotográfico de los afloramientos y para aplicar la metodología empleada por el Grupo de GEOMATICA para la toma de datos de diaclasas, el cual consiste en la delimitación del afloramiento en una zona de 1m x 1m. A la zona delimitada se traza una línea transversal de que corte las diaclasas principales y se les toma las medidas de rumbo y buzamiento, además de la longitud, el grado de separación entre las mismas y la apertura de la diaclasa. Esta información permitiría, después del correspondiente procesamiento, caracterizar las estructuras y afinar la cartografía existente.

En una segunda salida de campo se registran los datos de los macizos rocosos con respecto al tipo de litología, fracturación, resistencia de la matriz rocosa, grados de meteorización, hidrogeología e información de las diaclasas como dato estructural, espaciamiento, continuidad, abertura, rugosidad, rellenos, resistencia de la roca (tomado con el martillo Smith) y dirección e inclinación de los taludes. Dichos registros se plasman en el formato para la toma de datos geomecánicos en campo, siguiendo la clasificación geomecánica RMR de

Bieniawski, 1989 y SMR de Romana, 1997 (explicada en el marco teórico). También, se observaron y clasificaron las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio teniendo como base el sistema I.T.C de Investigación Geomorfológica (Van Zuidam et al, 1985).

La información recolectada en campo se interpreta y procesa en un mapa base o topográfico a escala 1:5000 (suministrado por el grupo de investigación GEOMATICA, este fue adquirido interpolando las curvas de nivel de un mapa topográfico 1:10000 del IGAC) empleando el software ARCGIS 10 Y 10.1, generando los mapas geológico, morfométrico, morfodinámico y morfológico, los cuales mostrarán la distribución y disposición de las litologías y de las geoformas presentes en el área de estudio.

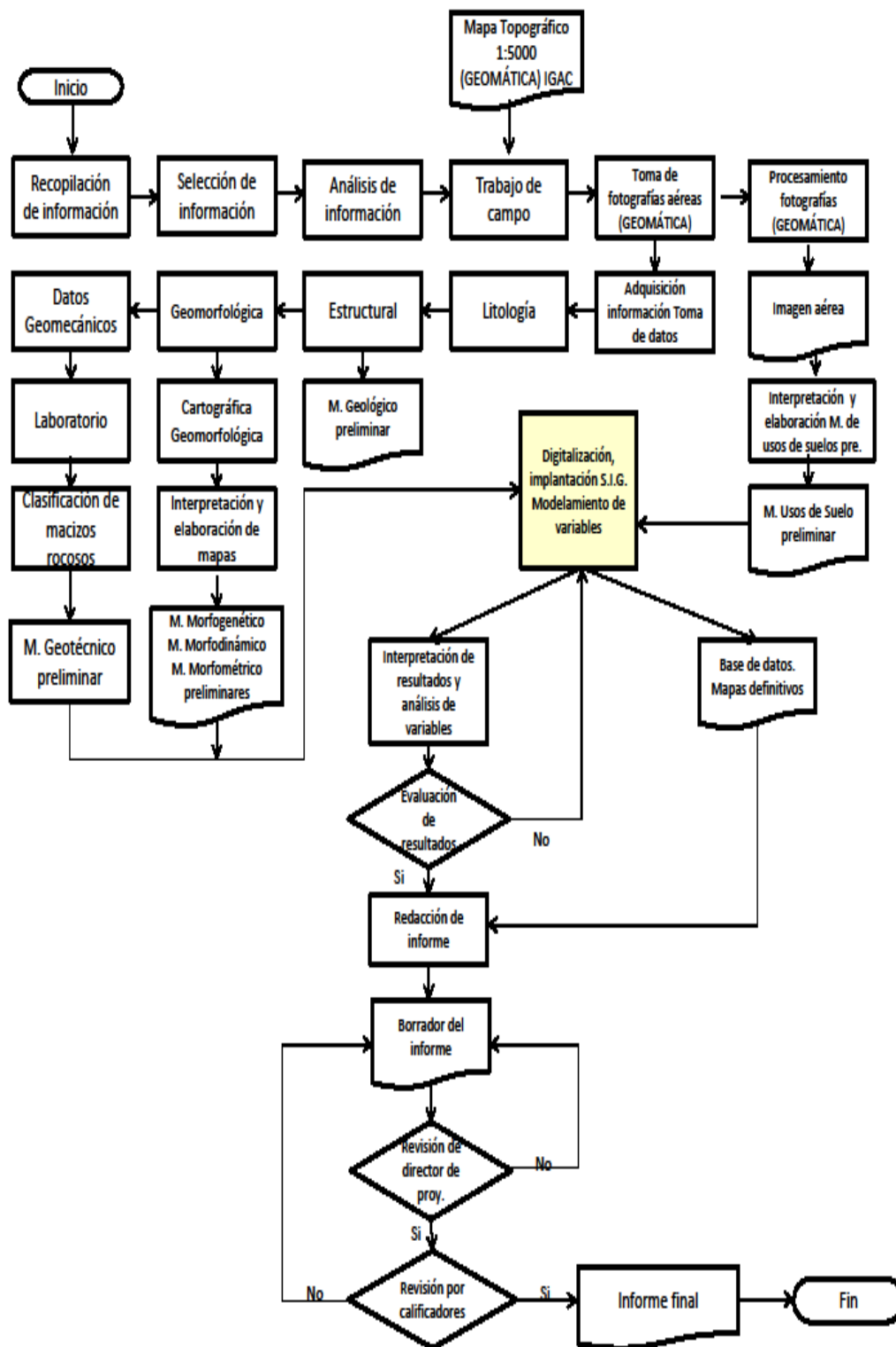
En el análisis de diaclasas se midió el rumbo y buzamiento de estas estructuras, y se procesaron en el software Tectonics Fp 1.7.6., para obtener el diagrama rosa que refleja las orientaciones preferentes de las juntas y así inferir algún posible eje compresivo. El valor valido para dirección de buzamiento/dirección línea son de 0 a 359° contados en el sentido del reloj desde el norte; el buzamiento/inmersión puede estar entre 0° y 89°.

De acuerdo a la interpretación y clasificación de los macizos rocosos por medio del índice SMR (Slope Mass Rating) se generara un mapa geotécnico preliminar de la zona de estudio.

Finalmente se integrará toda la información en una base de datos generada por un sistema de información geográfica (SIG) especializado como ARCGIS 10.1. Estos archivos de formas .DBF, .PRJ, .SBN, .SBX, .SHP, .SHX, .MXD, .XML se almacenan con el fin de tener un fácil acceso para usos futuros o actualizaciones

Se plasmará la información obtenida y procesada en un informe definitivo. Este mostrará la información en capítulos explicativos de todos los procedimientos y el cual contendrá los resultados obtenidos de los estudios realizados en el casco urbano y zonas aledañas del municipio de Vélez, Santander. Los cuáles serán presentados en formato digital y físico al Grupo Gestión y Optimización de Sistemas y a la Escuela de Geología de la Universidad Industrial de Santander.

Figura 2. Flujo de la metodología.



Fuente: Autores.

5 MARCO TEÓRICO

La cartografía trata de la representación del planeta tierra sobre un plano, llamado mapa, su objetivo es proveer información generalmente acerca de los siguientes aspectos:

- La naturaleza de las entidades geológicas y geomorfológicas.
- Su distribución.
- Su extensión en el área.
- Las relaciones espaciales entre estas entidades.
- Sus características o atributos como la geometría.

La representación de un objeto geológico o geomorfológico en un mapa se realiza a través de su atributo “geometría”, es decir se representan como puntos, líneas o polígonos.

“Un mapa geológico muestra y describe los materiales geológicos que existen en un área de terreno, provee información acerca de la configuración en profundidad de las rocas, describe las edades de las rocas y muestra la distribución de fallas y deslizamientos del terreno. Los mapas geológicos se elaboran estudiando las rocas y materiales expuestos en la superficie y cartografiando estos materiales en un mapa base.

Los materiales geológicos que se muestran en un mapa pueden ser unidades de rocas sedimentarias, ígneas o metamórficas, o pueden ser depósitos superficiales de origen aluvial, coluvial, volcánico, glacial y otros. En algunos mapas geológicos, especialmente a escala mediana y grande, estas unidades

de roca se distinguen por su composición y textura y se denominan Formaciones. Las formaciones se distinguen por su litología particular y su posición estratigráfica con respecto a otras formaciones en el lugar. En otros mapas geológicos de escala pequeña estas unidades de roca son agrupadas en base a la era, periodo, época o edad geológica que representan” (Caballero, 2006).

Los mapas geológicos, son modelos del terreno, representados en 2D. La escala es la proporción por la cual se reducen las medidas de un objeto real para llevarlo a un tamaño determinado en el modelo. La escala en un mapa es una relación de magnitud entre las dimensiones medidas en ciertas unidades (cm, m, pies), mostradas en el mapa y las dimensiones reales medidas en las mismas unidades (cm, m, pies), en el terreno.

Los mapas son modelos a escala de áreas de la superficie de la tierra, cuyas dimensiones pueden llegar a cientos de kilómetros por lo que esta relación puede involucrar valores numéricos de gran magnitud.

Las escalas se dividen en tres grupos (categorías). Para cada grupo existe una cantidad de detalle cartográfico que debe mostrarse, así como la manera en que debe ilustrarse. Los tres grupos de escala y sus empleos principales son:

- Escala pequeña: 1:500.000 y menores, empleadas para el planeamiento general y estudios estratégicos. Esta escala varía entre 1:100.000 y 1:1'500.000.

- Escala mediana: Más grande que 1:100.000 y más pequeñas que las de 1:5.000; se emplean para el planeamiento más detallado. Esta escala varía entre 1:10.000 y 1:50.000.
- Escala grande: Iguales y mayores a la escala 1:5.000 empleadas para usos urbanos, técnicos y administrativos. Las escalas estándar de los mapas topográficos son las siguientes: 1:500; 1:1.000; 1:2.000 y 1:5.000 (INSTITUTO GEOGRÁFICO «AGUSTIN CODAZZI» (IGAC). “Formatos y Escalas de Mapas”, [en línea]. [Citado 1-Jul-2013].).

Tabla 2. Relación entre mapa y terreno para las escalas estándar.

ID	Escala del Mapa	Tamaño del mapa en centímetros	Distancia terrestre equivalente a un centímetro en el mapa	Área geográfica cubierta por cada plancha para varias unidades de medición.		
				Metros cuadrados	Hectáreas	Km.Cuadrados
1	1:500	75cm x 50cm	5 m	93750	9.375	0.09375
2	1:1.000	75cm x 50cm	10 m	375000	38	0.375
3	1:2.000	75cm x 50cm	20 m	1500000	150	1.5
4	1:5.000	75cm x 50cm	50 m	9375000	937.5	9.375
5	1:10.000	75cm x 50cm	100 m	37500000	3750	37.5
6	1:25.000	60cm x 40cm	250 m	150000000	15000	150
7	1:50.000	60cm x 40cm	500 m	600000000	60000	600
8	1:100.000	60cm x 40cm	1.000 m	2000000000	200000	2000
9	1:200.000	52.5cm x 40cm	2.000 m	8400000000	840000	8400
10	1:500.000	66cm x 48cm	5.000 m	79200000000	7920000	79200

Fuente: INSTITUTO GEOGRÁFICO «AGUSTIN CODAZZI» (IGAC). “Formatos y Escalas de Mapas”, [en línea]. [Citado 1-Jul-2013]. Disponible en internet: http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PlwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web++Areas+Estrategicas/Áreas+Estrategicas/Áreas+Estrategicas/Subdireccion+de+Geografia+y+Cartografia/Formatos+y+Escalas+de+Mapas/

La Geología Urbana se encarga de estudiar las características y condiciones de la parte superficial de la corteza de la Tierra, en especial en zonas en donde está asentada una ciudad o población objeto de estudio. El análisis de dichas características son determinantes para las posibilidades de desarrollo y mantenimiento de cualquier población. Además no ayuda a identificar las siguientes características:

- La aptitud de los terrenos dentro de los límites municipales.
- Las amenazas y los riesgos potenciales que pueden afectar al territorio municipal.

Para realizar levantamientos geomorfológicos el Sistema Holandés del ITC enfatiza en la morfogénesis y en la geomorfología aplicada. De acuerdo a la finalidad del estudio existen varios tipos de levantamientos, para el ámbito de una geomorfología medioambiental se tienen los levantamientos geomorfológicos sintéticos y para fines de evaluación de riesgos naturales se utilizan los levantamientos geomorfológicos pragmáticos que son válidos a todas las escalas y en cualquier parte del mundo.

El sistema del ITC distingue 3 clases de levantamientos geomorfológicos como lo son los analíticos, sintéticos y pragmáticos, que a su vez genera 3 tipos de mapas distintos descritos a continuación:

- Mapas Geomorfológicos Analíticos: se componen de estudios geomorfológicos profundos y monodisciplinarios, brindando información acerca de las formas del relieve y los procesos, la morfogénesis y la morfocronología, pero se incluyen datos sobre litologías y morfoestructuras.
- Mapas Geomorfológicos Sintéticos: son el resultado de estudios vinculados a las relaciones ambientales y otros factores del paisaje como lo son el clima, relieve, litología, suelos, hidrología y vegetación.

Este análisis geomorfológico del terreno es realizado con el fin de realizar una síntesis del paisaje y para realizas levantamientos multidisciplinares.

- Mapas Geomorfológicos Pragmáticos: son el resultado de investigaciones geomorfológicas concretas, normalmente se usan dentro de un proyecto de planificación territorial. Se especifican contenidos y leyendas específicas para el caso concreto, a partir de los datos analíticos y sintéticos. Estos mapas surgen con la finalidad de ser más practico a la hora de abordan el problema objeto de estudio debido a que muchas veces los conjuntos de los datos de los mapas analíticos y sintéticos no eran imprescindibles en el estudio y en la evaluación de riesgos naturales especifico, lo cual no resultaba muy práctico.

Figura 3. Relación ente los tipos de mapas geomorfológicos del Sistema del ITC.

<i>Levantamientos Sintéticos</i>						
	Litología	Formas	Suelos / Sedimentos	Agua superficial / Subterránea	Vegetación Natural/cultivada	Clima ETC
<i>Levantamientos Analíticos</i>	Morfometría	<i>Levantamientos Pragmáticos (Fines especiales)</i> Mapas de pendientes Mapas de zonas de riesgos de inundación Mapas de zonas de riesgos de sequía Mapas hidro-morfológicos Mapas de visibilidad Mapas de aspectos Mapas de riesgos de montaña, volcánicos o sísmicos				
	Morfografía					
	Procesos					
	Morfogénesis					
	Morfocronología					
	ETC					

Fuente: Verstappen y Van Zuidam, 1991

Los mapas de pendiente son importantes para identificar limitaciones en el uso del terreno y para identificar potenciales impactos ambientales relacionados

con algún tipo de proyecto. Es posible identificar algunas limitaciones que vienen relacionadas a la alta pendiente del terreno, las cuales incluyen la construcción de proyectos viales y urbanos debido a que estos terrenos de alta pendiente son afectados por la erosión del suelo, la inestabilidad y los deslizamientos cuando la roca es débil o los suelos presentan bajas propiedades mecánicas.

En conjunto con fotografías aéreas, los mapas de pendientes se utilizan para interpretar geoformas, litología, patrones de drenaje, identificar áreas con alto potencial de erosión o inestabilidad, etc.; un mapa de pendiente muestra áreas con determinado rango de pendiente; para construir un mapa de pendientes se necesita conocer la escala horizontal del mapa y el intervalo de contorno. La manera más común de hacer un mapa de pendientes es utilizar los datos de distancia horizontal entre curvas y la diferencia de altura entre ellas.

Según González et al. (2002), Los mapas geotécnicos constituyen un método en la Ingeniería Geológica para presentar cartográficamente información geológico – geotécnica con fines de planificación y usos del territorio y para el proyecto, construcción y mantenimiento de obras de ingeniería; aportan datos sobre las características y propiedades del suelo y del subsuelo de una determinada zona para evaluar su comportamiento y prever los problemas geológicos y geotécnicos.

Para la generación de mapas geotécnicos se tiene en cuenta la cobertura de suelo que según Anderson (1976) describe la vegetación natural, el agua y los cuerpos de agua, construcciones y zonas intervenidas y afectadas por el hombre.

Los datos incluidos en los mapas geológicos (topografía, relieve, litología, estructura, etc.) permiten deducir información valiosa sobre las propiedades de

los materiales, pero las descripciones geológicas no son suficientes para su aplicación en la ingeniería geológica, debido a que no aportan datos cuantitativos de las características físicas y mecánicas de los materiales, no representan los componentes de la geología con significado geotécnico y su influencia en ingeniería.

Los mapas geotécnicos presentan información descriptiva sobre los materiales y procesos geológicos, datos cuantitativos de los diferentes componentes del medio geológico y de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales e información interpretativa para su aplicación ingenieril.

Tipos de Mapas:

De manera general los mapas geotécnicos pueden clasificarse en:

- MAPAS DE EVALUACION GEOTECNICA DEL TERRENO:

Mapas cualitativos con clasificaciones generales, zonas problemáticas, aptitud del terreno para diversos usos, etc.; los más habituales incluyen: interpretación de la cartografía geológica; escalas habituales entre 1:25.000 y 1:100.000; leyenda geológica, características geotécnicas de formaciones superficiales, caracterización cualitativa y zonificación somera. Este tipo de mapas es de limitada utilidad práctica.

- MAPAS DE CARACTERIZACION GEOTECNICA:

Estos mapas incluyen: Caracterización global del terreno (escalas 1:25.000 y 1:50.000) con datos de propiedades e indicadores de calidad; zonificación geotécnica para proyectos de ingeniería (escalas 1:5.000 y 1:25.000) con información cuantitativa según su aplicación (cimentaciones, taludes, excavaciones, etc.); cartografía geotécnica a detalle (escalas 1:100 y 1:2.000) con datos geotécnicos para una obra concreta.

Los fenómenos de remoción en masa son procesos de transporte de material definidos como procesos de movilización lenta o rápida de un volumen de suelo, roca, o ambos, en diversas proporciones, generados por una serie de factores (Hauser, 1993). Estos movimientos tienen carácter descendente ya que están fundamentalmente controlados por la gravedad (Cruden, 1991). Las remociones en masa han sido clasificadas por los autores Cruden & Varnes (1996), de acuerdo al tipo de movimiento y al material involucrado (Varnes, 1978) (Tabla 3)

Tabla 3. Clasificación de Remociones en Masa.

Tipo de movimiento		Tipo de material	
		Roca	Suelo
Suelo			
Deslizamiento	Rotacional		Grano grueso (detritos, <80% partículas <2mm)
	Traslacional		
Extensiones laterales			
Flujos			
Complejos			

Fuente: Varnes, 1978

Existen factores condicionantes de la remoción en masa que corresponde a aquellos que generan una situación potencialmente inestable. Estos conciernen principalmente a la geomorfología, litologías, geotecnia y estructural, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, donde la “*susceptibilidad*” se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepúlveda, 1998).

El análisis de los rasgos estructurales da luces respecto a la intervención directa para el problema de la inestabilidad, pues esta condición obedece a la coincidencia entre las direcciones preferentes de las diaclasas respecto a la dirección y buzamiento de la orientación de las laderas.

El municipio de Vélez se encuentra construido sobre el flanco oriental del Sinclinal de Vélez y el flanco occidental del Anticlinal de Vélez, regionalmente no se ve afectado por fallamiento.

Para la determinación de las causas de la remoción en masa el análisis geotécnico se centrará primordialmente en el estudio de la resistencia al corte que corresponde a los cambios en las tensiones presentes en los materiales geológicos que generan deformaciones y originan roturas, pero estas roturas dependen principalmente de la cohesión que presentan los suelos y cementación en las rocas, como es el caso para los suelos cohesivos que se rompen a veces por tracción generando grietas verticales observadas en la corona de un talud deslizado, generalmente la forma más común de rotura corresponde al efecto causado por los esfuerzos cortantes presentes en los suelos y en las rocas. Este parámetro no es único ni es igual para todos los casos puesto que depende de muchos factores como la naturaleza del material, su estructura, su nivel de deformación, su resistencia y demás. Para

el análisis de la rotura se tiene en cuenta la teoría de Coulomb en la cual se relacionan tensiones efectivas normales y tangenciales que actúan en cualquier plano del suelo. Además, el estudio geotécnico en la clasificación de macizos rocosos que corresponden a medios discontinuos que presentan un comportamiento geo mecánico complejo, que de forma simplificada puede ser estudiados y categorizados en función de su aptitud y comportamiento con distintas aplicaciones mediante la clasificación geo mecánica que aporta información directa de las propiedades o características de dichos macizos, y a la vez recomienda una correcta y efectiva intervención para lograr la estabilización.

La clasificación geomecánica más empleada tanto para la caracterización de los macizos rocosos y sus propiedades es la RMR (Rock Mass Rating) que corresponde a uno de los modelos de clasificación más utilizados (rango de 1 muy malo y 100 muy bueno) propuesto originalmente por Bieniawski en 1973 y revisado por el mismo en 1976, 1979, 1984 y 1989., versión que se usa actualmente.

Tabla 4. RMR para la clasificación geomecánica de macizos rocosos.

Clasificación geomecánica RMR (Bieniawski, 1989)								
Parámetros de clasificación								
1	Resistencia de la matriz rocosa (MPa)	Ensayo de carga puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (MPa)	
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1
2	Puntuación	RQD	90 %-100 %	75 %-90 %	50 %-75 %	25 %-50 %	< 25 %	
		Separación entre diaclasas	> 2 m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	0,06-0,2 m	< 0,06 m	
3	Puntuación	20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad	< 1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	> 20 m	
		Puntuación	6	4	2	1	0	
		Abertura	Nada	< 0,1 mm	0,1-1,0 mm	1-5 mm	> 5 mm	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	Suave	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm	
		Puntuación	6	4	2	2	0	
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta	
		Puntuación	6	5	3	1	0	
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min	
		Relación: Presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5	
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo	
		Puntuación	15	10	7	4	0	
Corrección por la orientación de las discontinuidades								
Dirección y buzamiento		Muy favorables	Favorables	Medias	Desfavorables	Muy desfavorables		
Puntuación	Túneles	0	-2	-5	-10	-12		
	Cimentaciones	0	-2	-7	-15	-25		
	Taludes	0	-5	-25	-50	-60		
Clasificación								
Clase	I	II	III	IV	V			
Calidad	Muy buena	Buena	Media	Mala	Muy mala			
Puntuación	100-81	80-61	60-41	40-21	< 20			
Características geotécnicas								
Clase	I	II	III	IV	V			
Tiempo de mantenimiento y longitud	10 años con 15 m de vano	6 meses con 8 m de vano	1 semana con 5 m de vano	10 horas con 2,5 m de vano	30 minutos con 1 m de vano			
Cohesión	> 4 Kp/cm ²	3-4 Kp/cm ²	2-3 Kp/cm ²	1-2 Kp/cm ²	< 1 Kp/cm ²			
Ángulo de rozamiento	> 45°	35°-45°	25°-35°	15°-25°	< 15°			

Fuente: Tomado de González et al. (2002), p. 232.

En esta clasificación geomecánica se tienen en cuenta la resistencia uniáxial de la matriz rocosa, el grado de fracturación de acuerdo al índice RQD (Rock Quality Designation), el espaciado entre discontinuidades (diaclasas y planos de sedimentación), las condiciones hidrogeológicas y la orientación de las discontinuidades con respecto a la excavación. (Ya que ésta clasificación, fue inicialmente propuesta para el análisis y construcción de túneles). Este método

recomienda dividir el macizo en zonas (teniendo en cuenta su homogeneidad geológica), para la toma de datos de la matriz rocosa y sus discontinuidades en cada una de ellas.

Para esta clasificación geomecánica también se debe tener en cuenta la corrección por orientación de las discontinuidades, corresponde a corregir la calificación del macizo rocoso de acuerdo al rumbo y buzamiento del talud natural o con respecto a la obra civil que se va a realizar, esta clasificación se describe a continuación:

Tabla 5. Clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.

Dirección Perpendicular Al Eje De La Obra				Dirección Paralelo Al Eje De La Obra.		Buzamiento 0-20° Cualquier dirección.
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento				
Buz. 45°-90°	Buz 20°-45°	Buz 45°-90°	Buz 20°-90°	Buz 45°-90°	Buz 20°-45°	
Muy favorable	Favorable	Medio	Desfavorable	Muy desfavorable	Medio	Desfavorable

Fuente: Tomado de Belandria y Bongiorno (2012), p. 7.

(ROMANA 1997) presenta el SMR (Slope Mass Rating), esta clasificación geomecánica se basa en la clasificación RMR, complementada en la definición de factores de ajuste por orientación de las discontinuidades y por el método de excavación (a máquina o por explosivos). Tiene en cuenta la relación entre las juntas; el paralelismo que tienen con el talud, el ángulo de buzamiento que se debe obtener para cada una de las familias de juntas, esta clasificación, adopta el valor menor de los obtenidos.

El factor de ajuste de las juntas es producto de tres subfactores:

- F_1 depende del paralelismo entre el rumbo de las discontinuidades y de la cara del talud. Varía entre 1,00 (cuando ambas direcciones son paralelas) y 0,15 (cuando el ángulo entre ambos rumbos es mayor de 30° y la probabilidad de rotura es muy baja).
- F_2 depende del buzamiento de la diaclasa en la rotura plana. Este varía entre 1,00 (para juntas con buzamiento superior a 45°) y 0,15 (para juntas con buzamiento inferior a 20°).
- F_3 refleja la relación entre los buzamientos de la diaclasa y el talud.
- F_4 es otro factor de ajuste, pero por el método de excavación, dependiendo del procedimiento utilizado.

El valor final del índice SMR se obtiene sumando el índice RMR, el factor de ajuste de las juntas y el factor de ajuste por el método de excavación.

$$SMR=RMR+ (F_1 *F_2 *F_3) +F_4$$

Tabla 6. Clasificación Geomecánica de taludes SMR.

Clasificación geomecánica de taludes SMR						
Factores de ajuste por la orientación de las juntas (F_1 , F_2 y F_3)						
Caso		Muy favorable	Favorable	Normal	Desfavorable	Muy desfavorable
P	$ \alpha_j - \alpha_s $	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ $					
P/T	F_1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
P	$ \beta_j $	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
	F_2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
T	F_2	1	1	1	1	1
P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	0°	$0 - (-10^\circ)$	$< -10^\circ$
T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	—	—
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60
Factor de ajuste por el método de excavación (F_4)						
Método	Talud natural	Precorte	Voladura suave	Voladura o excavación mecánica	Voladura deficiente	
	F_4	+ 15	+ 10	+ 8	0	- 8
Clases de estabilidad						
Clase	V	IV	III	II	I	
SMR	0 - 20	21 - 40	41 - 40	61 - 80	81 - 100	
Descripción	Muy mala	Mala	Normal	Buena	Muy buena	
Estabilidad	Totalmente inestable	Inestable	Parcialmente estable	Estable	Totalmente estable	
Roturas	Grandes roturas por planos continuos o por masa	Juntas o grandes cuñas	Algunas juntas o muchas cuñas	Algunos bloques	Ninguna	
Tratamiento	Reexcavación	Corrección	Sistemático	Ocasional	Ninguno	
P: rotura plana		α_s : dirección del talud		β_s : buzamiento del talud		
T: rotura por vuelco		α_j : dirección de las juntas		β_j : buzamiento de las juntas		

Fuente: Tomado de González et al. (2002), p. 469.

Un Sistema de Información Geográfica es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar

la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, gestión de activos, la arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, etc.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando al profesional la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

En este trabajo de grado se empleó el SIG ARCGIS 10 Y ARCGIS 10.1 para la elaboración de los diferentes mapas; geológico, ubicación de los datos estructurales, geomorfológico, morfométrico, usos del suelo, clasificación RMR y SMR, y geotécnico preliminar además, se alimentó una base de datos con los mapas mencionados anteriormente en los siguientes formatos de datos espaciales y documentos mapa; .DBF, .PRJ, .SBN, .SBX, .SHP, .SHX, .MXD, .XML (ENTREGABLE DIGITAL. BASE DE DATOS.CD).

✓ **SHAPEFILES (.SHP; .SHX; .DBF)**

Los Shapefiles tienen la estructura más simple de todas, solo contienen una clase de entidad (punto, línea o polígono). Este es un formato vectorial de almacenamiento digital donde se guarda la localización de los elementos geográficos y los atributos asociados a ellos. Los Shapefiles constan de al menos tres archivos con el mismo nombre y extensiones diferentes:

.SHP: almacena las características geométricas de los objetos.

.SHX: almacena el índice de los datos espaciales.

.DBF: base de datos de dBASE en donde se almacenan los atributos temáticos de los objetos (tablas de atributos).

Además de estos tres archivos básicos, al realizar ciertas operaciones se crean otros archivos, como por ejemplo los archivos de indexación .SBN Y .SBX para mejorar el funcionamiento de las operaciones de consulta a la base de datos; el archivo .PRJ para definir el sistema de coordenadas del shapefile; o .XML para crear un archivo de metadatos. Todos los archivos deben estar dentro del mismo directorio o carpeta para que funcione como un solo shapefile.

✓ **DOCUMENTOS MAPA (.MXD)**

Cuando se trabaja dentro de ArcMap siempre se está trabajando en un documento mapa que quedara almacenado en un archivo con extensión .MXD. En él se gestionan todos los gráficos, capas, tablas y presentaciones elaboradas en una sesión de trabajo. Este archivo no contiene los datos que representa, si no la referencia a los mismos (Pedregal, B. [En línea])

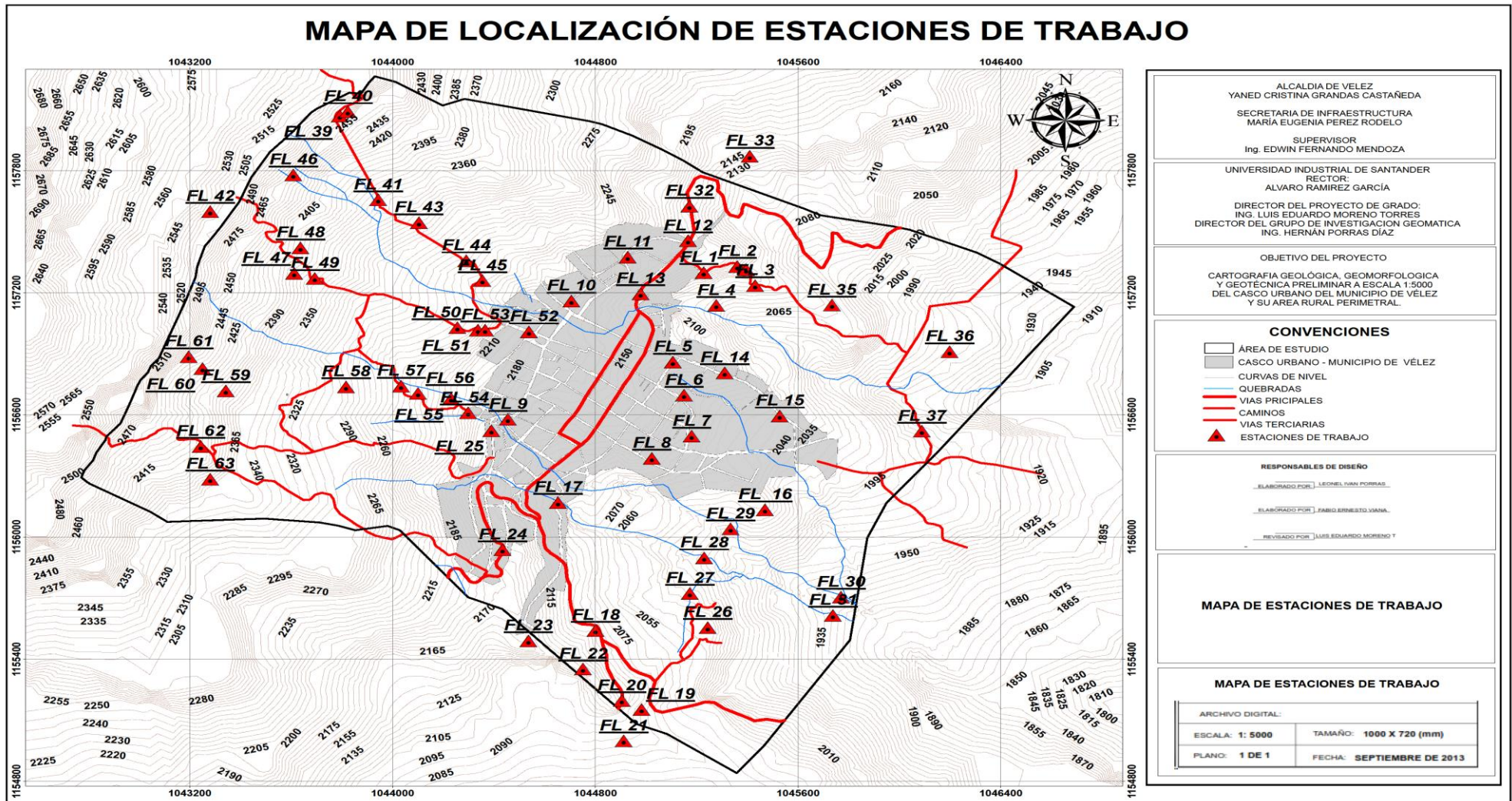
La base de datos alimentada con las extensiones de los archivos anteriormente mencionados, se desarrolló con el fin de tener un fácil acceso para usos futuros o actualizaciones.

6 RESULTADOS OBTENIDOS

6.1 GEOLOGIA

A continuación se describe brevemente el marco geológico en el que se encuentra la zona de estudio observada y confirmada durante el trabajo desarrollado en campo (Anexo A), obteniendo una densidad de 63 estaciones denominadas FL1 hasta FL63 (Figura 4), donde se recogió información litológica y estructural. Se cartografió el cuerpo de roca de las formaciones Paja y Tablazo, debido a que el interés de este estudio es determinar la disposición y distribución de estos.

Figura 4. Mapa de localización de estaciones de trabajo.



Fuente: Autores.

6.1.1 Estratigrafía

La zona de estudio se encuentra localizada dentro de una secuencia sedimentaria que corresponde a la formación Paja y a la formación Tablazo, las cuales se extienden desde el Cretácico inferior al Cretácico medio. La nomenclatura estratigráfica utilizada, ha sido la utilizada en las áreas de Santander-Arcabuco.

6.1.1.1 Formación Paja

Presenta una edad del Cretácico inferior Hauteriviano – Barromiense – Aptiano (Etayo, 1968). Aflora desde la parte oriental y occidental del municipio de Vélez, extendida en un área de aproximadamente 9.15 Km², representando el 95.3% del área total. Por la escala en la cual se desarrolla este trabajo se logra diferenciar cuatro unidades: La Unidad I (Kip₁) y a la Unidad II (Kip₂) infrayacen a las unidades Unidad III (Kip₃) y Unidad IV (Kip₄).

6.1.1.1.1 Unidad I (Kip₁).

Se encuentra hacia el oriente del municipio de Vélez. Esta unidad corresponde a shale de color negro, carbonatado, presenta fósiles como amonitas de aproximadamente 3 cm de diámetro y estructuras nodulares calcáreas fosilíferas que varían de 25 a 45 cm de diámetro, las cuales muestran un grado de fisilidad bajo y una distribución no homogénea alrededor de los afloramientos; que se evidencian en los cauces de las corrientes superficiales que fluyen en las partes bajas del casco urbano. Esta unidad presenta un espesor entre 25 y 56 metros.

Figura 5. Afloramiento y detalle de Shale negro carbonatado con fisilidad baja, estructuras nodulares y fósiles de amonitas. Ubicado en la Quebrada el Hospital o las Flores.



6.1.1.1.2 Unidad II (Kip₂).

Esta unidad corresponde a Shale de color negro y gris, que se caracteriza por tener una fisilidad muy alta y en algunos sectores afloran muy fracturadas por efecto del marcado diaclasamiento sub-vertical. En la parte superior de la zona de estudio, el shale negro presenta una acumulación de calcita (caliche) entre sus folios, debido a la precipitación química de carbonatos. Esta unidad presenta un espesor variable entre 20 y 150 metros.

Figura 6. Afloramiento y detalle lutita negra con diaclasamiento sub-vertical.



6.1.1.1.3 Unidad III (Kip₃).

Compuesta de Shale negro carbonatado con un grado de fisilidad de media a alta, presencia de nódulos de aproximadamente 10 cm de diámetro y el mismo diaclasamiento sub-vertical que predomina en general en todas las litologías presentes en la zona de estudio. La unidad presenta un espesor entre 15 y 100 metros.

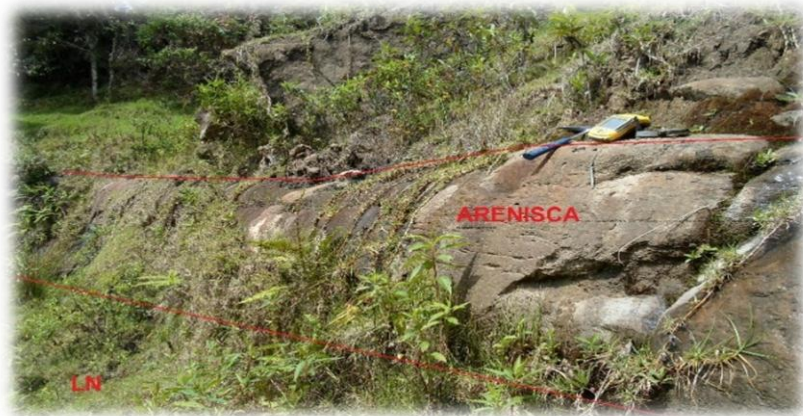
Figura 7. Afloramiento Shale negro calcáreo con nódulos de 10 cm.



6.1.1.1.4 Unidad IV (Kip₄).

Se encuentra ubicada al occidente del casco urbano de Vélez. Esta unidad corresponde a una arenisca de grano fino y ligeramente micácea, con un espesor de 36 metros y se encuentra concordando con la unidad III.

Figura 8. Arenisca fina en contacto con Shale Negro.



6.1.1.2 Formación Tablazo

Presenta una edad de Aptiano superior – Albiano inferior (Ulloa y Rodríguez, 1978). Aflora en el sector Noroeste de Vélez, se observa en contacto neto y supra yaciendo la formación Paja. En la zona de estudio se alcanza a identificar la base de la formación Tablazo. La unidad abarca un área aproximada de 0.45 Km² que corresponde al 4.7% del área total.

En esta formación se identifica una unidad: Unidad V (Kit₁).

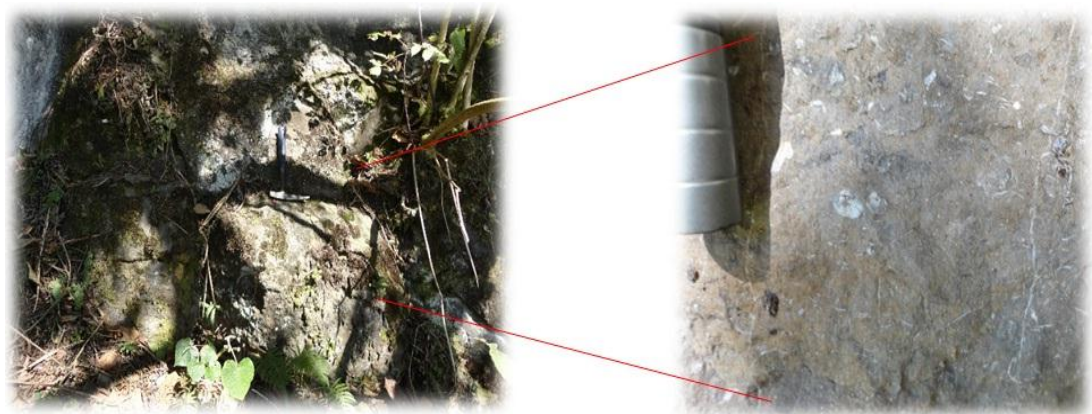
6.1.1.2.1 Unidad V (Kit₁).

Conformada por una caliza de color gris azulado a gris, con una textura tipo Packstone de bivalvos que se encuentran recristalizados y fuertemente compactada. Esta caliza tiene un espesor de 74 mts el cual modificaba abruptamente la geomorfología generando un escarpe de las dimensiones anteriormente mencionadas.

Figura 9. Contacto Formación Tablazo (caliza) y Formación Paja (Shale negro).

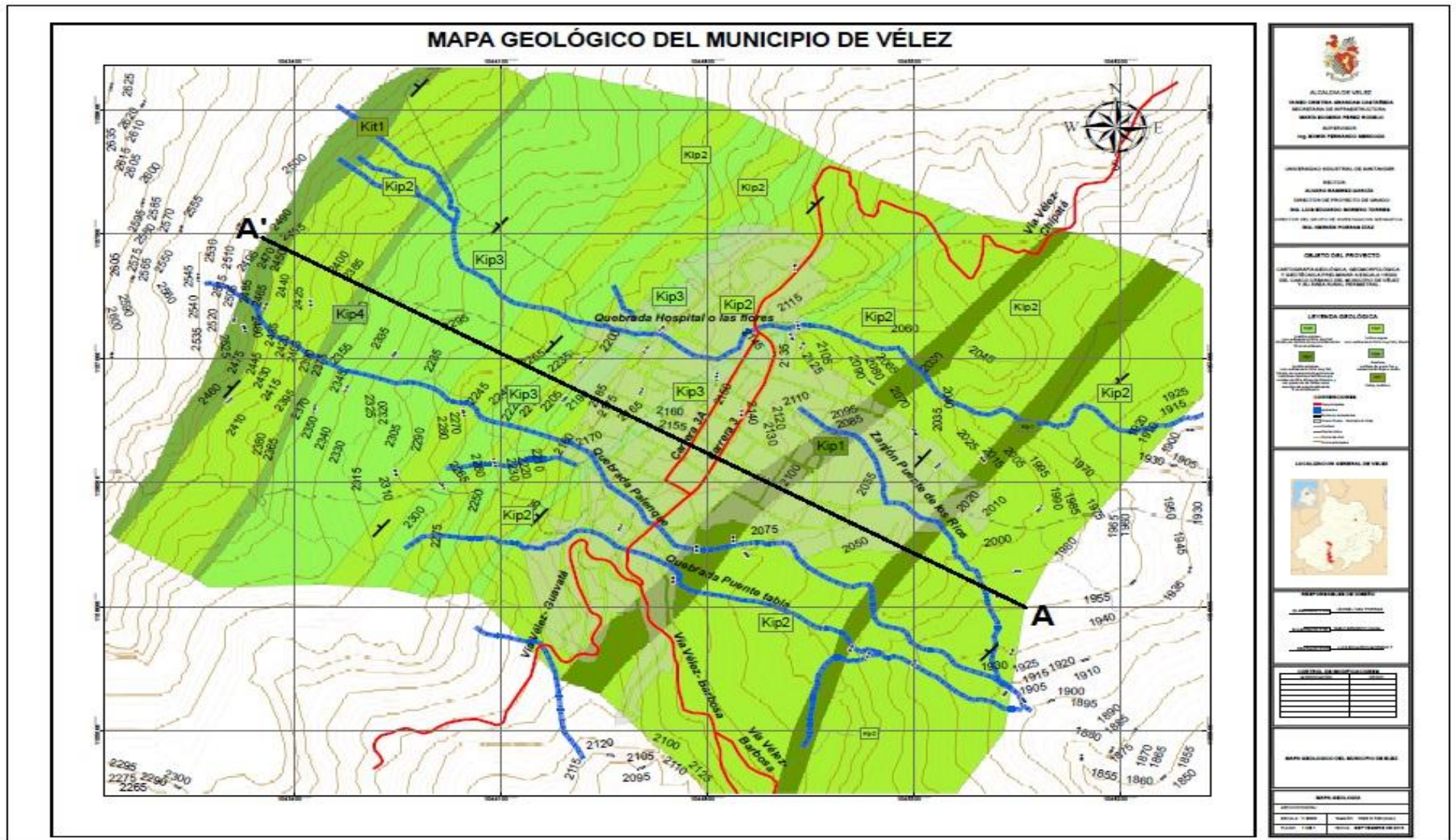


Figura 10. Afloramiento y Detalle Caliza gris.



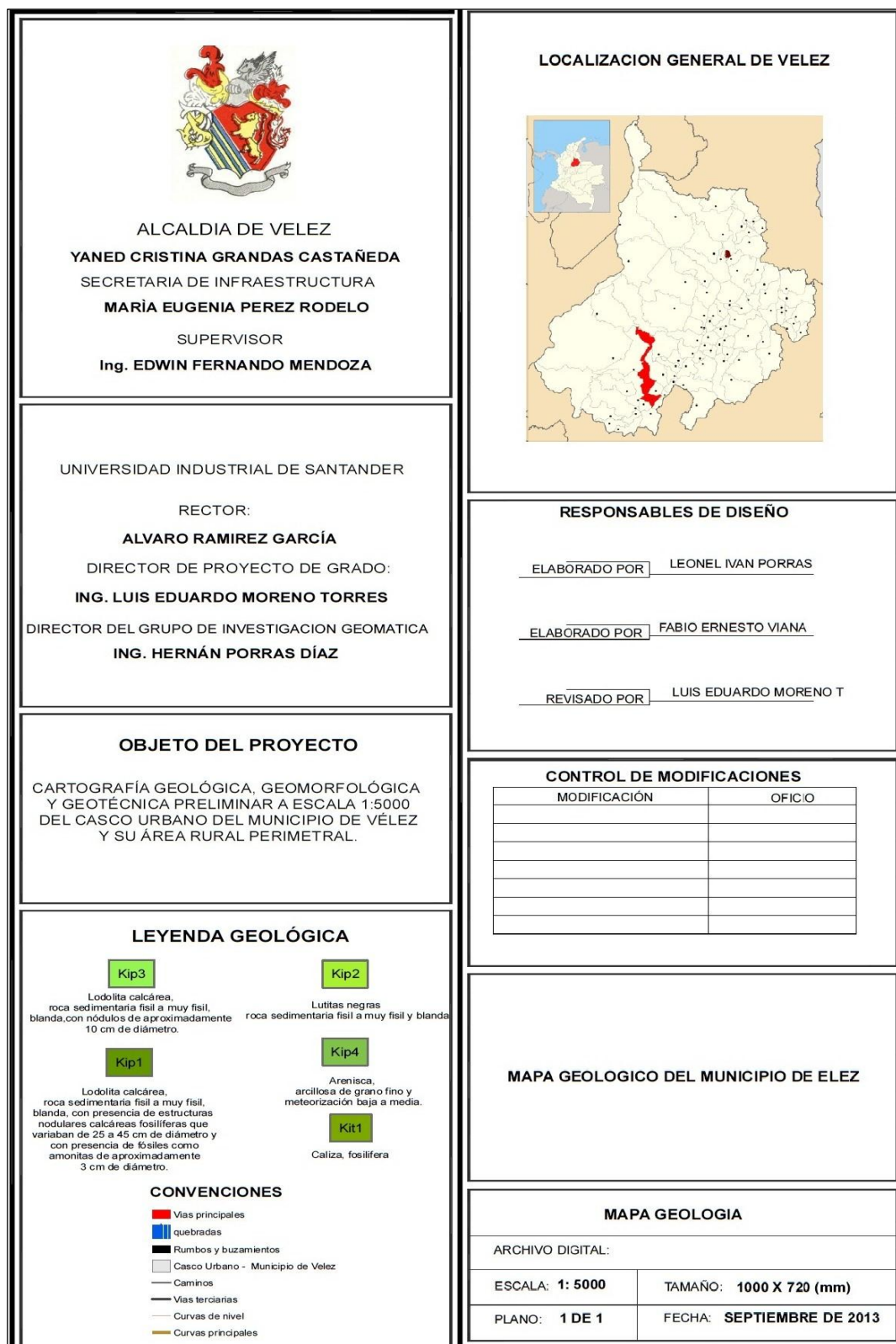
En las figuras 11, 13 y 14 se observa el mapa geológico, corte geológico (A-A') y la columna estratigráfica respectivamente del área de estudio. Resumiendo y modelando el marco geológico local.

Figura 11. Mapa Geológico del municipio de Vélez.



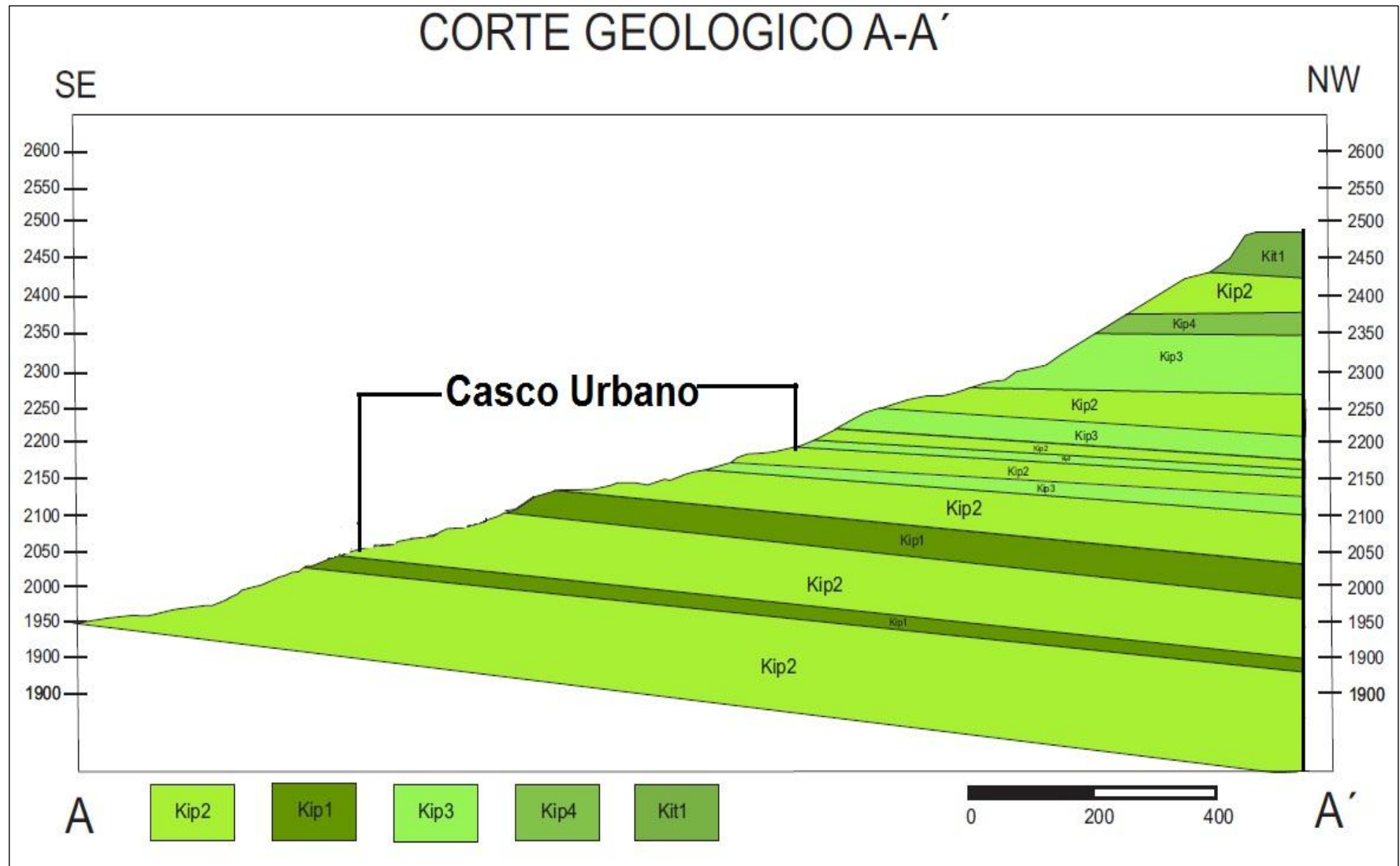
Fuente: Autores

Figura 12. Leyenda mapa Geológico del municipio de Vélez.



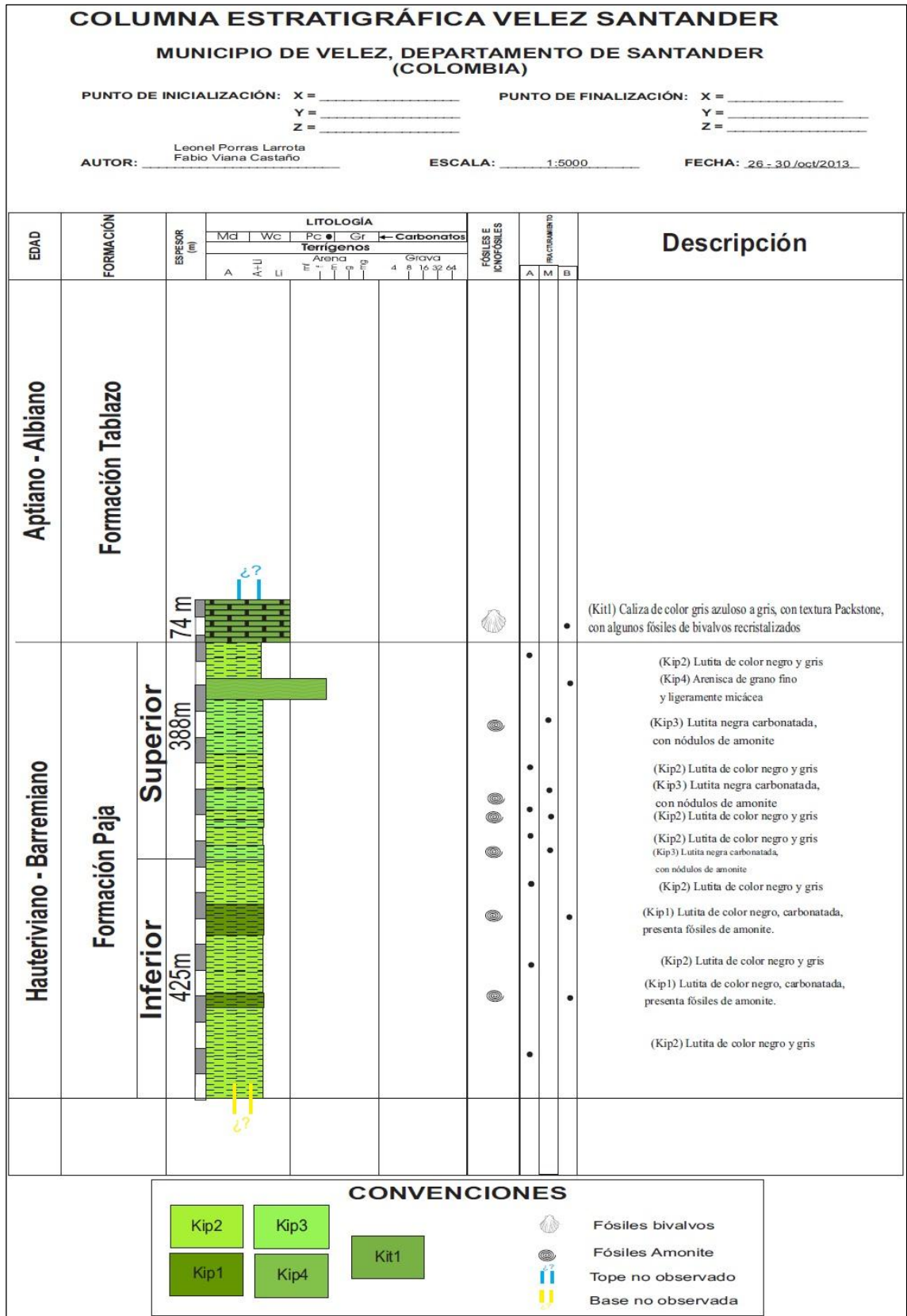
Fuente: Autores.

Figura 13. Corte Geológico A-A'



Fuente: Autores.

Figura 14. Columna Estratigráfica.

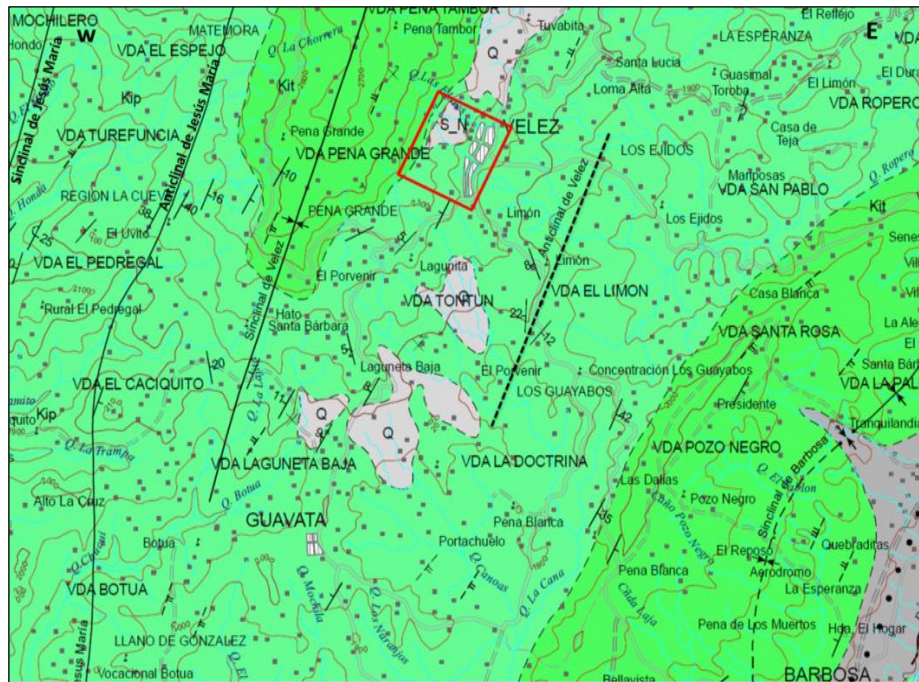


Fuente: Autores.

6.2 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área de estudio se encuentra en la provincia de Vélez, la cual presenta una serie consecutiva de anticlinales y sinclinales, estos se distribuyen de Este a Oeste así: Sinclinal de Barbosa, Anticlinal de Vélez, Sinclinal de Vélez, Anticlinal de Jesús María y Sinclinal de Jesús María. Los pliegues mencionados son abiertos con planos axiales verticales (León, 1991) citado en Álvarez y Bueno (1994) y su orientación va SW-NE. En general, se caracterizan por la forma y disposición, cuyas líneas de charnela a lo largo de hasta 20 Km y apenas presentan cambios en su inmersión y dirección. Las zonas así deformadas se caracterizan por no estar metamorfizadas, y por presentar pliegues con tendencia a ser paralelos. Las fallas tienden a ser relativamente escasas y están restringidas a las zonas marginales o a zonas de deformación relativamente importante, en las que las fallas son inversas aproximadamente paralelas a los planos axiales de los pliegues (Hobbs, 1981) citado en Álvarez y Bueno (1994) Ver Figura 15.

Figura 15. Ubicación zona de estudio (cuadro rojo) dentro del contexto estructural regional.

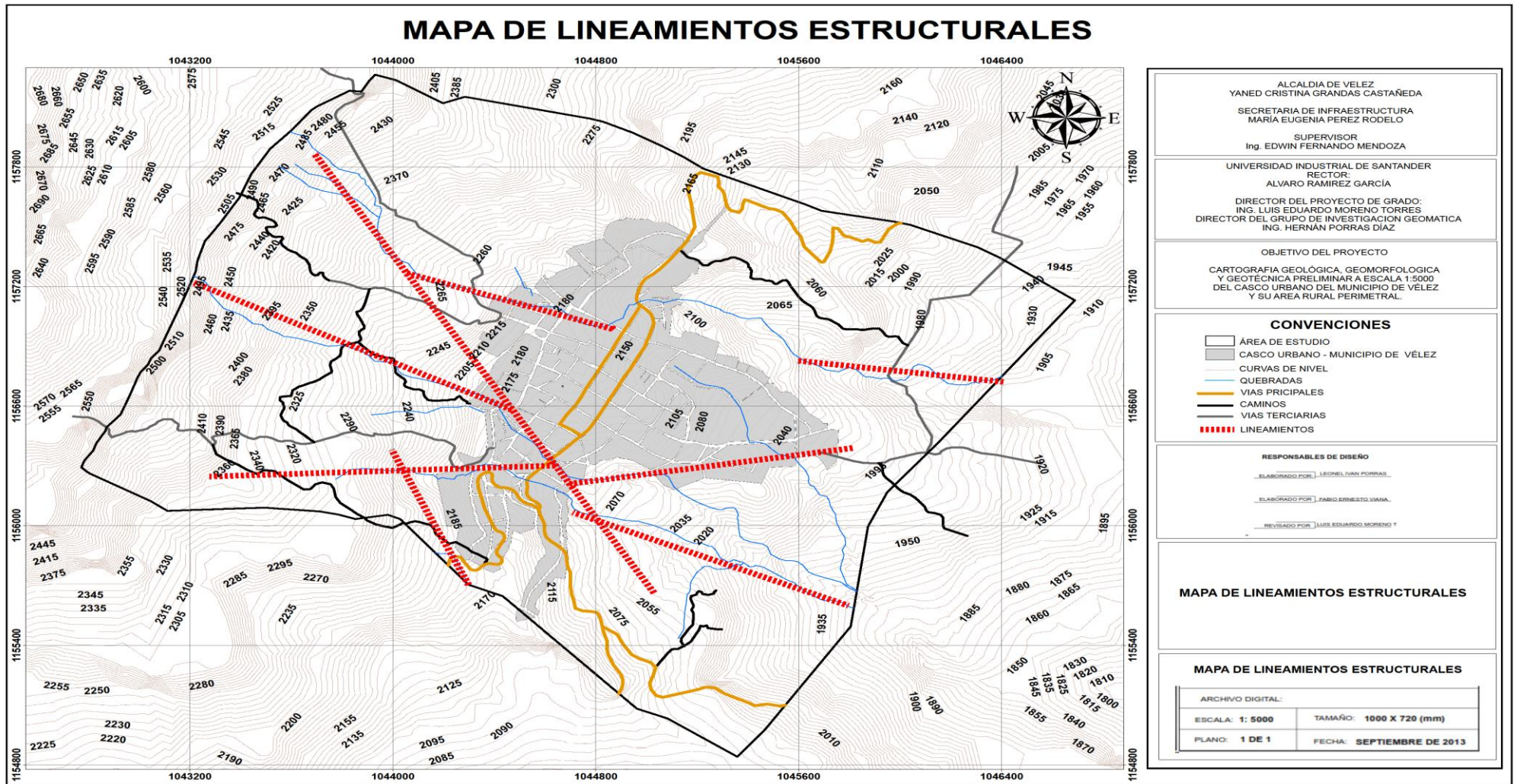


Fuente: Modificado de C. Ulloa M. y E. Rodríguez M., 1984. INGEOMINAS.

- ✓ Sinclinal de Jesús María: Presenta un rumbo SW-NE, este parece continuar con el sinclinal que se encuentra entre Vélez y la estatua de la virgen, formando una estructura amplia, asimétrica en la formación Paja. Este sinclinal se encuentra por fuera del área de estudio.
- ✓ Sinclinal de Barbosa: Es una estructura extensa que presenta principalmente su flanco occidental bien expuesto, donde tiene asiento la ciudad de Barbosa. El flanco oriental del sinclinal está claramente desarrollado y puede apreciarse en la carretera que de Barbosa conduce a Moniquirá. Su núcleo constituido por calizas y shales negros pertenecientes a la formación Tablazo. Su eje presenta una dirección SW-NE, él que puede seguirse por varios Kms (Gómez, 1977). Este sinclinal se encuentra ubicado fuera del área de estudio.

En el área de estudio cartografiada no se registran fallas, sin embargo se pueden observar lineamientos, los cuales se identificaron por los cambios rectilíneos de los drenajes locales, dando a entender que los lineamientos controlan los drenajes locales (Figura 16).

Figura 16. Mapa de lineamientos estructurales.



Fuente: Autores.

6.2.1 Anticlinal De Vélez.

En esta sección se realizara más énfasis sobre el anticlinal de Vélez debido a que el área de estudio se encuentra sobre el flanco Oeste del mismo.

En la figura 15 se puede observar depósitos del cuaternario (Qc) originados en la Formación Paja, estos se localizan hacia el Norte y Sur del municipio de Vélez (fuera de la zona de estudio), en el flanco izquierdo del anticlinal de Vélez. Este rasgo regional estaría indicando de la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos de gran magnitud.

En el flanco Oeste se encuentran buzamientos bajos que varían entre 3°-15°, orientado hacia el NW, mientras en el flanco Este (fuera de la zona de estudio), se presentan buzamientos entre 30°-50°, dando como resultado un anticlinal asimétrico con plano axial de alto buzamiento y una orientación aproximada de N22E (Álvarez y Bueno, 1994). Su núcleo se encuentra erosionado y se dispone la formación Paja y sus flancos están ocupados por la formación Tablazo.

La determinación de la geometría y la cinemática del plegamiento resulta importante para establecer el origen y la dirección preferencial de los patrones de diaclasamiento presentes en una estructura, éstas justifican los rasgos estructurales obtenidos y observados en campo.

6.2.2 Análisis Estructural De Diaclasas

Si bien en el área cartografiada no se presentan fallas, es necesario realizar un análisis espacial de las diaclasas presentes en la zona de estudio, esta información de diaclasas fue recolectada teniendo como base la metodología planteada por el grupo de GEOMATICA, determinando la densidad de las fracturas que permiten visualizar el grado de fracturamiento presente en la

zona. Para el procesamiento de la información se aplica el software Tectonics Fp 1.7.6 que calcula y grafica la roseta respectiva al diaclasamiento. Para que el diagrama de roseta sea estadísticamente valido, mínimo 15 datos se deben procesar en el software.

Los datos a procesar se capturan en la fase de campo directamente de los cuerpos sedimentarios que corresponden a las unidades Kip₁, Kip₂, Kip₃ y Kip₄ de la Formación Paja y Kit₁ de la Formación Tablazo.

6.2.2.1 Análisis De Diaclasas

Se realiza el análisis estadístico de 47 datos de diaclasas (Tabla 7) recolectados en la fase de campo. El análisis se desarrolla construyendo un diagrama de roseta el cual muestra una dirección preferencial de las diaclasas de N40-60W, el patrón de buzamientos de las diaclasas muestran un rango de 80-90° y corresponde a un 55.32% de los datos procesados (Figura 17).

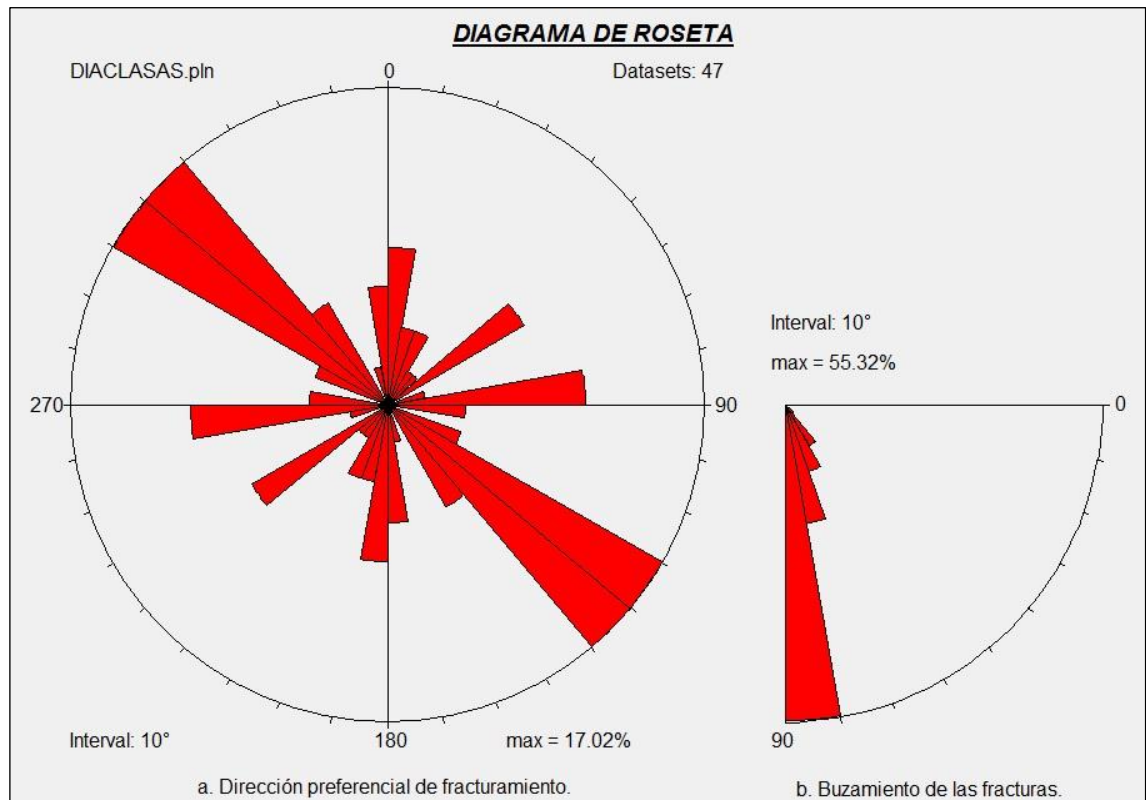
Tabla 7. Datos estructurales de diaclasas.

Estación	Longitud (X)	Latitud (Y)	Azimet Plano	Dip	DipDir
FL 1	1157299	1045228	145	64	235
FL 2	1157329	1045359	310	86	40
FL 2	1157329	1045359	129	90	219
FL 7	1156495	1045180	130	81	220
FL 11	1157375	1044927	135	80	225
FL 12	1157455	1045165	125	80	215

FL 12	1157455	1045165	6	70	96
FL 13	1157195	1044978	133	88	223
FL 13	1157195	1044978	72	55	162
FL 13	1157195	1044978	45	81	135
FL 14	1156807	1045310	12	76	102
FL 14	1156807	1045310	55	77	145
FL 17	1156170	1044653	350	85	80
FL 24	1155938	1044434	85	90	175
FL 25	1156523	1044390	85	82	175
FL 33	1157870	1045410	85	50	175
FL 52	1157008	1044538	55	65	145
FL 52	1157008	1044538	149	70	239
FL 54	1156610	1044298	122	89	212
FL 68	1156406	1044227	310	89	40
FL 15	1156595	1045527	15	45	105
FL 18	1155542	1044801	161	73	251
FL 19	1155197	1044904	125	81	215
FL 22	1155352	1044751	89	69	179
FL 30	1155705	1045769	354	81	84
FL 37	1156520	1046088	311	62	41
FL 37	1156520	1046088	6	69	96
FL 37	1156520	1046088	110	86	200
FL 40	1158089	1043823	320	86	50

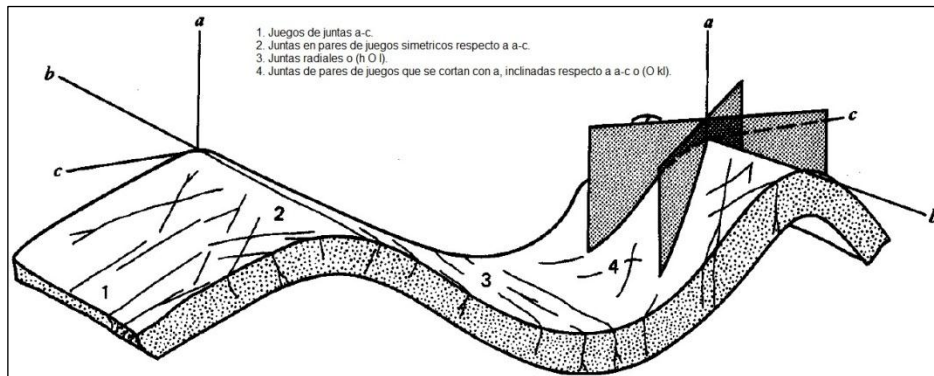
FL 40	1158089	1043823	55	90	145
FL 46	1157778	1043608	120	90	210
FL 46	1157778	1043608	20	79	110
FL 61	1156886	1043195	319	85	49
FL 61	1156886	1043195	56	90	146
FL 42	1157599	1043280	92	86	182
FL 43	1157544	1044103	183	77	273
FL 43	1157544	1044103	86	87	176
FL 47	1157295	1043612	307	85	37
FL 50	1157028	1044255	305	59	35
FL 50	1157028	1044255	96	74	186
FL 55	1156679	1044230	305	87	35
FL 55	1156679	1044230	298	87	28
FL 55	1156679	1044230	174	61	264
FL 59	1156719	1043342	5	86	95
FL 60	1156828	1043250	32	58	122
FL 66	1156409	1043936	316	79	46
FL 66	1156409	1043936	24	75	114

Figura 17. Diagrama de roseta, análisis de diaclasas.



El área de estudio se encuentra en el flanco izquierdo del anticlinal de Vélez, la familia de diaclasas que predominan en la zona, según Hobbs (1981), son diaclasas de buzamiento o de tipo a-c con respecto a los ejes ortogonales a, b y c (Figura 18) de la estructura plegada. A esta familia de diaclasas se le denominan de tensión, debido a que son formadas por fenómenos de estiramiento de las rocas. Se orientan según el campo de esfuerzos, con dirección de extensión paralelo al eje de mínimo esfuerzo o con una componente de cizalla nula en rocas isotrópicas, perpendiculares a la charnela de la estructura.

Figura 18. Diaclasas con respecto a ejes ortogonales de estructuras plegadas.



Fuente: Tomado y modificado de HOBBS, 1981.

El análisis de las diaclasas permite obtener la cantidad de buzamiento y la dirección aproximada por la cual el agua puede fluir, dicho análisis puede determinar si la inclinación de los planos de las diaclasas favorece la retención del agua, o por lo contrario, la deja infiltrar de forma vertical.

En este caso y según el diagrama de rosetas, las diaclasas se presentan con dirección vertical preferente, ya que tienen una inclinación de buzamiento que varía entre 80° - 90° (Figura 19), revelando la existencia de recarga de agua y el flujo de esta se daría por la dirección de rumbo de los planos de diaclasas, la cual es paralela a la dirección (N40-60W, 90°) del patrón de drenaje dominante en la zona, siendo de tipo subparalelo. Pero por el alto porcentaje de diaclasas verticales, el flujo sería de poca intensidad. El conjunto de diaclasas relacionado con estos datos muestra que la mayoría de estas favorecen la recarga de agua.

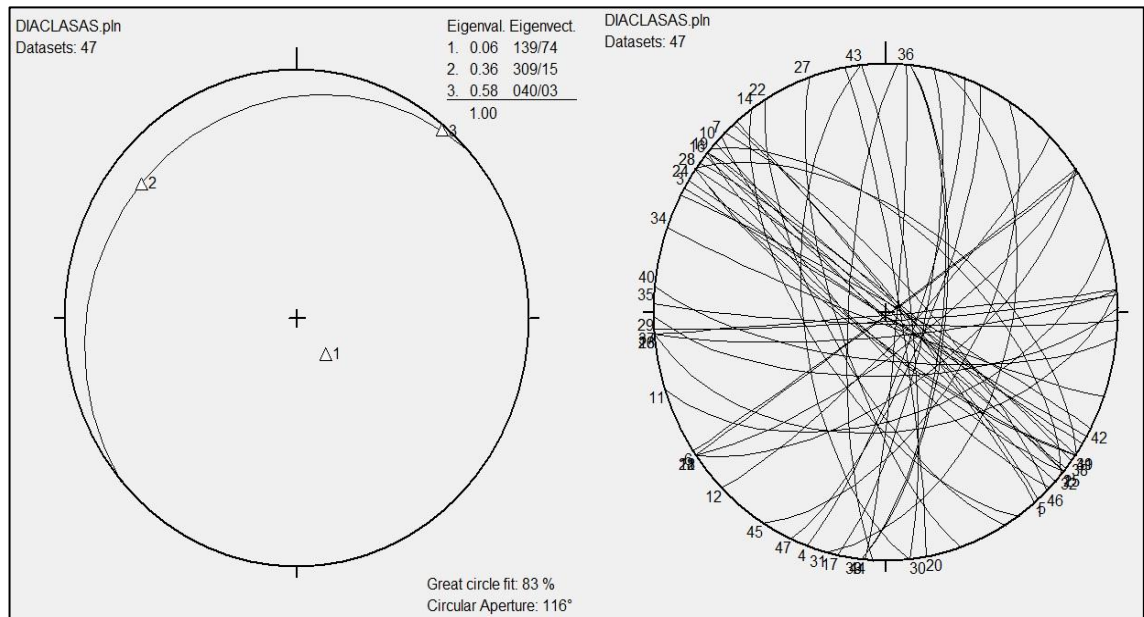
Figura 19. Diaclasas con buzamientos entre 80°-90° (verticales). Ubicada en la Quebrada el Palenque



Mediante el procesamiento estadístico de las diaclasas a través de los diagramas Eigenvectores y Grandes Círculos, se propone la dirección de los tres esfuerzos principales que actúan sobre la zona (Figura 20); indicando un esfuerzo principal en dirección de $139^{\circ}/74^{\circ}$, un esfuerzo secundario de $309^{\circ}/15^{\circ}$, y un esfuerzo menor $40^{\circ}/3^{\circ}$.

El esfuerzo principal es vertical, siendo propicio para la generación de un sistema estructural trans tensivo y para la formación de fallas de tipo normal. Para el segundo esfuerzo el cual está orientado NW-SE, puede estar relacionado con la formación del segundo patrón de diaclasas; así como el patrón principal de diaclasas está ligado al esfuerzo menor el cual se encuentra orientado en dirección NE-SW.

Figura 20. Diagrama de Eigenvectores y Grandes Círculos.



6.3 GEOMORFOLOGÍA

Es el estudio de las formas del relieve terrestre, se observa una serie de unidades topográficas tales como cuevas y vertientes, las cuales son originadas por la acción de distintos procesos que están modelando constantemente la superficie, dichos procesos pueden ser exógenos como lo son las condiciones climáticas: precipitación, humedad, escorrentía, temperaturas, evaporación, y a los factores antrópicos. Los procesos endógenos que dependen de las fuerzas internas que afectan la corteza, es decir, es el resultado de una compleja interacción de factores litológicos y tectónicos, enmarcados en una indispensable variable como el tiempo.

Geomorfológicamente el terreno donde se localiza el casco urbano del municipio de Vélez corresponde a laderas de contrapendiente, de origen

estructural, cuya inclinación es en general suave y ondulada, generando variaciones desde suaves a escarpadas. En los terrenos rurales especialmente hacia la parte más occidental se observan pendientes más suaves y en algunos sectores se presentan zonas muy escarpadas generando cambios muy abruptos en la geomorfología.

En la zona de estudio se observan diversas geoformas, las cuales varían dependiendo del tipo de roca sobre el cual se encuentren y de la interacción que tengan con el clima y con los factores estructurales, así generando en la mayor parte de la formación Paja una geomorfología de hondonadas. Este tipo de relieve es formado por procesos denudacionales.

Teniendo como base el sistema I.T.C. de Investigación Geomorfológica (Van Zuidam et al, 1985), se consideraron dos aspectos geomorfológicos principalmente: El aspecto morfogenético y morfológico. Es así como se obtienen los mapas Morfogenético, Morfodinámico y Morfométrico.

6.3.1 Mapa Morfogenético

Corresponden a las formas del terreno por sus cualidades morfogenéticas litológicas y morfométricas. Las unidades morfogenéticas presentes en el área de estudio son: Formas de origen denudacional y formas de origen estructural, que se agruparon según su génesis y el modelado.

6.3.1.1 Ambiente Denudacional

6.3.1.1.1 Cono de Talus (Dct)

Geoformas de forma de cono o lóbulos, localizadas en la base de los escarpes con formas angostas en el ápice y redondeadas hacia el extremo cuyas pendientes varían entre inclinadas a abruptas, las laderas son de longitudes cortas a medias con formas convexas y cóncavas hacia la parte distal. Son producto de la acumulación mecánica de bloques y fragmentos angulares heterométricos que se desprendieron por procesos de meteorización acentuada de las partes altas. Se incluyen en este tipo de geoforma los conos generados por actividad tectónica actual o subactual.

6.3.1.1.2 Escarpe De Erosión Menor (Dee)

Escarpes de longitud muy corta, con alturas de 1 a 20 metros, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendientes escarpadas a muy escarpado, originado por socavación fluvial lateral o erosión remontante a lo largo de un drenaje menor.

6.3.1.1.3 Escarpe Erosivo Menor (Deeme)

Escarpe de longitud muy corta a corta de formas rectas a cóncavas, de pendiente abrupta muy abrupta, cuyo origen se asocia predominantemente por procesos combinados de erosión lateral, diferencial y movimientos en masa acentuados a lo largo del curso de un río.

6.3.1.2 Ambiente Estructural

En la zona se exhibe una unidad geomorfológica, este tipo de forma está condicionada por la tectónica y las propiedades mecánicas de las rocas.

6.3.1.2.1 Escarpes Rocosos (EE)

Son pendientes abruptas, verticales a casi verticales, características de las areniscas y las calizas, en la que se observa la estratificación. Se encuentra ubicado en la parte más alta topográficamente de la zona de estudio en la vereda el Amarillo.

Figura 21. Escarpe rocoso de caliza que conforma la formación Tablazo y conos de talus.

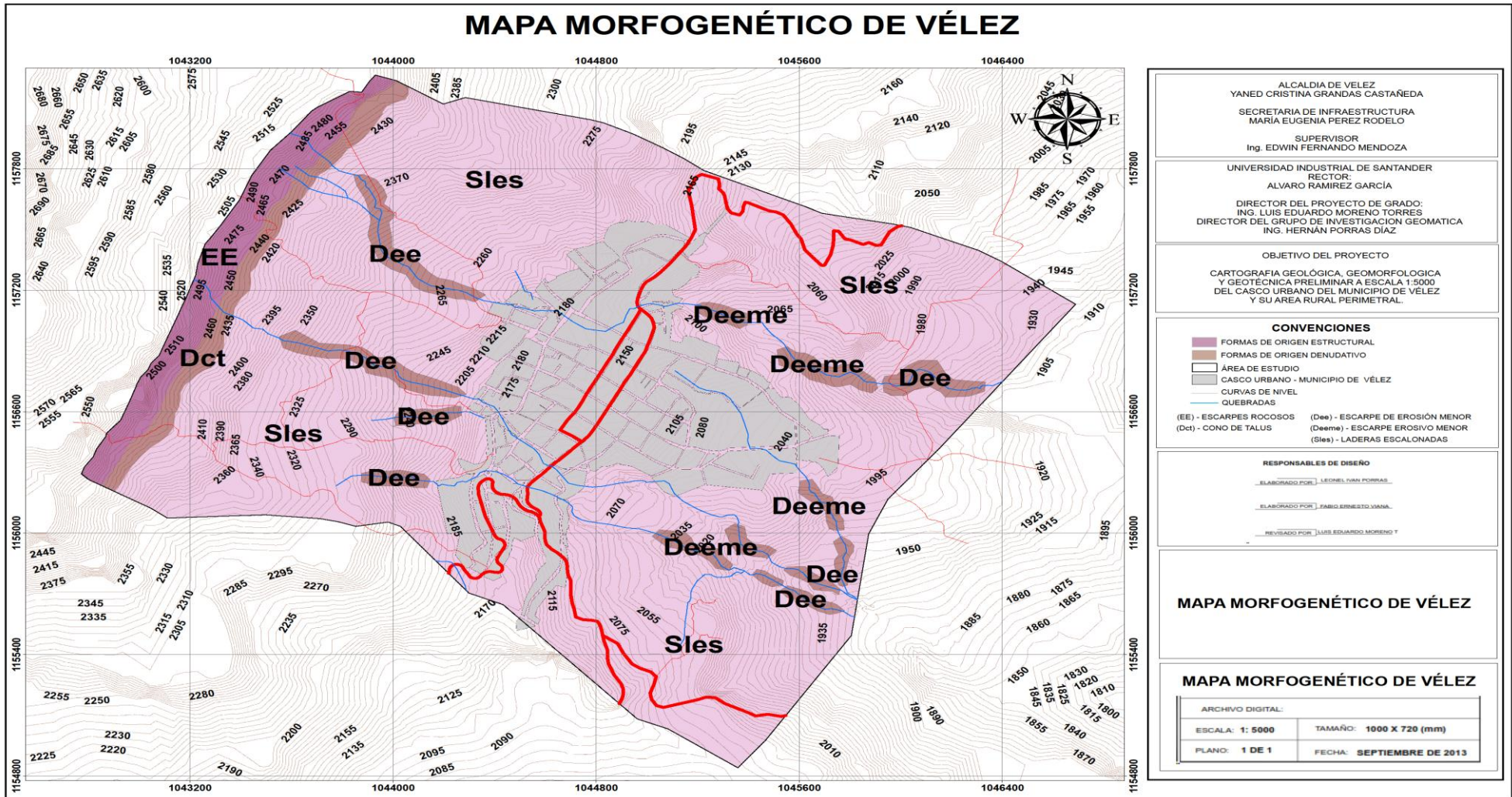


6.3.1.2.2 Laderas Escalonadas (Sles)

Ladera estructural, con estratos en forma de escalón, cuyas pendientes varían entre muy inclinados a escarpados y dispuestos a favor o en contra de la pendiente del terreno, de longitud larga a extremadamente larga, de formas rectas, irregulares a escalonadas, separadas por escarpes abruptos de menor longitud como consecuencias de la incisión de los drenajes o por el fracturamiento perpendicular al buzamiento de los estratos sedimentarios o metamórficos donde se concentran procesos de erosión diferencial.

Las características morfogénicas anteriormente descritas, se cartografiaron para observar su ubicación y distribución en el área de estudio (Figura 22).

Figura 22. Mapa Morfofenético.



Fuente: Autores.

Figura 23. Leyenda Mapa Morfofenético.

<p>ALCALDIA DE VELEZ YANED CRISTINA GRANDAS CASTAÑEDA</p> <p>SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA MARÍA EUGENIA PEREZ RODELO</p> <p>SUPERVISOR Ing. EDWIN FERNANDO MENDOZA</p>																		
<p>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER RECTOR: ALVARO RAMIREZ GARCÍA</p> <p>DIRECTOR DEL PROYECTO DE GRADO: ING. LUIS EDUARDO MORENO TORRES DIRECTOR DEL GRUPO DE INVESTIGACION GEOMATICA ING. HERNÁN PORRAS DÍAZ</p>																		
<p>OBJETIVO DEL PROYECTO</p> <p>CARTOGRAFIA GEOLÓGICA, GEOMORFOLOGICA Y GEOTÉCNICA PRELIMINAR A ESCALA 1:5000 DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE VÉLEZ Y SU AREA RURAL PERIMETRAL.</p>																		
<p style="text-align: center;">CONVENCIONES</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #d9534f; border: 1px solid black;"></td> <td>FORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #8c564b; border: 1px solid black;"></td> <td>FORMAS DE ORIGEN DENUDATIVO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #e377c2; border: 1px solid black;"></td> <td>ÁREA DE ESTUDIO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; background-color: #1f77b4; border: 1px solid black;"></td> <td>CASCO URBANO - MUNICIPIO DE VÉLEZ</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 1px solid black;"></td> <td>CURVAS DE NIVEL</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border-bottom: 1px solid black;"></td> <td>QUEBRADAS</td> </tr> </table> <table style="width: 100%; border: none; margin-top: 5px;"> <tr> <td style="width: 50%;">(EE) - ESCARPES ROCOSOS</td> <td style="width: 50%;">(Dee) - ESCARPE DE EROSIÓN MENOR</td> </tr> <tr> <td>(Dct) - CONO DE TALUS</td> <td>(Deeme) - ESCARPE EROSIVO MENOR</td> </tr> <tr> <td></td> <td>(Sies) - LADERAS ESCALONADAS</td> </tr> </table>		FORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL		FORMAS DE ORIGEN DENUDATIVO		ÁREA DE ESTUDIO		CASCO URBANO - MUNICIPIO DE VÉLEZ		CURVAS DE NIVEL		QUEBRADAS	(EE) - ESCARPES ROCOSOS	(Dee) - ESCARPE DE EROSIÓN MENOR	(Dct) - CONO DE TALUS	(Deeme) - ESCARPE EROSIVO MENOR		(Sies) - LADERAS ESCALONADAS
	FORMAS DE ORIGEN ESTRUCTURAL																	
	FORMAS DE ORIGEN DENUDATIVO																	
	ÁREA DE ESTUDIO																	
	CASCO URBANO - MUNICIPIO DE VÉLEZ																	
	CURVAS DE NIVEL																	
	QUEBRADAS																	
(EE) - ESCARPES ROCOSOS	(Dee) - ESCARPE DE EROSIÓN MENOR																	
(Dct) - CONO DE TALUS	(Deeme) - ESCARPE EROSIVO MENOR																	
	(Sies) - LADERAS ESCALONADAS																	
<p>RESPONSABLES DE DISEÑO</p> <p>ELABORADO POR: LEONEL IVAN PORRAS</p> <p>ELABORADO POR: FABIO ERNESTO VIANA</p> <p>REVISADO POR: LUIS EDUARDO MORENO T.</p>																		
<p>MAPA MORFOGENÉTICO DE VÉLEZ</p>																		
<p style="text-align: center;">MAPA MORFOGENÉTICO DE VÉLEZ</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; padding: 2px;">ARCHIVO DIGITAL:</td> </tr> <tr> <td style="width: 50%; padding: 2px;">ESCALA: 1: 5000</td> <td style="width: 50%; padding: 2px;">TAMAÑO: 1000 X 720 (mm)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">PLANO: 1 DE 1</td> <td style="padding: 2px;">FECHA: SEPTIEMBRE DE 2013</td> </tr> </table>	ARCHIVO DIGITAL:		ESCALA: 1: 5000	TAMAÑO: 1000 X 720 (mm)	PLANO: 1 DE 1	FECHA: SEPTIEMBRE DE 2013												
ARCHIVO DIGITAL:																		
ESCALA: 1: 5000	TAMAÑO: 1000 X 720 (mm)																	
PLANO: 1 DE 1	FECHA: SEPTIEMBRE DE 2013																	

Fuente: Autores.

6.3.2 Mapa Morfodinámico

Corresponde al estudio de los procesos morfodinámicos presentes y pasados, es decir todos aquellos procesos erosivos y de remoción en masa que modifican el relieve.

6.3.2.1 Formas De Origen Denudacional/Remoción En Masa.

Son geoformas que se generan en litologías diferentes, por lo general se caracterizan por ser un material que se mantiene coherente y se mueve a lo largo de una superficie bien definida, pueden considerarse lentos o rápidos dependiendo de la inclinación de las pendientes y el material implicado son procesos donde actúa la gravedad y el principal agente detonante es el agua.

Hace referencia a todos los movimientos en masa, los cuales se entienden por movimiento pendiente abajo de roca, detritos y suelo bajo la influencia directa de la gravedad, no precisan un medio de transporte, pero hay varios factores que desempeñan un papel importante en cuanto a la superación de la inercia y el desencadenamiento de movimientos descendentes. Entre estos factores se encuentra la saturación en agua del material, el exceso de inclinación de las pendientes, la eliminación de la vegetación fija y las vibraciones del suelo debidas a terremotos.

6.3.2.1.1 Deslizamientos.

Son movimientos de masa, ocasionados por presencia del agua, la gravedad y las propiedades inherentes de las rocas. Dependiendo de la geometría del plano de cizalla se puede clasificar el tipo de deslizamiento.

En la zona de estudio se observan deslizamientos rotacionales estos presentan un plano de falla semicircular, en el cual la masa desplazada trata de girar sobre él. Por el fenómeno de rotación es frecuente encontrar terracetas en contrapendiente sobre todo en la cabeza del deslizamiento.

Figura 24. Deslizamiento Rotacional, vía Vélez-Barbosa.



6.3.2.1.2 Reptación

Es un tipo de movimiento de masa lento ladera abajo, registrándose tan solo algunos centímetros al año. Para reconocer este tipo de movimiento se emplean una serie de criterios, entre los más frecuentes está el curvamiento de árboles, inclinación de postes y cercas.

6.3.2.1.3 Flujos De Lodo

Se refiere a un deslizamiento viscoso de una masa a favor de la pendiente, este aparece compuesto generalmente por sedimentos finos como las arcillas saturadas en agua. Estos flujos no necesariamente necesitan superficies de pendientes muy elevadas para su desarrollo debido al comportamiento viscoso que presentan los minerales arcillosos saturados en agua. Las coladas de barro presentan velocidades muy variadas ya que dependen de la viscosidad, pero cuando alcanzan altas velocidades (metros/segundo) pueden causar desastres.

Figura 25. Evidencia de flujo de lodo y reptación, curvamiento de árboles.



6.3.2.1.4 Hundimientos

Este fenómeno por lo general está asociado a deslizamientos, debido a que la masa de suelo se mueve verticalmente abajo. Este proceso se reconoce por la presencia de grietas o discontinuidades en el terreno.

Figura 26. Evidencia del fenómeno de Hundimiento.



6.3.2.1.5 Conos De Derrubio

Son depósitos de fragmentos gruesos que se acumulan al pie de las pendientes. Ellos se deben a desprendimientos rápidos en forma de caída de bloques o rocas desprendidas de los escarpes a partir de laderas verticales o próximas a la vertical. La principal causa de su formación es la gravedad, además intervienen el fracturamiento o diaclasamiento de la roca, meteorización y presión de las raíces de las plantas.

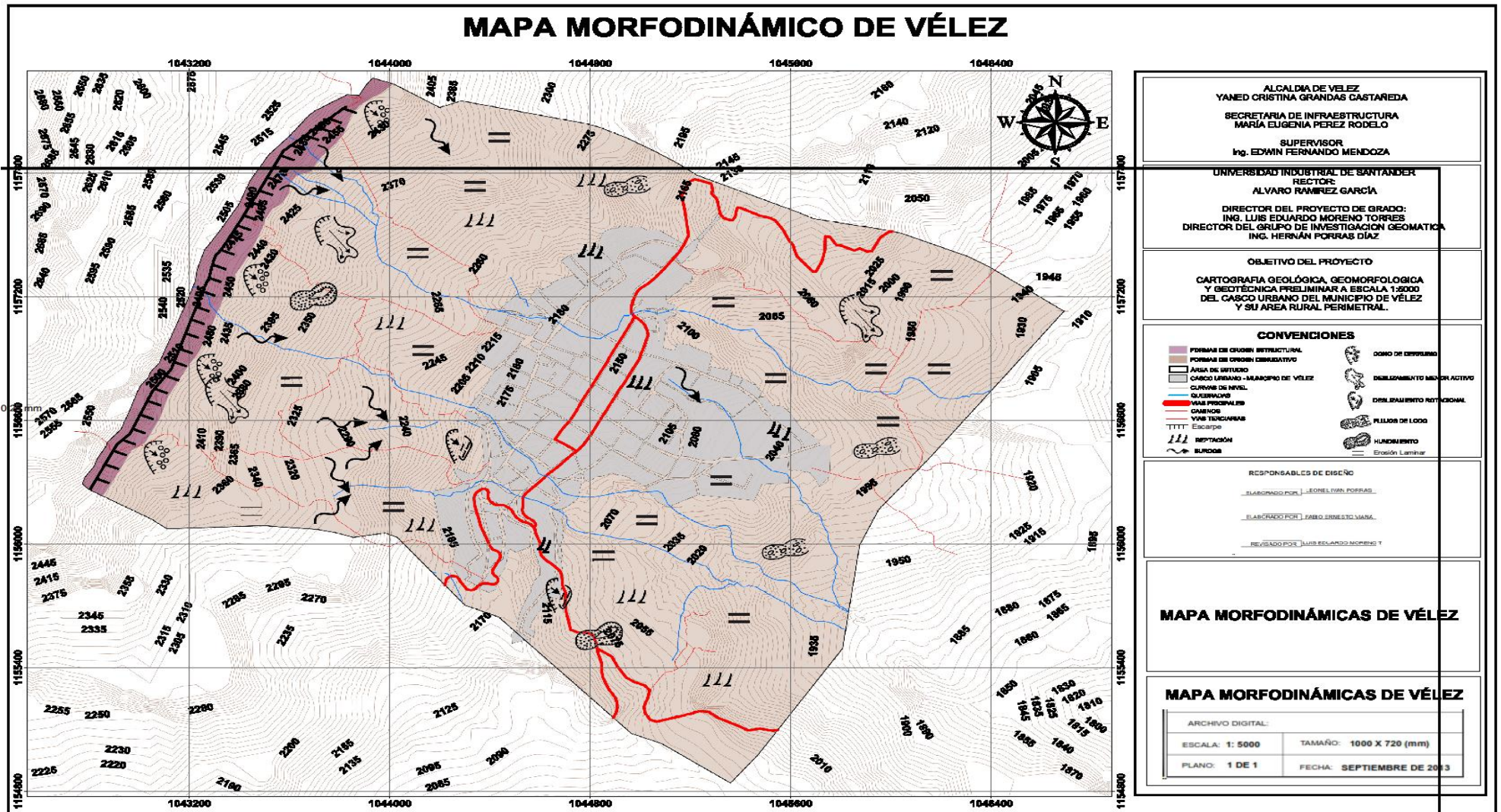
6.3.2.2 Erosión Hídrica

Corresponden a proceso de remoción, transporte y acumulación de las capas más superficiales del suelo por la acción de la escorrentía y gotas de lluvia

6.3.2.2.1 Erosión En Surcos

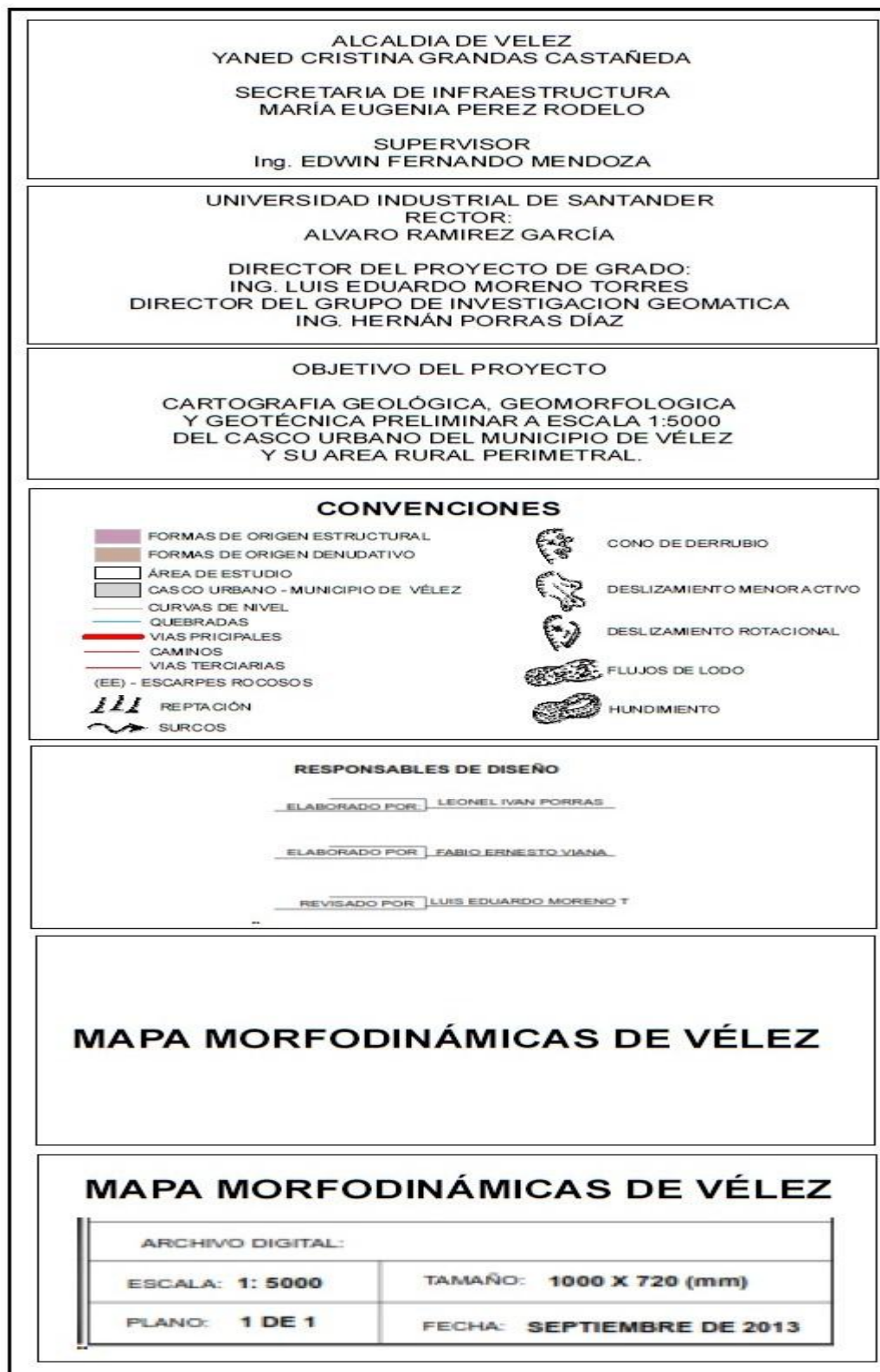
Este tipo de erosión se desarrolla a partir del escurrimiento difuso, cuando la remoción del suelo ocurre en mayor cantidad a lo largo de pequeños canales formados por la concentración de la esorrentía. Se observa hacia el Este de la zona de estudio en los nacimientos de las quebradas el Hospital, Puente Tabla y el Palenque, además tiene presencia en el Zanjón Puente de los Ríos.

Figura 27. Mapa Morfodinámico de Vélez.



Fuente: Autores.

Figura 28. Leyenda Mapa Morfodinámico.



Fuente: Autores.

6.3.3 Mapa Morfométrico

Este tipo de mapa se fundamenta en el ángulo de la pendiente del relieve, para así poder establecer la distribución espacial de los diferentes intervalos de inclinación. Esta característica del relieve es importante para definir el tipo y la rata de actividad de la erosión, y los movimientos de masa.

Para el análisis del relieve en el área de estudio se utiliza la cartografía a escala 1:5.000, con la que se elabora el mapa de pendientes o DEM. (DIGITAL ELEVATION MODEL) empleando ARCGIS 10.1. Se establece un rango de pendientes para su interpretación.

La zonificación de las pendientes se realiza según las clases de pendientes establecida por Van Zuidam (1986) citado por (Mora, R. et al., 2002), y la valoración del parámetro de la pendiente S_p según Mora (2002). Estos parámetros describen las condiciones del terreno y posibles eventos, así como una leyenda de colores. Ver tabla 8.

Tabla 8. Clases de pendientes, Condiciones del terreno y valoración del parámetro S_p .

Clase de pendientes		Condiciones del terreno	Color	Valor de S_p
[°]	[%]			
<5	0-7	Planicie, sin denudación apreciable.	Verde oscuro	1
		Pendiente muy baja, peligro de		

		erosión.		
5-15	7-30	Pendiente baja, peligro severo de erosión.	Verde claro	2
		Pendiente moderada, deslizamientos ocasionales, peligro de erosión severo.		
15-35	30-70	Pendiente fuerte, procesos denudacionales intensos (deslizamientos), peligro extremo de erosión de suelos.	Amarillo	3
35-55	70-140	Pendiente muy fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, reforestación posible.	Naranja	4
>55	>140	Extremadamente fuerte, afloramientos rocosos, procesos denudacionales severos (caída de rocas), cobertura vegetal limitada.	Rojo	5

Fuente: Modificado de Mora, R. et al., 2002. p. 3.

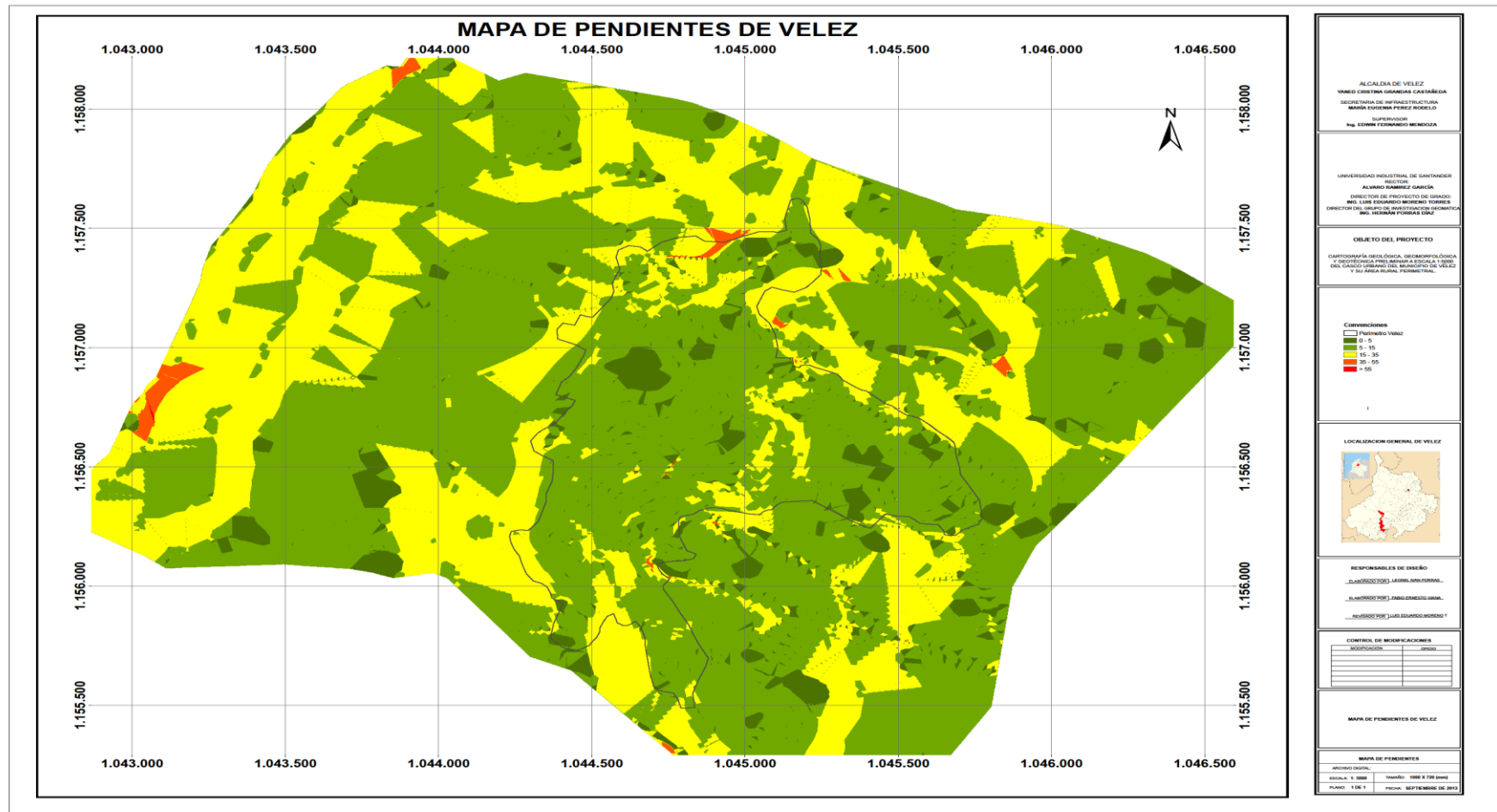
En la tabla anterior se habla de susceptibilidad, esta trata de la posibilidad de que se cree en alguna zona un determinado proceso geológico como movimientos en masa, inundación, erosión, etc. En este caso se determinan las

zonas susceptibles por las condiciones del terreno dependiendo de un factor de inclinación que se da en el área de estudio, generando que el suelo sea erosionado. Este fenómeno se refiere al desgaste de la capa de suelo causado por procesos geológicos exógenos, en este caso en particular por las aguas superficiales y subterráneas que ocasionan los movimientos en masa.

Cada clase de pendientes presenta un valor de ponderación para representar su susceptibilidad. Las áreas con pendientes de 0-7% se le asigna un valor 1, esto quiere decir que es el área con la más baja susceptibilidad y las zonas con una pendiente >140% son ponderadas con un valor de 5, es decir la susceptibilidad más alta.


Como se observa en la figura 29, los intervalos dominantes son 5°-15° y 15°-35° identificados por los colores verde claro y amarillo respectivamente. La zona urbana del municipio de Vélez presenta una pendiente principalmente del 7-30%.

Figura 29. Mapa Morfométrico o de Pendientes.



Fuente: Autores

Figura 30. Leyenda Mapa Morfométrico.

<p>ALCALDIA DE VELEZ YANED CRISTINA GRANDAS CASTAÑEDA SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA MARIA EUGENIA PEREZ RODELO SUPERVISOR Ing. EDWIN FERNANDO MENDOZA</p>													
<p>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER RECTOR: ALVARO RAMIREZ GARCIA DIRECTOR DE PROYECTO DE GRADO: ING. LUIS EDUARDO MORENO TORRES DIRECTOR DEL GRUPO DE INVESTIGACION GEOMATICA ING. HERNAN PORRAS DIAZ</p>													
<p>OBJETO DEL PROYECTO</p> <p>CARTOGRAFIA GEOLÓGICA, GEOMORFOLÓGICA Y GEO TÉCNICA PRELIMINAR A ESCALA 1:5000 DEL CASO URBANO DEL MUNICIPIO DE VELEZ Y SU ÁREA RURAL PERIMETRAL.</p>													
<p>Convenciones</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: white;"></td> <td>Perimetro Velez</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #90EE90;"></td> <td>0 - 5</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #FFFF00;"></td> <td>5 - 15</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #FFD700;"></td> <td>15 - 35</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #FF4500;"></td> <td>35 - 55</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; height: 10px; border: 1px solid black; background-color: #FF0000;"></td> <td>> 55</td> </tr> </table>			Perimetro Velez		0 - 5		5 - 15		15 - 35		35 - 55		> 55
	Perimetro Velez												
	0 - 5												
	5 - 15												
	15 - 35												
	35 - 55												
	> 55												
<p>LOCALIZACION GENERAL DE VELEZ</p> 													
<p>RESPONSABLES DE DISEÑO</p> <p>ELABORADO POR: <u>LEONEL IBAN PORRAS</u></p> <p>ELABORADO POR: <u>PABLO ERNESTO VIANA</u></p> <p>REVISADO POR: <u>LUIS EDUARDO MORENO T</u></p>													
<p>CONTROL DE MODIFICACIONES</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 60%;">MODIFICACIÓN</th> <th style="width: 40%;">GRUPO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		MODIFICACIÓN	GRUPO										
MODIFICACIÓN	GRUPO												
<p>MAPA DE PENDIENTES DE VELEZ</p>													
<p>MAPA DE PENDIENTES</p> <p>ARCHIVO DIGITAL:</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="width: 50%;">ESCALA: 1: 5000</td> <td style="width: 50%;">TAMAÑO: 1000 X 720 (mm)</td> </tr> <tr> <td>PLANO: 1 DE 1</td> <td>FECHA: SEPTIEMBRE DE 2013</td> </tr> </table>		ESCALA: 1: 5000	TAMAÑO: 1000 X 720 (mm)	PLANO: 1 DE 1	FECHA: SEPTIEMBRE DE 2013								
ESCALA: 1: 5000	TAMAÑO: 1000 X 720 (mm)												
PLANO: 1 DE 1	FECHA: SEPTIEMBRE DE 2013												

Fuente: Autores.

6.4 GEOLOGIA AMBIENTAL

Según Álvarez y Bueno (1994), la Geología Ambiental es importante para la planificación municipal y se refiere al aprovechamiento de la superficie de la tierra como recurso.

Para algunos autores la Geología Ambiental comprende Hidrogeología, Geotecnia y Geología Económica, pero en este capítulo solo trata del uso actual del suelo debido a que algunos tópicos serán tratados en capítulos venideros y otros se desarrollaran en una segunda fase del proyecto titulado “Estudios y Recomendación de Obras para la Mitigación de la Inestabilidad en el Sector Urbano del Municipio de Vélez”.

6.4.1 Uso Actual Del Suelo

Para la determinación de la cobertura y uso del suelo del presente trabajo, se toma como referencia la estandarización de la información de cobertura de suelo, estructura de datos, símbolos y colores realizada por la Corporación Autónoma Regional del Cauca (CRC) (2011) en el documento llamado Protocolo de Información, Sistema de Información Ambiental.

Para la determinación del uso de suelo se realiza un proceso de interpretación de fotografías aéreas tomadas por el grupo de investigación GEOMATICA en la zona de estudio (Anexo B). Dicha interpretación se apoyó con bibliografía existente y con el trabajo de reconocimiento realizado en campo. Finalmente se identificaron las siguientes unidades:

- ✓ Bosque natural denso: El bosque es una comunidad natural, formada por la agrupación de plantas con una estructura vertical definida

(estratos Arbóreo, Arbustivo y Herbáceo), En su estado natural, el bosque permanece en unas condiciones autorreguladas durante un largo periodo de tiempo ofreciendo una alta cobertura al suelo, control de escorrentía y como resultado, contribuye a la regulación del ciclo hídrico de grandes áreas.

Esta unidad comprende la vegetación de bosque natural existente en el municipio de Vélez, se representa en pequeños sectores de bosque natural poco intervenido por la mano del hombre, y se concentran principalmente en las partes altas y bajas del municipio.

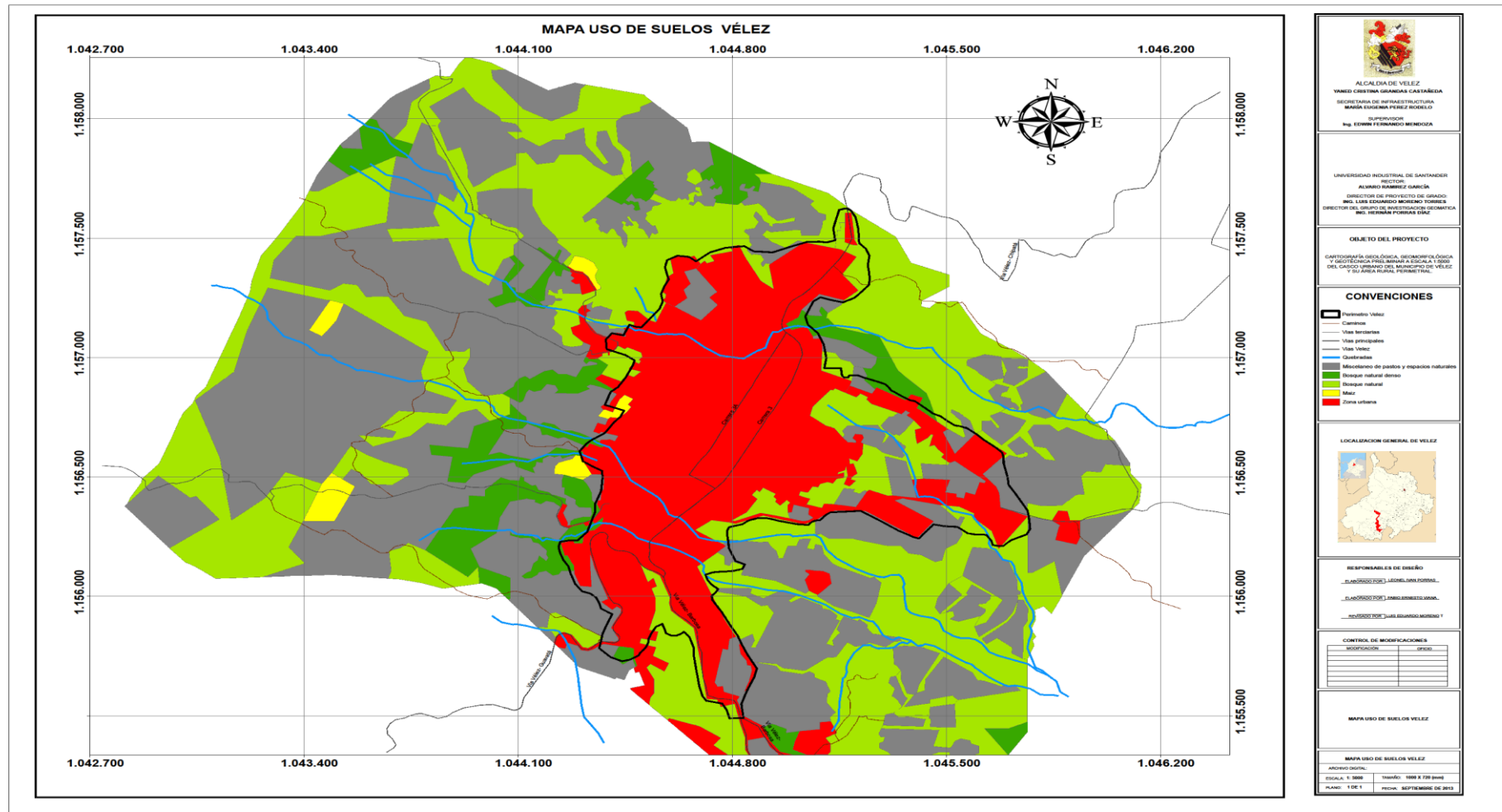
- ✓ Bosque natural fragmentado con pastos y cultivos: El bosque natural fragmentado con pastos y cultivos, es una cobertura vegetal natural que ha sido intervenida fuertemente por el hombre, en donde hay zonas mixtas de especies pertenecientes a bosques primarios y pastos naturales principalmente, se localizan en gran parte en la zona alta y baja del municipio siendo lo más representativo de la zona de estudio. Esta unidad es de gran importancia debido a que es la que provee a la comunidad de productos como leña para consumo interno.

- ✓ Zona urbana: Corresponde al sector urbanizado tanto de la cabecera municipal como de las construcciones dispersas. Dentro de los usos específicos que se dan esta la vivienda residencial, el comercial, el institucional, el administrativo, el culto, el educativo, el cultural, la recreación y el espacio público, además las construcciones dispersas se usan con fines residenciales ubicados en el área rural, viviendas aisladas en fincas y predios; también se encuentran dispersos con fines institucionales como escuelas.

- ✓ Cultivos: En el municipio de Vélez, se identificaron tanto en el trabajo de campo y en la fotointerpretación 3 cultivos principales como lo son el ají, plátano y maíz. En el que dichos productos son cultivados y usados los dos primeros son usados para la subsistencia de los campesinos y en conjunto para la ayuda de la economía campesina, se encuentran ubicados principalmente en la zona alta y bajas del municipio.

- ✓ Misceláneo de pastos y espacios naturales: Esta cobertura vegetal está representada por matorrales de porte bajo, potreros y grama natural, que en el municipio de Vélez es la mayor unidad presente en la zona de estudio.

Figura 31. Mapa de uso actual del suelo.



Fuente: Autores

6.5 CARACTERIZACION Y CLASIFICACION GEOMECANICA DE LOS MACIZOS ROCOSOS

En este capítulo se analizaron los macizos rocosos utilizando las clasificaciones geomecánicas RMR (rock mass rating) propuesto por Bieniawski en 1973 y modificada sucesivamente en 1976, 1979, 1984 y 1989 y SMR (Slope Mass Rating) propuesto por Romana et al. (1986). La adquisición de datos se realizó en la fase de campo en tiempo seco (verano) y se utilizaron instrumentos como la brújula Brunton, GPS, cinta métrica y esclerómetro Schmidt, plasmando la información recogida en el formato presentado en el Anexo C, sugerido por González de Vallejo et al. (2002), en el cual se tienen en cuenta litologías, estructuras, fracturación, resistencia de la matriz rocosa, meteorización e hidrogeología local. El análisis de la estabilidad geomecánica de los macizos rocosos se aplicó de acuerdo a una metodología sencilla que suministrará de resultados sensatos a nivel de anteproyecto. Para este fin la mecánica de rocas ha desarrollado técnicas basadas en características cualitativas e índices numéricos que prevén el comportamiento de los macizos rocosos. Las clasificaciones anteriormente mencionadas requieren de parámetros que involucren aspectos de campo y laboratorio, pero el aspecto principal de la mecánica de rocas se basa en las características de las diaclasas presentes en los afloramientos de roca, las cuales comprende los siguientes parámetros:

6.5.1 Descripción De Las Diaclasas

Las discontinuidades condicionan de una forma definitiva las propiedades y el comportamiento resistente, deformacional e hidráulico de los macizos rocosos. La resistencia al corte de las discontinuidades es el aspecto más importante en la determinación de la resistencia de los macizos rocosos duros fracturados, y

para su estimación es necesario definir características y propiedades de los planos de discontinuidad, tales como:

✓ ORIENTACION DE LAS DIACLASAS

La orientación de las familias de discontinuidades en el espacio queda definida por su dirección de buzamiento (dirección de la línea de máxima pendiente del plano de discontinuidad respecto al norte) y por su buzamiento (inclinación respecto a la horizontal de dicha línea). Su medida se realiza mediante la brújula con clinómetro (González et al., 2002).

✓ ESPACIADO DE LAS DIACLASAS

El espaciado se define como la distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia, medida en la dirección perpendicular a dichos planos. Normalmente este valor se refiere al espaciado medio o modal de los valores medidos para las discontinuidades de una misma familia. La medida del espaciado se realiza con una cinta métrica, en una longitud suficientemente representativa de la frecuencia de discontinuidades, al menos de tres metros. Como norma general, la longitud de medida debe ser unas diez veces superior al espaciado. La cinta debe ubicarse perpendicularmente a los planos, registrándose la distancia entre discontinuidades adyacentes (González et al., 2002).

✓ CONTINUIDAD DE LAS DIACLASAS

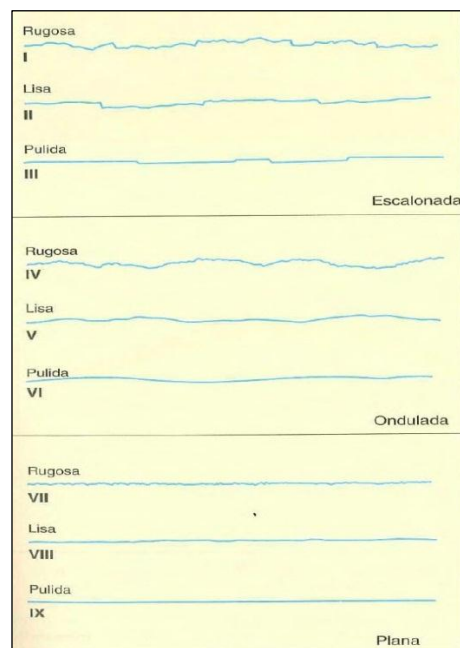
La continuidad o *persistencia* de un plano de discontinuidad es su extensión superficial, medida por la longitud según la dirección del plano y según su buzamiento. Es un parámetro de gran importancia pero de difícil cuantificación a partir de la observación de afloramientos, en los que normalmente se ven las trazas de los planos de discontinuidad según un buzamiento aparente. La medida de la continuidad se realiza con una cinta métrica. Si el afloramiento permite la observación tridimensional de los planos de discontinuidad, deberán

medirse las longitudes a lo largo de la dirección y del buzamiento. (González et al., 2002).

✓ RUGOSIDAD DE LAS DIACLASAS

La rugosidad puede ser medida en campo con diversos métodos, pero el más sencillo y que se utilizó fue la comparación visual de la discontinuidad con los perfiles estándar de rugosidad de la figura 32.

Figura 32. Perfiles de rugosidad. La longitud de los perfiles está en el rango entre 1 y 10 metros (ISMR, 1981).



Fuente: Tomado de González et al. (2002), p. 251.

✓ ABERTURA DE LAS DIACLASAS

La abertura es la distancia perpendicular que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede ser muy

variable en diferentes zonas de un mismo macizo rocoso: mientras que en superficie la abertura puede ser alta, esta se reduce con la profundidad, pudiendo llegar a cerrarse (González et al., 2002). La medida se realiza directamente con la cinta métrica.

✓ RELLENO DE LAS DIACLASAS

Las discontinuidades pueden aparecer rellenas de un material de naturaleza distinta a la roca de las paredes. Debe tenerse en cuenta que si se trata de materiales blandos o alterados, estos pueden sufrir variaciones importantes en sus propiedades resistentes a corto plazo si cambia su contenido en humedad o si tiene lugar algún movimiento a lo largo de las juntas. Las características principales del relleno que deben describirse en el afloramiento son: meteorización, resistencia y filtraciones (González et al., 2002).

6.5.2 Modelo De Clasificación RMR (Rock Mass Rating)

La caracterización de los macizos rocosos, de acuerdo con el índice RMR se realizará teniendo en cuenta los parámetros propuestos por Bieniawski (1989): 1) Resistencia de la matriz rocosa, 2) RQD (Rock Quality Designation), 3) Separación entre diaclasas, 4) Estado de las discontinuidades, 5) Agua freática, 6) Orientación de las discontinuidades. (Tabla 4). El índice RMR varía entre 0 y 100 definiendo cinco clases de roca que corresponden con cinco calidades del macizo rocoso (Tabla 9).

Tabla 9. Calidad de macizos rocosos en relación al índice RMR.

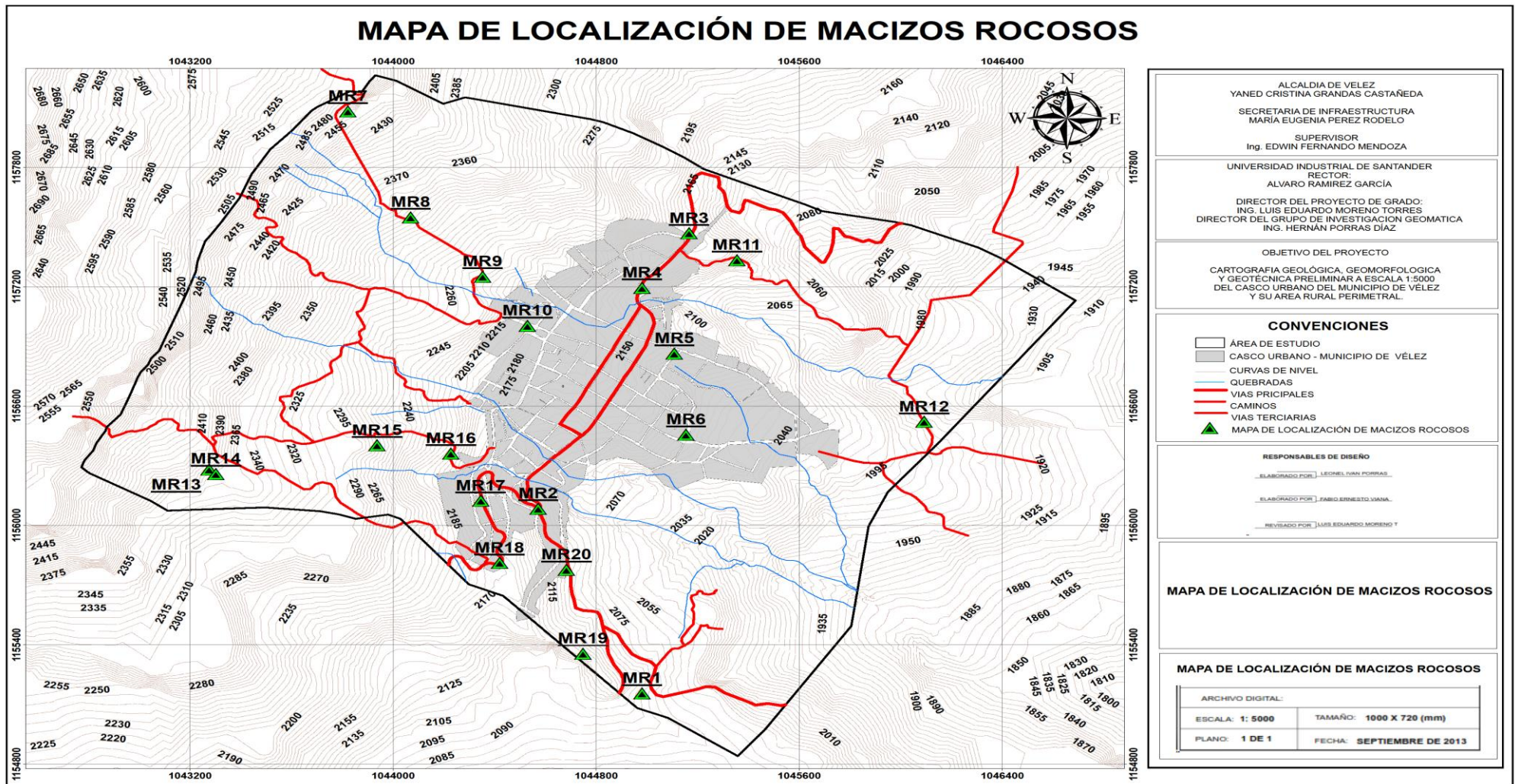
Clase	Calidad	Valoración RMR	Cohesión	Ángulo de rozamiento
I	Muy Buena	100-81	$> 4 \text{ kg/cm}^2$	$> 45^\circ$
II	Buena	80-61	$3-4 \text{ kg/cm}^2$	$35^\circ-45^\circ$
III	Media	60-41	$2-3 \text{ kg/cm}^2$	$25^\circ-35^\circ$
IV	Mala	40-21	$1-2 \text{ kg/cm}^2$	$15^\circ-25^\circ$
V	Muy mala	< 20	$< 1 \text{ kg/cm}^2$	$< 15^\circ$

Fuente: Tomado de González et al. (2002), p. 233.

6.5.2.1 Resistencia De La Matriz Rocosa

En la tabla 10 se muestran los datos obtenidos usando el esclerómetro sobre los 20 macizos rocosos (Figura 33), se tomaron diez datos que corresponden a valores de rebote para cada matriz descartando los cinco valores más bajos y se promediaron los cinco datos restantes para obtener el valor de la resistencia a la compresión simple de la matriz rocosa.

Figura 33. Mapa de localización de macizos rocosos.



Fuente: Autores.

Tabla 10. Resultados de la resistencia del martillo Schmidt. Valor promedio de Rebotes.

	Coordenadas		Dato	Dato	Dato	Dato	Dato	Valores Rebote (Promedio)
	X	Y	1	2	3	4	5	
MR 1	1155157	1044981	29	29	30	29	29	29,2
MR 2	1156086	1044572	37	38	38	39	39	38,2
MR 3	1157469	1045166	23	24	23	24	23	23,4
MR 4	1157195	1044980	24	24	24	25	25	24,4
MR 5	1156865	1045108	23	25	23	23	24	23,6
MR 6	1156457	1045154	14	16	16	16	14	15,2
MR 7	1158082	1043822	58	54	52	53	53	54
MR 8	1157550	1044069	18	16	16	18	18	17,2
MR 9	1157252	1044352	16	16	16	16	17	16,2
MR 10	1157004	1044529	28	28	28	27	27	27,6
MR 11	1157335	1045354	15	14	14	14	14	14,2
MR 12	1156522	1046092	12	10	12	10	11	11
MR 13	1156283	1043275	19	18	18	18	18	18,2
MR 14	1156260	1043301	22	24	22	20	22	22
MR 15	1156404	1043936	24	23	24	24	26	24,2
MR 16	1156363	1044228	25	25	25	26	25	25,2
MR 17	1156125	1044345	22	22	24	24	22	22,8
MR 18	1155813	1044419	22	22	23	23	21	22,2
MR 19	1155357	1044748	19	17	16	16	15	16,6
MR 20	1155778	1044683	20	18	20	18	16	17,6

Fuente: Autores

Además en la tabla 11 se observan las densidades de las litologías para cada afloramiento, que fueron establecidas en el laboratorio siguiendo la metodología expuesta a continuación.

Las veinte muestras se colocaron en un horno por 24 horas a una temperatura de 105 grados centígrados para eliminar la humedad, según la norma ASTM E-145. Luego se pesó cada muestra en una balanza gramera y se prepara la parafina de acuerdo a la norma ASTM 2216-98, se sumergen las muestras en la parafina hasta que se crea una capa que las envuelve, se dejan enfriar y de nuevo se pesan. Por ultimo para determinar el volumen desplazado se utilizó un balde con agua, una balanza hidrostática y una canasta que va conectada a la balanza y además está sumergida en el balde con agua. Las muestras una por una se colocan dentro de la canasta y la balanza nos arroja el resultado del volumen desplazado.

Figura 34. Procedimiento para determinar densidad de las muestras. Normas ASTM E-145 y ASTM 2216-98.



Fuente: Autores

Teniendo la masa de las muestras, las masas de las muestras con parafina y el volumen desplazado procedemos por cálculos y conversiones a determinar las densidades de las muestras en kN/m^3 .

$$PMP - PM = PP$$

PMP= Peso Muestra con Parafina, PM= Peso Muestra, PP= Peso Parafina

$$91,7g - 83,7g = 8g$$

Con el peso de la parafina y su densidad ($\rho = 0,9 \frac{g}{\text{cm}^3}$) se puede hallar el volumen de esta.

$$\rho(\text{densidad}) = \frac{M(\text{masa})}{V(\text{volumen})}$$

$$V = \frac{M}{\rho}$$

$$V = \frac{8g}{0,9 \frac{g}{\text{cm}^3}} = 8,9\text{cm}^3$$

Al volumen desplazado se le resta el volumen de la parafina para obtener el volumen de la muestra.

$$VD - VP = VM$$

VD= Volumen Desplazado, VP= Volumen Parafina, VM= Volumen Muestra.

$$45,60\text{cm}^3 - 8,9\text{cm}^3 = 36,7\text{cm}^3$$

Con el volumen de la muestra y el peso de la muestra se halla la densidad de la muestra.

$$\rho_M = \frac{83,7g}{36,7cm^3} = 2,280 \frac{g}{cm^3}$$

La densidad de la muestra en g/cm³ se pasa a kN/m³.

$$2,280 \frac{g}{cm^3} \left[\frac{1000000cm^3}{1m^3} \right] \left[\frac{1Kg}{1000g} \right] \left[\frac{10N}{1Kg} \right] \left[\frac{1kN}{1000N} \right] = 22,80 \frac{kN}{m^3}$$

Tabla 11. Densidades de las litologías presentes en los macizos rocosos. Peso Muestra = PM, Peso Muestra + Parafina = PMP, Volumen Desplazado = VD, Nombre Muestra = NM, ρM=Densidad Muestra

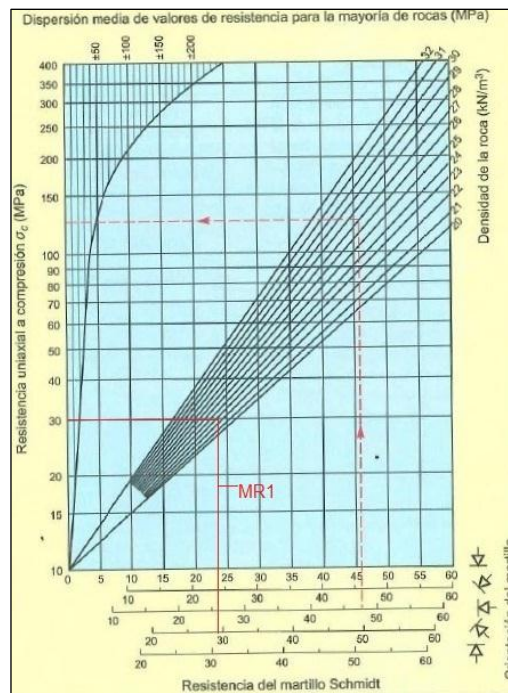
NM	PM	PMP	VD	ρM (g/cm ³)	ρM(kN/m ³)
MR1	83,7g	91,7g	45,60	2,280	22,80
MR2	89,8g	102,7g	44,71	2,956	29,56
MR3	81,5g	90,09g	44,20	2,351	23,51
MR4	50,3g	57g	26,81	2,597	25,97
MR5	43,7g	49,6g	24,43	2,445	24,45
MR6	52,4g	58,7g	27,39	2,57	25,7
MR7	186,2g	206,8g	114,90	2,024	20,24
MR8	67,1g	74,6g	40,25	2,102	21,02
MR9	130,4g	148,7g	78,16	2,255	22,55
MR10	56,2g	64,3g	29,95	2,682	26,82
MR11	61,9g	69,4g	32,42	2,569	25,69
MR12	130,2g	152,6g	74,93	2,602	26,02
MR13	77,3g	87,6g	42,05	2,526	25,26
MR14	96,7g	103,8g	56,17	2,003	20,03
MR15	158,1g	173g	95,26	2,008	20,08

MR16	17,6g	21g	9,92	2,865	28,65
MR17	63,5g	71,4g	34,03	2,514	25,14
MR18	121,2g	140,9g	64,79	2,825	28,25
MR19	138,9g	156,4g	74,47	2,524	25,24
MR20	230,3g	260,3g	128,57	2,418	24,18

Fuente: Autores

Al obtener los valores de la compresión simple promedio y de la densidad (kN/m^3) de las rocas se pueden correlacionar con la inclinación del martillo Schmidt y la del plano por medio de la figura 35 para adquirir los valores a la resistencia uniaxial a compresión σ_c (MPa).

Figura 35. Resistencia a la compresión simple a partir de los datos tomados con un martillo Schmidt.



Fuente: Tomado y modificado de González et al. (2002), p. 347.

Tabla 12. Resultados de la resistencia uniaxial a la compresión MPa.

NM	VALORES DE REBOTE (PROMEDIO)	ρ_M (kN/m³)	RESISTENCIA UNIAxIAL A COMPRESIÓN σ_c (MPa)
MR1	29,2	22,80	30
MR2	38,2	29,56	76
MR3	23,4	23,51	22
MR4	24,4	25,97	26
MR5	23,6	24,45	24
MR6	15,2	25,7	21
MR7	54	20,24	80
MR8	17,2	21,02	20
MR9	16,2	22,55	21
MR10	27,6	26,82	32
MR11	14,2	25,69	20
MR12	11	26,02	17
MR13	18,2	25,26	24
MR14	22	20,03	24
MR15	24,2	20,08	20
MR16	25,2	28,65	43
MR17	22,8	25,14	24
MR18	22,2	28,25	25
MR19	16,6	25,24	23
MR20	17,6	24,18	22

Fuente: Autores

6.5.2.2 Cálculo Del RQD (Rock Quality Designation) Teórico

Se calcula el índice RQD teórico porque no se tienen testigos de sondeos para realizar la relación entre la longitud del núcleo y los fragmentos mayores a 10 cm no fracturados. Este se calcula con datos tomados en campo directamente del afloramiento y tiene una relación directa con el espaciado de las juntas. El valor que arroja esta relación se multiplica por 100 para tomarlo en porcentaje.

$$RQD = 100^{-0,1\lambda(0,1\lambda+1)}; \text{ con } \lambda = \frac{1}{\text{espaciado en metros}}$$

Para el macizo rocoso MR1, presenta un espaciado entre 0.2 m-0.6 m.

$$RQD = 100^{-0,1\left(\frac{1}{0,02}\right)\left(0,1\left(\frac{1}{0,02}\right)+1\right)} = 1 * 10^{-60} * 100 = 1 * 10^{-58} \approx 0\%$$

Tabla 13. Valores de RQD para los macizos rocosos MR1 hasta MR20.

NM	MR1	MR2	MR3	MR4	MR5	MR6	MR7	MR8	MR9	MR10
RQD%	0	0	0	0	0	0	3,2	0	0	0
NM	MR11	MR12	MR13	MR14	MR15	MR16	MR17	MR18	MR19	MR20
RQD%	0	3,2	0	3,2	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autores

6.5.2.3 Determinación Del Índice RMR Para Cada Macizo Rcoso

En esta sección se resumen todos los resultados, características y clasificaciones realizadas para los macizos rocosos MR1 Y MR2, para observar el procedimiento de los demás macizos rocosos (MR3 hasta MR20) dirigirse al

Anexo D. Los datos se encuentran ordenados y agrupados de acuerdo a las diferentes etapas de la metodología aplicada, presentados en las siguientes tablas resumen. A continuación se muestran los macizos rocosos con su información correspondiente:

6.5.2.3.1 Macizo Rocosos (MR1), Características Generales.

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1155157, Y: 1044981 y hace parte de la formación Paja, esta presenta una resistencia a la compresión uniaxial de 30 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen dos discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m. y uno planos ondulados rugosos; una familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.2-0.6 m. con una continuidad entre 1-3 m. y uno planos ligeramente rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 36.

En la tabla 14 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 14. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR1 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz		50-25	4
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,5-2,5 mm	2
	Rugosidad	Ondulada	1
	Relleno	< 5mm blando	2
	Alteración	Moderadamente	3
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			33
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			33
Clase IV, Roca de mala calidad			

Fuente: Autores

6.5.2.3.2 Macizo Rocosó (MR2), Características Generales

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156086; Y: 1044572; Z: 2136 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 76 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen dos discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos ondulados rugosos; una familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.6-2 m. con una continuidad entre 1-3 m., los planos son muy rugosos y contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 37.

En la tabla 15 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 15. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR2 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		100-50	7
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0,06m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0.1-1.0 mm	3
	Rugosidad	Ondulada	1
	Relleno	Ninguno	6
	Alteración	Inalterada	6
Agua Freática		Ligeramente	10
TOTAL BASE			47
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			47
Clase III, Roca de media calidad			

Fuente: Autores

En la tabla 16 se resumen los resultados de la clasificación RMR para los macizos rocosos MR3 hasta MR20.

Tabla 16. Resumen de resultados para la clasificación RMR para los macizos MR3 hasta MR20.

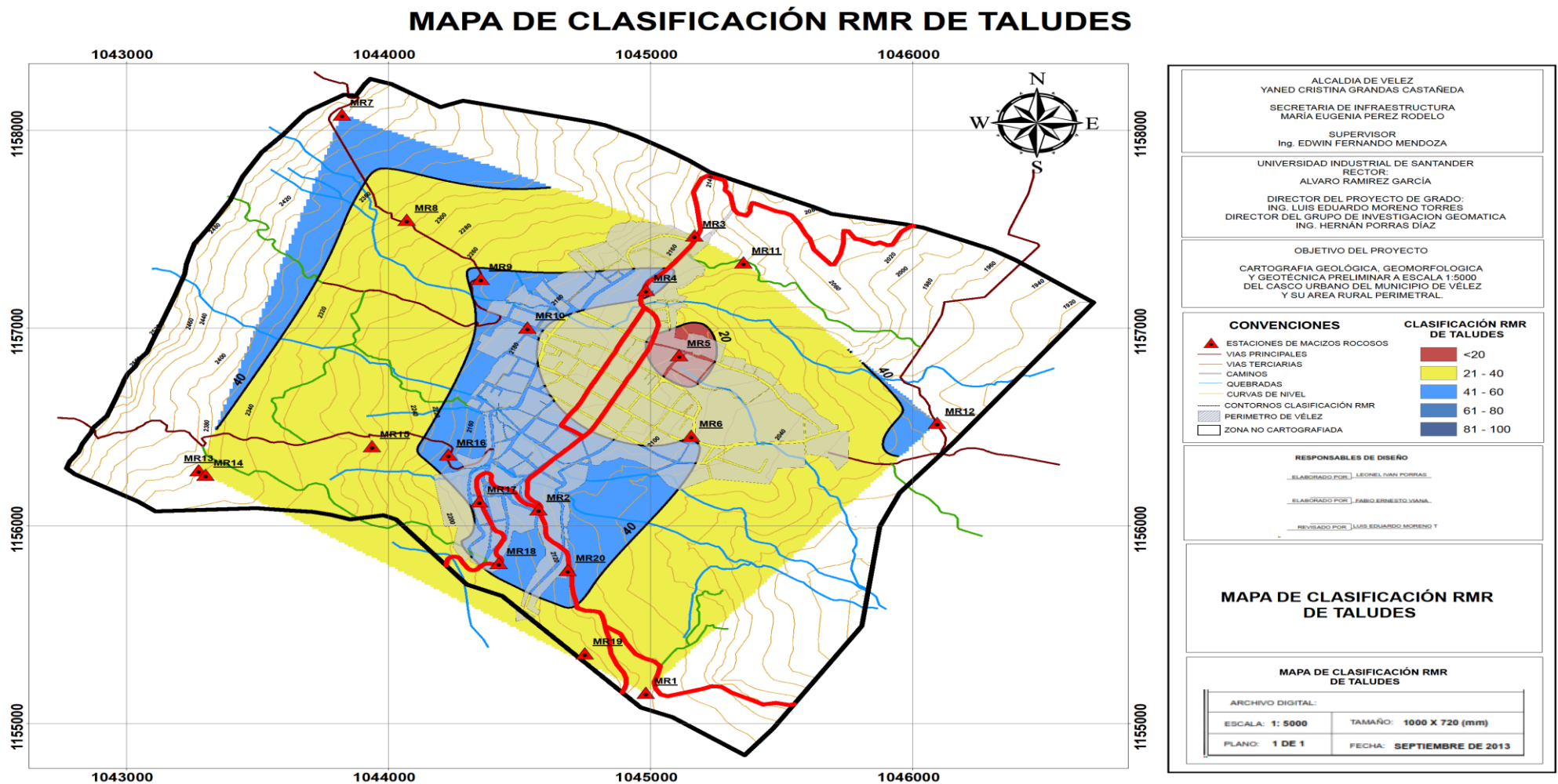
MACIZO ROCOSO	TOTAL RMR	CLASE
MR3	34	Clase IV, Roca de mala calidad
MR4	44	Clase III, Roca de media calidad
MR5	6	Clase V, Roca de muy mala calidad
MR6	40	Clase IV, Roca de mala calidad
MR7	49	Clase III, Roca de media calidad
MR8	31	Clase IV, Roca de mala calidad
MR9	42	Clase III, Roca de media calidad
MR10	42	Clase III, Roca de media calidad
MR11	39	Clase IV, Roca de mala calidad
MR12	41	Clase III, Roca de media calidad
MR13	39	Clase IV, Roca de mala calidad
MR14	37	Clase IV, Roca de mala calidad
MR15	30	Clase IV, Roca de mala calidad
MR16	48	Clase III, Roca de media calidad
MR17	41	Clase III, Roca de media calidad
MR18	41	Clase III, Roca de media calidad
MR19	38	Clase IV, Roca de mala calidad
MR20	42	Clase III, Roca de media calidad

Fuente: Autores

Se cartografiaron los resultados de la clasificación RMR de los macizos rocosos (Figura 38), Se observa en color rojo el área que comprende a una muy mala inestabilidad del talud, cerca al punto de inicio del Zanjón Puente de

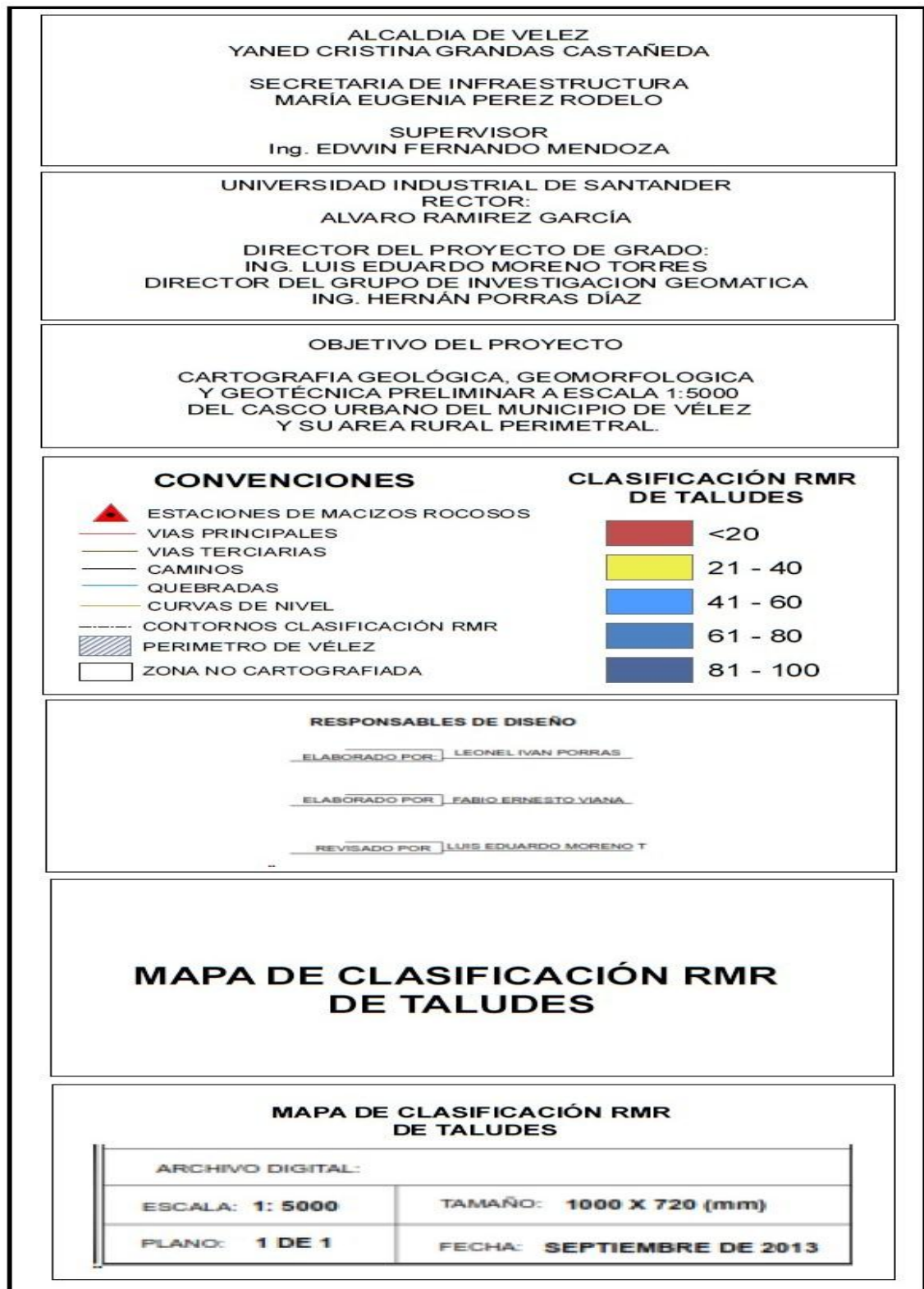
los Ríos; el área en color amarillo presenta mala inestabilidad en los taludes, esta comprende la mayor parte de la zona de estudio; el área de color azul presenta una inestabilidad media de los taludes.

Figura 38. Mapa de Clasificación RMR de taludes en la zona de estudio.



Fuente: Autores.

Figura 39. Leyenda Mapa clasificación RMR de taludes.



Fuente: Autores.

6.5.3 Determinación Del Índice SMR

La clasificación a través del índice SMR para los taludes, se sugiere que se realice en forma independiente para cada plano del macizo rocoso. Los datos necesarios para proceder son la relación entre las direcciones de rumbo de cada plano de discontinuidad y el talud. Por regla general del SMR se toman los valores más bajos de las relaciones para poder culminar la clasificación.

6.5.3.1 Macizo Rocosó (MR1)

- ❖ Dirección talud =18/66
- ❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad =305/13
- ❖ J1 =125/81

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = 305^\circ - 18^\circ = 287^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 13^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 13^\circ - 66^\circ = -53^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

J1

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = 125^\circ - 18^\circ = 107^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 81^\circ$; Muy desfavorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 81^\circ - 66^\circ = 15^\circ$; Muy favorable. Valor= 0

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. . Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 33 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 47}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

6.5.3.2 Macizo Rocoso (MR2)

- ❖ Dirección talud = 345/70
- ❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad = 210/6
- ❖ J1 = 117/84

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |210^\circ - 345^\circ| = 135^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 6^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 6^\circ - 70^\circ = -64^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 47 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 61}$$

Clase II. Buena estabilidad del talud.

El procedimiento para hallar el índice SMR de los macizos rocosos MR3 hasta el MR20, se observan en el Anexo E. Sin embargo en la tabla 17 se resumen los resultados para los macizos mencionados anteriormente.

Tabla 17. Resumen de resultados del índice SMR para los macizos rocosos MR3 hasta MR20.

MACIZO ROCOSO	INDICE SMR	CLASE
MR3	41	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR4	50	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR5	40	Clase IV, Mala inestabilidad del talud.
MR6	47	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR7	65	Clase II, Buena estabilidad del talud.
MR8	45	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR9	56	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR10	49	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.

MR11	53	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR12	48	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR13	53	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR14	51	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR15	48	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR16	62	Clase II, Buena estabilidad del talud.
MR17	55	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR18	55	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR19	45	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.
MR20	56	Clase III, Normal, Talud parcialmente estable.

Fuente: Autores

Al cartografiar los resultados de la clasificación SMR de los macizos rocosos (Figura 40), se generaron tres zonas de inestabilidad, las cuales se describen así: 1. el área con color amarillo presenta una estabilidad parcial de los taludes, esta es la zona más extensa de la zona de estudio; 2. El área con mala estabilidad del talud se presenta de color rojo y se encuentra ubicada cerca del inicio del Zanjón Puente de los Ríos; 3. El área de color azul indica que los taludes presentes en dicha zona tienen buena estabilidad.

Con los resultados de los macizos rocosos y plasmados en los diversos mapas de las clasificaciones RMR y SMR, se superponen entre sí, generando el mapa Geotécnico preliminar del área de estudio (Figura 42). En dicho mapa se pueden observar cinco zonas de inestabilidad, estas se describen de la más estable a la más inestable de la siguiente manera:

- ✓ Zona Azul: Presenta una inestabilidad media del terreno por medio de la clasificación RMR y una buena estabilidad de los taludes por medio de la clasificación SMR. Lo que hace que esta zona sea la más estable del área de estudio.
- ✓ Zona Verde: Exhibe una inestabilidad media del terreno por medio de la clasificación RMR y SMR.
- ✓ Zona Amarilla: Presenta una mala inestabilidad de los taludes por medio de la clasificación RMR y una inestabilidad media del terreno por medio de la clasificación SMR.
- ✓ Zona Naranja: Muestra una muy mala inestabilidad de los macizos por medio de la clasificación RMR y una inestabilidad media de los taludes por medio de la clasificación SMR.
- ✓ Zona Rojo: Enseña una muy mala inestabilidad del terreno por medio de la clasificación RMR y una mala estabilidad de los taludes por medio de la clasificación SMR. Indicando que esta zona es la más inestable del área de estudio.

Figura 40. Mapa de Clasificación SMR de taludes en la zona de estudio.

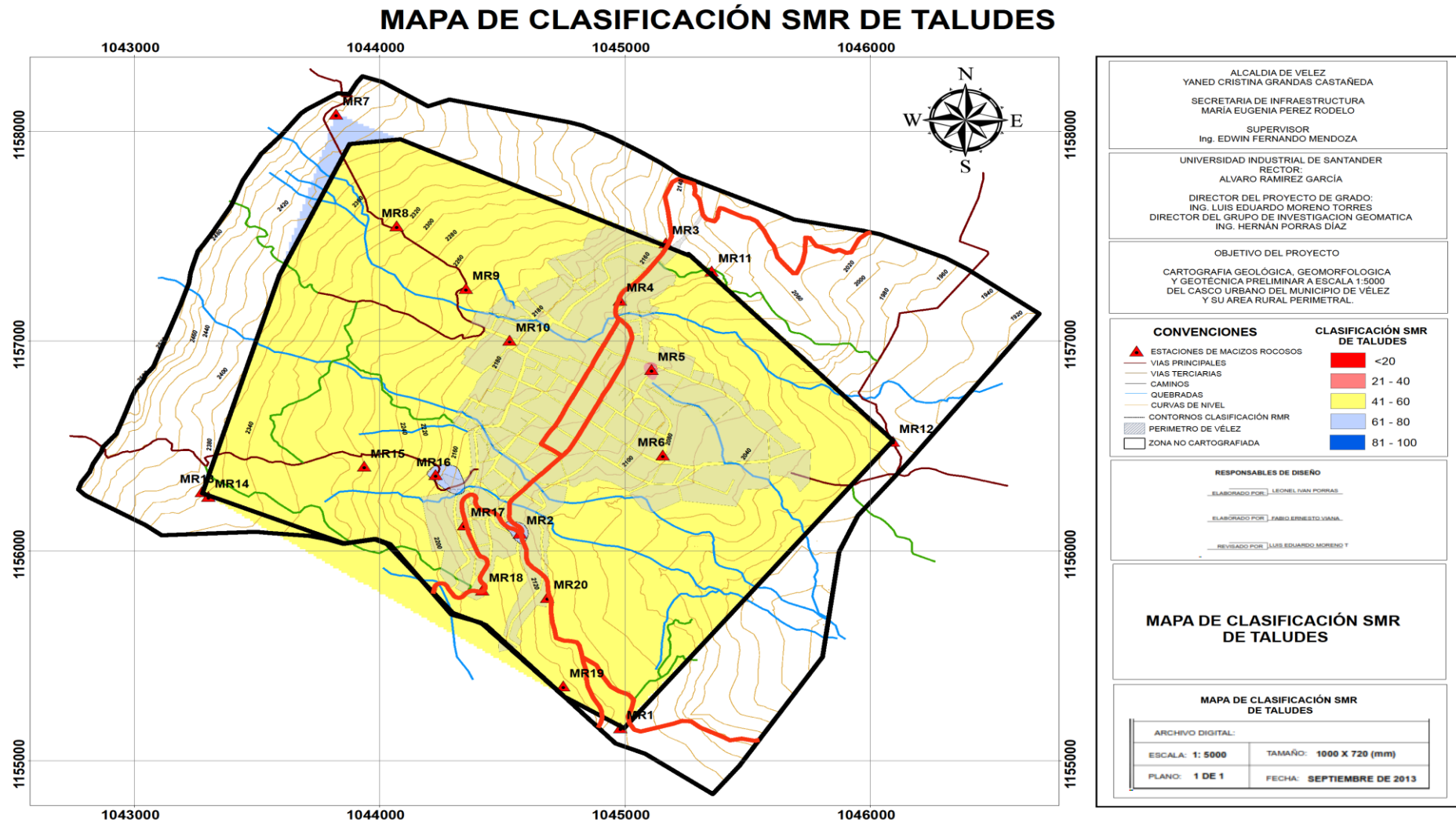
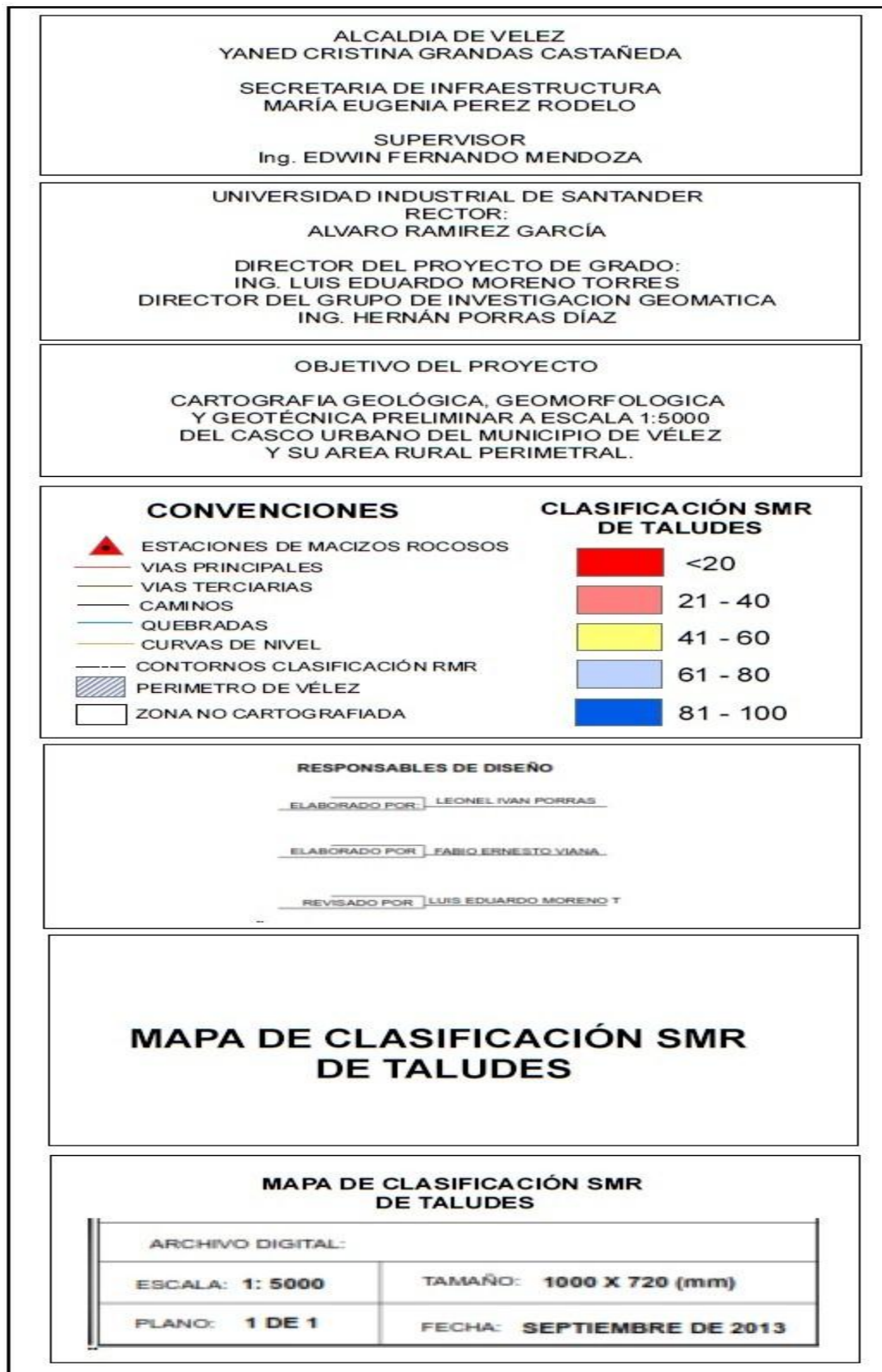


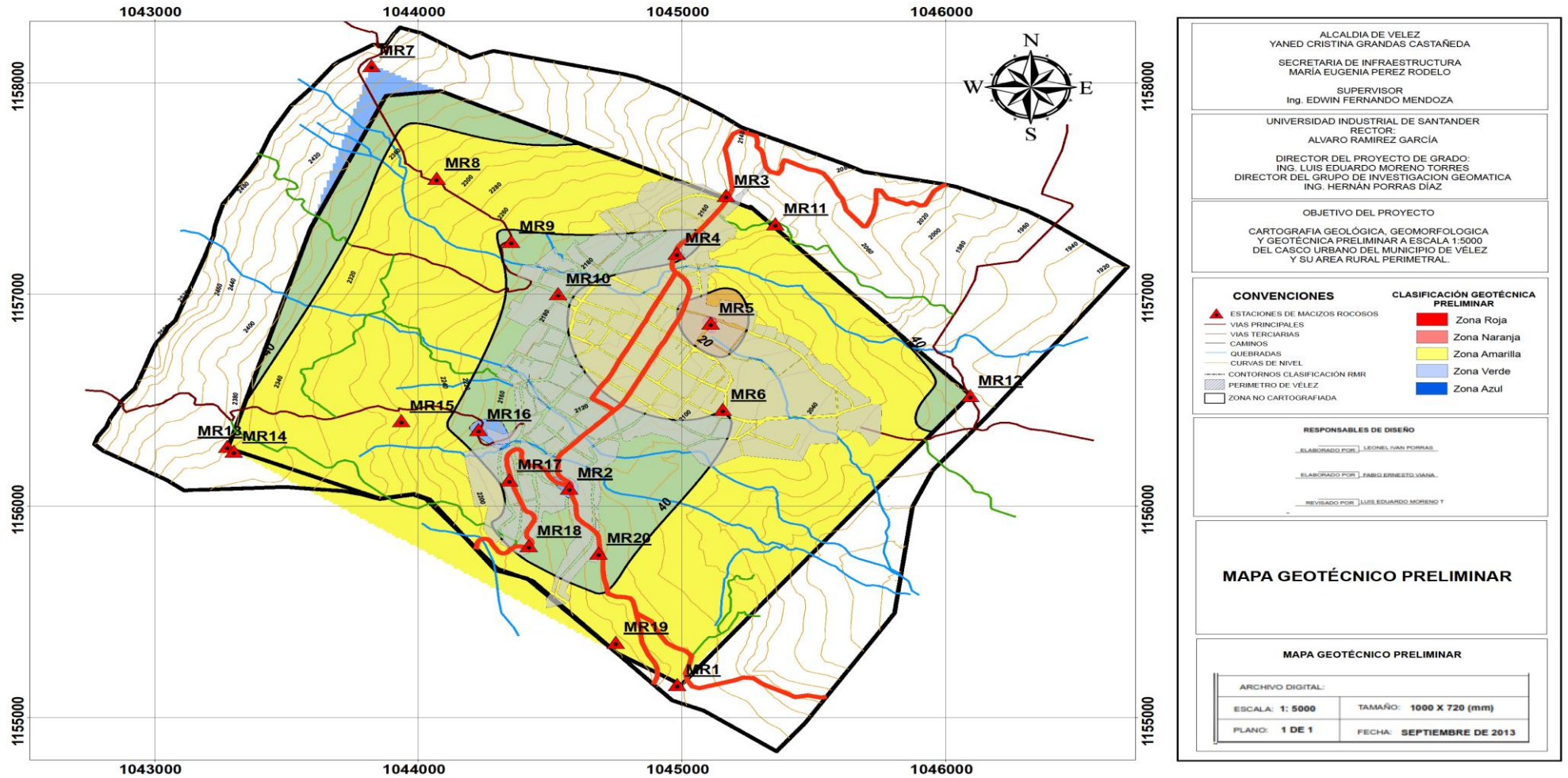
Figura 41. Leyenda Mapa de clasificación SMR de taludes.



Fuente: Autores.

Figura 42. Mapa Geotécnico Preliminar de zona de estudio.

MAPA GEOTÉCNICO PRELIMINAR



Fuente: Autores

Figura 43. Leyenda Mapa Geotécnico preliminar.



Fuente: Autores.

7 CONCLUSIONES

La cartografía geológica 1:5000 levantada en el área de estudio, muestra la disposición y distribución de las capas que conforman la Formación Paja y la Formación Tablazo, donde se encuentran fundado el casco urbano del municipio de Vélez. Estas capas dan un factor estructural favorable en la estabilidad de la zona debido a que hacen parte del flanco izquierdo del anticlinal de Vélez y su buzamiento tiene dirección en contra de la pendiente.

La Formación Paja por su composición litológica, su baja resistencia y fracturamiento es el material geológico propenso a generar fenómenos de inestabilidad. Esta formación muestra unidades más susceptibles que otras conformadas por Kip₁, Kip₂ y Kip₃, sobre las cuales se observan desarrollos urbanísticos que pueden presentar problemas de estabilidad.

El diagrama de roseta muestra la orientación predominante de las diaclasas en la zona de estudio (N40-60W), indicando su perpendicularidad con la charnela del anticlinal de Vélez y se originaron en la parte convexa del pliegue, generadas por fuerzas de tensión.

Se definen dos unidades geomorfológicas: de origen estructural y denudacional; esta última se presenta en casi toda la zona de estudio y corresponde a fenómenos de remoción en masa ocasionados por presencia de aguas subterráneas que reducen la ya baja resistencia que presenta la Formación Paja.

Para los estratos lodosos, El plano de estratificación o fisilidad (S_{σ}) es el más desfavorable con respecto a la inestabilidad en el área de estudio. Este cubre un 70% de los datos en la clasificación RMR y un 65% en la clasificación SMR, donde queda en evidencia que estos planos son los más susceptibles y favorecen la falla.

Para el análisis de las características geomecánicas en el mapa geotécnico preliminar del punto MR5 que se ubica al este y dentro del casco urbano del municipio de Vélez, la cual se puede considerar como una zona críticamente inestable para cualquier actividad de construcción.

8 RECOMENDACIONES

Realizar perforaciones con el fin de obtener información litológica, e hidráulica más precisa y puntual y de las propiedades geomecánicas en profundidad.

Se recomienda realizar estudios hidrogeológicos en el área para determinar puntos de agua y niveles piezómetros con el fin de evaluar la presencia, profundidad y niveles energéticos del agua subterránea para determinar la influencia que ella tienen sobre la estabilidad de los taludes

Se recomienda realizar los análisis y la clasificación geomecánica de estabilidad de taludes durante la época de fuerte invierno, para tener la comparativa de las dos estaciones.

Para la zona críticamente inestable (punto MR5 y sus alrededores) que muestra el mapa geotécnico preliminar, es recomendable abatir o re excavar los perfiles de los taludes y aplicar un sistema de drenaje superficial y sub superficial para los mismos, lo cual mejorara la estabilidad de la zona.

Realizar una exploración geotécnica del subsuelo con muestreos de spt y shelby, para determinar un modelo de estabilidad.

9 BIBLIOGRAFIA

Alcaldía Municipal de Vélez Santander. Esquema de ordenamiento Territorial Vélez Santander 2004-2007. EOT Vélez Santander 2004-2007. Vélez – Colombia. 2004-2007. 61p.

ÁLVAREZ ROBLES, Mercedes y BUENO SERRANO, Edgar Orlando. Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Físico-Química. Departamento de Geología, 1994. 178p.

ANDERSON, J.; et al. A land use land cover classification system for the with remote sensing data. Geological Survey professional. (USA). 1976. 964p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM D2216. [En línea]. 1998. [Citado 15-Jun-2013] Disponible en internet: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/astm.d2216.1998.pdf>

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS Standard Specification for Gravity-Convection and Forced- Ventilation Ovens. ASTM E145. . [En línea]. 1994. [Citado 15-Jun-2013] Disponible en internet: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/003/astm.e145.1994.pdf>

Badillo, E., y Rodríguez, A. Mecánica de Suelos. Ed Limusa, México. 2005. 644p.

Belandria, N. y Bongiorno, F. Clasificación Geomecánica de los macizos rocosos según: Bieniawski. Barton. Hoek y Brown. Romana. [En Línea]. 2012. [Citado 10-Jun-2013]. Disponible en internet: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/nbelandria/materias/geotecnia/guia_geotecnia.pdf

Bowles, J. E. 1982. Propiedades Geofísicas de los Suelos. MC GRAW HILL, Madrid.

Caballero, V. Cartografía para estudiantes de geología. Curso de Cartografía. Universidad Industrial de Santander. Facultad físico-Química. Escuela de Geología. 2006.

----- . Cartografía, Mapas topográficos. Curso de Cartografía. Universidad Industrial de Santander. Facultad físico-Química. Escuela de Geología. 2007.

Carvajal, H. et al. 2004. Proyecto Compilación y Levantamiento de la información Geomecánica. Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la Zonificación Geomecánica. Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). Informe Inédito.

Castro, E. 2011. Concepto Técnico Sobre Movimientos De Remoción En Masa En La Cabecera Municipal De Vélez, Departamento De Santander. Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). Informe Inédito.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA. 2011. Protocolo de Información, Sistema de información Ambiental, Capa Cobertura y

uso del suelo. Dirección Técnica Ambiental, Sistema de Información Ambiental. Santiago de Cali. Informe Inédito.

Cruden, D. A simple definition of a Landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. 1991. No. 43, p. 27-29.

Cruden, D. y Varnes D. "Landslide types and processes". In A. K. Turner y R.L. Schuster (Editores): Landslides. Investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press. Washington D.C. 1996. p. 36-75

Dunham R., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. American Association of Petroleum Geologists., Mem. 1:108-121.

Etayo, F. Sinopsis Estratigráfica de la Región de Villa de Leyva y zonas próximas: Boletín de geología. Universidad Industrial de Santander No. 21. 1998. p. 19-32.

Folk, R. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill. Austin. Texas. 1974. 182p.

Gómez, P. Fotogeología de la zona Barbosa-Landázuri. Boletín de geología, Universidad Industrial de Santander, Vol. 11. No.25. 1977. p. 99-106.

González, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Otero, C. Ingeniería Geológica. Pearson Educación, S.A. Madrid. 2002. 744p.

Hauser, A. Remociones en masa en Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería, Santiago. 1993. Boletín No. 45, p. 7-29.

Hobbs, B. Geología Estructural. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 1981. 518p.

Ibáñez, D., 2008. Concepto Técnico Sobre Agrietamientos Que Afectan El Casco Urbano Del Municipio De Vélez (Barrios Las Ferias, La Esperanza Y San Luis), Departamento De Santander. Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). Informe Inédito.

INSTITUTO GEOGRÁFICO «AGUSTIN CODAZZI» (IGAC). “Formatos y Escalas de Mapas”, [en línea]. [Citado 1-Jul-2013]. Disponible en internet: http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/AreasEstrategicas!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PlwMzE_2CbEdFAPsOM0s!/?WCM_PORTLET=PC_7_AIGOB1A08FQE0IKHRGNJ320A0_WCM&WCM_GLOBAL_CONTEXT=/wps/wcm/connect/Web+-+Areas+Estrategicas/Áreas+Estrategicas/Áreas+Estrategicas/Subdireccion+de+Geografia+y+Cartografia/Formatos+y+Escalas+de+Mapas/

Lambe, T. y Whitman R. Mecánica de suelos. Ed Limusa. México. 1996. 582p.

MELO, O. Evaluación de la dinámica sucesional de los ecosistemas boscosos ubicados en el Área Amortiguadora del Parque Natural Nacional los Nevados. CRQ, CARDER, CORPOCALDAS; CORTOLIMA, Universidad del Tolima. Ibagué. 2002. 185p.

Mora, R., et al. Zonificación de la susceptibilidad al deslizamiento: Resultados obtenidos para la península de Papagayo mediante la modificación del método

Mora-Vahrson (mora, R. et al., 1992). [En línea]. 2002. [Citado 4-Jul-2013]. Disponible en internet: <http://www.eird.org/deslizamientos/pdf/spa/doc15359/doc15359-a.pdf>.

Pedregal, B. Fuentes Cartográficas y SIG II. [En línea]. [Citado 20-Sep-2013]. Disponible en internet: <http://titulaciongeografia-sevilla.es/web/contenidos/profesores/materiales/archivos/IntroduccionArGISBP.pdf>

Price, M. Agua Subterránea. Limusa Noriega Editores, México, 2003. 330p.

Rodríguez, J. Ingeniería Geológica: Caracterización de Macizos Rocosos. Universidad de Oviedo. [En línea] 2007. [Citado 15-Feb-2013]. Disponible en internet: <http://petro.uniovi.es/Docencia/iga/1MacizosRoc07.pdf>.

Rodríguez, M. Clasificación Geomecánica de Macizos Pizarrosos en el Sinclinal de Truchas. [En línea] 2006. [Citado 18-Feb-2013]. Disponible en internet: <http://www.sociedadgeologica.es/archivos/geogacetas/Geo40/Geo40-11.pdf>.

SAAVEDRA PIMIENTO, Deysi Yamile. Génesis De Las Manifestaciones De Barita-Calcita Y Barita-Fluorita En Los Municipios Sucre Y Bolívar (Departamento De Santander). Trabajo de grado Geólogo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad Físico-Química. Escuela de Geología, 2005. 112p.

Segura, G., et al. Susceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba. [En línea] 2011. [Citado 4-Jul-2013]. Disponible en internet: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0256-70242011000200006.

SEPULVEDA, S. Metodología para evaluar el peligro de flujos de detritos en ambientes montañosos. Aplicación en la quebrada Lo Cañas, Región Metropolitana. Memoria de Título (Inédito), Santiago. Universidad de Chile, Departamento de Geología. 1998. 93p.

Suárez, J. Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Publicaciones UIS. Colombia. 1998. 541p.

------. Control de Erosión en Zonas Tropicales. Publicaciones UIS. Colombia. 2001. 556p.

Turner, A. & Schuster, L. Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Transportation Research Board, National Research Council. National Academy Press, Washington D.C. 1996. 675p.

Ulloa, C., Rodríguez, E., 1978. Mapa Geológico de la Plancha 170 Vélez, Escala 1:100.000, Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). Informe inédito.

Van Zuidam et al. Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping Survey and Earth Sciences. I.T.C. Holanda, 1985

Vargas, G., 1988. Problemas Geológicos en los barrios El Palenque, Santa Teresita y Ricaurte, Municipio de Vélez, Santander, Servicio Geológico Colombiano (INGEOMINAS). Informe Inédito.

Varnes, D. Slope movement types and processes, in Schuster, R.L., and Krizek, R.J., eds., Landslides: analysis and control: Washington, D.C., Transportation Research Board, National Academy of Sciences. 1978. Special Report 176, p. 11-33.

Verstappen, H. y Van Zuidam, R. "The ITC System of Geomorphologic Survey". I.T.C. Publication. Enschede. 1991. 89p.

10 ANEXOS

Anexo A. Descripción de estaciones en fase de campo.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-1	
CORDENADAS: N: 1 157 299 Y: 1 045 228 Z: 2154	
FOTO	
<p>Afloramiento y detalle de la lutita negra.</p> <div style="display: flex; justify-content: center; gap: 20px;">   </div>	
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos a 300 mts del cementerio del municipio de Vélez, estamos sobre una pendiente media. Tenemos una lutita de coloración gris muy fisil, tiene una tendencia de 260/8 y una familia de diaclasas principales de 145/64.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-2	
CORDENADAS: N: 1 157 329 Y: 1 045 359 Z: 2145	
FOTO	

Afloramiento y detalle lutita negra, se observa diaclasamiento.



DESCRIPCION GENERAL: Este punto se encuentra ubicado a 500 mts debajo de la anterior estación, seguimos sobre una pendiente moderada. Aflora una lutita negra de fisilidad media, y una estratificación plana paralela que tiene una orientación en Azimut de rumbo de 195/11 y se identifica dos familias de diaclasas las cuales se orientan en 310/86 y 129/90.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-3

CORDENADAS: N: 1 157 235
Y: 1 045 430
Z: 2099

FOTO

Afloramiento y detalle de fósil de amonitas.




DESCRIPCION GENERAL: Se encuentra aflorando lutita negra de fisilidad que varía entre baja y media, y nos encontramos sobre una pendiente media. Esta roca se encuentra estratificada a 220/4. En este afloramiento no se observa una familia de diaclasas importante solo planos de desprendimiento. Además encontramos pequeños fósiles de amonitas.

DESCRIPCION DE ESTACIONES


PROYECTO DE GRADO	
FL-4	
CORDENADAS: N: 1 157 137 Y: 1 045 276 Z: 2062	
FOTO	
Afloramiento y detalle fósil Amonitas.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Esta estación está ubicada sobre la quebrada las Flores, se observa una Lodolita calcárea, con presencia de concreciones de aproximadamente 30 cm de diámetro, presenta fósiles de amonitas y se encuentra estratificada en azimut de rumbo de 240/4.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
PROYECTO DE GRADO	
FL-5	
CORDENADAS: N: 1 156 859 Y: 1 045 105 Z: 2133	
FOTO	
Afloramiento de lutita gris.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la carrera segunda con calle Primera, sobre una pendiente media en donde aflora una lutita gris con una fisilidad media, se encuentra buzando en azimut de rumbo 230/6.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-6	
CORDENADAS: N: 1 156 696 Y: 1 045 150 Z: 2121	
FOTO	
<p>Afloramiento Lutita Negra.</p> 	
<p>DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la transversal 1 con carrera 10, en donde tenemos un afloramiento de lutita negra con un grado de fisilidad alta y se encuentra buzando en azimut de rumbo 250/3, por su coloración nos indica un alto contenido de materia orgánica y no se evidencia la presencia de diaclasas.</p>	


DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-7	
CORDENADAS: N: 1 156 495 Y: 1 045 180 Z: 2097	
FOTO	
<p>Afloramiento de la lutita negra y diaclasas.</p> 	
<p>DESCRIPCION GENERAL: Tenemos una Lutita negra con un grado de fisilidad median con un</p>	

buzamiento de azimut de rumbo de 210/11, presenta una familia de diaclasas de dirección 130/81.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-8	
CORDENADAS: N: 1 156 387 Y: 1 045 022 Z: 2116	
FOTO	
Afloramiento lutita negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: En este afloramiento tenemos una lutita negra con una estratificación en azimut de rumbo de 240/9, no presenta diaclasamiento y tiene altos contenido de materia orgánica debido a su coloración negra.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-9	
CORDENADAS: N: 1 156 578 Y: 1 044 455 Z: 2157	
FOTO	
Afloramiento Lutita Negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Seguimos en la misma lutita negra de Fisilidad media con una	

estratificación en azimut de rumbo de 250/12, no se observaron diaclasas.


DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-10	
CORDENADAS: N: 1 157 159 Y: 1 044 705 Z: 2183	
FOTO	
Afloramiento lutita negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Aflora una lutita negra muy fisil con una estratificación en azimut de rumbo 230/10, con un alto contenido de materia orgánica.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-11	
CORDENADAS: N: 1 157 375 Y: 1 044 927 Z: 2180	
FOTO	
Afloramiento lutita negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Esta estación es un punto de control Geológico, en el que seguimos observando la misma lutita negra que se encuentra estratificada en dirección de azimut de rumbo de 245/6 con una familia de diaclasa en dirección 135/80.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-12	
CORDENADAS: N: 1 157 455 Y: 1 045 165 Z: 2167	
FOTO	
Afloramiento y detalle de la lutita negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos a un costado de la cancha de futbol el campin, se observa una lutita negra fisil, con una estratificación en azimuth de rumbo de 230/8. Este afloramiento muestra dos familias de diaclasas orientadas así: 125/80 y 6/70 en azimuth de rumbo.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-13	
CORDENADAS: N: 1 157 195 Y: 1 044 978 Z: 2144	
FOTO	
Afloramiento y detalle de la lutita negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Aflora una lutita negra con un grado de fisilidad medio y se	

encuentra estratificada en dirección 215/14, posee 3 familias de diaclasas que se orientan de la siguiente manera: 133/88, 72/55 y 45/81 en azimut de rumbo.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-14	
CORDENADAS: N: 1 156 807 Y: 1 045 310 Z: 2177	
FOTO	
Afloramiento lutita de coloración parda.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Se observa una lutita de coloración parda, posiblemente por efecto de una hidratación, se encuentra estratificada en azimut de rumbo en 198/3, nos encontramos sobre una pendiente moderada, presenta dos familias de diaclasa orientadas en 12/70 y 55/77.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-15	
CORDENADAS: N: 1 156 595 Y: 1 045 527 Z: 2067	
FOTO	
Afloramiento y detalle de la lutita negra.	
	

DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la casa de vigilancia del Conjunto Villa del Bosque, observamos una lutita negra con un grado fisilidad de medio a alto en una pendiente alta, esta lutita se encuentra estratificada en dirección 245/16 y presenta una familia de diaclasa orientada en 15/45.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
---------------------------	--

	PROYECTO DE GRADO
--	-------------------

FL-16

CORDENADAS: N: 1 156 134 Y: 1 045 470 Z: 2055

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Tenemos una lutita con una coloración grisácea posiblemente producto de la meteorización debido a que unos metros hacia abajo tenemos la misma lutita pero con un color negro, esta estratificada en una dirección 200/15 y estamos en una pendiente media. No se observan diaclasas.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
---------------------------	--

	PROYECTO DE GRADO
--	-------------------

FL-17

CORDENADAS: N: 1 156 170 Y: 1 044 653 Z: 2097

FOTO

Afloramiento y detalle de la lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Esta estación se encuentra ubicada sobre la carrera 2 con calle 5 en una pendiente media, en donde está aflorando una lutita negra que está buzando en una dirección de 200/5, tiene un grado de fisilidad media por lo que tenemos solo una familia de diaclasas en dirección 350/85.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
---------------------------	--

	PROYECTO DE GRADO
--	-------------------

FL-18

CORDENADAS: N: 1 155 542 Y: 1 044 801 Z: 2102

FOTO

Afloramiento y detalle de la lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la vía que comunica el municipio de Vélez con Barbosa, debajo de un puente peatonal, tenemos una pendiente media y se encuentra aflorando de nuevo la lutita pero con una coloración parda estratificada en dirección de azimut de 220/8.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
---------------------------	--

	PROYECTO DE GRADO
--	-------------------

FL-19

CORDENADAS: N: 1 155 154
Y: 1 044 983
Z: 2092

FOTO

Afloramiento lutita negra ubicada en estación los Arrayanes.



DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la estación de servicio de gasolina los Arrayanes, en este punto aflora la lutita negra que se encuentra estratificada en 215/13 en una pendiente media. Posee una familia de diaclasas en dirección 125/81 en azimut de rumbo.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-20

CORDENADAS: N: 1 155 197
Y: 1 044 904
Z: 2126

FOTO

Afloramiento y detalle de la lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Este es un punto de control geológico en el cual seguimos encontrado afloramiento de lutita negra.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-21

CORDENADAS: N: 1 154 999
Y: 1 044 912
Z: 2126

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Tenemos un punto de control geológico, en el que continuamos con la presencia de lutita negra.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-22

CORDENADAS: N: 1 155 352
Y: 1 044 751
Z: 2147

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos en la portería principal de la escuela de carabineros de Vélez, tenemos una lutita negra con un grado de fisilidad media en una pendiente media con una estratificación de 280/6 y se observó una familia de diaclasas orientadas en 89/69 en azimut de rumbo.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-23

CORDENADAS: N: 1 155 491
Y: 1 044 535
Z: 2171

FOTO

Afloramiento y detalle de la lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Es un punto de control geológico en el que aflora lutita negra de nuevo.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-24

CORDENADAS: N: 1 155 938
Y: 1 044 434
Z: 2179

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: En esta estación nos aflora una lutita negra que se encuentra estratificada con una orientación en azimuth de rumbo de 228/9, nos encontramos en una pendiente alta y esta lutita presenta un grado de fisilidad media y se observa una familia de diaclasas 85/90.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-25

CORDENADAS: N: 1 156 523
 Y: 1 044 390
 Z: 2170

FOTO

Afloramiento y detalle de la lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la vía que comunica Vélez con Barbosa, tenemos una lutita negra con una estratificación de 235/19, con un grado de fisilidad media, en una pendiente media, y se observa una familia de diaclasas de 85/82.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-26


CORDENADAS: N: 1 155 556
 Y: 1 045 243
 Z: 2057

FOTO

Detalle lutita negra y fósil de amonitas.





DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos en el camino de paso bajando por la escuela que se encuentra a las afueras de Vélez sobre la vía que comunica a el municipio de Vélez con Barbosa, en donde aflora una lutita negra con estratificación de 210/19, con una grado de fisilidad medio identificado en el afloramiento, se encontraron algunos fósiles de amonita de aproximadamente 5 cm de diámetro.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-27	
CORDENADAS: N: 1 155 724 Y: 1 045 173 Z: 2038	
FOTO	
Afloramiento de lutita negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Se realizó un punto de control geológico sobre la escuela rural, y seguimos en la misma lutita negra.	


DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-28	
CORDENADAS: N: 1 155 898 Y: 1 045 229 Z: 2019	
FOTO	
Afloramiento, detalle Lodolita calcárea y concreciones.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Estamos sobre la quebrada puente tabla, aflora una Lodolita calcárea con una estratificación 198/16, tenemos una presencia de concreciones de 25cm de diámetro y se observan huellas de amonitas.	


DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO	
FL-29	
CORDENADAS: N: 1 156 040 Y: 1 045 333 Z: 2028	
FOTO	
Afloramiento Lodolita calcárea, contacto con lutita negra y detalle.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la quebrada el palenque, se evidencia un contacto neto entre la Lodolita calcárea que tiene una estratificación 187/20 y la lutita negra.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
PROYECTO DE GRADO	
FL-30	
CORDENADAS: N: 1 155 705 Y: 1 045 769 Z: 1944	
FOTO	
Afloramiento de lutita negra.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos aguas debajo de la quebrada el palenque y aflora en este punto una lutita negra, no se pudo obtener dato de estratificación pero si se pudo medir una familia de diaclasas que es de 354/81.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
PROYECTO DE GRADO	

FL-31
<p>CORDENADAS: N: 1 155 616 Y: 1 045 737 Z: 1929</p>
FOTO
<p>Afloramiento de lutita negra.</p> 
<p>DESCRIPCION GENERAL: Es un punto de control geológico en donde identificamos una lutita negra.</p>

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-32	
<p>CORDENADAS: N: 1 157 625 Y: 1 045 171 Z: 2158</p>	
FOTO	
<p>Afloramiento de lutita negra.</p> 	
<p>DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos en la vía que comunica al municipio de Vélez y la Paz, se observa de nuevo una lutita negra con una grado de fisilidad bajo y una estratificación en azimut de 210/4.</p>	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-33	

CORDENADAS: N: 1 157 870
Y: 1 045 410
Z: 2143

FOTO

Afloramiento y detalle lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la vía Chipata-Velez, tenemos un afloramiento de lutita negra con una estratificación de 235/9 con un grado de fisilidad medio, tenemos una familia de diaclasa en dirección 85/50.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-34

CORDENADAS: N: 1 157 313
Y: 1 045 395
Z: 2127

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Tenemos aflorando una Lodolita calcárea, con un espesor de aproximadamente de 1.30 y una estratificación de 205/40, además cuenta con concreciones que tienen un diámetro no mayos a 30cm.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-35

CORDENADAS: N: 1 157 139
Y: 1 045 733
Z: 2083

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Está aflorando una lutita negra con presencia de algunos fósiles y se encuentra estratificada en una dirección de 205/10.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-36

CORDENADAS: N: 1 156 910
Y: 1 046 198
Z: 1973

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Se realiza un punto de control geológico para hacerle seguimiento a la lutita negra.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-37

CORDENADAS: N: 1 156 520
Y: 1 046 088

Z: 1987

FOTO

Afloramiento y detalle lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Tenemos una lutita negra con azimut de rumbo de 166/9, en una pendiente media y un grado de fisilidad media, este afloramiento presenta 3 familias de diaclasas orientadas de la siguiente manera: 311/62, 6/69 y 110/86.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-39

CORDENADAS: N: 1 158 068
Y: 1 043 792
Z: 2474

FOTO

Afloramiento caliza de textura packstone.




DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre el camino de herradura en donde aflora una caliza consolidada, de color grisácea y con una estratificación de 235/6.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-40

CORDENADAS: N: 1 158 089
Y: 1 043 823
Z: 2456

FOTO	
Afloramiento y detalle caliza.	
	
<p>DESCRIPCION GENERAL: Unos metros debajo de la anterior estación, en este punto la caliza aflora y forma un escarpe de aproximadamente 30 mts, tienen una estratificación de 210/4 se observan algunos patrones de fracturamiento y presenta dos familias de diaclasas que se encuentran orientadas en azimut de rumbo de 55/90 y 320/86.</p>	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-41	
CORDENADAS: N: 1 157 656 Y: 1 043 943 Z: 2369	
FOTO	
Afloramiento y detalle de Lodolita calcárea.	
	
<p>DESCRIPCION GENERAL: En este punto aflora una Lodolita calcárea con un grado de fisilidad medio y un valor de estratificación de 212/5, en este afloramiento se observan concreción de aproximadamente 20 cm de diámetro.</p>	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-42	
CORDENADAS: N: 1 157 599	

Y: 1 043 980
Z: 2369

FOTO

Afloramiento y detalle de Lodolita calcárea.



DESCRIPCION GENERAL: Es un punto de control geológico en el que evidenciamos la presencia de una Lodolita calcárea, 10 mts abajo observamos más fisilidad que en la parte más proximal, y predominaba una diaclasa de 92/86.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-43

CORDENADAS: N: 1 157 544
Y: 1 044 103
Z: 2322

FOTO


Afloramiento y detalle lutita negra con concreciones.



DESCRIPCION GENERAL: Estamos cerca de un contacto debido a que hay un cambio de pendiente de alta a baja, tenemos una lutita negra con una estratificación de 203/8 y tienen dos familias de diaclasas predominantes que están orientadas en azimut de rumbo 183/77 y 86/87. Al igual que el contenido de carbonato ha disminuido al igual concreciones.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-44
CORDENADAS: N: 1 157 357 Y: 1 044 290 Z: 2300
FOTO
Afloramiento y detalle de lutita negra. 
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos en la zona de transición entre la Lodolita calcárea y la lutita negra con algo contenido de materia orgánica la cual tiene una estratificación en azimut de rumbo de 205/4.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-45	
CORDENADAS: N: 1 157 259 Y: 1 044 354 Z: 2273	
FOTO	
Afloramiento de lutita negra y contacto con Lodolita calcárea. 	
DESCRIPCION GENERAL: Tenemos un punto de control geológico de la lutita negra, a unos 10 mts evidenciamos un contacto neto entre la lutita negra y una Lodolita calcárea sin presencia de concreciones, se encuentra estratificada en 236/6.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO

FL-46

CORDENADAS: N: 1 157 778
 Y: 1 043 608
 Z: 2452

FOTO

Afloramiento y detalle caliza con bivalvos.



DESCRIPCION GENERAL: En este punto aflora una caliza que corresponde al punto más alto de nuestra zona de estudio, se encuentra estratificada en dirección de 210/10 y evidencia dos familias de diaclasas las cuales se encuentran orientadas así 130/84 y 20/79. Se observan restos de bivalvos.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-47

CORDENADAS: N: 1 157 295
 Y: 1 043 612
 Z: 2386

FOTO

Afloramiento de lutita negra.




DESCRIPCION GENERAL: Tenemos una lutita negra estratificada en 206/9, con un grado de fisilidad alto y se encuentra ubicada en una pendiente alta. Tiene una familia de diaclasa orientada de 307/85.

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-48	
CORDENADAS: N: 1 157 420 Y: 1 043 637 Z: 2418	
FOTO	
Afloramiento caliza 	
DESCRIPCION GENERAL: Tenemos la caliza con presencia de bivalvos.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-49	
CORDENADAS: N: 1 157 270 Y: 1 043 693 Z: 2364	
FOTO	
Afloramiento y detalle de Lodolita calcárea. 	
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos cerca al contacto entre la lutita negra y la Lodolita calcárea la cual se encuentra estratificada en dirección 210/5., no se observan diaclasas ni tampoco presencia, pero se observa unos pequeños cristales de calcita, esta Lodolita tiene una fisilidad baja.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO	
FL-50	
CORDENADAS: N: 1 157 028 Y: 1 044 255 Z: 2287	
FOTO	
Afloramiento de lutita negra. 	
DESCRIPCION GENERAL: Pasamos de nuevo a una lutita negra estratificada en azimut de rumbo en 245/15, con una fisilidad media y nos encontramos en una pendiente alta. Se observan dos familias de diaclasas orientadas así 305/59 y 96/74.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
PROYECTO DE GRADO	
FL-51	
CORDENADAS: N: 1 157 017 Y: 1 044 337 Z: 2269	
FOTO	
Afloramiento de Lodolita calcárea. 	
DESCRIPCION GENERAL: Tenemos una Lodolita calcárea estratificada en orientación 230/5 sin presencia de concreciones y con un nivel de fisilidad alta	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
PROYECTO DE GRADO	
FL-52	

CORDENADAS: N: 1 157 008
Y: 1 044 538
Z: 2199

FOTO

Afloramiento y detalle de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Estamos ubicados a una cuadra arriba del hospital del municipio de Vélez, en donde aflora una lutita negra estratificada 215/6, tiene un grado de fisilidad media y se observan dos familias de diaclasas orientadas de la siguiente manera 55/65 y 149/70.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-53

CORDENADAS: N: 1 157 017
Y: 1 044 365
Z: 2242

FOTO

Afloramiento de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Aflora una lutita negra con fisilidad media que se encuentra estratificada en azimut de rumbo 205/6

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO	
FL-54	
CORDENADAS: N: 1 156 610 Y: 1 044 298 Z: 2189	
FOTO	
Afloramiento de lutita negra. 	
DESCRIPCION GENERAL: En este punto aflora una lutita negra estratificadas en dirección 213/6, presenta un grado de fisilidad alto, sobre una pendiente media. Tenemos una familia de diaclasas orientadas así 122/89.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
PROYECTO DE GRADO	
FL-55	
CORDENADAS: N: 1 156 679 Y: 1 044 230 Z: 2185	
FOTO	
Afloramiento y detalle de Lodolita calcárea. 	
DESCRIPCION GENERAL: Nos encontramos sobre la quebrada el Palenque donde aflora la Lodolita calcárea estratificada en azimuth de rumbo de 218/8 con una grado de fisilidad bajo y presenta con 3 familias de diaclasas que se encuentran orientadas de la siguiente manera 305/87, 298/87 y 174/61.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-56	
CORDENADAS: N: 1 156 705 Y: 1 044 101 Z: 2215	
FOTO	
Afloramiento Lodolita calcárea.	
	
DESCRIPCION GENERAL: Punto de control geológico en donde aflora la Lodolita calcárea	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-57	
CORDENADAS: N: 1 156 751 Y: 1 044 034 Z: 2244	
FOTO	
SIN REGISTRO FOTOGRAFICO.	
DESCRIPCION GENERAL: Tenemos un punto de control geológico en donde aflora la misma Lodolita calcárea.	

DESCRIPCION DE ESTACIONES	
	PROYECTO DE GRADO
FL-58	
CORDENADAS: N: 1 156 738 Y: 1 043 816 Z: 2299	
FOTO	

Afloramiento de Lodolita calcárea.



DESCRIPCION GENERAL: En este punto aflora de nuevo la Lodolita calcárea con una estratificación de 210/4 y un grado de fisilidad bajo.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-59

CORDENADAS: N: 1 156 719
Y: 1 043 342
Z: 2388

FOTO

Afloramiento y detalle de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Tenemos en este afloramiento una lutita negra con una estratificación de 205/7 con un grado de fisilidad medio. Se observa una familia de diaclasa que está orientada en azimuth de rumbo 5/86.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-60

CORDENADAS: N: 1 156 828
Y: 1 043 250
Z: 2432

FOTO

Afloramiento y detalle de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Aflora una lutita negra con presencia de concreciones de hasta 10 cm de diámetro y nos encontramos cerca de la capa de caliza. Tenemos una familia de diaclasa que se orienta en 32/58.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-61

CORDENADAS: N: 1 156 886
Y: 1 043 195
Z: 2455

FOTO

Afloramiento Caliza.



DESCRIPCION GENERAL: Estamos en el punto más externo de nuestra zona de estudio, en donde aflora la caliza con una estratificación de 212/6 y por el cambio de pendiente que se observa se presume que hay un contacto con la lutita negra, en esta caliza se observan dos familias de diaclasas que se orientas en 319/85 y 56/90.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-62

CORDENADAS: N: 1 156 445
Y: 1 043 292
Z: 2415

FOTO

Afloramiento de lutita negra meteorizada.



DESCRIPCION GENERAL: Estamos cerca de una escuela rural, y en este punto aflora una lutita negra con una estratificación de 220/12, en este punto se encuentra bastante meteorizada el afloramiento.

DESCRIPCION DE ESTACIONES

PROYECTO DE GRADO

FL-63

CORDENADAS: N: 1 156 285
Y: 1 043 280
Z: 2396

FOTO

Afloramiento y detalle de lutita negra.



DESCRIPCION GENERAL: Este es un punto de control geológico, en donde aflora una lutita negra.

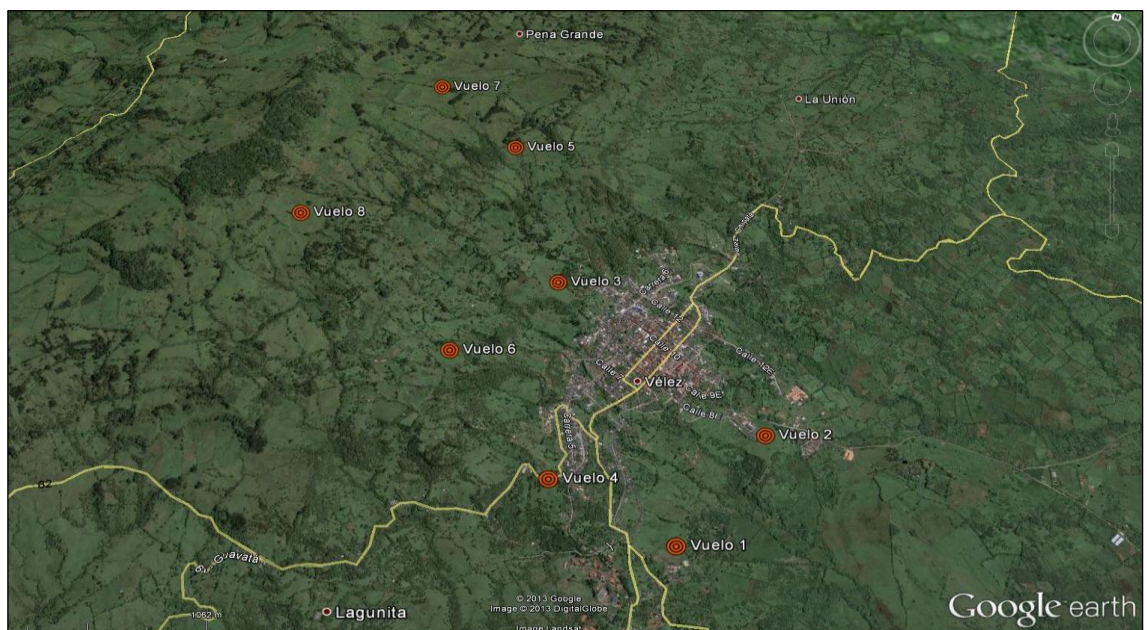
Anexo B. Foto aérea e información de vuelos. Tomadas y procesadas por el grupo de investigación GEOMATICA.

✓ Coordenadas de vuelos.

# vuelo	Coordenadas			
	Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
1	6° 0'7.24"N	73°40'13.92"O	6,00201111	-73,67053333
2	6° 0'32.41"N	73°40'0.29"O	6,00900366	-73,66674828
3	6° 0'57.12"N	73°40'41.22"O	6,01586544	-73,67811731
4	6° 0'15.29"N	73°40'35.60"O	6,00424833	-73,67655606
5	6° 1'26.71"N	73°40'54.55"O	6,02408739	-73,68182032
6	6° 0'37.08"N	73°40'56.65"O	6,01030041	-73,68240222
7	6° 1'37.41"N	73°41'10.26"O	6,02705817	-73,68618202
8	6° 0'58.72"N	73°41'27.92"O	6,01631213	-73,69108890

Sistema de referencia WGS84

✓ Ubicación geográfica de los puntos de vuelo.



Fuente: Tomada de Google Earth y modificada por el grupo de investigación de Geomatica.

✓ Foto/imagen aérea.



Fuente: Grupo de Investigación GEOMATICA.

Anexo C. Formato para la toma de datos geomecánicos en campo.
 Tomado de González et al. (2002), p. 241.

PROYECTO: REALIZADO POR: FECHA:		ESTACIÓN: LOCALIZACIÓN:				HOJA/PLANO: FOTO:			
LITOLOGÍA		NATURALEZA:				POTENCIA:			
FORMACIONES SUPERFICIALES ESTRUCTURA		NATURALEZA Y TEXTURA				MORFOLOGÍA:			
FRACTURACIÓN		PUÉLGUES		FALLAS		OTROS		ESPESOR:	
		ELOGUES (Jr. Juntas/m ²)		Muy grandes < 1		Grandes 1-3		Medios 3-10	
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA		Extremam. blanda (Uts)		Muy blanda (Navaja)		Blanda (Punta martillo)		Media (1 Golpe martillo)	
GRADOS DE METEORIZACIÓN		I Sana		II Algo meteorizada		III Mediamente meteorizada		IV Muy meteorizada	
HIDROGEOLOGÍA		Sin presencia de agua		Seco (con señales de agua)		Húmedo		Goteo	
RESISTENCIA 'R' ESCLEROMETRO		30		42		30		50	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30		50		45	
		30		50		45		38	
		42		30					

Anexo D. Características generales, datos geomecánicos y clasificación RMR de los macizos rocosos MR3 hasta el MR20.

✓ Macizo Rocoso (MR3), Características Generales

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1157469; Y: 1045166; Z: 2160 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 22 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen tres discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos ligeramente rugosos; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.06-0.2 m. con una continuidad entre 1-3 m., los planos son ligeramente rugosos; La segunda familia de diaclasas (J2), la cual tiene un espaciado entre 20-60 mm., con una continuidad entre 3-10 m. y los planos son suaves. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 1.

Figura 1. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR3.


Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0.06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	3-10 m	2
	Abertura	0,1-1,0 mm	2
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5mm blando	5
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Ligeramente Húmedo	10
TOTAL BASE			34
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			34
Clase IV, Roca de mala calidad			

✓ **Macizo Rocoso (MR4), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1157195; Y: 1044980; Z: 2144 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 26 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen cuatro discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado entre 20-60 mm., una continuidad menor

a 1 m. y unos planos suaves; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.6-2 m. con una continuidad entre 1-3 m., los planos son muy rugosos; La segunda familia de diaclasas (J2), la cual tiene un espaciado entre 0.2-0.6 m., con una continuidad entre 1-3 m. y los planos son ondulados lisos; La tercera familia de diaclasas (J3), la cual presenta un espaciado entre 0.06-0.2 m., con una continuidad menor a 1 m. y los planos son muy rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 2.

Figura 2. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR4.

FORMACIONES SUPERFICIALES DE FRACTURAS		NATURALEZA Y TEXTURA: <i>Clastica</i>			MORFOLOGÍA: <i>Abrupta</i>			Aptiano								
		PLIEGUES		FALLAS	OTROS: <i>Diaclasas</i>											
FRAGMENTACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños > 30	Muy Bechificado > 60									
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Solo raya con Martillo) 6									
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana		II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual									
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO								
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	24,4			OBSERVACIONES: /R.		COORDENADAS: X: 1157195 Y: 1044980 Z:2144										
MR4																
																
Tipo de Plano	Dirección de Bucamiento (°)	Bucamiento (°)	ESPACIADO (mm)		CONTINUIDAD (m)		ABERTURA (mm)			RUGOSIDAD	RELLENOS					
			Rumbo (R)	Bz (B)	Rellenos			Meteorización			Filtraciones	Resistencia		DIRECCION DE TALUD		
So	305	14	< 20	< 1	1-3	< 0.1	< 0.1	< 0.1	I Rugosa	Composición	Sana	I	Humedo		Flujo	Muy blando
J1	223	88	20-60	1-3	3-10	0.1-0.25	0.1-0.25	0.25-0.5	II Lisa	Espesor mm	Algo Meteorizada	II	Goteos	Flujo	Blando	
J2	162	55	60-200	1-3	3-10	0.25-0.5	0.25-0.5	0.5-2.5	III Silikensidad		Media Meteorizadas	III			Consistente	
J3	135	81	200-600	1-3	3-10	0.5-2.5	0.5-2.5	> 10	IV Rugosa		Muy Meteorizadas	IV			Muy consistente	
			600-2000	1-3	3-10	2.5-10	2.5-10	> 10	V Lisa		Compat. Meteorizadas	V			Duro	
			> 6000	1-3	3-10	> 10	> 10	> 10	VI Silikensidad		Suelo residual	VI			Muy duro	

En la tabla 2 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 2. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR4 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		50-25	4
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Inalterada	6
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			44
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			44

Clase III, Roca de media calidad

✓ **Macizo Rocoso (MR5), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156865; Y: 1045108; Z: 2123 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 24 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen una discontinuidad: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado entre 20-60 mm., una continuidad menor a 1 m., presenta unos planos ondulados lisos y contiene un relleno de arcilla (A). Ver Figura 3.

Figura 3. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR5.

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0.06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0.1-1 mm	3
	Rugosidad	Ondulada	1
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Goteando	4
TOTAL BASE			31
Corrección por orientación de las discontinuidades			-25
TOTAL			6
Clase V, Roca de muy mala Calidad			

✓ **Macizo Rocosó (MR6), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156457; Y: 1045154; Z: 2097 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 21 MPa., un índice de recuperación

o RQD de 0%. Existen tres discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos ligeramente rugosos; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.06-0.2 m. con una continuidad entre 1-3 m., los planos son rugosos; La segunda familia de diaclasas (J2), la cual tiene un espaciado entre 0.06-0.2 m., con una continuidad entre 1-3 m. y los planos son muy rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 4.

Figura 4. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR6.

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		0,06-0,2 m	8
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	1-3 m	4
	Abertura	1-5 mm	1
	Rugosidad	Rugosa	6
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Descompuesta	0
Agua Freática		seco	15
TOTAL BASE			40
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			40
Clase IV, Roca de mala calidad			

✓ **Macizo Rocoso (MR7), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1158082; Y: 1043822; Z: 2451 y hace parte de la formación Tablazo, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 80 MPa., un índice de recuperación o RQD de 3.2%. Existen tres discontinuidades: La estratificación

En la tabla 5 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 5. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR7 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		100-50	7
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		0,2-0,6 m	10
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	>5 mm	0
	Rugosidad	Muy Rugosa	6
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			54
Corrección por orientación de las discontinuidades			-5

TOTAL RMR	49
Clase III, Roca de media calidad	

✓ **Macizo Rocoso (MR8), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1157550; Y: 1044069; Z: 2325 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 20 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existe un tipo de discontinuidad: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado entre 20-60 mm., una continuidad entre 1-3 m., los planos son suaves y contiene un relleno de arcilla (A). Ver Figura 6.

Figura 6. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR8.

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	0
Separación entre Diaclasas		<0.06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	1-3 m	4
	Abertura	0.1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Ligeramente Húmedo	10
TOTAL BASE			31
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			31
Clase IV, Roca de mala calidad			

✓ **Macizo Rocosos (MR9), Características Generales**

En la tabla 7 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 7. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR9 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0.06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0.1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Inalterada	6
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			42
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			42

Clase III, Roca de media calidad

✓ **Macizo Rocoso (MR10), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1151004; Y: 1044529; Z: 2199 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 32 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen tres discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., con una continuidad menor a 1 m. y unos planos suaves; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.06-0.2 m. con una continuidad entre 1-3 m., los planos son suaves; La segunda familia de diaclasas (J2), la cual tiene un espaciado entre 0.2-0.6 m., con una continuidad menor a 1 m. y los planos son ligeramente rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 8.

Figura 8. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR10.

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		50-25	4
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,25-2,5 mm	2
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			42
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			42
Clase III, Roca de media calidad			

✓ **Macizo Rocoso (MR11), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1157335; Y: 1045354; Z: 2137 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra

una resistencia a la compresión uniaxial de 20 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen dos discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos suaves; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.06-0.2 m. con una continuidad menor a 1 m. y los planos son suaves. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 9.

Figura 9. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR11.

LITOLOGÍA		NATURALEZA: Sedimentaria				POTENCIA: 3.8 M		FORMACION Y EDAD: Paja, Cretácico Inferior Hauteriviense-Barromiense-Aptiano					
FORMACIONES SUPERFICIALES DE FRACTURAS		NATURALEZA Y TEXTURA: Clástica-Lutita				MORFOLOGÍA: Suave		OTROS: Diaclasas					
FRAGMENTACIÓN		BLOQUES Jv Juntas/m3		Muy Grandes < 1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños > 30	Muy Bechificado > 60				
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA		Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Solo raya con Martillo) 6					
GRADOS DE METEORIZACIÓN		I Sana		II Algo Meteorizada		III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual				
HIDROGEOLOGÍA		Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)		Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO				
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO		14,2				OBSERVACIONES: \checkmark		COORDENADAS: X: 1157335 Y: 1045354 Z: 2137					
MR11													
Tipo de Plano	DIRECCION DE BUENAMIENTO (°)	ESPACIADO (mm)		CONTINUIDAD (m)		ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENOS					
		Rumbo (R)	Bz (B)	Meteorización	Filtraciones			Resistencia		DIRECCION DE TALUD			
Buena (°)													
Sr	285	11	X										
J1	30	86		X									

En la tabla 9 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 9. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR11 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Moderadamente Alterada	3
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			39
Corrección por orientación de las discontinuidades			0

TOTAL RMR	39
Clase IV, Roca de mala calidad	

✓ **Macizo Rocosó (MR12), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156522; Y: 1046092; Z: 1980 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 17 MPa., un índice de recuperación o RQD de 3.2%. Existen cuatro discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado entre 20-60 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos ondulados rugosos; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.2-0.6 m. con una continuidad entre 1-3 m., los planos son suaves; La segunda familia de diaclasas (J2), la cual tiene un espaciado entre 0.2-0.6 m., con una continuidad menor a 1 m. y los planos son muy rugosos; La tercera familia de diaclasas (J3), la cual presenta un espaciado entre 0.06-0.2 m., con una continuidad entre 1-3 m. y los planos son ondulados rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 10.

Figura 10. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR12.

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		0,2-0,6 m	10
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1-3 m	4
	Abertura	0,5-2,5 mm	2
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Moderadamente Alterada	3
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			41
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			41
Clase III, Roca de media calidad			

✓ **Macizo Rocosó (MR13), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156283; Y: 1043275; Z: 2393 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra

Tabla 11. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR13 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25%	3
Separación entre Diaclasas		<0.06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0.5-2.5 mm	2
	Rugosidad	Muy Rugosa	6
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Inalterada	6
Agua Freática		Húmedo	7
TOTAL BASE			39
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			39
Clase IV, Roca de mala calidad			

✓ **Macizo Rocosó (MR14), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156260; Y: 1043301; Z: 2381 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 24 MPa., un índice de recuperación o RQD de 3.2%. Existen dos discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado entre 0.06-0.2 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos rugosos; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.2-0.6 m. con una continuidad entre 1-3 m., los planos son ligeramente rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 12.

Figura 12. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR14.

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25 %	3
Separación entre Diaclasas		0,2-0,6 m	10
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	1-3 m	4
	Abertura	1-5 mm	1
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Húmeda	7
TOTAL BASE			37
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			37
Clase IV, Roca de mala calidad			

✓ **Macizo Rocoso (MR15), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156404; Y: 1043936; Z: 2297 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 20 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen tres discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado entre 20-60 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos suaves; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.06-0.2 m. con una continuidad menor a 1 m., los planos son suaves; La segunda familia de diaclasas (J2), la cual tiene un espaciado entre 0.06-0.2 m., con una continuidad menor a 1 m. y los planos son muy rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 13.

Figura 13. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR15.


Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25 %	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,5-2,5 mm	2
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Descompuesta	0
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			35
Corrección por orientación de las discontinuidades			-5
TOTAL RMR			30
Clase IV, Roca de mala calidad			

✓ **Macizo Rocoso (MR16), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156363; Y: 1044228; Z: 2198 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 43 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existe un tipo de discontinuidad: La estratificación o fisilidad

($S\sigma=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m., y los planos son suaves. Ver Figura 14.

Figura 14. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR16.

LITOLOGÍA	NATURALEZA: Sedimentaria			POTENCIA: 4 M		FORMACION Y EDAD: Paja, Cretácico Inferior Hauteriviense-Barromiense-Aptiano						
FORMACIONES SUPERFICIALES DE FRACTURAS	NATURALEZA Y TEXTURA: Clastica-Lodolita calcarea			MORFOLOGÍA: Suave		OTROS:						
	PLIEGUES		FALLAS									
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños > 30	Muy Bechificado > 60					
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Solo raya con Martillo) 6					
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana		II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual					
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO					
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	25,2			OBSERVACIONES: <input checked="" type="checkbox"/>	COORDENADAS: X: 1156363 Y: 1044228 Z: 2198							
MR16												
												
Tipo de Plano	Dirección de Bucamiento (°)	Espaciado (mm)	CONTINUIDAD (m)		ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENOS					
			Rumbo (R)	Bz (B)			Meteorización	Filtraciones	Resistencia	DIRECCION DE TALUD		
Se	301	9	X	< 20	Extremadamente	< 1	Baja	1	Sana		1	Muy blando
				20-60	Muy juntas	1-3	Moderada	2	Algo Meteorizada	2	Blando	
				60-200	Juntas	3-10	Alta	3	Media Meteorizadas	3	Consistente	
				200-600	Moderadamente	10-20	Muy alta	4	Muy Meteorizadas	4	Muy consistente	
				600-2000	Separadas	> 20	Muy cerrada	5	Complet. Meteorizadas	5	Duro	
				2000-6000	Muy separadas	< 0.1	Parcial cerrada	6	Suelo residual	6	Muy duro	
				> 6000	Extrem. separadas	0.25 - 0.5	Abierta					
						0.5 - 2.5	Moderad. Abierta					
						> 10	Alta					
						10 - 100	Muy ancha					
						100 - 1000	Extrem. Ancha					
						I Rugosa	Escalonada					
						II Lisa						
						III Slickensided						
						IV Rugosa						
						V Lisa	Ondulada					
						VI Slickensided						
						VII Rugosa						
						VIII Lisa						
						IX Slickensided						
						Composición						
						Espesor mm						
						I Sana						
						II Algo Meteorizada						
						III Media Meteorizadas						
						IV Muy Meteorizadas						
						V Complet. Meteorizadas						
						VI Suelo residual						
						Seco						
						Húmedo						
						Goteos						
						Flujo						

En la tabla 14 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 14. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR16 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		50-25	4
RQD		<25 %	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	Ninguno	6
	Alteración	Inalterada	6
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			48
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			48
Clase III, Roca de media calidad			

✓ Macizo Rocoso (MR17), Características Generales

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1156125; Y: 1044345; Z: 2155 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 24 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen tres discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos suaves; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 0.6-2 m. con una continuidad entre 3-10 m., los planos son muy rugosos; La segunda familia de diaclasas (J2), la cual tiene un espaciado entre 0.2-0.6 m., con una continuidad entre 3-10 m. y los planos son muy rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 15.

Figura 15. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR17.

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25 %	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			41
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			41
Clase III, Roca de media calidad			

✓ **Macizo Rocosos (MR18), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1155813; Y: 1044419; Z: 2176 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra

En la tabla 16 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 16. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR18 analizado en campo.


Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25 %	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Ligeramente Alterada	5
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			41
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			41

Clase III, Roca de media calidad

✓ **Macizo Rocoso (MR19), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1155357; Y: 1044748; Z: 2150 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra una resistencia a la compresión uniaxial de 23 MPa., un índice de recuperación o RQD de 0%. Existen dos discontinuidades: La estratificación o fisilidad ($S_{\sigma}=S_1$), la cual exhibe un espaciado menor a 20 mm., una continuidad menor a 1 m. y unos planos suaves; La familia de diaclasas (J1), la cual luce un espaciado entre 20-60 mm. Con una continuidad menor a 1 m., los planos son ligeramente rugosos. Las discontinuidades contienen un relleno de arcilla (A). Ver Figura 17.

Figura 17. Datos geomecánicos y características generales del macizo rocoso MR19.

LITOLOGÍA	NATURALEZA: Sedimentaria			POTENCIA: 1,2 M		FORMACION Y EDAD: Paja, Cretácico inferior Hauteriviense-Barromiense-Aptiano												
FORMACIONES SUPERFICIALES DE FRACTURAS	NATURALEZA Y TEXTURA: Clastica-Lutita			MORFOLOGÍA: Suave														
	PLIEGUES		FALLAS		OTROS: Diaclasas													
FRACTURACIÓN	BLOQUES Jv Juntas/m3	Muy Grandes < 1	Grandes 1-3	Medio 3-10	Pequeños 10-30	Muy Pequeños > 30	Muy Bechificado > 60											
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremadamente Blanda (Uña) 0	Muy Blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta Martillo) 2	Media (1 Golpe Martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe Martillo) 4	Muy Dura (Varios Golpes) 5	Extrem. Dura (Solo raya con Martillo) 6											
GRADOS DE METEORIZACIÓN	I Sana		II Algo Meteorizada	III Medianamente Meteorizada	IV Muy Meteorizada	V Completamente Meteorizada	VI Suelo Residual											
HIDROGEOLOGÍA	Sin Presencia de agua		Seco (con señales de agua)	Húmedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO											
RESISTENCIA "R" ESCLERÓMETRO	16,6			OBSERVACIONES: ✓	COORDENADAS: X: 1155357 Y: 1044748 Z: 2150													
MR19																		
																		
Tipo de Plano	Dirección de buzamiento (°)	Espaciado (mm)	CONTINUIDAD (m)		ABERTURA (mm)	RUGOSIDAD	RELLENOS											
			Rumbo (R)	Bz (B)			Meteorización	Filtraciones	Resistencia		DIRECCIÓN DE TALUD							
S₀	10	6	X															
J1	179	69	X															

En la tabla 17 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 17. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR19 analizado en campo.

Parámetros de clasificación	Rango	Puntuación
-----------------------------	-------	------------

Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25 %	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,5-2,5 mm	2
	Rugosidad	Ligeramente Rugosa	3
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Descompuesta	0
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			38
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			38
Clase IV, Roca de mala calidad			

✓ **Macizo Rocoso (MR20), Características Generales**

El talud se encuentra localizado en las coordenadas planas X: 1155778; Y: 1044683; Z: 2114 y hace parte de la formación Paja, La roca presente muestra

En la tabla 18 se puede observar los parámetros que se tienen en cuenta para poder determinar el índice RMR y clasificar los macizos rocosos.

Tabla 18. Clasificación RMR para el macizo rocoso MR20 analizado en campo.

Parámetros de clasificación		Rango	Puntuación
Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa (MPa)		25-5	2
RQD		<25 %	3
Separación entre Diaclasas		<0,06 m	5
Estado de las Discontinuidades.	Longitud de la Discontinuidad	<1 m	6
	Abertura	0,1-1 mm	3
	Rugosidad	Suave	0
	Relleno	<5 mm blando	2
	Alteración	Inalterada	6
Agua Freática		Seco	15
TOTAL BASE			42
Corrección por orientación de las discontinuidades			0
TOTAL RMR			42
Clase III, Roca de media calidad			

Anexo E. Procedimiento para hallar el índice SMR y su respectiva clasificación de los macizos MR3 hasta MR20.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR3)**

❖ Dirección talud	=261/71
❖ S _σ Estratificación o fisilidad	=230/8
❖ J1	=125/80
❖ J2	=6/70

J2

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |6^\circ - 261^\circ| = 255^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 70^\circ$; Muy desfavorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 70^\circ - 71^\circ = -1^\circ$; Desfavorable. Valor= -50

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a J2:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 34 + (0.15 * 1 * -50) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 41}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR4)**

❖ Dirección talud	=26/75
❖ Sσ Estratificación o fisilidad	=215/14
❖ J1	=133/88
❖ J2	=72/55
❖ J3	=45/81

J2

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |72^\circ - 26^\circ| = 46^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 55^\circ$; Muy desfavorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 55^\circ - 75^\circ = -20^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a J2:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 44 + (0.15 * 1 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 50}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR5)**

- ❖ Dirección talud =230/56
- ❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad =250/3

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |250^\circ - 230^\circ| = 20^\circ$; Normal. Valor= 0.7

Factor $F_2 = \beta_j = 3^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 3^\circ - 56^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 31 + (0.7 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 40}$$

Clase IV. Mala inestabilidad del talud.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR6)**

❖ Dirección talud	=104/74
❖ S_{σ} Estratificación o fisilidad	=255/6
❖ J1	=135/84
❖ J2	=20/71

J2

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |20^\circ - 104^\circ| = 84^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 71^\circ$; Muy desfavorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 71^\circ - 74^\circ = -3^\circ$; Desfavorable. Valor= -50

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a J2:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 40 + (0.15 * 1 * -50) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 47}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR7)**

❖ Dirección talud	=232/69
❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad	=210/4
❖ J1	=30/86
❖ J2	=55/90

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |210^\circ - 232^\circ| = 22^\circ$; Favorable. Valor= 0.4

Factor $F_2 = \beta_j = 4^\circ$; Muy Favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 4^\circ - 69^\circ = -65^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 54 + (0.4 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 65}$$

Clase II. Buena estabilidad del talud.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR8)**

❖ Dirección talud	=43/72
-------------------	--------

❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad =205/8

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |205^\circ - 43^\circ| = 162^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 8^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 8^\circ - 72^\circ = -64^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 31 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 45}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR9)**

❖ Dirección talud =60/55

❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad =235/4

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |235^\circ - 60^\circ| = 175^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 4^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 4^\circ - 55^\circ = -51^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 42 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 56}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR10)**

❖ Dirección talud	=310/69
❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad	=215/6
❖ J1	=55/65
❖ J2	=149/70

J1

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |55^\circ - 310^\circ| = 255^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 65^\circ$; Muy desfavorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 65^\circ - 69^\circ = -4^\circ$; Desfavorable. Valor= -50

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a J1:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 42 + (0.15 * 1 * -50) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 49}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR11)**

❖ Dirección talud	=16/46
❖ S_σ Estratificación o fisilidad	=195/11
❖ J1	=300/86

S_σ

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |195^\circ - 16^\circ| = 179^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 11^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 11^\circ - 46^\circ = -35^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 39 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$SMR = 53$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR12)**

❖ Dirección talud	=346/70
❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad	=166/9
❖ J1	=6/69
❖ J2	=311/62
❖ J3	=110/86

J1

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |6^\circ - 346^\circ| = 340^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 69^\circ$; Muy desfavorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 69^\circ - 70^\circ = -1^\circ$; Desfavorable. Valor= -50

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

J2

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |311^\circ - 346^\circ| = 35^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = |\beta_j| = 62^\circ$; Muy desfavorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 62^\circ - 70^\circ = -8^\circ$; Desfavorable. Valor= -50

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso las juntas J1 y J2 tienen el mismo factor de reducción:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 41 + (0.15 * 1 * -50) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 48}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ MACIZO ROCOSO (MR13)

❖ Dirección talud =104/74

❖ S_σ Estratificación o fisilidad =220/12

S_σ

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |220^\circ - 104^\circ| = 116^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 12^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 12^\circ - 74^\circ = -62^\circ$; Muy Desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 39 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 53}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR14)**

❖ Dirección talud	=160/52
❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad	=225/4
❖ J1	=43/78

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |225^\circ - 160^\circ| = 65^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 4^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 4^\circ - 52^\circ = -48^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor F_4 = Es un talud natural.

Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR= RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR= 37 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$SMR= 51$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR15)**

❖ Dirección talud	=52/70
❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad	=211/4
❖ J1	=316/79
❖ J2	=24/75

J2

Factor $F_1= |\alpha_j - \alpha_s| = |24^\circ - 52^\circ| = 28^\circ$; Favorable.

Valor= 0.4

Factor $F_2= \beta_j = 75^\circ$; Muy desfavorable.

Valor= 1

Factor $F_3= \beta_j - \beta_s = 75^\circ - 70^\circ = 5^\circ$; Favorable.

Valor= -6

Factor F_4 = Es un talud natural.

Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a J2:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 35 + (0.4 * 1 * -6) + 15$$

$$SMR = 48$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR16)**

- ❖ Dirección talud = 244/56
- ❖ S σ Estratificación o fisilidad = 211/9

S σ

Factor F₁ = $|\alpha_j - \alpha_s| = |211^\circ - 244^\circ| = 33^\circ$; Muy favorable. Valor = 0.15

Factor F₂ = $\beta_j = 9^\circ$; Muy favorable. Valor = 0.15

Factor F₃ = $\beta_j - \beta_s = 9^\circ - 56^\circ = -47^\circ$; Muy desfavorable. Valor = -60

Factor F₄ = Es un talud natural. Valor = +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a S σ :

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 48 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$SMR = 62$$

Clase II. Buena estabilidad del talud.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR17)**

❖ Dirección talud	=350/76
❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad	=135/6
❖ J1	=305/89
❖ J2	=20/83

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |135^\circ - 350^\circ| = 215^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 6^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 6^\circ - 76^\circ = -70^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 41 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

SMR= 55

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR18)**

- ❖ Dirección talud =56/81
- ❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad =209/5

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |209^\circ - 56^\circ| = 153^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 5^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 5^\circ - 81^\circ = -76^\circ$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 41 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

SMR= 55

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR19)**

❖ Dirección talud	=145/73
❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad	=280/6
❖ J1	=89/69

J1

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |89^\circ - 145^\circ| = 56^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 69^\circ$; Muy favorable. Valor= 1

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 69^\circ - 73^\circ = -4^\circ$; Desfavorable. Valor= -50

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a J1:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 38 + (0.15 * 1 * -50) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 45}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.

✓ **MACIZO ROCOSO (MR3)**

- ❖ Dirección talud =345/55
- ❖ $S\sigma$ Estratificación o fisilidad =190/6

$S\sigma$

Factor $F_1 = |\alpha_j - \alpha_s| = |190^\circ - 345^\circ| = 155^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_2 = \beta_j = 6^\circ$; Muy favorable. Valor= 0.15

Factor $F_3 = \beta_j - \beta_s = 6^\circ - 55^\circ = -49$; Muy desfavorable. Valor= -60

Factor $F_4 =$ Es un talud natural. Valor= +15

Por regla general se utilizan los valores más bajos, en este caso se clasifica respecto a $S\sigma$:

$$SMR = RMR + (F_1 * F_2 * F_3) + F_4$$

$$SMR = 42 + (0.15 * 0.15 * -60) + 15$$

$$\mathbf{SMR = 56}$$

Clase III. Normal, talud parcialmente estable.