

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA DEL
PROYECTO VIAL RUTA DEL CACAO Y OTROS

ANDRÉS FELIPE DÍAZ ALFONSO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS

ESCUELA DE GEOLOGÍA

BUCARAMANGA

2018

PRÁCTICA EMPRESARIAL EN GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA DEL
PROYECTO VIAL RUTA DEL CACAO Y OTROS

ANDRÉS FELIPE DÍAZ ALFONSO

Proyecto de grado presentado como requisito para optar por el título de

Geólogo

Director

Guillermo Vargas Pieschacon

Geólogo

Codirector

Edgar Luciano Bueno Balaguer

Geólogo

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE GEOLOGÍA
BUCARAMANGA

2018

DEDICATORIA

Principalmente a Dios quien ha sido mi guía en las etapas de mi vida.

A mis padres quienes con mucho esfuerzo lograron llevar a cabo su principal sueño que es darnos a mi hermana y a mí un buen futuro y a quienes les estaré agradecidos toda la vida por creer en mi.

A mi abuela Ofelia y mi tío Heriberto quienes me han brindado su amor y apoyo incondicional.

A toda mi familia quienes siempre han estado apoyándome y dándome su consejo en muchas situaciones de mi vida.

Andrés Felipe Díaz Alfonso

AGRADECIMIENTOS

A mi maestro y tutor de práctica Edgar Luciano Bueno Balaguer quien estuvo pendiente de mí en todo el transcurso de mi estancia en su empresa.

Al docente Guillermo Vargas Pieschacon el cual compartió sus conocimientos conmigo y me orientó en el papel que debía desarrollar en mi proyecto de grado.

A mis compañeros de trabajo, en especial a Daniel Piamonte por su colaboración, orientación y amistad durante este tiempo.

A mis compañeros de geología en especial a Danilo González quien fue un amigo incondicional durante toda la carrera.

A los profesores de la escuela de geología quienes se encargaron de instruirme y encaminarme en la profesión de geólogo.

A la Universidad Industrial de Santander a la cual le debo mi formación como profesional.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. OBJETIVOS	14
1.1. Objetivo General	14
1.2. Objetivos Específicos	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. LOCALIZACIÓN	16
4. METODOLOGÍA	18
4.1. Fase 1. Inducción y revisión de la información.....	19
4.2. Fase 2. Reconocimiento en campo y generación de fichas de análisis geomecánico.....	19
4.3. Fase 3. Revisión y organización de sondeos, apiques y ensayos de laboratorio.....	23
4.4. Fase 4. Unificación de la información recopilada en el plano geológico.	24
4.5. Fase 5. Desarrollo del perfil transversal y los perfiles longitudinales.	25
4.6. Fase 6. Elaboración del informe final.	26
5. MARCO TEÓRICO	27
5.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	27
5.1.1. Formación Paja (Kip).....	27
5.1.2. Formación Tablazo (Kit)	28
5.1.3. Formación Simití (Kis)	28
5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	28
5.2.1. Falla de La Sorda-Portugal	29
5.3. GEOMORFOLOGÍA	31
6. EXPLORACIONES	32
6.1. SONDEOS	32
6.2. APIQUES	34
6.3. PERFILES SÍSMICOS	35
7. RESULTADOS.....	36

7.1. GEOLOGÍA LOCAL	36
7.1.1. Estratigrafía local.....	36
7.1.2. Geología estructural local.....	41
7.1.3. Geomorfología	42
7.2. ESTABILIDAD GEOTÉCNICA	43
8. CONCLUSIONES	47
9. RECOMENDACIONES	48
BIBLIOGRAFÍA	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Municipios del área de influencia de la Ruta del Cacao y acercamiento al área de estudio, en recuadro Unidad Funcional 8.	16
Figura 2. Área de estudio visualizando la vía en desarrollo.....	17
Figura 3. Diagrama de flujo mostrando las fases llevadas a cabo en el desarrollo del proyecto.	18
Figura 4. Formato de ficha geomecánica usada por E.L.B Geología y Vías.....	22
Figura 5. Falla La Sorda – Portugal en el área de estudio.....	30
Figura 6. Imagen Satelital Monoclinal o cuchilla de Brisas en la Unidad Funcional 8.....	31
Figura 7. Imagen Stereonet, Estación UF8V-R05 K100+855.	41
Figura 8. Imagen Stereonet, Estación UF8V-R06 K101+092.	42
Figura 9. Perfiles Geológicos Transversales K100+840 y K101+100 realizados al inicio y final del área de estudio.	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Exploraciones ejecutadas en el área de estudio.....	32
Tabla 2. Relación de sondeos de la variante de la Unidad Funcional 8 que se encuentran en el tramo analizado.....	32
Tabla 3. Relación de ensayos de laboratorio hechos en el Sondeo 07.	33
Tabla 4. Relación de apiques entre el PK 100+840 a 101+100.....	34
Tabla 5. Relación de ensayos de laboratorio para los apiques 12 y 13.....	34
Tabla 6. Información general de la línea de refracción sísmica.	35

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Afloramiento donde se realizó la inducción sobre la forma de rellenar el formato de estación geomecánica.	21
Fotografía 2. Bancos de calizas alternando con capas delgadas de lodolitas calcáreas. Estación UF8V-R06 K101+092.....	37
Fotografía 3. Areniscas intercaladas con lodolitas de la estación geomecánica UF8V-R05 mostrando erosión diferencial.	38
Fotografía 4. Deslizamiento planar de suelos residuales sobre plano estructural en areniscas limosas de grano fino de la formación Tablazo. Octubre 29/2016.	39
Fotografía 5. Depósito Coluvial de ladera con fragmentos subangulares de areniscas provenientes de la Fm Tablazo.	40
Fotografía 6. Panorámica de ladera estructural al sur del K100+900 con bloques sueltos de calizas in situ afectados por procesos de lapiaz y meteorización química.	43

LISTA DE ANEXOS¹

ANEXO A Sondeos ejecutados

ANEXO B Apiques ejecutados

ANEXO C Perfil de refracción sísmica UF8-3

ANEXO D Estaciones geomecánicas desarrolladas

ANEXO E Perfiles transversales en K100+840 y K101+100

ANEXO F Planta perfil K100+840 a K101+100

¹ Ver documentos adjuntos en el CD-ROM

RESUMEN

TITULO: PRÁCTICA EMPRESARIAL EN GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA DEL PROYECTO VIAL RUTA DEL CACAO Y OTROS.*

AUTOR: ANDRÉS FELIPE DÍAZ ALFONSO**

PALABRAS CLAVE: GEOLOGÍA PARA INGENIERÍA, AUTOCAD, CARTOGRAFÍA, PERFIL DE SUELO.

DESCRIPCIÓN:

El siguiente proyecto contiene el desarrollo y resultados obtenidos de la práctica empresarial desarrollada en la empresa E.L.B. Geología y Vías S.A.S, en la ciudad de Bucaramanga, Santander, del proyecto vial “Estudio de Geología para ingeniería Unidad Funcional UF8V”.

El enfoque principal del proyecto corresponde al análisis y descripción de muestras de suelo y roca obtenidas de los diferentes sondeos y apiques y sus respectivos ensayos de laboratorio llevados a cabo en las veredas Lisboa – Portugal, localizadas en el municipio de Lebrija, la realización de toma de datos de afloramientos incluyendo la geología estructural para la obtención de fichas geomecánicas de roca y suelo y la verificación de la geología del área de estudio para así trazar perfiles de suelo transversales. Como insumos adicionales se usaron las líneas sísmicas hechas en diferentes puntos del área de estudio.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Geología Director: Guillermo Vargas Pieschacón Geólogo y Especialista en Geotécnia Ambiental Tutor: Edgar Luciano Bueno Balaguer Geólogo y Especialista en Recursos Hídricos

ABSTRACT

TITLE: INDUSTRIAL PRACTICE IN GEOLOGY FOR ENGINEERING OF THE VIAL PROJECT RUTA DEL CACAO AND OTHERS.^{3*}

AUTHOR: ANDRÉS FELIPE DÍAZ ALFONSO**

KEYWORDS: GEOLOGY FOR ENGINEERING, AUTOCAD, CARTOGRAPHY, SOIL PROFILE, SLOPE STABILITY, SANTANDER, COLOMBIA.

The following project contains the development and results obtained from the business practice developed in the company E.L.B. Geología y Vías S.A.S, in the city of Bucaramanga, Santander, of the road project "Study of Geology for Engineering Functional Unit UF8V".

The main focus of the project corresponds to the analysis and description of soil and rock samples obtained from the different soundings and apiques and their respective laboratory tests carried out in the villages of Lisbon and Portugal, located in the municipality of Lebrija. of outcrop data including structural geology for obtaining geomechanical rock and soil tokens and verification of the geology of the study area in order to trace cross-sectional soil profiles. As additional inputs seismic lines made at different points of the study area were used.

* Project of grade

** Faculty of Engineering Physical Chemical. School of Geology. Director: Guillermo Vargas Pieschacón Geologist and Enviromental Geotechnical Specialist
Tutor: Edgar Luciano Bueno Balaguer Geologist and Water Resources Specialist.

INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de desarrollo de un proyecto ingenieril es importante la aplicación de la geología para ilustrar al ingeniero civil o geotecnista de las condiciones geológicas del sitio desarrollando un modelo geológico preciso, que permita prevenir y mitigar problemas dados por la interacción entre las actividades humanas y el medio ambiente, en la realización del proyecto vial de la ruta del Cacao se requiere la aplicación de estudios de exploración geotécnica teniendo especial atención con la intensidad de los procesos morfodinámicos y de inestabilidad presentes en el área de influencia en la vía.

En este trabajo se expone los estudios de geología para ingeniería de la práctica empresarial realizada con la empresa E. L. B Geología y Vías S.A.S. siguiendo los lineamientos del contrato “REQUERIMIENTOS TÉCNICOS ESTUDIOS Y DISEÑOS DE CARRETERAS FASE III” publicado por el INVIAS en septiembre de 2011, el área de estudio se localiza en el municipio de Lebrija más específicamente entre las veredas Portugal – Lisboa.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

- Aplicar los conocimientos aprendidos durante el pregrado en las áreas de geomorfología, geología estructural, estratigrafía y petrografías en el campo de la geología para ingeniería durante la realización del proyecto vial de la ruta del Cacao y otros proyectos asignados.

1.2. Objetivos Específicos

- Generación de un mapa geológico del área de estudio.
- Elaboración de un informe geotécnico.
- Creación de un perfil longitudinal de la zona.
- Definir la estabilidad de la zona.

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de una práctica empresarial enfocada en la geología para la ingeniería permite al estudiante aplicar los conceptos aprendidos durante el pregrado, como la geología básica, estratigrafía, geología estructural, hidrogeología, cartografía, geotecnia; a situaciones reales que más adelante tendrá que afrontar en la industria, así como aprender conceptos nuevos que no se desarrollan durante su carrera y que son de gran importancia a la hora de ejercer como un profesional.

En la geología para ingeniería la generación de perfiles de suelo son el recurso principal que se debe generar si se quiere llegar a una conclusión correcta sobre el estado de un terreno en el cual se va a realizar un proyecto ingenieril y con este tener certeza de tipos de amenazas se van a encontrar además de cómo prevenir y mitigar accidentes y reducir gastos en la etapa de ejecución. Por esto es importante realizar tal trabajo para tener un entendimiento completo del área donde se va a realizar un proyecto y así tener una óptima ejecución de este.

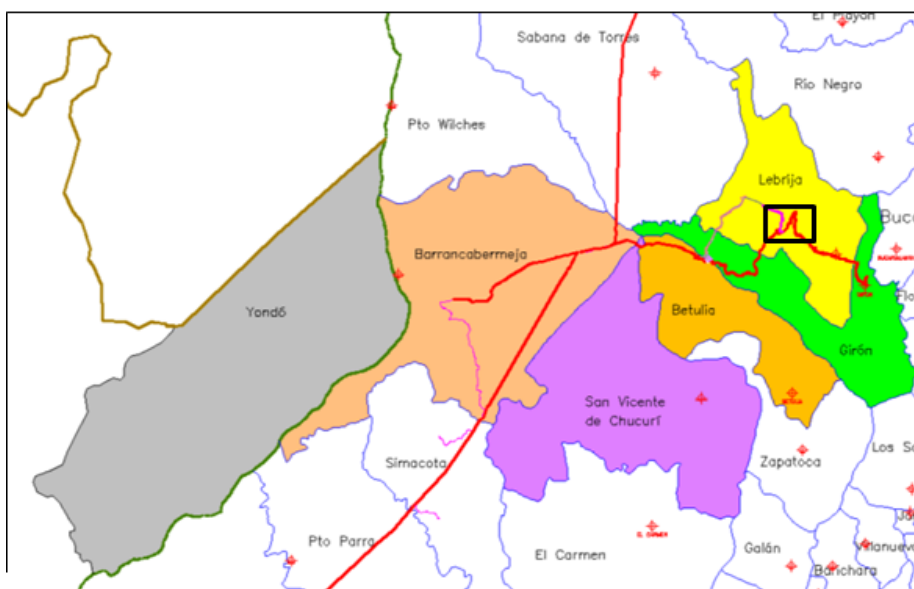
Para el sector de Lebrija, que constituye la llamada Unidad Funcional 8, se tienen varios factores de inestabilidad los cuales son de importante cuidado al momento de iniciar la construcción de la vía, por esto la priorización de un estudio que pueda dar una completa certeza de cuáles son los principales factores que podrían afectar esta megaobra y así poder ofrecer soluciones para evitar y controlar posibles desastres o daños en la vía.

3. LOCALIZACIÓN

La autopista Bucaramanga – Barrancabermeja – Yondó (BBY), constituye el sector más occidental de la Transversal 66, que llega hasta Pamplona en el Departamento de Norte Santander donde se intercepta con la Troncal del Norte o Ruta 55.

A nivel político el proyecto de concesión vial atraviesa seis municipios, cinco en Santander (Lebrija, Girón, Betulia, San Vicente de Chucurí y Barrancabermeja) y uno en Antioquia (Yondó), el área que se va a estudiar en este trabajo se encuentra dentro de la Unidad Funcional 8 que se encuentra en el municipio de Lebrija, como se visualiza en las Figuras 1 y 2.

Figura 1. Municipios del área de influencia de la Ruta del Cacao y acercamiento al área de estudio, en recuadro Unidad Funcional 8.



Fuente: Tomado y modificado de BUENO BALAGUER Edgar Luciano. Informe Final de Estudios y Diseños Estructuración Corredor Vial Bucaramanga – Barrancabermeja – Yondó, Estudio De Geotecnia y Geología. Tomo III. Agencia Nacional de Infraestructura ANI. Bogotá. 2014. 197 p.

Figura 2. Área de estudio visualizando la vía en desarrollo.

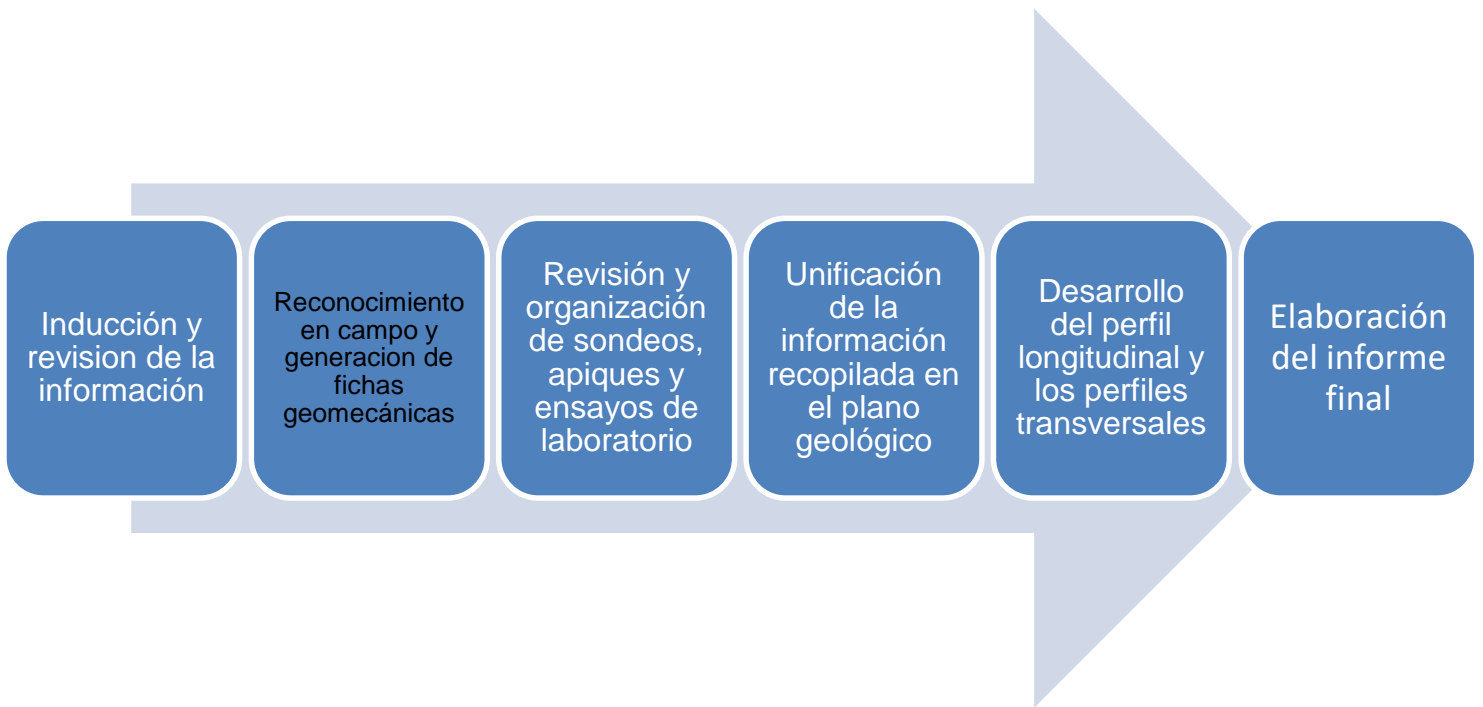


Fuente: Tomada y modificada de Google Earth 2016.

4. METODOLOGÍA

La metodología desarrollada para la realización de este proyecto se dividió en 6 fases como se puede ver en el Diagrama 1.

Figura 3. Diagrama de flujo mostrando las fases llevadas a cabo en el desarrollo del proyecto.



A continuación se explicará cada una de las fases.

4.1. Fase 1. Inducción y revisión de la información.

En esta primera fase se recibió una inducción por parte de la empresa enfocada en las actividades que se deben realizar y cómo se deben realizar durante el trabajo que lleva a cabo el geólogo en la elaboración de un proyecto ingenieril, específicamente el proyecto vial Ruta del Cacao.

El otro aspecto tratado fue la búsqueda y revisión de información útil para el desarrollo de la práctica empresarial, como lo son trabajos previos, publicaciones, tesis relacionadas, mapas topográficos, fotografías aéreas, información dada por la empresa contratista, entre otros.

El segundo aspecto de la primera fase se llevará a cabo durante el desarrollo del proyecto según la necesidad que se vaya teniendo de información adicional necesaria para una plena realización del presente trabajo.

4.2. Fase 2. Reconocimiento en campo y generación de fichas de análisis geomecánico.

Como primer punto para esta fase se organizó el equipo de campo como lo fue el mapa geológico del cuadrángulo H-12 "Bucaramanga" a escala 1:100.0000, junto a la información de estructuración de la ANI Fase II, que incluye la presentación de cartografía geológica a escala 1:25.000, brújula, martillo geológico, los formatos de fichas geomecánicas facilitados por E.L.B. Geología y Vías y una agenda de campo para anotar datos adicionales.

Se hicieron estaciones de campo en sitios críticos del área de estudio durante varios periodos en los cuales se pretendió obtener datos de la geología con las bases obtenidas en el punto anterior, con el fin de corroborar con los datos que se

obtengan la veracidad de la información bibliográfica de trabajos anteriores y obtener un mayor detalle de esta. Se enfoca principalmente en la caracterización de unidades geológicas superficiales, descripción de zonas de inestabilidad y amenaza geológica por movimientos en masa.

Se realizó una inducción sobre la forma de registrar los datos para una estación geotécnica por parte del geólogo Edgar Bueno, tomando como ejemplo un afloramiento localizado a 100 m del trazado de la variante de la Unidad Funcional 8, los datos tomados fueron coordenadas del punto con el GPS, rumbo y pendiente de la ladera, dimensiones del talud (altura y longitud), descripción litológica, se registró la dureza según la tabla de resistencia al martillo geológico, la excavabilidad según la tabla de clasificación de rocas para su excavabilidad (Franklin, 1974), las condiciones de humedad y drenaje, el tipo de erosión que presenta el macizo rocoso, si hay efectos de remoción en masa, la susceptibilidad a la formación de deslizamientos del terreno, se realizó el registro fotográfico y un bosquejo del afloramiento y se tomaron datos estructurales de la estratificación y los planos de diaclasamiento donde se tuvo en cuenta para cada familia de diaclasas encontrada la continuidad de esta según el rumbo y según el buzamiento, el espaciamiento entre discontinuidades de la misma familia de diaclasas, la rugosidad, la apertura de la diaclasa, el tipo de relleno o si se hallaba vacía; para posteriormente organizar los datos obtenidos en formatos de fichas geomecánicas de roca (figura 4) y digitalizar estos formatos en la oficina.

El trabajo de oficina incluía la valoración del macizo rocoso o clasificación RMR de Bieniawski 1989. Finalmente, se utilizó el programa Dips para organizar los datos de estratificación y diaclasas tomados en campo y con esto identificar las familias principales de diaclasas para finalmente general el estereograma con los datos procesados y adicionarlo a la ficha de estación geomecánica correspondiente.

Fotografía 1. Afloramiento donde se realizó la inducción sobre la forma de rellenar el formato de estación geomecánica.



Figura 4. Formato de ficha geomecánica usada por E.L.B Geología y Vías

ferrovial															ESTACIONES GEOLÓGICAS CORREDOR BUCARAMANGA - BARRANCABERMEJA - YONDÓ															E.L.B. INGENIERIA Y OBRAS CIVILES		
Tramo: 1- Lebrija - Lisboa			UF 8 V Lisboa - Portugal			Sector			Coordenadas Este			Norte			Cota			FECHA:														
FICHA DE INVENTARIO DE TALUDES						OBSERVADOR:																										
Geometría del Talud		Dirección		Pendiente		H. Maxima (m)		Longitud			MARGEN																					
		Bermas				Cunetas		Estructuras																								
Litología						Excavabilidad						Hidrogeología /condiciones de drenaje																				
Descripción Talud		Erosión /Sedimentación				Remoción en Masa				Análisis Factores Inestables																						
Estado Actual Procesos																																
Gráfica Discontinuidades/Estereograma															CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO:																	
															PLANOS			CONTINUIDAD		ESPACIADO (m)		SUPERFICIE		RELLENO		APERTURA (mm)		PRESENCIA DE AGUA		METEORIZACION		LITOLOGIA
															TIPO	DIR. BUZ.	BUZ.	SEGUN RIZGAMIENTO	SEGUN PLUMBEO	ESPACIADO	ONDULACION	RUGOSIDAD	TIPO	ESPESOR mm	APERTURA	PRESENCIA DE AGUA	METEORIZACION	LITOLOGIA				
P: PLANA; O: ONDULADA; E: ESCALONADA															L: LISA; R: RUGOSA; LR: LIGERAMENTE RUGOSA																	
OX: OXIDOS; CL: LIMO ARENOSO															S: SECO; LH: LIGERAMENTE HUMEDO; H: HUMEDO; G: GOTEÓ; FC: FLUIDO																	
RMR Bienawski (1989)		RMR 1			RMR 2+3			RMR 4			RMR 5			RMR seco		RMR sin conegir		GSI														
		R.C.S. (MPa)			JUNTAS POR METRO			ESTADO DE LAS JUNTAS			PRESENCIA DE AGUA																					
		D1	D2	D3	Media	Contis.	Apert.	Rugo.	Relend.	Meteo.	Suma																					
Valoración																																
Puntuación																																
c =		Intersecciones analizadas:									OBSERVACIONES:																					
f =																																

4.3. Fase 3. Revisión y organización de sondeos, apiques y ensayos de laboratorio.

Para esta fase se tomaron los sondeos y apiques ya realizados por personal capacitado. Para los sondeos, se revisaron los núcleos de roca para describir y digitalizar formatos con la información de estos, esta descripción incluyó profundidad, suelo residual o roca que se encuentra, profundidad y tamaño de las muestras tomadas como test de penetración estándar (SPT), muestras inalteradas (MI) y testigos parafinados (TP); laminación, resistencia, fisibilidad, buzamiento de la capa, entre otros factores. Después de realizada la descripción, se recibieron los resultados de las muestras enviadas a los laboratorios, se dio una inducción sobre los tipos de ensayos ejecutados para llenar los respectivos formatos, lo cual fue esencial para la realización de la actividad, estos resultados incluían:

Ensayos hechos en núcleos rocosos:

- Ensayos de estado
- Ensayos de corte directo en roca. S/norma ASTM D 5607
- Resistencia a compresión simple
- Peso unitario parafinado y/o por medidas s/norma ASTM D-7263
- Ensayos estándar para determinar la resistencia a la tracción indirecta
- Ensayos de compresión Triaxial en roca
- Resistencia a la Tracción Brasilera

Ensayos hechos en muestras de suelo:

- Ensayos granulométricos de suelos por tamizado s/norma INV-E123-2013
- Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad en suelos s/norma INV-E – 125-126:2013
- Determinación en laboratorio de contenido de agua (humedad) s/norma INV-e
- Determinación de peso unitario por medidas s/norma ASTM D-7263

- Compresión inconfiada en muestras de suelos s/norma INV-E 152:2013
- Determinación de la Gravedad Especifica de las particulas solidas de los suelos s/norma INV-128 - 2013 - Método B
- Presión máxima de expansión, en muestra inalterada o remoldeada s/norma ASTM D-45486-08
- Determinación de la resistencia a la compresión Triaxial en suelos cohesivos s/norma INV-E 153:2013
- Ensayos de porcentaje de materia orgánica, sulfatos y sales.
- Ensayos de solidez de los agregados frente a la acción de sulfato de sodio o de magnesio.
- Ensayos de resistencia a la degradación de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½"9 por medio de la máquina de los Ángeles.
- Ensayos de porcentaje de caras fracturadas en los agregados Índice de aplanamiento y alargamiento de agregados.
- Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.
- Medida del potencial de colapso en un suelo parcialmente saturado.

Se usó Excel para tabular esta información.

4.4. Fase 4. Unificación de la información recopilada en el plano geológico.

En esta fase lo primero que se hizo fue georreferenciar las estaciones geomecánicas en el mapa a escala 1:2.000, que fue la que se acordó trabajar para este proyecto, con el trazado de la Variante de la Unidad Funcional 8, al igual que la ubicación de los sondeos y apiques realizados (Figuras 4, 5 y 6), para luego comparar los resultados de las descripciones de los afloramientos de las fichas geomecánicas, la información extraída de los sondeos y apiques y la información

de los ensayos de laboratorio, con esto se corrigió la geología trazada en el plano debido a que los mapas geológicos base usados para la Variante de la Unidad Funcional 8 pueden no tener el detalle requerido para el proyecto.

Además, se trazaron unidades Cuaternarias recientes que no se encontraban cartografiadas como lo son deslizamientos recientes, también con la ayuda de las curvas de nivel se detectaron algunos depósitos coluviales.

Para trabajar el mapa se utilizó el programa AutoCad Civil 3D 2013.

4.5. Fase 5. Desarrollo del perfil transversal y los perfiles longitudinales.

Una vez obtenida la geología a detalle del mapa geológico se procedió a realizar los perfiles transversales a la vía proyectada para la Variante de la Unidad Funcional 8, estos levantados a partir del mapa de curvas de nivel, insumo dado por E.L.B. Geología y Vías. Para la realización de estos se tomaron los datos disponibles sobre sondeos y apiques llevándolos a la cota en el perfil y midiendo la distancia a la que se encuentran del eje de la vía, luego se revisó la geología superficial para tener claro qué unidades afloran en el tope de los perfiles, una vez hecho esto, se usó la información que se encuentran en los apiques y los sondeos para definir un perfil de meteorización coherente con esta información, para después, usando los datos estructurales tomados en campo y obtenidos de los núcleos de roca de los sondeos, se traza la inclinación aparente de las capas de las unidades estratigráficas.

Por otra parte, para la elaboración del perfil longitudinal se realizó un trabajo parecido al hecho para los perfiles transversales, con el cambio que como base para definir los perfiles de meteorización del suelo se usaron los perfiles transversales.

4.6. Fase 6. Elaboración del informe final.

Finalmente se prepararon los ANEXOS correspondientes a los sondeos, apiques, ensayos de laboratorio, mapas y perfiles generados, además del análisis de resultados y conclusiones.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El área de Estudio hace parte de la Cuenca del Valle Medio del Magdalena, constituido principalmente por rocas sedimentarias originadas en la importante regresión marina del Terciario.

Se describen a continuación las unidades estratigráficas más cercanas a la zona de estudio de la más antigua a la más joven.

5.1.1. Formación Paja (Kip). Según Ward et al⁴, En la sección tipo, O. Wheeler la describe como una secuencia de shales negros, ligeramente calcáreos y micáceos, con espesores de ente 125 y 625 m; contienen concreciones de caliza, nódulos, septarias y venas de calcita. Consta en su base de lutitas y limolitas grises oscuras o negras, ferruginosas, con delgadas intercalaciones de areniscas arcillosas. Su parte media la compone una sucesión de lutitas grises, con interrelaciones de areniscas arcillolitas calcáreas y calizas, con concreciones de limolitas, piritosas y niveles de yeso. La parte superior está formada por lutitas grises oscuras micáceas interestratificadas de areniscas arcillosas de grano fino, en estratos hasta de 5 m de espesor.

⁴ Dwight E. Ward, Richard Goldsmith, Jaime Cruz, Hernán Restrepo. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona departamento de Santander. Bogotá: INGEOMINAS,1973.

5.1.2. Formación Tablazo (Kit). Ward et al 1973⁵ reporta una sección levantada por A. Castro, en la localidad tipo, compuesta por caliza gris oscura, fosilífera, masiva, algunas veces glauconítica, con esporádicas intercalaciones de arenisca de grano fino a medio, marrón amarillenta a gris oscura, calcárea, de estratificación delgada en ocasiones glauconítica.

5.1.3. Formación Simití (Kis). Morales et al. (1958), reporta que la Formación Simití fue nombrada, por geólogos de la Internacional Petroleum Company en 1953, con base en los afloramientos que se presentan al lado sur de la Ciénaga de Simití. Sobre el lado occidental del Río Magdalena, al sur del Departamento de Bolívar (Morales, 1958; en Julivert, 1968). En esta sección tipo la formación Simití tiene 40 m y se compone de shale gris o negro, localmente calcáreo y concrecionario (Ward et al, 1973)⁶.

5.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

A nivel estructural, la UF-8 se enmarca dentro de las fallas regionales de San Vicente al oeste y la falla del Suárez al este, con una cobertura cretácea que forma parte del flanco este del Sinclinal de Nuevo Mundo y del flanco oeste del Anticlinal de Los Cobardes, ya desmantelado al este de Portugal.

Las estructuras locales, que atraviesan este gran bloque estructural, se han clasificado como fallas recientes. Presentan una dirección transversal al rumbo de los sistemas principales de fallas regionales, de dirección preferente al NE. En este caso, la secuencia de fallas locales trasversales, se generan producto de la

⁵ Dwight E. Ward, Richard Goldsmith, Jaime Cruz, Hernán Restrepo. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona departamento de Santander. Bogotá: INGEOMINAS, 1973.

⁶ Dwight E. Ward, Richard Goldsmith, Jaime Cruz, Hernán Restrepo. Geología de los cuadrángulos H-12 Bucaramanga y H-13 Pamplona departamento de Santander. Bogotá: INGEOMINAS, 1973.

fractura del macizo en una dirección mayoritariamente NEE (Falla de Charco Largo, Porvenir, La Cabaña) y en menor proporción al NWW (Falla de La Sorda – Portugal y lineamiento Rio Sucio - Boquerón de Brisas). Adicionalmente, se presentan replegamientos menores con mayor densidad en las formaciones arcillosas como es el caso de la formación Simití, que para el presente estudio se ha denominado Flexión de Lisboa.

A continuación se describe la única estructura local identificada en el área de estudio.

5.2.1. Falla de La Sorda-Portugal. Estructura de aproximadamente 6 km de longitud que se extiende desde el anticlinal fallado de Rio Sucio en el oeste y sigue el curso de la quebrada La Sorda atravesando transversalmente la cuchilla de La Luna. Intercepta el corredor vial de diseño en la UF-8 hacia el K101+422, al sureste del Restaurante Patico, constituyendo zonas con alto grado de fracturamiento, cubiertas superficialmente por depósitos coluviales espesos. La falla continua hacia el este pasando por la zona urbana de Portugal hasta interceptar la falla de Paraguay.

Presenta numerosos rasgos morfológicos, alineación de drenajes y presencia de sectores coluviales; se infiere que al atravesar la formación Tablazo, por el grado de fracturamiento que genera, puede contribuir en la formación de zonas kársticas dentro del macizo rocoso. Por rasgos morfológicos se deduce que el bloque norte está hundido con respecto al bloque sur.

Figura 5. Falla La Sorda – Portugal en el área de estudio.



Fuente: BUENO BALAGUER Edgar Luciano. Informe Final de Estudios y Diseños Estructuración Corredor Vial Bucaramanga – Barrancabermeja – Yondó, Estudio De Geotecnia y Geología. Tomo III. Agencia Nacional de Infraestructura ANI. Bogotá. 2014. 197 p.

5.3. GEOMORFOLOGÍA

En la unidad funcional UF8 predomina un ambiente morfogenético estructural denudacional que alterna con ambientes antropogénicos alrededor del corredor vial existente. Se presenta una morfología montañosa, localmente colinada, donde predominan a nivel morfodinámico la disección de laderas con flujos torrenciales, reptación y soliflujión de suelos, deslizamientos planares en laderas estructurales y reactivación de deslizamientos antiguos por saturación cíclica de depósitos coluviales.

La principal geoforma, sobre la cual transcurre en su totalidad el corredor de la UF8, corresponde a un monoclinal regional de dirección NE, denominado en este estudio como Cuchilla de Brisas conformado por una ladera estructural al oeste con fuerte pendiente (escarpada) y un sector en contra pendiente al este con laderas escalonadas de fuerte pendiente y lomos intermedios (Figura 6).

Figura 6. Imagen Satelital Monoclinal o cuchilla de Brisas en la Unidad Funcional 8.



Fuente: Tomado de Google Earth 2016.

6. EXPLORACIONES

Los estudios geotécnicos realizados en el tramo de la Unidad Funcional 8 que va del K 100+840 al K 101+100 según el corredor en desarrollo se presentan a continuación en la tabla 1 y se nombran sólo aquellos que tienen importancia para la zona de estudio.

Tabla 1. Exploraciones ejecutadas en el área de estudio.

TIPO	CANTIDAD
Sondeos de rotación	2
Apiques	2
Estaciones geomecánica	2
Perfiles Sísmicos	1

6.1. SONDEOS

En estos sondeos fueron recuperadas muestras alteradas, muestras del recobro del ensayo SPT y muestras inalteradas, realizadas con el tomamuestras de pared gruesa. Las fichas de sondeos se presentan en el ANEXO A Fichas de sondeos. En la tabla 2 se incluyen los 2 sondeos hechos en el tramo que va de 100+840 a 101+100. Estas muestras fueron enviadas al laboratorio y se realizaron ensayos de identificación, estado y resistencia que se relacionan en la tabla 3.

Tabla 2. Relación de sondeos de la variante de la Unidad Funcional 8 que se encuentran en el tramo analizado.

SONDEO	COORDENADAS		PK	Profundidad (m)	Objetivo	MUESTREO			
	ESTE	NORTE				SPT	M.I.	T.P.	P.P.
UF8V-S07	1.087.069	1.283.647	100+851	50,00	Desmonte	8	5	10	0
UF8V-S08	1.087.084	1.283.821	101+099	39,50	Desmonte	11	9	6	0

Tabla 3. Relación de ensayos de laboratorio hechos en el Sondeo 07.

Muestra						Granulometría (% pasa)								Clasificación (U.S.C.S)	Límites de Atterberg			Humedad Natural (%)	Peso Unitario (KN/m³)	Resistencia a Compresión simple		Compresión Triaxial		Resistencia a la Tensión Indirecta (Kg/cm²)
Prospección	Tipo Muestra	P.K.	Unidad	Prof inicial (m)	Prof final (m)	3"	2"	1"	N°4	N°10	N°50	N° 100	N° 200		LL	LP	IP			Resistencia (qu) Kg/cm²	E (Kg/cm²)	Cohesión (kg/cm²)	φ	
						75	50	25	4.75	2	0.3	0.15	0.08											
S07	MI1	100+851	SR	2.50	2.80	100	100	100	98	90	88	88	84.6	CL	29	13	16	29.4	19.2	-	-	-	-	
	MI3		Kit	6.50	7.10	100	100	100	100	100	77	70	60.4	CL	39	19	20	25.4	20	-	0.31	20.44	-	
	MI5		Kit	16.70	16.90	100	100	100	100	100	74	62	55.9	CL	42	15	27	22.9	21.1	-	-	-	-	
	TP1		Kit	9.72	9.94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.6	-	30.29	37.42	-	
	TP2		Kit	21.30	21.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.2	-	-	-	-	
	TP3		Kit	29.70	30.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.7	199.8	69943	-	-	-
	TP4		Kit	33.35	33.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.4	50.55	-	-	-	
	TP5		Kit	34.60	34.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.6	-	41.52	40.47	-	
	TP6		Kit	36.50	36.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24.9	265.64	-	-	-	
	TP7		Kit	38.95	39.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.5	189.7	72294	-	-	-
	TP8		Kit	42.50	42.85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.0	45.72	-	-	37.8	
TP9	Kit	45.75	46.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	26.8	-	51.61	42.12	-			
TP10	Kit	49.15	49.52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23.5	278.2	-	-	32.3			

6.2. APIQUES

Para esta fase se tienen 2 apiques realizados por la empresa ELB Geología y Vías. En el interior de estas prospecciones fueron recogidas muestras que permitieron realizar ensayos de identificación y estado de las muestras entre otros. Se presenta en el ANEXO B las fichas de apiques para la zona de estudio.

En la tabla 4 se relacionan los apiques hechos en el área de estudio mientras que en la tabla 5 se relacionan sus ensayos de laboratorio.

Tabla 4. Relación de apiques entre el PK 100+840 a 101+100

Código Apique	Coordenadas		PK	Objetivo	Profundidad (m)	Muestra	Profundidad Muestra (m)	
	X	Y					Inicial	Final
UF8V-AP12	1.087.027	1.283.653	100+867	Desmonte	1,50	M1	0,40	1,50
UF8V-AP13	1.087.042	1.283.820	101+054	Desmonte	1,30	M1	0,50	1,30

Tabla 5. Relación de ensayos de laboratorio para los apiques 12 y 13

Muestra					Granulometría (% pasa)							Clasificación (U.S.C.S)	Límites de Atterberg			Humedad Natural (%)	Gravedad Específica	Estado		% Sales Solubles	CBR de suelos compactados en el laboratorio						Índice de Colapso (%)	Contenido de Materia Orgánica (%)	
Prospección	Tipo Muestra	P.K.	Prof inicial (m)	Prof final (m)	3"	2"	1"	N°4	N°10	N°50	N° 100		N° 200	LL	LP			IP	Densidad Máxima (g/cm³)		Humedad Óptima (%)	100%		98%		95%			
					75	50	25	4.75	2	0.3	0.15		0.075									Densidad Seca (g/cm³)	CBR (%)	Densidad Seca (g/cm³)	CBR (%)	Densidad Seca (g/cm³)			CBR (%)
AP12	M1	100+867	0.40	1.50	100	100	100	100	100	98	74	39	SM	NL	NP	0	22.1	2.57	1.77	16.4	0.101	1.77	4.0	1.73	2.9	1.68	1.1	0.50	2.4
AP13	M1	101+054	0.50	1.30	100	100	100	100	98	95	90	51	CH	64	26	38	26.3	2.53	1.72	17.20	0.10	1.72	3.60	1.69	2.40	1.64	1.10	0.00	2.6

6.3. PERFILES SÍSMICOS

Para esta campaña se obtuvo la información de un perfil de refracción sísmica para el área de estudio, este perfil tiene como objeto caracterizar el macizo rocoso en profundidad a partir de la velocidad de propagación de las ondas sísmicas longitudinales (ondas Vp) en zonas de excavación. Su información se relaciona en la tabla 6. El perfil de refracción sísmica se presenta en el ANEXO C.

Tabla 6. Información general de la línea de refracción sísmica.

LINEA SISMICA	COORDENADAS INICIO		COORDENADAS FIN		ABSCISAS	
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	INICIAL	FINAL
UF8V-PS3	1087026,49	1283682,73	1087031,09	1283782,62	100+900	101+020

7. RESULTADOS

7.1. GEOLOGÍA LOCAL

El proyecto vial Ruta del Cacao en el tramo comprendido entre los PK 100+840 a 101+ 100, se localiza en una zona con un modelo geológico relativamente simple, caracterizado por la uniformidad estructural y la presencia de una única unidad litológica. En el plano Planta-Perfil (Anexo F) se presenta la unidad aflorante junto con las exploraciones georreferenciadas en este. A continuación se describe la estratigrafía, geología estructural y geomorfología a nivel local interceptada por el tramo trabajado.

7.1.1. Estratigrafía local. El reconocimiento de las formaciones geológicas que afloran en el tramo PK 100+840 a 101+100, se ha realizado mediante una etapa de levantamiento cartográfico a una escala de detalle 1:2.000 y exploraciones del subsuelo por medio de sondeos y apiques, localizados en sitios de cortes.

Se identificó que el tramo estudiado lo compone la formación cretácica Tablazo (Kit) sobre la cual se observa un depósito cuaternario coluvial (Qc) correspondiente a flujo de lodos y detritos.

7.1.1.1. Formación Tablazo (Kit). Esta unidad estratigráfica del cretácico inferior consta de intercalaciones de calizas, areniscas y lodolitas al inicio del área estudiada.

Se evidencia el predominio de rocas calcáreas correspondientes a calizas fosilíferas grises, margas, areniscas y lutitas calcáreas, con sectores de cavidades kársticas por disolución de carbonatos. De la misma forma las estaciones geomecánicas levantadas en esta zona dan el predominio de rocas calcáreas de dureza R3 a R4 (fotografía 2).

Fotografía 2. Bancos de calizas alternando con capas delgadas de lodolitas calcáreas. Estación UF8V-R06 K101+092.



Las areniscas corresponden a areniscas limosas de grano fino a muy fino moscovíticas, amarillo ocre a café amarillento, con dureza R1 a R3, con estratificación gruesa (20 cm a 1 m). Son susceptibles a la meteorización física y a la erosión diferencial debido a su alternancia con lodolitas (Fotografía 3).

Sobre el corredor existente es frecuente bajo condiciones climáticas extremas, la ocurrencia de deslizamientos planares de suelos residuales sobre planos estructurales, particularmente en sectores de areniscas y arcillolitas (fotografía 4).

Fotografía 3. Areniscas intercaladas con lodolitas de la estación geomecánica UF8V-R05 mostrando erosión diferencial.



Fotografía 4. Deslizamiento planar de suelos residuales sobre plano estructural en areniscas limosas de grano fino de la formación Tablazo. Octubre 29/2016.



Los ensayos de laboratorio practicados a núcleos rocosos en los sondeos citados a muestras de caliza dan valores menores 49 MPa, clasificados como rocas de resistencia media (R3).

7.1.1.2. *Depósitos Coluviales (Qc)*. En la identificación detallada de los depósitos coluviales de esta zona, se determinó que corresponden a flujos de lodo antiguos, matriz-soportados con texturas arcillo-limosas, provenientes de la denudación de suelos residuales de lutitas, con morfología ligeramente inclinada a ondulada (3 – 7%). Rellenan cañadas y vaguadas en su parte baja, por lo cual se infiere condiciones de alta humedad en profundidad reflejado en bajas capacidades portantes del terreno (Fotografía 5).

Fotografía 5. Depósito Coluvial de ladera con fragmentos subangulares de areniscas provenientes de la Fm Tablazo.



Los registros de los apiques ejecutados en esta zona muestran que los depósitos texturalmente son matriz-soportados con matriz arenolimososa (SM) (Tabla 5).

Para la zona estudiada se tiene un depósito coluvial en el K100+956 al K100+970 de longitud 14 m el cual será intervenido para la construcción del corredor vial en desarrollo.

7.1.2. Geología estructural local. La zona de estudio está afectada por una falla local que se encuentra ubicada al nor-este llamada falla de La Sorda-Portugal, en general, para el K 100+840 al K 101+100 presenta una actitud estructural uniforme con rumbo NNE buzando con fuerte ángulo hacia el NW ($280 - 300^\circ / 38 - 59^\circ$) según las estaciones geomecánicas levantadas UF8V-R5 y UF8V-R6, con rumbos paralelos a transversales a la dirección del corredor proyectándose alternadamente taludes con planos estructurales y sobre laderas erosionales (Figuras 7 y 8).

Figura 7. Imagen Stereonet, Estación UF8V-R05 K100+855.

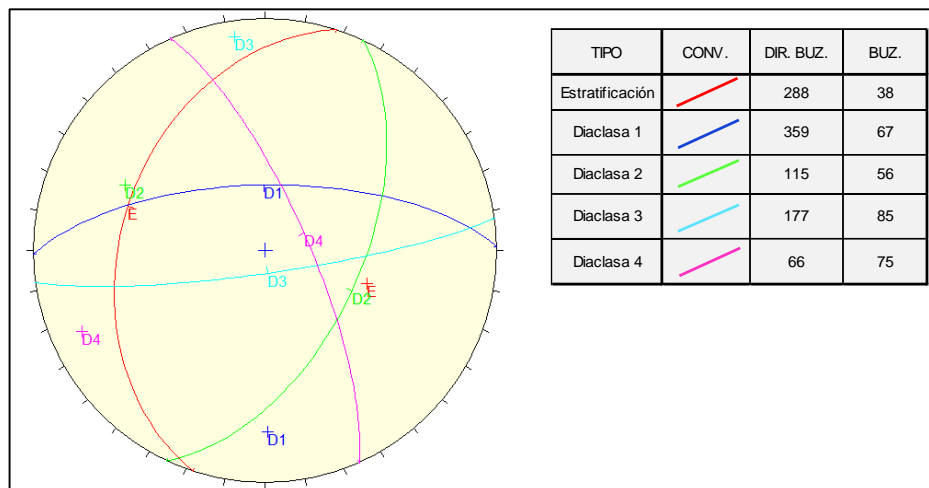
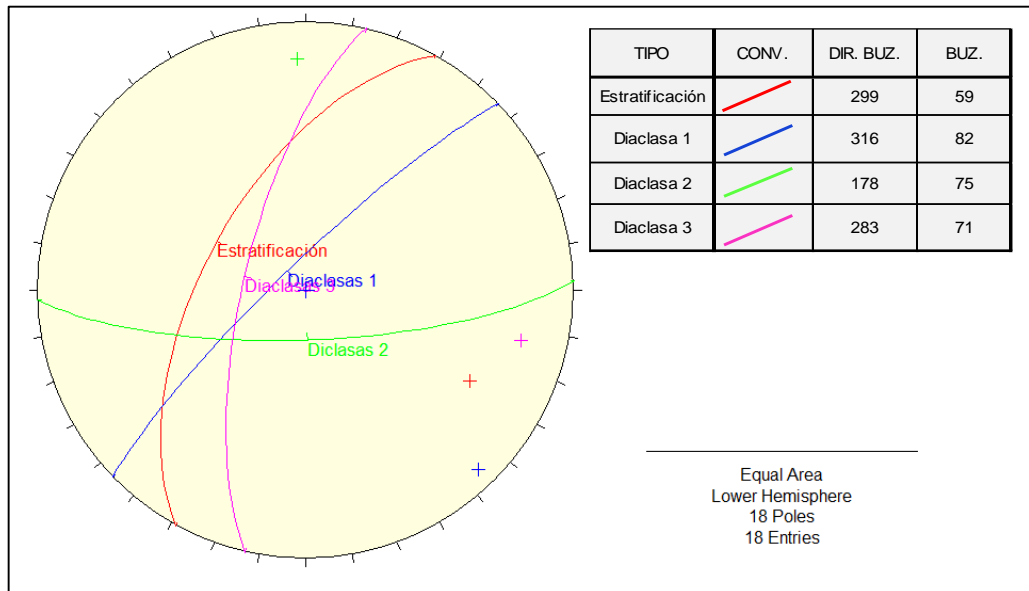


Figura 8. Imagen Stereonet, Estación UF8V-R06 K101+092.



A nivel de sistemas de diaclasas se evidencian dos sistemas importantes, un sistema NE buzando hacia el SE (115/56) subparalelo a la estratificación pero buzando contra la pendiente de las laderas. El segundo sistema tiende a coincidir con la estratificación (283 - 288 / 38 a 71) facilitando la formación de cuñas rocosas inestables (Figura 6 y 7).

7.1.3. Geomorfología. La zona Homogénea UF8-4, se caracteriza por presentarse sobre un ambiente morfogenético mixto estructural - denudacional, con morfología montañosa y laderas estructurales medias a moderadamente escarpadas.

A nivel morfodinámico, dado el predominio de litologías calcáreas, es evidente la acción de la meteorización química por disolución, generando dentro del macizo rocoso cavidades kársticas y, a nivel superficial, procesos de lapiaz con formación de bloques rocosos sueltos sobre las laderas (Fotografía 6).

Fotografía 6. Panorámica de ladera estructural al sur del K100+900 con bloques sueltos de calizas in situ afectados por procesos de lapiaz y meteorización química.

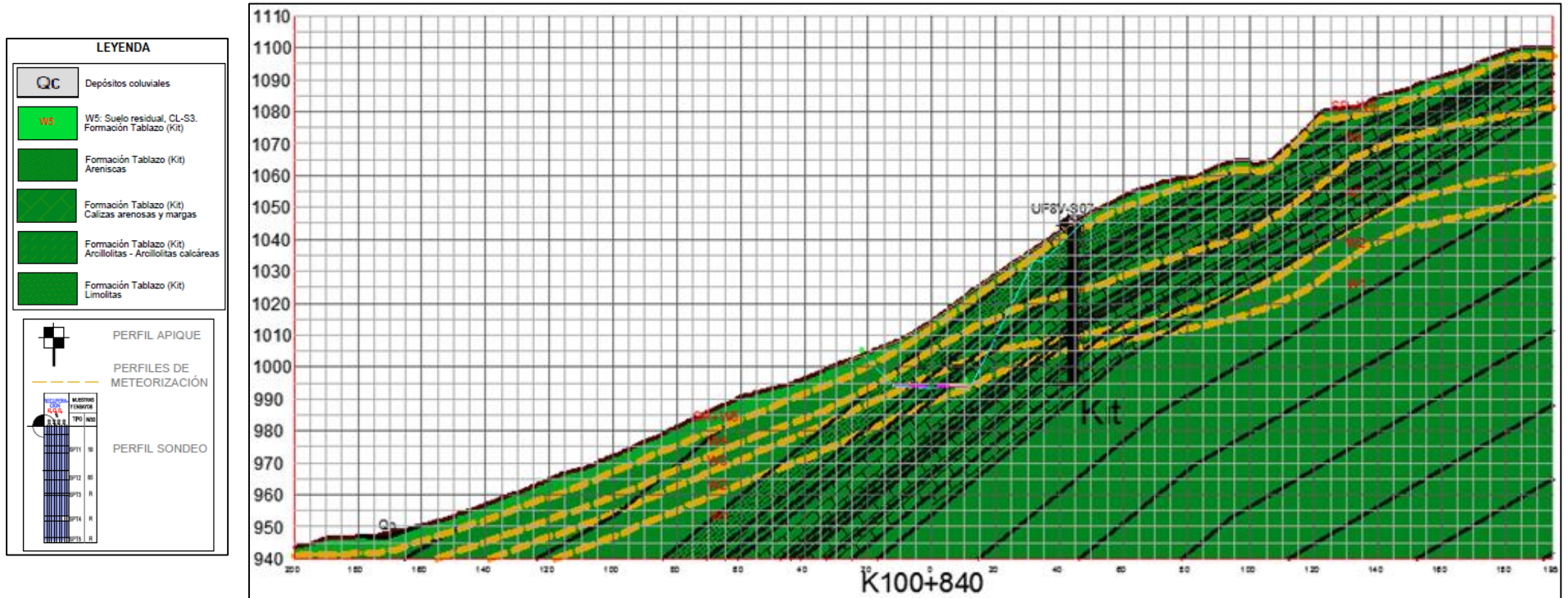


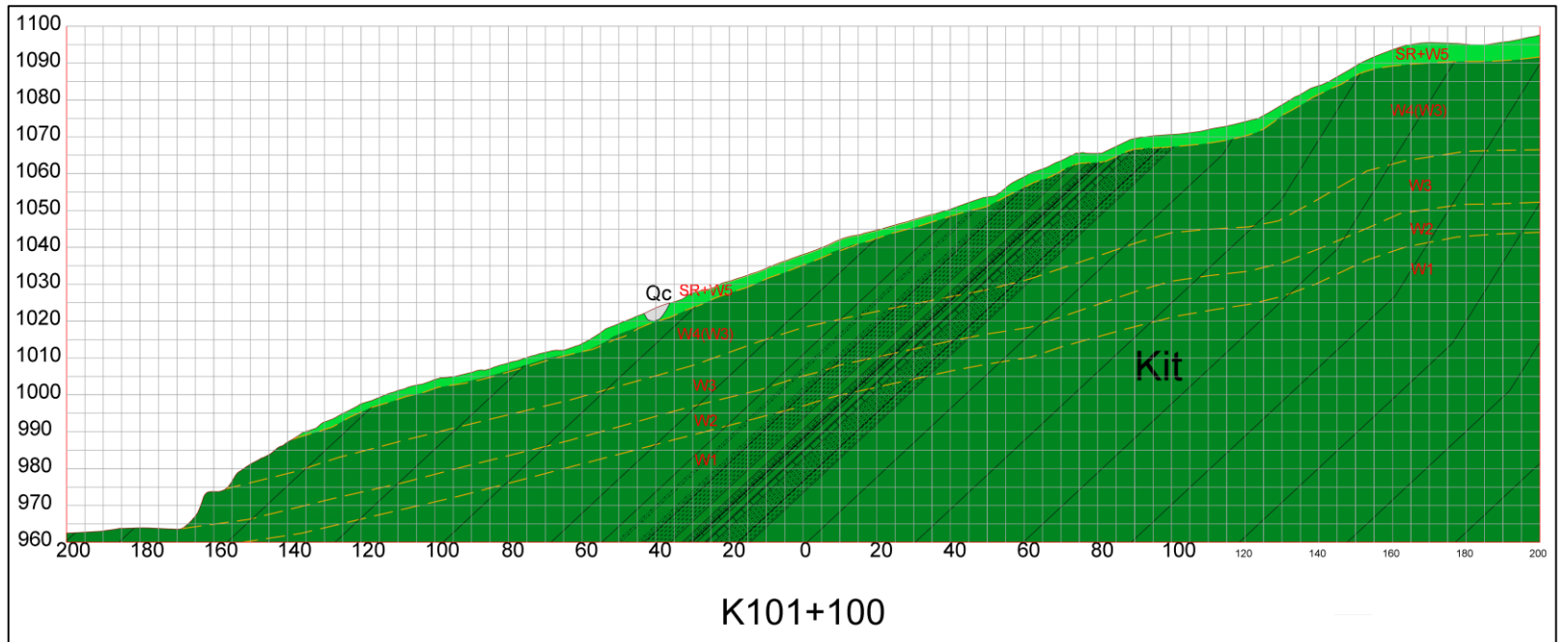
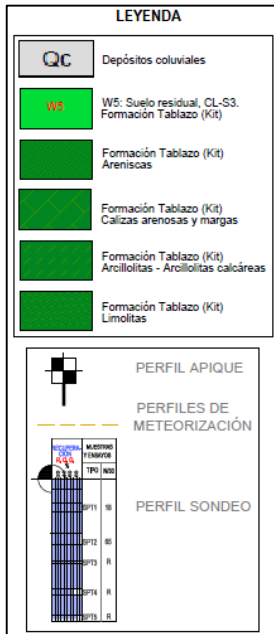
7.2. ESTABILIDAD GEOTÉCNICA

Dadas las condiciones estructurales y litológicas del sector, esta zona se considera como una zona potencialmente inestable a deslizamientos planares de estratos rocosos, caída y volcamiento de grandes bloques rocosos. De la misma forma los horizontes de suelo residual de hasta 5 m de espesor que quedan colgados en los taludes proyectados, deberán ser removidos dada su alta susceptibilidad a desplazarse sobre los planos estructurales por su pérdida de soporte. El manejo de la escorrentía se hace imprescindible frente a los procesos de disolución calcárea tanto de manera superficial como internamente dentro del macizo rocoso.

En la Figura 9, se presentan perfiles geológicos representativos de esta zona involucrando la aptitud estructural del macizo rocoso y los horizontes de meteorización (Anexo E).

Figura 9. Perfiles Geológicos Transversales K100+840 y K101+100 realizados al inicio y final del área de estudio.





8. CONCLUSIONES

La zona de estudio es un área con problemas de estabilidad geotécnica que se atribuyen a la aptitud estructural del macizo rocoso, ya que presenta la misma dirección que el trazado de la vía, su uniformidad estructural, y el avance de meteorización del macizo rocoso.

Dado que se presenta erosión diferencial entre los estratos de calizas y areniscas con los estratos de lodolitas que dejan bloques de los materiales más resistentes colgando y las pendientes hay riesgo de que se generen deslizamientos planares de estratos rocosos, caída y volcamiento de grandes bloques rocosos.

9. RECOMENDACIONES

En los cortes proyectados, es recomendable proteger los taludes en calizas frente al efecto de la esorrentía sobre los canales incipientes de disolución.

Remover el espesor de suelo residual dada su alta susceptibilidad a desplazarse sobre los planos estructurales por su pérdida de soporte.

El uso de muros de contención para prevenir la caída de rocas y tener más estabilidad del talud es una medida a considerar sobre todo en un sitio con los problemas de caída de detritos y rocas como lo es el área de estudio.

BIBLIOGRAFÍA

BUENO BALAGUER Edgar Luciano. Informe Final de Estudios y Diseños Estructuración Corredor Vial Bucaramanga – Barrancabermeja – Yondó, Estudio De Geotecnia y Geología. Tomo III. Agencia Nacional de Infraestructura ANI. Bogotá. 2014. 197 p.

Facultad de ingeniería. 5.1. Calidad de rocas, Documento de Power Point.

GONZÁLEZ DE VALLEJO Luis I., FERRER Mercedes., ORTUÑO Luis, OTEO Carlos. Ingeniería geológica. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, 2002. p. 744.

GOOGLE EARTH. Junio de 2018.

INGEOMINAS. Geología del Cuadrángulo H-12, Bucaramanga y H-13, Pamplona, Departamento de Santander y Norte de Santander. Bogotá: Boletín Geológico 1973.

INGEOMINAS. Mapa Geológico del Cuadrángulo H-12 Bucaramanga, escala 1:100.000. Bogotá, 1977.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO. Documento Metodológico de la Zonificación de Susceptibilidad Y Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000. Versión No. 2. 2013.

SUAREZ DIAZ Jaime. Control de erosión en zonas tropicales. Capítulo 2. Bucaramanga: División Editorial y de Publicaciones Universidad Industrial de Santander, 2001. p. 556.

TYPSA, DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA. Guía Técnica de Trabajo para el Personal en Campo – Manual de Guías del Departamento de Geotecnia. Madrid. 2006, p. 109.